



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE GOIÁS
CÂMPUS MORRINHOS
MESTRADO *STRICTO SENSU* EM AMBIENTE E SOCIEDADE

RITIELLY MARIA GUIMARÃES GUERINO

**IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS DA EUCALIPTOCULTURA E
AVALIAÇÃO DA TOXICIDADE DA ÁGUA DE DECOMPOSIÇÃO DAS
FOLHAS DE *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake (Myrtaceae) EM *Allium cepa* L.
(Amaryllidaceae)**

MORRINHOS, GO
MARÇO/2019

RITIELLY MARIA GUIMARÃES GUERINO

**IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS DA EUCALIPTOCULTURA E
AVALIAÇÃO DA TOXICIDADE DA ÁGUA DE DECOMPOSIÇÃO DAS
FOLHAS DE *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake (Myrtaceae) EM *Allium cepa* L.
(Amaryllidaceae)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* – Mestrado em Ambiente e Sociedade da Universidade Estadual de Goiás, por RITIELLY MARIA GUIMARÃES GUERINO, para obtenção do título de mestra em ambiente e sociedade.

Orientadora Profa. Dra. Isa Lucia de Moraes

Morrinhos, GO
Março/2019

Guerino, Ritielly Maria Guimarães
IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS DA EUCALIPTOCULTURA E
AVALIAÇÃO DA TOXICIDADE DA ÁGUA DE DECOMPOSIÇÃO DAS
FOLHAS DE *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake (Myrtaceae) EM *Allium cepa* L.
(Amaryllidaceae) / Ritielly Maria Guimarães Guerino. -- Morrinhos, 2019.
54 p.

Orientador: Isa Lucia de Moraes.
Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação Mestrado Acadêmico em
Ambiente e Sociedade) -- Câmpus Morrinhos, Universidade Estadual de Goiás,
2019.

1. Aleloquímicos. 2. Eucalipto. 3. Ecotoxicologia. 4. Bioensaio. I. Moraes, Isa
Lucia de. II. Título. Guerino, Ritielly Maria Guimarães

G932 - IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS DA EUCALIPTOCULTURA E
AVALIAÇÃO DA TOXICIDADE DA ÁGUA DE DECOMPOSIÇÃO DAS
FOLHAS DE *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake (Myrtaceae) EM *Allium
cepa* L. (Amaryllidaceae) / Ritielly Maria Guimarães Guerino; orientador Isa
Lucia Moraes. -- Morrinhos, 2019. 54 p.

RITIELLY MARIA GUIMARÃES GUERINO

**IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS DA EUCALIPTOCULTURA E
AVALIAÇÃO DA TOXICIDADE DA ÁGUA DE DECOMPOSIÇÃO DAS
FOLHAS DE *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake (Myrtaceae) EM *Allium cepa* L.
(Amaryllidaceae)**

Dissertação aprovada e assinada pela Banca Examinadora com as vistas à obtenção do título de mestre em Ambiente e Sociedade, pelo Programa Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ambiente e Sociedade da Universidade Estadual de Goiás.

Banca Examinadora

Prof.^a Dr. Isa Lucia de Moraes
Presidente da Banca
Universidade Estadual de Goiás

Prof. Dr. Wellington Hannibal
Membro Interno/PPGAS
Universidade Estadual de Goiás

Prof. Dr.^a Carla de Moura Martins
Membro Externo
Instituto Federal Goiano

Dedico este trabalho aos meus pais.
Obrigada pelo enorme carinho e apoio
durante essa jornada de sacrifícios e
conquistas na elaboração deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha orientadora Professora Dra. Isa Lucia de Moraes, pela orientação, competência e todo conhecimento compartilhado.

À Professora Dr.^a Raquel Maria Ferreira de Sousa, Professor Dr. Alberto de Oliveira e Rafael Aparecido Carvalho Souza, do Núcleo de Pesquisa em Produtos Naturais, Instituto de Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, pela parceria e contribuição para realização deste trabalho.

Ao Professor Dr. Wellington Hannibal Lopes, por toda atenção e contribuição feitas a este trabalho.

À professora Dr.^a Débora de Jesus Pires, por todas as orientações e contribuições prestadas a este trabalho.

Aos colegas Junilson Augusto de Paula Silva e Rayssa Rocha e Silva pela parceria e dedicação para realização dos testes e ensaios.

Aos meus pais Sheivelan e Ademir, e irmãos Ricier e Rosane por toda paciência, parceria e apoio durante essa jornada.

Ao meu colega Orlando Marques por todo auxílio e parceria durante a coleta do material.

Ao meu companheiro Dione, por toda parceria, paciência e apoio durante esse período.

Aos membros da banca por terem aceitado o convite e pelas contribuições que são de grande importância para o enriquecimento da pesquisa.

Ao corpo docente, direção e administração da Universidade Estadual de Goiás, sempre prestativos.

SUMÁRIO

Resumo Geral.....	5
Abstract	6
Introdução Geral.....	7
Capítulo I: Impactos socioambientais da cultura de <i>Eucalyptus</i> spp. (Myrtaceae).....	9
Resumo.....	9
Abstract	9
Introdução	10
Material e métodos.....	11
Resultados e Discussão	11
Origem e Introdução de <i>Eucalyptus</i> spp. no Brasil	11
Aspectos positivos da produção de <i>Eucalyptus</i>	14
Aspectos negativos da produção de <i>Eucalyptus</i>	15
Número de artigos publicados no período de 2008 a 2018	20
Considerações Finais.....	24
Referências Bibliográficas	24
Capítulo II: Avaliação da atividade tóxica de água de decomposição das folhas de <i>Eucalyptus urophylla</i> S.T. Blake (Myrtaceae) usando <i>Allium cepa</i> L. (Amaryllidaceae) como organismo-teste	32
Resumo.....	32
Abstract	33
Introdução	33
Material e Métodos	34
Local de coleta das folhas de eucalipto e da água.....	34
Decomposição das folhas	36
Microextração em Fase Sólida (SPME).....	36
Identificação dos compostos voláteis por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG-EM).....	37
Bioensaio com <i>Allium cepa</i>	37
Avaliação da toxicidade e citotoxicidade.....	38
Resultados e discussão	38
Compostos voláteis	38
Teste de toxicidade.....	43
Teste de citotoxicidade.....	45
Considerações finais.....	47
Referências Bibliográficas	48

**IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS DA EUCALIPTOCULTURA E
AVALIAÇÃO DA TOXICIDADE DA ÁGUA DE DECOMPOSIÇÃO DAS
FOLHAS DE *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake (Myrtaceae) EM *Allium cepa* L.
(Amaryllidaceae)**

RESUMO GERAL

O interesse comercial faz com que a cada ano aumente a produção em larga escala de *Eucalyptus* spp. fora do seu ambiente de origem. Associado a essa expansão da eucaliptocultura estão os impactos positivos e negativos da produção. A contribuição com a balança comercial, preservação da mata nativa e fixação de carbono se destacam como benefícios. Por outro lado, os impactos negativos abrangem problemas socioambientais, qualidade e disponibilidade de água, qualidade do solo, redução da biodiversidade e efeito tóxico dos compostos liberados pela planta. Diante disto, esta pesquisa objetivou no primeiro capítulo realizar uma compilação de dados qualitativos e quantitativos sobre os impactos causados pela eucaliptocultura e no segundo capítulo avaliar a toxicidade da água de decomposição de folhas de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake (Myrtaceae) em *Allium cepa* L. (Amaryllidaceae). Com subsídio na literatura pode-se inferir que a produção científica a respeito dos impactos causados pela eucaliptocultura de 2008 a 2018 ainda é incipiente. A maioria das pesquisas avalia os impactos sobre a qualidade do solo e uma quantidade ínfima sobre a biodiversidade e os problemas sociais, fato preocupante mediante a expansão da produção. Foram encontrados 32 compostos liberados durante os diferentes tratamentos de decomposição e do extrato aquoso das folhas, por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG-EM). Os compostos 2-etil-1-hexanol, fenchone, cis-di-hidrocarvona, e trans-di-hidrocarvone apareceram na água em decomposição das folhas em todos os períodos, mas foram ausentes no extrato de folhas. No entanto, compostos como o eucaliptol, α -pineno e acetato de α -terpinyl estiveram presentes apenas no extrato. Os compostos fazem parte das classes de monoterpenos, sesquiterpenos, triterpenos e outros. Quanto à toxicidade o efeito foi comprovado através da inibição do crescimento radicular de *Allium cepa*, identificado após a exposição das raízes a diferentes concentrações da água de decomposição de folhas de eucalipto em diferentes períodos. Para citotoxicidade, avaliada através de corte histológicos das raízes expostas as diferentes concentrações e períodos de decomposição, as alterações não foram suficientes para indicar o efeito tóxico. No entanto, foram identificadas algumas mutações e morte celular e alterações morfológicas nas raízes de *Allium cepa*. A produção acadêmica sobre os impactos da produção de eucalipto nos últimos dez anos foi baixa, principalmente se considerarmos que a eucaliptocultura tem crescido anualmente, é necessário que mais estudos sejam produzidos sobre os impactos dessa monocultura em larga escala, principalmente relacionados com os impactos socioambientais. Os compostos liberados pelas folhas de *E. urophylla* durante a decomposição em água, apresentam efeito tóxico comprovado pela inibição do crescimento radicular de *Allium cepa*, sendo maior nos primeiros 10 dias.

Palavras-chave: Aleloquímicos, Ecotoxicidade, Bioensaio.

**SOCIO-ENVIRONMENTAL IMPACTS OF EUCALIPTOCULTURE AND
EVALUATION OF THE TOXICITY OF DECOMPOSITION WATER OF
Eucalyptus urophylla S.T. Blake (Myrtaceae) IN *Allium cepa* L. (Amaryllidaceae)**

ABSTRACT

Commercial interest increases the large-scale production of *Eucalyptus* spp. outside their home environment. Associated with this expansion of eucalyptus culture are the positive and negative impacts of production. The contribution with the trade balance, native forest preservation and carbon sequestration stand out as benefits. On the other hand, the negative impacts include socioenvironmental problems, water quality and availability, soil quality, biodiversity reduction and toxic effect of the compounds released by the plant. In the first chapter, this research aimed to compile qualitative and quantitative data on the impacts caused by eucalyptus plantations, and in the second chapter to evaluate the toxicity of the decomposition water of leaves of *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake (Myrtaceae) on *Allium cepa* L. (Amaryllidaceae). With subsidy in the literature it can be inferred that the scientific production regarding the impacts caused by eucalyptus culture from 2008 to 2018 is still incipient. Most research evaluates the impacts on soil quality and a tiny amount on biodiversity and social problems, a matter of concern through the expansion of production. It was found 32 compounds released during the different treatments of decomposition and leaf extract, by gas chromatography coupled to mass spectrometry (GC-MS). The compounds 2-ethyl-1-hexanol, fenchone, cis-dihydrocarvone, and trans-dihydrocarvone appeared in the decomposing water of the leaves at all periods but were absent in the leaf extract. However, compounds such as eucalyptol, α -pinene and α -terpinyl acetate were only present in the extract. The compounds are part of the classes of monoterpenes, sesquiterpenes, triterpenes and others. As for toxicity, the effect was verified by inhibition of the root growth of *Allium cepa*, identified after exposure of the roots to different concentrations of water of decomposition of eucalyptus leaves in different periods. For cytotoxicity, assessed by histological cutting of the exposed roots at different concentrations and periods of decomposition, the results were not sufficient to indicate the toxic effect. However, some mutations and cell death and morphological changes in the roots of *Allium cepa* were identified. Academic production on the impacts of eucalyptus production in the last ten years has been low, especially considering that eucalyptus cultivation has grown annually, it is necessary that more studies are produced on the impacts of this monoculture on a large scale, mainly related to social and environmental impacts. The compounds released by the leaves of *E. urophylla* during decomposition in water show a toxic effect evidenced by the inhibition of the root growth of *Allium cepa*, being higher in the first 10 days.

Key words: Allochemicals, Ecotoxicity, Bioassay.

**IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS DA EUCALIPTOCULTURA E
AVALIAÇÃO DA TOXICIDADE DA ÁGUA DE DECOMPOSIÇÃO DAS
FOLHAS DE *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake (Myrtaceae) EM *Allium cepa* L.
(Amaryllidaceae)**

Introdução Geral.

A dissertação é composta por dois capítulos: Capítulo I – Impactos socioambientais da cultura de *Eucalyptus* spp. (Myrtaceae); Capítulo II – Avaliação da atividade tóxica da água de decomposição das folhas de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake (Myrtaceae) usando *Allium cepa* L. (Amaryllidaceae) como organismo-teste.

O plantio de eucalipto em grande escala tem se expandido cada vez mais devido à grande rentabilidade proporcionada às empresas que atuam no setor de produção de celulose, exploração da madeira para a fabricação de móveis, bem como a utilização como lenha ou para produção do carvão vegetal (VITAL, 2007). Tal atividade não considera o fato de ser uma espécie exótica com efeitos adversos que ainda carecem de estudos mais aprofundados para real identificação dos impactos ambientais.

Os eucaliptais trazem consequências ambientais positivas e negativas. Nas florestas de eucalipto ocorre fixação do carbono como resultado positivo sobre o teor de gás carbônico do ar, diminuindo o efeito estufa (SCOLFORO, 2008). Por outro lado, enormes prejuízos são causados ao ambiente com a introdução de uma monocultura de eucalipto. Os problemas ocorrem desde a preparação da área para plantio, devido à utilização de maquinário e produtos químicos para preparação do solo. Com a floresta já estabelecida os problemas estão relacionados ao consumo demasiado de água e nutrientes, alterações nas propriedades do solo e redução da biodiversidade de fauna e flora com os efeitos alelopáticos (BARBIERI et al., 1997).

As folhas de eucalipto dispersas na serapilheira, durante o período de chuvas são levadas para rios e lagoas através da lixiviação, e, entrando em contato com o ambiente aquático, liberam constituintes químicos. Logo, a prevalência desses no meio aquoso representa um risco potencial de efeitos prejudiciais aos organismos aquáticos (ABELHO; GRAÇA, 1996).

Sendo notório o crescimento de áreas com eucaliptocultura, estudos ecotoxicológicos são fundamentais para avaliar a qualidade da água e se ocorre influência na diversidade de organismos desses ambientes. Para tanto, os bioensaios com plantas superiores têm sido recomendados para monitoramento, detecção de

contaminantes e avaliação da qualidade ambiental (GRANT, 1999). A utilização de *Allium cepa* L (cebola comum) é indicada devido a seu baixo custo, elevada sensibilidade, rapidez e facilidade de manipulação determinando-se a diminuição do índice mitótico e a formação de aberrações cromossômicas (LEME; MARIN-MORALES, 2009).

A pesquisa foi pensada diante do escasso conhecimento dos efeitos causados por eucaliptos sobre a biota aquática. Os estudos ecotoxicológicos são fundamentais para a avaliação da qualidade do recurso hídrico e sua influência na diversidade de organismos, possibilitando um melhor monitoramento das condições ambientais sujeitas a atividades antrópicas.

Nesse sentido o estudo tem por objetivo descrever sobre os problemas socioambientais decorrentes da expansão da cultura de eucalipto, identificar as substâncias liberadas pelas folhas de *Eucalyptus* durante sua decomposição em água e avaliar o efeito tóxico da água de decomposição e extrato aquoso, utilizando *Allium cepa* como organismos-teste. O capítulo I está de acordo com as normas da revista *Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science*, a qual o manuscrito será submetido. O capítulo II está formatado de acordo com as normas padrão da ABNT.

Capítulo I: Impactos socioambientais da cultura de *Eucalyptus* spp. (Myrtaceae)

Ritielly Maria Guimarães Guerino¹
Isa Lucia de Moraes²

¹Aluna do Mestrado em Ambiente e Sociedade da Universidade Estadual de Goiás (UEG), Câmpus Morrinhos, Morrinhos. E-mail: <bioguerino@gmail.com>.

²Docente da UEG, Câmpus Quirinópolis e Morrinhos, GO e curadora do Herbário José Ângelo Rizzo (JAR), Avenida Brasil, 435, Conjunto Hélio Leão, CEP: 75.860-000, Quirinópolis, GO. E-mail: <isamorais1@gmail.com>.

RESUMO: São muitas as polêmicas acerca dos problemas causados com a introdução de *Eucalyptus* spp. (Myrtaceae) fora do seu ambiente de origem. No Brasil *Eucalyptus* tem sido muito cultivado por apresentar características comerciais desejáveis, uma vez que da maioria das espécies desse gênero tudo se aproveita: celulose, madeira e óleos essenciais. Assim, este estudo objetivou realizar uma compilação de dados acerca dos impactos da cultura de *Eucalyptus*. Foi realizada uma revisão narrativa da literatura, juntamente com um levantamento quantitativo, mediante consulta de livros e artigos científicos das bases eletrônicas Scielo, Periódicos CAPES e EBSCO Discovery Service (EDS), relacionados aos impactos causados pela produção em larga escala de *Eucalyptus*. Pode-se constatar que a expansão da eucaliptocultura traz consigo diversos problemas ambientais como a redução da biodiversidade, degradação do solo, problemas relacionados ao consumo excessivo de água e a qualidade da mesma, como também a interferência e efeito tóxico das substâncias liberadas pelo eucalipto durante seu desenvolvimento. No entanto, os trabalhos científicos acerca dos impactos causados ainda são incipientes, tendo sido encontrados 106 artigos de 2008 a 2018. A maioria deles avalia os impactos sobre a qualidade do solo e uma quantidade ínfima sobre a biodiversidade e os problemas sociais, fato preocupante mediante a expansão da produção.

Palavras-chave: Biodiversidade; Espécie Exótica; Eucaliptocultura.

ABSTRACT: There are many controversies about the problems caused by the introduction of *Eucalyptus* spp. (Myrtaceae) outside their original environment. In Brazil, *Eucalyptus* has been highly cultivated because it has desirable commercial characteristics, since most of the species of this genus are used: cellulose, wood and essential oils. Thus, this study aimed to compile data about the impacts of *Eucalyptus* culture. A literature review was carried out, together with a quantitative survey, through the consultation of books and scientific articles from the electronic databases Scielo, CAPES Periodicals and EBSCO Discovery Service (EDS) related to the impacts caused by the large-scale production of *Eucalyptus*. It can be verified that the expansion of eucalyptus plantations brings with it several environmental problems such as the reduction of biodiversity, soil degradation, problems related to excessive water consumption and water quality, as well as the interference and toxic effect of substances released by eucalyptus during development. However, the scientific work on the impacts is still incipient, with 106 articles from 2008 to 2018 found. Most of them assess impacts on soil quality and a small amount on biodiversity and social problems, a matter of concern through the expansion of production.

Keywords: Biodiversity; Exotic Species; Eucalypticulture.

Introdução

O gênero *Eucalyptus* L'Hér. pertence à família Myrtaceae e é nativo da Austrália, apresentando uma grande variedade de espécies e híbridos. O cultivo mundial de *Eucalyptus* tem crescido significativamente por apresentar muitas características comerciais desejáveis, uma vez que dele tudo se aproveita: a celulose para a produção de papel, madeira para a produção de energia, móveis, chapas, construções de casas e óleos essenciais usados de variadas formas na indústria farmacêutica, cosmética entre outras (BERTOLA 2013).

Com a expansão da produção do eucalipto, a árvore exótica, passou a ser tema de debates entre ambientalistas e os que se dedicaram à sua produção. As opiniões se dividem consoante aos interesses e ao nível de conhecimento a respeito do tema (SCOLFORO 2008).

A produção de eucalipto em larga escala tem como pontos positivos a preservação de florestas nativas para a obtenção de produtos de base florestal. Com o crescimento constante da população humana, o uso de produtos como madeira, celulose, carvão vegetal, óleos e energia também são crescentes (IBÁ 2017). As árvores de eucalipto contribuem de forma positiva com o processo de recuperação de solos exauridos e com absorção de CO₂ da atmosfera, diminuindo a poluição e o calor. A geração de produtos de consumo interno e para exportação, impostos e empregos para a população, são pontos positivos da monocultura em relação à economia (VITAL 2007).

Por outro lado, enormes prejuízos são causados ao ambiente com a introdução de uma monocultura de eucalipto. Os problemas ocorrem desde a preparação da área para plantio, devido à utilização de maquinário pesado que causa a compactação do solo, comprometendo a infiltração da água destinada aos lençóis freáticos, uso de insumos agrícolas, desbaste de áreas e construção de estradas (BARBIERI et al. 1997). Com a floresta já estabelecida os problemas estão relacionados ao consumo demasiado de água e nutrientes, alterações nas propriedades do solo e redução da biodiversidade de fauna e flora com os efeitos alelopáticos. A retirada das árvores também acarreta danos ao ambiente, haja vista que com o primeiro corte raso o solo fica desprotegido, provocando o aumento da temperatura e maior impacto da água da chuva no solo, evento que favorece os processos de erosão (TUCCI; CLARKE 1997).

A ocorrência de compostos alelopáticos, principalmente nas folhas, é outro ponto preocupante. Esses compostos prejudicam o desenvolvimento de outras plantas e dificultam o processo de decomposição microbiológica dos resíduos (SILVA; COSTA

2004). As folhas de eucalipto dispersas na serapilheira, durante o período de chuvas, são levadas para rios e lagoas através da lixiviação, e, entrando em contato com o ambiente aquático, liberam constituintes químicos, como os do óleo essencial. A prevalência desses compostos no meio aquoso representa um risco potencial de efeitos prejudiciais aos organismos aquáticos (ABELHO; GRAÇA 1996).

A partir deste viés, o presente estudo objetivou realizar uma compilação de dados com subsídio em estudos acerca dos impactos socioambientais da monocultura de *Eucalyptus*. Pretende-se, com isso, a priori construir uma revisão narrativa que possa proporcionar maiores informações a respeito da eucaliptocultura. Uma revisão narrativa consiste em publicações amplas, apropriadas para descrever e discutir o desenvolvimento de um determinado assunto, sob ponto de vista contextual e teórico (ROTHER, 2007). Em seguida realizar um levantamento da produção acadêmica sobre os impactos da monocultura de eucalipto no período de 2008 a 2018.

Material e métodos

O levantamento bibliográfico foi feito de junho de 2017 a agosto de 2018, mediante consultas a livros, periódicos e artigos científicos, através das bases eletrônicas Scielo, Google scholar e Portal de Periódicos CAPES com filtro para coleção Scopus e EBSCO. A primeira etapa da pesquisa abrangeu uma revisão bibliográfica de obras no âmbito das questões sobre a introdução do eucalipto no Brasil e os impactos positivos e negativos de sua produção em larga escala. As palavras-chave utilizadas na busca online foram “aspectos negativos e positivos da cultura de eucalipto” e “história do eucalipto no Brasil”.

Em seguida foi realizado um levantamento sobre o número de artigos publicados no período de 2008 a 2018 sobre os impactos da monocultura de eucalipto nas principais bibliotecas eletrônicas científicas online já mencionadas. A busca e o critério de inclusão abrangeram as palavras-chave “impactos da monocultura de eucalipto”, sendo utilizadas apenas da forma composta, pois, os termos separados incluem uma variedade de trabalhos que estão fora do contexto da presente pesquisa. Os artigos foram analisados pelo título, palavras-chave e resumo, e retiradas as informações: (i) ano de publicação; (ii) tipo de impacto investigado e (iii) periódico em que o artigo foi publicado. Os artigos foram agrupados de acordo com o tipo de impacto, não considerando se positivo ou negativo.

Resultados e Discussão

Origem e Introdução de *Eucalyptus* spp. no Brasil

Eucalyptus é um dos maiores gêneros de plantas do planeta, tendo sido descrito por L'Héritier em 1789. O gênero está inserido entre as angiospermas da ordem Myrtales e família Myrtaceae. Nativo da Austrália, Papua-Nova Guiné, Timor Leste, Indonésia e Filipinas, com ocorrência nos mais diversos tipos de ambiente, em diferentes regiões, de tropicais até temperadas, extremamente úmidas a aquelas com baixos índices pluviométricos e até mesmo em pico de montanhas nevadas. Tanta diversidade permite encontrar táxons de até 90 metros de altura e com apenas 40 centímetros, com morfologia complexa em relação ao tronco, folhas, inflorescências, frutos e sementes (FLORES et al. 2016).

Não se tem registros precisos sobre a introdução de eucalipto no Brasil. De acordo com as publicações de Andrade (1928), o eucalipto foi introduzido no Brasil em 1868, sendo os primeiros exemplares plantados no Rio Grande do Sul e Rio de Janeiro. Entretanto, existem relatos que em São Paulo já existiam alguns plantios de *Eucalyptus globulus* antes dessa data (VIANA 2004).

Os primeiros exemplares foram usados como plantas decorativas e quebra-ventos, até que Edmundo Navarro de Andrade, após plantar diferentes espécies, percebeu que o eucalipto se destacava quanto ao crescimento rápido, boa quantidade de lenha, bom poder calorífero e boa adaptação ao ambiente brasileiro. Então, por volta do século XX teve início a produção visando a cultura econômica, sendo usados como fonte de energia para o abastecimento da maior ferrovia brasileira, a Companhia Paulista de Estradas de Ferro, sob os cuidados de Navarro, o qual é considerado o pioneiro na produção da silvicultura comercial (HASSE 2006).

A produção de eucalipto em larga escala ganhou força a partir de 1909, quando foi sancionada a Lei nº 5.106, de incentivos fiscais. Os incentivos eram recolhidos do Fundo de Investimento Setorial de Reflorestamento e aplicados mediante apresentação de projeto ao Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF) (LIMA 1996; VIANA 2004).

Com os incentivos fiscais a área plantada de eucalipto teve significativo crescimento, passando de 470.000 para 3,2 milhões de hectares, de 1909 a 1966. Em 1987, esses incentivos foram finalizados. Entretanto, já existia tecnologia suficiente para manter o crescimento da produção de eucalipto no país (PEREIRA et al. 2000). O desmatamento acelerado no interior paulista, para abastecer o setor ferroviário, foi

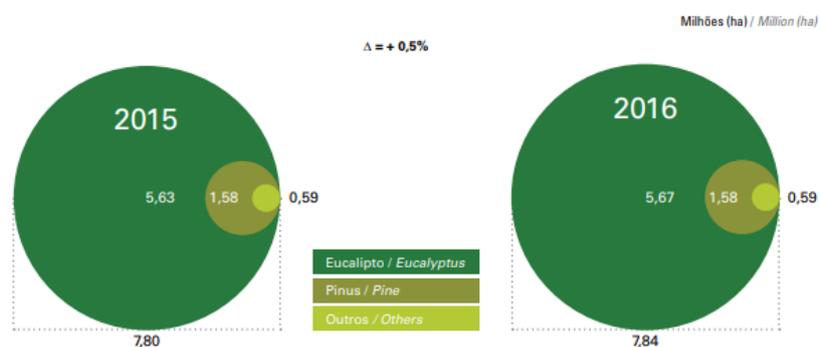
intensificado e, por volta de 1930, já era possível perceber as grandes mudanças provocadas nas paisagens causadas pelo plantio em larga escala do eucalipto (FOELKEL 2005).

Outra contribuição para a ascensão do plantio de eucalipto, segundo Lima (1996), se deve à crise energética nos anos 70, a qual deu grande impulso na demanda de madeira e, conseqüentemente, o aumento do interesse na utilização de eucalipto, contribuindo com a formação de plantações florestais em larga escala. Atualmente, o Brasil está entre os maiores produtores de eucalipto do mundo (BERTOLA 2013).

De acordo com o Relatório Anual de 2017 da IBÁ (Indústria Brasileira de Árvores) a área total de árvores plantadas no Brasil em 2016 teve crescimento de 0,5% em relação a 2015, devido exclusivamente ao plantio de eucalipto (Figura 1). O plantio de eucalipto ocupa 5,7 milhões de hectares da área de árvores plantadas no Brasil, que em 2016 totalizou 7,84 milhões de ha.

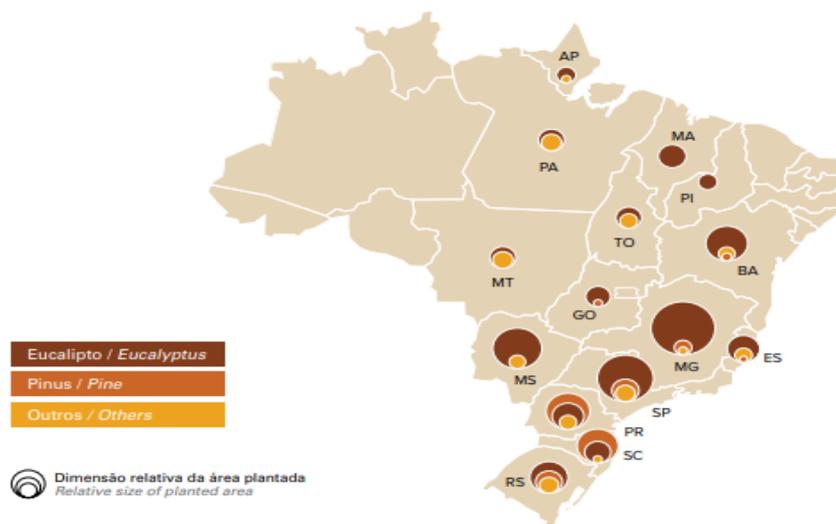
As áreas de plantio de eucalipto estão localizadas, principalmente, nos estados de Minas Gerais (24%), São Paulo (17%) e Mato Grosso do Sul (15%) (Figura 2). Toda a produção é destinada à indústria do segmento de celulose e papel, seguida da produção para comercialização da madeira e, em menor proporção, ao segmento das siderúrgicas e para a produção de carvão vegetal (IBÁ 2017).

Figura 1. Tamanho das áreas dos principais gêneros arbóreos plantados no Brasil em milhões de hectares.



Fonte: IBÁ, 2017.

Figura 2. Florestas plantadas no Brasil por estado e principais gêneros arbóreos.



Fonte: IBÁ, 2017.

Aspectos positivos da produção de *Eucalyptus*

Com a expansão da produção de *Eucalyptus*, o gênero se tornou tema de debates entre ambientalistas e os que se dedicam à sua produção. As opiniões se dividem consoante aos interesses e ao nível de conhecimento a respeito do tema. “*Alguns consideram o eucalipto o “ouro verde do campo”, enquanto outros o acusam de produzir um “deserto verde”, ou o chamam de “o grande vilão do meio ambiente”*” (SCOLFORO 2008, p. 9).

Entre os pontos positivos da produção de eucalipto em larga escala está a contribuição positiva à economia nacional, pois gera produtos de consumo interno e para exportação, impostos e empregos para a população (VITAL 2007). De acordo com dados do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) os produtos florestais contribuíram com a balança comercial, propiciando o crescimento de 30,5% do volume exportado nos primeiros cinco meses de 2018. Paralelo a isso, a geração de renda e emprego também crescem ao longo da cadeia produtiva.

Além das contribuições com a balança comercial do país, a silvicultura também colabora com o meio ambiente (BERTOLA 2013). A partir de acordos como do Protocolo de Kyoto que propõe a redução da emissão de gases como o CO₂, surgiu a criação de um mercado para crédito de carbono a partir das florestas plantadas. Os projetos florestais que incluem florestamentos e reflorestamentos ganham espaço, uma vez que as árvores promovem a fixação de carbono de forma bastante eficiente, durante

seu desenvolvimento (JUVENAL; MATOS 2002). As plantações de eucalipto contribuem com a fixação de carbono especialmente se elas estiverem inseridas em um sistema agrossilvipastoril, o qual consiste no cultivo integrado de eucalipto com espécies agrícolas e pastagem para a criação de bovinos, de forma escalonada no tempo (TSUKAMOTO FILHO et al. 2004).

A implantação de plantios comerciais em áreas degradadas e inaptas à agricultura pode ser uma medida de mitigação das mudanças climáticas, diminuindo a poluição e o calor, por contribuir com a redução da emissão dos gases metano (gás de efeito estufa importante proveniente da atividade microbiana) e dióxido de carbono da atmosfera com a substituição de aço e concreto por madeira (FRITZSON; PARRON 2006).

Outro aspecto enfatizado pelos defensores das áreas plantadas de eucalipto está subsidiado pela preservação de florestas nativas para a obtenção de produtos de base florestal (SCOLFORO 2008). Segundo o relatório anual da IBÁ de 2017 as florestas plantadas reduzem a pressão sobre as florestas naturais, promovendo a conservação da biodiversidade, controle hídrico, polinização, controle do clima, conservação do solo, ciclagem de nutrientes e mitigação dos efeitos das mudanças climáticas, mediante estoque de carbono nas árvores.

Aspectos negativos da produção de *Eucalyptus*

Os impactos causados pela produção de eucalipto em larga escala vão além de uma transformação visual, pois implica em mudanças ambientais e socioambientais (TUCCI; CLARKE 1997). Os prejuízos têm início desde o processo de plantio perdurando até a colheita devido à utilização de maquinário pesado, o que compromete a qualidade física do solo e promove a compactação, interferindo na infiltração da água destinada aos lençóis freáticos. Esses problemas se estendem até a rotação seguinte (JESUS et al. 2015). A introdução de uma plantação de eucalipto em áreas de vegetação natural ou próximo a elas ocasiona alterações na fauna e na flora, principalmente quanto à diminuição da diversidade. Essas alterações são causadas pela sombra, competição por recursos, alelopatia, perturbações no solo (POORE; FRIES 1985) e devido à diminuição de oferta de recursos naturais (principalmente alimentares para a fauna) ao substituir ou reduzir a diversidade vegetal outrora existente no local pelo eucalipto.

A utilização de produtos químicos para a manutenção da monocultura é outro aspecto preocupante. O dossiê realizado pela Associação Brasileira de Saúde Coletiva (ABRASCO) (2015) sobre agrotóxicos, mostra que uma área de 600 mil

hectares recebe cerca de 5.400 litros de glifosato ao longo dos 7 anos de desenvolvimento da árvore. O documento também destaca a utilização de produtos à base de sulfuramida, utilizados para o controle de formigas, os quais integram a lista de substâncias proibidas pela certificadora internacional FSC (Forest Stewardship Council). No Brasil as iscas contendo sulfuramida são utilizadas em grandes quantidades e oferecem riscos a organismos não alvos (RAMOS et al. 2003).

A constante e crescente utilização de agrotóxicos em culturas como a de eucalipto trazem impactos diversos, tanto ambientais quanto sociais. e o uso exacerbado de agrotóxico traz sérios riscos à saúde de trabalhadores e consumidores, provocando doenças graves e até mesmo a morte (PORTO; SOARES 2012).

Ainda no contexto dos problemas socioambientais estão aqueles relacionados com a contaminação do solo e das águas, diminuição da biodiversidade e problemas sociais envolvendo comunidades de pequenos produtores (MOSCA 2008). A falta de planejamento e conhecimento para o plantio e manutenção da área com cultivo de eucalipto, assim como as irregularidades em relação aos limites das margens de rios e com matas nativas são os principais agravantes (VECHI & MAGALHÃES JÚNIOR 2018).

Um grupo de camponeses de uma cidade do Mato Grosso do Sul considera o monocultivo de eucalipto um obstáculo para o desenvolvimento de suas atividades no campo, uma vez que lavouras são perdidas por conta da pulverização de agrotóxicos nos eucaliptais, alterações na dinâmica das comunidades rurais e desequilíbrio biológico (LELIS & AVELINO JR. 2016).

Os problemas sociais como conflitos gerados por disputa de terras, extrativismo, desmatamento de áreas de conservação e falta de água para abastecer municípios e pequenos produtores também são observados com o crescimento da produção de eucalipto (NOBRE & LEITE 2012).

Em regiões de Minas Gerais e também no Maranhão, as quais apresentam períodos extensos de até cinco meses de seca, o acesso à água tem sido comprometido por conta da retirada indiscriminada de água dos poucos rios e aguapés da região para o plantio de eucalipto. Além disso, os conflitos causados pela disputa por terras de uso coletivo por quilombolas e camponeses também são comuns nessa região. As áreas de vegetação nativas povoadas por estas comunidades tradicionais estão ameaçadas com a formação de ilhas cercadas por plantas exóticas, sendo um dos problemas ambientais o

isolamento das populações nativas da flora, o que compromete o extrativismo (BARROS & CAMPOS 2011).

A pesquisa de Ramos et al. (2000) abrange diversos relatos de quilombolas, indígenas e trabalhadores vítimas dos problemas causados em decorrência da implantação de grandes áreas de eucalipto e também pelas empresas que processam a matéria-prima. Nos relatos são feitas denúncias que vão de problemas ambientais que alteram o modo de vida dos nativos à falta de condições de trabalho e maus tratos nas empresas.

Na cartilha organizada pela ONG Repórter Brasil (2011) os autores relatam que a expansão da monocultura de eucalipto e pinus no Brasil está intrínseca à denúncias e flagrantes de violação dos direitos trabalhistas e humanos. Isso contribui para que os nomes dos produtores destas árvores exóticas estejam presentes com frequência na lista de trabalho escravo. Essas denúncias acontecem devido a problemas como a falta de programas para a prevenção de acidentes, expondo os trabalhadores a riscos constantes em maquinários pesados e a agrotóxicos, que além de acidentes podem levar ao desenvolvimento de doenças crônicas (BARROS & CAMPOS 2011).

Silva e Marin (2010) realizaram uma análise, através de entrevistas, acerca dos impactos socioeconômicos do cultivo de eucalipto em um município do Rio Grande do Sul. Segundo eles a produção de eucalipto cresceu no município por incentivo da prefeitura e cooperativa da cidade. Como a produção do eucalipto demora para ser efetivada, carece de menos mão de obra e o retorno financeiro é demorado, isso ocasionou diminuição do trabalho para as famílias no campo, e, conseqüentemente, contribuiu para o aumento no êxodo rural. A pesquisa destaca também que o crescimento na produção de eucalipto gerou conflitos, pois as árvores sombreiam as culturas vizinhas, prejudicando a produção de outras atividades econômicas no entorno, e consistiu em boa fonte de renda e acúmulo de capital para empresários.

Em um estudo feito em comunidades da Etiópia Zerga (2015) relata que as desvantagens trazidas pelo eucalipto, como a redução da produção de culturas alimentares por conta da diminuição de área para cultivo, sombreamento e efeitos alelopáticos de eucalipto, são ofuscadas pelo retorno financeiro.

A capacidade inflamável do eucalipto é outro ponto que gera preocupação. Catry, Bugalho e Silva (2007) avaliam que em um incêndio ocorrido em Portugal em 2003, na Tapada Nacional de Mafra, o eucalipto foi o responsável pelo prejuízo. A área citada era composta, na época, por grande diversidade, incluindo árvores nativas e

exóticas como eucalipto. Durante o incêndio foi observado que as árvores “preferidas” pelo fogo eram de eucalipto e 90 % da área que era composta apenas por eucalipto foi consumida pelo fogo.

Burger e Richter (1991) consideram que o teor de lignina e a presença de materiais extrativos inflamáveis como óleos, resinas e ceras, especialmente quando em maiores quantidades, como nas plantas adultas, aumentam a combustibilidade e o poder calorífico das árvores. Essas características são apresentadas pelo eucalipto. O estudo realizado por Santana (2009) que analisa a composição da madeira do eucalipto com enfoque energético, mostra que o eucalipto apresenta grande quantidade de lignina com pouca variação quanto à idade, bem como a presença de óleos essenciais que são abundantes em suas folhas, compostos que favorecem o potencial energético.

Uma matéria publicada no jornal “O Jornal Econômico” em 2017, após um dos maiores incêndios já registrados em Portugal, aponta que o eucalipto foi o responsável pela proporção que o incêndio ocorreu. O eucalipto apresenta capacidade de queima rápida e produz grande quantidade de biomassa, como folhas e cascas altamente inflamáveis, que na presença de ventos fortes pode projetar material incandescente a quilômetros de distância (SAMPAIO 2017). O fogo provoca diversas alterações no ambiente, tanto na estrutura quanto na dinâmica e funcionalidade do ecossistema, no entanto o eucalipto apresenta adaptações, recuperando rapidamente a produção de biomassa que favorecem o risco de um novo incêndio (ANCHALUISA & SUÁREZ 2013)

Essa adaptação também é mostrada por Catry, Bugalho e Silva. (2007) que afirmam que as espécies de eucalipto apresentam adaptações ao fogo, com boa resistência e capacidade de regeneração rápida, favorecidas pelo fato de não apresentarem consumidores. Sendo assim, seus brotos iniciais têm vantagens por não sofrerem com a herbivoria, a qual ocorre em espécies nativas e estas são impedidas de regenerar.

As modificações, de ordem natural ou artificial da cobertura vegetal de bacias hidrográficas, influenciam nas variações do ciclo hidrológico, produzindo os mais variados impactos sobre o ambiente e a disponibilidade dos recursos hídricos (TUCCI & CLARKE 1997). Em florestas de rápido crescimento com retirada de biomassa florestal de forma sistemática e por cortes rasos ocorre um desequilíbrio nutricional, diferente de uma floresta nativa, de área não perturbada, onde os nutrientes

introduzidos no ecossistema pela chuva e pelo intemperismo geológico estão em equilíbrio com os nutrientes perdidos para os rios e lençol freático (CAMARA 1999).

A água é o alimento que a planta mais necessita. Como os estômatos precisam ficar abertos para a planta se alimentar de gás carbônico e de oxigênio, a água se perde com facilidade por transpiração. Por essa razão, atribui-se ao eucalipto a fama de grande consumidor de água do solo. A faixa de evapotranspiração de florestas de eucalipto está entre 800 a 1200 mm/ano. Isso significa que plantar florestas de eucaliptos onde chove menos que 800 mm por ano dependerá de encontrar as espécies adaptadas a isso, e não se pode esperar grandes produtividades (FOELKEL, 2005, p. 7).

As espécies de eucalipto são consideradas popularmente como grandes consumidoras de água, principalmente durante seu desenvolvimento. No entanto, ocorrem variações neste consumo de acordo com a região onde a plantação está inserida (TADEU 2014). Em relação à quantidade de água consumida é necessário considerar as interferências zonais, pois, as plantas respondem de forma diferente de acordo com a disponibilidade de recursos (MOSCA 2008).

O sistema radicular é responsável por parte do consumo de água do solo, e, no caso do eucalipto, o tamanho e capacidade de crescimento em profundidade são variáveis de espécie para espécie e por fatores ambientais (LIMA 1996). Em solos que não apresentam nenhum impedimento rochoso, camadas compactadas e nem lençol freático superficial as raízes jovens podem crescer rapidamente, atingindo 1,5 a 2 metros de profundidade e realizando a coleta de água ao longo do seu perfil (FOELKEL 2005).

Para Oliveira, Menegasse e Duarte (2002) a plantação de eucalipto é altamente impactante aos recursos hídricos, ocasionando a diminuição da recarga de água subterrânea, quando comparada à vegetação nativa do Cerrado. Isso se deve à dificuldade em manter o equilíbrio da demanda evapotranspirativa por ser espécie exótica e não adaptada à manutenção do equilíbrio hídrico local.

Vital (2007) destaca que o equilíbrio hídrico depende da interação entre a evapotranspiração e o volume pluviométrico. A redução da recarga de água subterrânea ocorre quando o consumo de água pela floresta é maior que o volume de chuvas. Segundo esse autor no Brasil o volume de água evapotranspirado pelas plantações de eucalipto é inferior ao de precipitação pluviométrica nas regiões onde se concentram as maiores áreas de produção. Ainda segundo este autor os impactos sobre os lençóis freáticos devem ser analisados caso a caso, pois, o consumo de água pode variar dependendo da localização da plantação de eucalipto em relação à bacia hidrográfica. Se o plantio ocorrer em áreas como as zonas ripárias, os eucaliptos consomem muita

água, por conta da maior disponibilidade, e, conseqüentemente, podem gerar impactos sobre os lençóis freáticos.

A cobertura florestal tem grande importância para garantir a chegada da água ao solo. Durante a precipitação da chuva em uma floresta a água pode cair diretamente no solo, através de aberturas no dossel ou ficar interceptada na cobertura do dossel. Dessa maneira a água chega ao solo escoando entre os galhos, folhas e troncos (CONSENSA 2012). Um fator considerado importante nesse processo é a densidade populacional, a qual influencia na quantidade de água do solo, uma vez que a precipitação pluviométrica interna é menor quando os espaçamentos entre as plantas são menores (LEITE et al. 1999). Esse processo também interfere na qualidade do solo, visto que plantações florestais, especialmente em solos já degradados, carecem da água das chuvas para a adição de nutrientes e a ciclagem bioquímica, essenciais para a manutenção da produtividade ao longo do tempo (CAMARA 1999).

Comparando um eucaliptal e um fragmento de Mata Atlântica constatou-se que na floresta de eucalipto mais água da chuva chega até o solo, fato explicado pelo índice de área foliar que é maior na Mata Atlântica, fazendo com que uma maior quantidade de água seja interceptada pela copa. No entanto, a chegada de mais água no solo provoca dois efeitos no eucaliptal: o primeiro é que mais água pode estar disponível no solo, bem como no lençol freático; e o segundo é que mais água caindo no solo pode aumentar a erosão (VITAL 2007).

Além do dano ao equilíbrio hídrico, as alterações provocadas no entorno de lagos, com a substituição da vegetação natural para a de eucalipto, comprometem a qualidade das águas, afetando a biota aquática, uma vez que as folhas de eucalipto liberam compostos naturais durante a decomposição (ABELHO & GRAÇA 1996).

Uma alta concentração de fenóis é observada no início do processo de decomposição do eucalipto. Isso contribui para um retardamento da decomposição, pois, dificulta a colonização por microrganismos e depois por invertebrados (TEVISAN & HEPP 2007). Elevados teores de lignina e compostos aromáticos (como no caso da estrutura celular de eucaliptos) conferem ao material alta resistência, dificultando a penetração dos organismos do solo, enquanto elevados teores de carboidratos solúveis ou celulose promovem menor resistência, favorecendo a ação dos detritívoros (MOREIRA & SIQUEIRA 2006). Os polifenóis exercem efeito adstringente tornando o material mais resistente (GONÇALVES 1995), menos palatáveis aos invertebrados e quanto mais polifenol a folha contém mais tempo leva para decompor (MASON 1980).

Além disso, a presença de uma cutícula espessa nas folhas de eucalipto contribui para as baixas taxas de decomposição. Foi observado em microscópio eletrônico que os fungos só podem penetrar no mesófilo de folhas de eucalipto através dos estômatos e fissuras na cutícula cerosa (CANHOTO & GRAÇA 1999).

As folhas de eucalipto dispersas na serapilheira, durante o período de chuvas são levadas para rios e lagoas através da lixiviação, e, entrando em contato com o ambiente aquático, liberam constituintes químicos, como os do óleo essencial. Logo, a prevalência desses no meio aquoso representa um risco potencial de efeitos prejudiciais aos organismos aquáticos (ABELHO & GRAÇA 1996).

Hack (2009) afirma que a presença de eucaliptais próximo a curso d'água contribui com o aumento da matéria orgânica e da quantidade de fenóis quando comparados a locais com vegetação nativa. Esse material é proveniente do processo de lixiviação dos resíduos do eucalipto e do processo de decomposição de suas folhas.

Canhoto e Laranjeira (2007) afirmam que compostos fenólicos presentes nas folhas de eucalipto são liberados na água por um processo de lixiviação e formação de poças temporárias em eucaliptais. A presença desses compostos compromete a qualidade da água e a sobrevivência dos organismos aquáticos. Abelho e Graça (1996) constataram que a biodiversidade de hifomicetos e insetos aquáticos diminuiu em cursos de água cercados por eucaliptos. Esses hifomicetos tem papel fundamental no processo de decomposição dos detritos, uma vez que são responsáveis pela colonização das folhas, deixando-as mais palatáveis para serem consumidas pelos detritívoros (GESSER et al. 1999).

Número de artigos publicados no período de 2008 a 2018

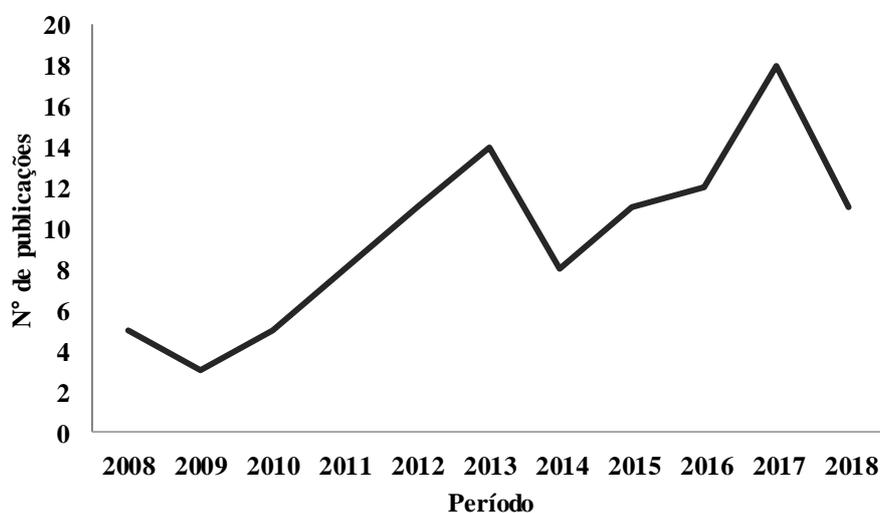
De acordo com a busca pela internet foram encontrados 62 resultados para plataforma Scielo, 127 para Google Scholar, 774 no Portal Capes com filtro para coleção Scopus e 77 para EBSCO. No entanto, nem todos os artigos encontrados tinham as informações contextualizadas na presente pesquisa, e alguns se repetiram entre as plataformas, tendo sido contados uma única vez (Tabela 1).

Tabela 1. Número de trabalhos publicados de 2008 a 2018 nas principais bibliotecas eletrônicas científicas online (BECO).

BECO	Nº de artigos encontrados	Nº de artigos selecionados
<i>Scielo</i>	62	30
<i>Google Scholar</i>	127	32
<i>Scopus</i>	774	31
<i>EBSCO</i>	77	13
Total	1.040	106

O número de publicações mundiais durante o período aqui amostrado apresentou crescimento contínuo de 2009 a 2012 e de 2014 a 2017, e queda no crescimento nos anos de 2008, 2013 e 2017 (Figura 3). Logo, durante sete dos dez anos analisados as publicações com pesquisas relacionadas ao impacto da produção de eucalipto aumentaram.

Figura 3. Número de publicações mundiais sobre os impactos de eucalipto no período de 2008 a 2018.



Fonte: A autora

Cerca de 50% da produção científica analisada, avaliando os impactos da eucaliptocultura, foram realizadas no Brasil (Tabela 2). Entre 2008 e 2014 e em 2016 o número de pesquisas realizadas por ano, no país, foi superior ao resto do mundo, tendo sido menor apenas em 2015, 2017 e 2018 (Tabela 3).

Tabela 2. Agrupamento dos tipos de impactos da eucaliptocultura relatados nos artigos selecionados e número de publicações entre 2008 e 2018 no mundo e no Brasil (BR).

Tipo de impacto	Descrição dos impactos inerentes à eucaliptocultura	Nº de publicações	
		Mundiais	BR
Qualidade do solo	Considera os impactos à qualidade nutricional e microrganismos do solo.	31	19
Ambiental	Considera os impactos ao meio ambiente de maneira abrangente.	13	7
Diversidade Animal	Considera os impactos somente à fauna.	13	7
Recursos hídricos	Considera os impactos na qualidade da água e consumo.	12	6
Produtividade	Abrange pesquisas que visam maior rentabilidade com a produção de eucalipto.	11	6
Sociais	Consideram os problemas sociais relacionados à expansão da monocultura de eucalipto.	8	6
Econômico	Considera as alterações positivas e negativas na economia.	6	3
Biodiversidade	Consideram os impactos que abrangem fauna e flora.	4	1
Sequestro de carbono	Considera a capacidade do eucalipto em assimilar carbono.	4	0
Climático	Consideram alterações climáticas provocadas pela monocultura de eucalipto.	2	0
Alelopático	Considera a liberação de substâncias de efeito tóxico.	1	0
Diversidade Vegetal	Considera os impactos ocasionados à vegetação nativa.	1	1
Total		106	56

Tabela 3. Publicações mundiais sobre os impactos de eucalipto no período de 2008 a 2018.

Ano	Referências	
	Outros países	Brasil
2008	Jesus Hitzchky; Carraro; Scanavaca Júnior	Ceccon/ Maquere et al./ Cerqueira Neto; Silva/ Almeida et al.
2009	Larrañaga; Basaguren; Pozo	Beldini et al./Silva et al.
2010	Crous et al.	Baesso; Ribeiro; Silva/Leite et al./ Vergutz et al./Coutinho et al.
2011	Hung et al./Santiago; Ortiz; Pozo/ Vaz et al.	Leite et al./Palha et al./Alcântara Neto et al./ Aburjaile et al./Vilela
2012	Huu-Dung; Yeo-Chang/Boulay; Tacconi; Kanowski/ Agnès et al./ Battaglia; Bruce/Singwane; Malinga	Kröger/ Gheler-Costa et al./ Cavalcante; Mendes/Squarisi; Cervila/Silva et al./Botelho; Almeida; Ferreira
2013	Bouillet et al./ Martins et al./Pagella et al./Chen et al./Stanturf et al./ Chen et al./ Chanie et al.	Farinaci; Ferreira; Batistella/ Bouillet et al./Kersch-Becker; Buss; Fosenca/Moura; Lacerda; Ramos/Almeida; Ribeiro; Leite/Paes et al./Dias et al./ Torre
2014	Switzer/Zhao et al.	Costa-Milanez et al./ Tadeu/ Galharte; Villela; Crestana/Pincelli; Seixes; Nunes/Moraes et al./Suzuki et al.
2015	Mang; Brodie/ Farahat; Linderholm/ Li et al./ Martínez et al./ Zerga/ Zhang et al.	Corassa et al./ Jesus et al./ Cantarelli et al./ Ayer et al./ Nascimento; Canale; Silva
2016	Wang et al./ Otuba; Johansson/ Ehrenbergerová et al./ Epron et al./ Daba	Lino et al./Santos et al./ Ribeiro/ Justino et al./ Candido et al./ Valduga; Zenni; Vitule/Andrade
2017	Tadesse; Tafere/ Yang et al./ D'Amato et al./ Zhou et al./ Teixeira et al./Fierro et al./ Tchichelle et al./ Gonçalves/ Cordero-Rivera; Álvarez; Alvarez/ Quinteiro et al./ Abdelmigid; Morsi	Cruz et al./ Augustynczik; Arce; Silva/ Andrade et al./Silva et al./ Lima et al./ Tacca; Klein; Preuss
2018	Martello et al./ Chu et al./Noumi et al./ Guedes et al./Sun et al./ Liu et al./ Amazonas et al./ Pozo; Säumel	Ribeiro; Isbaex; Valverde/ Pinto; Negreiros/ Vechi; Magalhães Júnior

Considerando o tipo de impacto abordado por cada artigo, observa-se que aqueles inerentes à qualidade do solo (31) foram os mais abordados nas publicações dos últimos dez anos. Em segundo lugar, têm-se os estudos relacionados aos impactos ao meio ambiente de maneira geral e na diversidade animal (13 cada), seguidos pelos impactos nos recursos hídricos (12) e na produtividade (11) (Tabela 2).

Os artigos foram publicados em 71 periódicos, sendo que a maior parte (77%) apresenta apenas um artigo publicado sobre o assunto durante o período analisado. Das 16 revistas que apresentaram mais de uma publicação, a Revista

Brasileira de Ciência do Solo se destaca com dez publicações, correspondendo a 14% do total, seguida pelos periódicos *Forest Ecology and Management* com oito publicações e Revista *Árvore* com cinco.

Diante desses resultados, pode-se inferir que foram realizadas poucas pesquisas inerentes aos impactos da eucaliptocultura nos últimos dez anos, principalmente quanto à avaliação sobre os efeitos na biodiversidade e os sociais. Tal resultado é preocupante diante da contínua expansão da monocultura do eucalipto, em especial no Brasil como foi apresentado no trabalho.

Considerações Finais

Os aspectos positivos da eucaliptocultura estão associados à economia, uma vez que ocorre a geração de empregos e impostos a partir da venda interna e exportação de produtos, como a madeira e celulose, e ao meio ambiente quanto à capacidade de fixação de CO₂ e ao fato de preservar a mata nativa para extração de matéria-prima.

Entretanto, segundo dados da literatura científica os aspectos negativos da eucaliptocultura são maiores que os positivos. A produção do eucalipto ocupa grandes áreas, podendo limitar e/ou ocupar regiões de comunidades naturais e gerando conflitos por disputa de terras e água; compromete a disponibilidade e qualidade da água; oferece riscos à fauna e flora, com a redução da biodiversidade; as folhas do eucalipto não são palatáveis devido à altas concentrações de taninos, e tem propriedade alelopática, o que compromete o desenvolvimento de outros vegetais no seu entorno, e pode causar efeito tóxico quando liberadas na água.

A produção acadêmica sobre os impactos da produção de eucalipto nos últimos dez anos foi baixa, principalmente se considerarmos que a eucaliptocultura tem crescido anualmente, em especial no Brasil. Dessa forma, é necessário que mais estudos sejam produzidos sobre os impactos dessa monocultura em larga escala, principalmente os direta e indiretamente relacionados com os impactos socioambientais.

Referências

- Abelho M, Graça MAS 1996. Effects of eucalyptus afforestation on leaf litter dynamics and macroinvertebrate community structure of streams. *J Hydro*, 324 (3): 195–204.
- Abdelmigid HM, Morsicd MM 2017. Cytotoxic and molecular impacts of allelopathic effects of leaf residues of *Eucalyptus globulus* on soybean (*Glycine max*). *J. Gen. Eng. Biotechnology* 15(2): 297-302.

Alcantara Neto F et al 2011. Compartimentos de carbono em latossolo vermelho sob cultivo de eucalipto e fitofisionomias de cerrado. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, 35(3): 849-856.

Almeida AQ, Ribeiro A, Leite FP 2013. Modelagem do balanço hídrico em microbacia cultivada com plantio comercial de *Eucalyptus grandis* x *urophylla* no leste de Minas Gerais, Brasil. *Rev. Árvore*, 37(3):547-556.

Almeida, TM et al 2008. Reorganização socioeconômica no extremo sul da Bahia decorrente da introdução da cultura do eucalipto. *Soc. nat.* 20(2):5-18.

Aburjaile SB, Silva MP, Batista EAFS, Barbosa LPJL, Barbosa FHF 2011. Pesquisa e caracterização da diversidade microbiológica do solo, na região de São José do Buriti – MG, em decorrência da substituição de cobertura florestal nativa (cerrado) por plantações de eucalipto. *Cien. Ecuatorial* 1(2): 69-81.

Anchaluisa S, Suárez E 2013. Efectos del fuego sobre la estructura, microclima y funciones ecosistémicas de plantaciones de eucalipto (*Eucalyptus globulus*, Myrtaceae) en el Distrito Metropolitano de Quito, Ecuador. *Avances*, 5(2): 14-23.

Andrade EN 1928. *A cultura do Eucalyptus*. 1. ed., Typographia Brazil de Rothschild e Cia, São Paulo, 154 pp.

Augustynczyk ALD, Arce JE; Silva ACL 2017. Implementing minimum area harvesting blocks in an optimized forest planning model. *Rev. Árvore*, 41(1): e410118 <http://dx.doi.org/10.1590/1806-90882017000100018>.

Ayer J, Olivetti D, Mincato R, Silva M 2015. Erosão hídrica em Latossolos Vermelhos distróficos. *Pesq. Agropec*, 45(2): 180-191.

Baesso RCE, Ribeiro A, Silva MP 2010. Impacto das mudanças climáticas na produtividade do eucalipto na região norte do Espírito Santo e sul da Bahia. *Cien, Florestal*, 20(2): 335-344.

Battaglia M, Bruce J, Direct climate change impacts on growth and drought risk in blue gum (*Eucalyptus globulus*) plantations in Australia. *Journal Australian Forestry*, 80 (4): 216-227.

Beldini TP et al. 2009. O efeito da silvicultura de plantio na matéria orgânica do solo e nas frações granulométricas na Amazônia. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, 33(6): 1593-1602.

Barbieri AF, Guerra CB, Torres HG, Simões RF, Reis AV, Scliar C, Abdo ROO, Lins SEB 1997. Atividades antrópicas e impactos ambientais. In: PAULA J A *Biodiversidade, população e economia: uma região de Mata Atlântica*, UFMG, Belo Horizonte, p. 271-344.

Barros CJ, Campos A. 2011. *Deserto verde: os impactos do cultivo de eucalipto e pinus no Brasil*. Repórter Brasil – Organização de Comunicação e Projetos Sociais, 14 pp.

Bertola A, 2013. *Eucalipto – 100 anos de Brasil – “Falem mal, mas continuem falando de mim!”*, V&M Florestal Ltda, Curvelo, 91 pp.

Boulay A, Tacconi L, Kanowski P 2012. Drivers of adoption of eucalypt tree farming by smallholders in Thailand. *Agroforestry Systems* 84(2): 179-189.

- Botelho AC, Almeida JG, Ferreira MGR 2012. O avanço dos “eucaliptais”: análise dos impactos socioambientais em territórios camponeses no leste maranhense. *Rev. Percurso*, 4(2): 79-94.
- Bouillet JP et al. 2013. *Eucalyptus* and *Acacia* tree growth over entire rotation in single- and mixed-species plantations across five sites in Brazil and Congo. *Forest Ecology and Management*, 301 (1): 89-101.
- Burger LM, Richter HG, 1991. *Anatomia da madeira*, Nobel, São Paulo, 154 pp.
- Câmara CD, 1999. *Efeitos do corte raso de eucalipto sobre o balanço hídrico e a ciclagem de nutrientes em uma microbacia experimental*, Dissertação Mestrado, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 103 pp.
- Candido BM et al 2014. Erosão hídrica pós-plantio em florestas de eucalipto na bacia do rio Paraná, no leste do Mato Grosso do Sul. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*. 38(5):1565-1575.
- Canhoto C, Laranjeira C 2007. Leachates of *Eucalyptus globulus* in intermittent streams affect water parameters and invertebrates. *Int Rev. Hydro*, 92(2): 173-182.
- Canhoto C; Graça MAS 1999. Leaf barriers to fungal colonization and shredders (*Tipula lateralis*) consumption of decomposing *Eucalyptus globulus*. *Microb. Ecol*, 37: 163–172.
- Cavalcante RBL, Mendes CAB 2012. Modelagem do balanço hídrico em povoamentos de eucalipto sob diferentes manejos como auxílio ao gerenciamento do impacto hidrológico da atividade. *Rev. Ambient. Água*, 7(1): 268-280.
- Cantirelli EB, Fleck MD, Granzoto F, Corossa JN, D’Ávila M 2015. Diversidade de formigas (Hymenoptera: formicidae) da serrapilheira em diferentes sistemas de uso do solo. *Ciência Florestal*, 25(3): 607-616.
- Catry F, Bugalho M, Silva J 2007. *Recuperação da floresta após o fogo: O caso da Tapada Nacional de Mafra*, CEABN, Lisboa, 40 pp.
- Ceccon E 2008. Production of bioenergy on small farms: A two-year agroforestry experiment using *Eucalyptus urophylla* intercropped with rice and beans in Minas Gerais, Brazil. *New Forests*, 35(3): 285-298.
- Cerqueira Netto SPG, Silva ABM 2008. EUCALIPTIZAÇÃO: um processo de especialização do Extremo Sul da Bahia? *Rev. Geo Agrária*, 6(3): 85-108.
- Chanie T, Collick AS, Adgo E, Lehmann CJ, Steenhuis TS 2013. *J. Hydrol. Hydromech*, 61(1): 21-29.
- Coutinho RP, Urquiaga S, Boddey RM, Alves BJR, Torres AQA, Jantalia CP 2010. Estoque de carbono e nitrogênio e emissão de N₂O em diferentes usos do solo na Mata Atlântica. *Pesq. agropec. bras.*, 45(2): 195-203.
- Chen F et al. 2013. Changes in soil microbial community structure and metabolic activity following conversion from native *Pinus massoniana* plantations to exotic *Eucalyptus* plantations. *Forest Ecology and Management*, 291(1): 65-72.

- Chen F, Zheng H, Kai Z, Ouyang Z 2013. Non-linear impacts of Eucalyptus plantation stand age on soil microbial metabolic diversity. *Journal of Soils and Sediments* 13(5): 887-894.
- Consensa CB 2012. *Precipitação pluviométrica e interna em povoamentos de Eucalyptus spp. em Rosário do Sul, RS*. Dissertação Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 95 pp.
- Corassa JN, Faixo JG, Andrade Neto VR, Santos IB 2015. Biodiversidade da mirmecofauna em diferentes usos do solo no Norte mato-grossense. *Comunicata Scientiae*, 6(2): 154-163.
- Costa-Milanez CB et al 2014. Are ant assemblages of Brazilian veredas characterised by location or habitat type? *Braz. J. Biol.*, 4(1):89-99.
- Crous KY, Zaragoza-Castells J, Löw L, Tissue MG, Barton Cvm, Gimeno TE, Atkin OK 2010. Seasonal acclimation of leaf respiration in Eucalyptus saligna trees: impacts of elevated atmospheric CO₂ and summer drought. *Global Change Biology*, 17(4): 1560-1576.
- Cruz PPN et al 2017. Hydrological modeling of the Ribeirão das Posses - An assessment based on the Agricultural Ecosystem Services (AgES) watershed model. *Rev. Ambient. Água*, 12(3): 351-364.
- Daba M 2016. The Eucalyptus Dilemma: The Pursuit for Socio-economic Benefit versus Environmental Impacts of Eucalyptus in Ethiopia. *J. Nat. Sci. Research* 6(19): 127-137.
- Dias RA. et al 2013. Shifts in composition of avian communities related to temperate-grassland afforestation in southeastern South America. *Iheringia, Sér. Zool.*, 103(1): 12-19.
- D'Amato D, Rekola M, Wan M, Cai D, Toppinen A 2017. Effects of industrial plantations on ecosystem services and livelihoods: Perspectives of rural communities in China. *Land Use Policy* 63: 266-278.
- Epron D, Tchichelle S, Nouvelion Y, Mareschal L 2016. No isotopic evidence for a differential mineralization of old soil organic matter in sandy, nutrient-poor, tropical soils under eucalypts and acácias. *European Journal of Soil Biology*, 76: 92-94.
- Ehrenbergerová L, CiencialE, Kučera A, Guy L, Habrová H 2016. Carbon stock in agroforestry coffee plantations with different shade trees in Villa Rica, Peru. *Sistemas Agroflorestais* 90 (3): 433-445.
- Farahat E, Linderholm HW 2015. Nutrient resorption efficiency and proficiency in economic wood trees irrigated by treated wastewater in desert planted forests. *Agricultural Water Management*, 155: 67-75.
- Farinaci JS; Ferreira LC; Batistella M 2013. Forest transition and ecological modernization: eucalyptus forestry beyond good and bad. *Ambient. soc.*, 16(2):25-46.
- Flores TB, Alvares CA, Souza VC, Stape JL 2016. *Eucalyptus no Brasil: Zoneamento climático e guia de identificação*. IPEF, Piracicaba, 448 pp.

- Foelkel C 2005. Minerais e nutrientes das árvores dos eucaliptos: Aspectos ambientais, fisiológicos, silviculturais e industriais acerca dos elementos inorgânicos presentes nas árvores. In Foelkel C, *Eucalyptus Newsletter* [online book], p. 1-133.
- Fritzsos E, Parron LM 2016. Plantações florestais comerciais e a água. In Embrapa Florestas (Org). *Plantações florestais: geração de benefícios com baixo impacto ambiental*, EMBRAPA, Colombo, p. 37-46.
- Galharte CA, Villela JM, Crestana S 2014. Estimativa da produção de sedimentos em função da mudança de uso e cobertura do solo. *Rev. bras. eng. agríc. ambient.*,18(2): 188-193.
- Gessner MO, Chauvet E, Dobson M 1999. A perspective on leaf litter breakdown in streams. *Oikos*, 85(2): 377–384.
- Gleler-Costa C, Vettorazzi CA, Pardini R, Verdade LM 2012. The distribution and abundance of small mammals in agroecosystems of southeastern Brazil. *Mammalia* 76(2):185-191.
- Gonçalves JLM 1995. Efeito do cultivo mínimo sobre a fertilidade do solo e ciclagem de nutrientes. In: 1º Seminário sobre cultivo mínimo do solo em florestas, Curitiba, Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, p. 43 - 60.
- Hack CS, 2009. *Monitoramento da qualidade de água e caracterização de resíduos florestais em uma microbacia sob a influência do cultivo de eucaliptos no sul do Brasil*, Dissertação Mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 101 pp.
- Hasse G 2006. *Eucalipto: histórias de um imigrante vegetal*, JÁ Editores, Porto Alegre, 127 pp.
- Hung TD, Herbohn JL, Lamb D, Nhan HD 2011. Growth and production varies between pair-wise mixtures and monoculture plantations in North Viet Nam. *Fuel and Energy Abstracts* 262(3):440-448.
- Huu-Dung N, Yeo-Chang Y 2012. Optimum harvesting time and clone choices for eucalyptus growers in Vietnam. *Forest Policy and Economics* 15: 60–69.
- IBÁ, 2017. [homepage on the Internet]. Relatório 2017. [updated 2017 May 10; cited 2017 May 16]. Available from: <http://iba.org/pt/biblioteca-iba/publicacoes>.
- Jesus GL, Almeida LFJ, Santos AS, Leite FP, Neves JCL 2015. Produtividade do eucalipto, atributos físicos do solo e frações da matéria orgânica influenciadas pela intensidade de tráfego e resíduos de colheita. *R. Bras. Ci. Solo*, 39: 1190-1203.
- Jesus-Hitzchky, KRE, Carraro AP, Scanavaca Júnior L 2008. Assessment of Impacts of the Forest Incentive Program based on Eucalyptus Monoculture with the ‘INOVA-Tec System’. *Journal of Technology Management & Innovation*, 3(4): 119-132.
- Justino LL et al 2016. O clado Merianthera e as tribos Merianieae e Microliceae (Melastomataceae) na Serra Negra, Minas Gerais. *Rodriguésia*, 67(3): 823-838.
- Juvenal TL, Matos RLG 2002. O setor florestal no Brasil e a importância do reflorestamento. *BNDES Setorial*, 16: 3-30.

- Larrañaga A, Basaguren A, Pozo J 2009. Impacts of Eucalyptus globulus Plantations on Physiology and Population Densities of Invertebrates Inhabiting Iberian Atlantic Streams. *Hydrobiology* 94(4): 497-511.
- Leite FP, Barros NF, Novais RF, Baretta D, Vieira HC 1999. Relações hídricas em povoamento de eucalipto com diferentes densidades populacionais. *R. Bras. Ci. Solo*, 23: 9-16.
- Leite FP et al. 2010. Alterations of soil chemical properties by eucalyptus cultivation in five regions in the Rio Doce Valley. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, 34(3): 821-831.
- Leite FP et al 2011. Nutrient relations during an eucalyptus cycle at different population densities. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, 35(3): 949-959.
- Lelis LRM, Avelino Jr FJ 2016. Territorialização do complexo eucalipto-celulose-papel e resistência camponesa em Três Lagoas – MS. *Cam. Geo.*, 17 (58): 81-102.
- Li C, Shi L, Osterman A, Xu J 2015. Indigenous trees restore soil microbial biomass at faster rates than exotic species. *Plant and Soil* 396(1): 151–161.
- Lima WP 1996. *Impacto ambiental do eucalipto*, USP, São Paulo, 301 pp.
- Lino IAN et al 2016. Soil Enzymatic Activity in Eucalyptus Grandis Plantations of Different Ages. *Land Degradation e Development*, 27(1): 77-82.
- Kersch-Becker MF, Buss SR, Fonseca CR 2013. Conservation of an Ant-plant Mutualism in Native Forests and Ecologically-managed Tree Monocultures. *Biotropica*, 45(4):520–527.
- Kröger M 2012. The Expansion of Industrial Tree Plantations and Dispossession in Brazil. *Development and Change* 43(4): 947-973.
- Mason CF, 1980. *Decomposição*, E.P.U, São Paulo, 63 pp.
- Mang SL, Brodie JF 2015. Impacts of non-oil tree plantations on biodiversity in Southeast Asia. *Biodiversity and Conservation* 24(14): 3431-3447.
- Martins C, Natal-da-Luz T, Sousa JP, Gonçalves MJ, Salgueiro L, Canhoto C 2013. Efeitos de Óleos Essenciais de Folhas de *Eucalyptus globulus* em Organismos do Solo Envolvidos na Degradação de Folhas. *PLoS ONE* 8 (4): 1-10.
- Martinez CL et al 2015. Estudos sobre comportamento Acromyrmex lundii forrageamento Guering (Hymenoptera, Formicidae) e seu efeito sobre o crescimento de Eucalyptus globulus procedências Labill. (Myrtaceae). *Rev. Árvore*, 39(1):189-198.
- Maquere V, Laclau JP, Bernoux M, Saint-Andre L, Gonçalves JLM, Cerri CC, Piccolo MC, Ranger J 2008. Influence of land use (savanna, pasture, Eucalyptus plantations) on soil carbon and nitrogen stocks in Brazil. *Soil Science*, 59 (5): 863-877.
- Moraes WB et al 2014. Potential impact of the global climate changes on the spatial distribution of areas of risk for the occurrence of eucalyptus rust in Brazil. *Summa phytopathol*, 40(2):114-122.
- Moreira FMS, Siqueira JO 2006. *Microbiologia e Bioquímica do solo*, UFLA, Lavras, 729 pp.

- Moura LNA, Lacerda MPC, Ramos MLG 2013. Qualidade de Organossolo sob diferentes usos antrópicos em áreas de preservação permanente no Distrito Federal. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, 17 (1): 33–39.
- Mosca AAO 2008. *Avaliação dos impactos ambientais de plantações de eucalipto no cerrado com base na análise comparativa do ciclo hidrológico e da sustentabilidade da paisagem em duas bacias de segunda ordem*. Tese Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 256 pp.
- Nascimento S, Canale GR, Silva DJ 2015. Abelhas euglossina (Hymenoptera: apidae) associadas à monocultura de eucalipto no cerrado mato-grossense. *Revista Árvore*, 39(2): 263-273.
- Nobre BA, Leite ME 2012. Monocultura do eucalipto, impacto ambiental e conflito na bacia do Canabrava, no norte de Minas Gerais. *Rev VITAS*, 2(4): 1-8.
- Oliveira FR, Menegasse LN, Duarte U 2002. *Impacto ambiental do eucalipto na recarga de água subterrânea em área de cerrado, no médio Vale do Jequitinhonha, Minas Gerais*. In: XII congresso brasileiro de águas subterrâneas, Abas, São Paulo, p. 1 - 10.
- Otuba, M, Johansson KE 2016. Understorey plant diversity under seven tropical and subtropical plantation species. *Journal of Tropical Forest Science* 28(2): 107-11.
- Paes FASV et al 2013. Impacto do manejo dos resíduos da colheita, do preparo do solo e da adubação na produtividade de eucalipto. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, 37(4): 1081-1090.
- Pagella T, Cronin M, Agaba G, Sida TS 2013. Local knowledge of the impacts of eucalyptus expansion on water security in the Ethiopian highlands. *CGSpace*: 105-109.
- Pereira JCD, Sturion JA, HigaAR, Higa RCV, Shimizu JY 2000. *Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil*, Embrapa Florestas Colombo, 113 pp.
- Pincelli ALPSM, Seixas F, Nunes R 2014. Compactação e fertilidade do solo após colheita do eucalipto utilizando Feller Buncher e Skidder. *CERNE*, 20(2):191-198.
- Poore MED; Fries C 1985. *The ecological effects of eucalyptus*. FAO, 97 pp.
- Porto MF, Soares WL 2012. Modelo de desenvolvimento, agrotóxicos e saúde: um panorama da realidade agrícola brasileira e propostas para uma agenda de pesquisa inovadora. *Rev. bras. Saúde ocup.*, 37 (125): 17-50.
- Ribeiro GBD, Isbaex C; Valverde SR 2018. A quantitative analysis of forestry sector contribution for the increase of minas gerais municipalities revenues. *Rev. Árvore*, 42(3): e420303 <http://dx.doi.org/10.1590/1806-90882018000300003>.
- Ramos I, Carrene R, Vinaixa N, Cadena C 2000. *Símbolos de un modelo destructivo: Pinos y Eucaliptos*, Atopos, Equador, 137 pp.
- Ramos LS, Marinho CGS, Zanetti R, Delabie JHC, Schindwein MN 2003. Impacto de iscas formicidas granulados sobre a mirmecofauna não-alvo em eucaliptais segundo duas formas de aplicação. *Neotropical Entomology* 32(2):231-237

Sampaio G 2017. *Jornal Econômico*, [homepage on the Internet]. Eucalipto: A árvore maldita do debate pós-incêndio [updated 2018 May 05; cited 2018 Jul 16]. Available from: <https://jornaleconomico.sapo.pt/>.

Santana WMS, 2009. *Crescimento, produção e propriedades da madeira de um clone de Eucalyptus grandis e E. urophylla com enfoque energético*, Dissertação Mestrado, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 91 pp.

Santiago J, Ortiz JM, Pozo J 2011. Impact of timber harvesting on litterfall inputs and benthic coarse particulate organic matter (CPOM) storage in a small stream draining a eucalyptus plantation. *Forest Ecology and Management* 262(6):1146-1156.

Santos FM et al., 2016. Dynamics of aboveground biomass accumulation in monospecific and mixed-species plantations of Eucalyptus and Acacia on a Brazilian sandy soil. *Forest Ecology and Management* 363 (1): 86-97.

Scolforo JR 2008. *O mundo eucalipto: os fatos e mitos de sua cultura*, Mar de Ideias, Rio de Janeiro 80 pp.

Silva AC, Costa ASV 2004. Decomposição de partes vegetativas de eucalipto (*Eucalyptus grandis*) submetidas a extratos de diferentes solos. *RACAA*, 2(2): 11-20.

Silva JOM, Marin MZ 2010. Os impactos socioeconômicos do cultivo de eucalipto: o caso do município de Aratiba-RS. *PERSPECTIVA*, 34(127): 113-122.

Silva R, Araos-Leiva F, Farinaci J, Ferreira L 2012. Monocultivos de eucalipto, reflexividade e arena: diálogos interdisciplinares em ambiente e sociedade. *Revista Terceiro Incluído*, 2(2): 32-50.

Silva LG, Mendes IC; Reis Junior FB; Fernandes MF; Melo JT; Kato E 2009. Atributos físicos, químicos e biológicos de um Latossolo de Cerrado sob plantio de espécies florestais. *EMBRAPA*, 256 (1): 1-22.

Stanturf JA, Vance ED, Fox TR, Kirst M 2013. Eucalyptus beyond Its Native Range: Environmental Issues in Exotic Bioenergy Plantations. *International Journal of Forestry Research*: 1-5.

Squarisi LM, Cervila SA 2012. *O COMPLEXO AGROINDUTRIAL: um estudo sobre o agrusiness do eucalipto*. *Fórum de Administração*, 2 (4): 37 – 54.

Suzuki LEAS et al 2014. Estrutura e armazenamento de água em um Argissolo sob pastagem cultivada, floresta nativa e povoamento de eucalipto no Rio Grande do Sul. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, 38(1):94-106.

Singwane SS, Malinga P 2012. Impacts of pine and eucalyptus forest plantations on soil organic matter content in Swaziland – case of Shiselweni forests. *J. S. Development in Africa* 14(1): 137-151.

Switzer MB 2014. Planting Progress? The Everyday Impacts of Plantation Forestry on Small Farmers in Interior Uruguay. *Environmental Justice*, 7 (3): 77-80.

Tadeu ND 2014. *Avaliação dos impactos hídricos da monocultura de eucalipto no trecho paulista da bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul*. Dissertação Mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 176 pp.

- Tadesse SA, Tefere SM 2017. Local people's knowledge on the adverse impacts and their attitudes towards growing Eucalyptus woodlot in Gudo Beret Kebele, Basona Worena district, Ethiopia. *Ecological Processes* 6(37): 1-13.
- Trevisan A, Hepp LU 2007. Dinâmica de componentes químicos vegetais e fauna associada ao processo de decomposição de espécies arbóreas em um riacho do norte do Rio Grande do Sul, Brasil. *Neo Bio Conservation*, 2 (1): 55-60.
- Tadeu ND, Sinisgalli PAA 2014. Impactos hídricos da produção de madeira de eucalipto no trecho paulista da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul. *RCAAP*, 1: 97-115.
- Tsukamoto Filho AA, Couto L, Neves JCL, Passos CAM, Silva ML 2004. Fixação de carbono em um sistema agrissilvipastoril com eucalipto na região do cerrado de Minas Gerais. *Agrossilvicultura* 1(1): 29-41.
- Tucci CEM, Clarke RT 1997. Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: revisão. *RBRH*, 2(1): 135-152.
- Valduga MO, Zenni RD, Vitule JRS 2016. Ecological impacts of non-native tree species plantations are broad and heterogeneous: a review of Brazilian research. *An. Acad. Bras. Ciênc.*, 88(3):1675-1688.
- Vaz PG, Warren DR, Pinto P, Merten EC, Robinson CT, Rego FC 2011. Tree type and forest management effects on the structure of stream wood following wildfires. *Forest Ecology and Management*, 262 (3): 561-570.
- Vechi A, Magalhães Júnior CAO 2018. Aspectos positivos e negativos da cultura do eucalipto e os efeitos ambientais do seu cultivo. *Rev. Valore*, 1(3): 495-506.
- Vergutz L et al 2010. Mudanças na matéria orgânica do solo causadas pelo tempo de adoção de um sistema agrissilvipastoril com eucalipto. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 34(1): 43-57.
- Viana MB 2004. *O eucalipto e os efeitos ambientais do seu plantio em escala*. Brasília Biblioteca Digital da Câmara dos Deputados, 30 pp.
- Vilela MJA 2011. Desafios Ambientais da Expansão do Plantio de Eucalipto no Cerrado - Três Lagoas, Ms, Brasil. *Ver. Elet. AGB-TL*, 14: 123-140.
- Vital MHF 2007. Impacto Ambiental de Florestas de Eucalipto. *Rev BNDES*, 14(28): 235-276.
- Zhao J, Wan S, Zhang C, Liu Z, Zhou L, Fu S 2014. Contributions of Understory and/or Overstory Vegetations to Soil Microbial PLFA and Nematode Diversities in Eucalyptus Monocultures. *Plos One* 9(1): e85513. doi:10.1371/journal.pone.0085513.
- Zerga B 2015. Ecological impacts of Eucalyptus plantation in Eza Wereda, Ethiopia. *IJJASS*, 3 (4): 47-51.
- Zhang K, Zheng H, Chen F, Ouyang Z 2015. Changes in soil quality after converting Pinus to Eucalyptus plantations in southern China. *Solid Earth* 6(1):115-123.
- Wang F et al., 2016. Non-Host Plant Volatiles Disrupt Sex Pheromone Communication in a Specialist Herbivore. *Scientific Reports* 6: 1-8.

Capítulo II: Avaliação da atividade tóxica da água de decomposição das folhas de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake (Myrtaceae) usando *Allium cepa* L. (Amaryllidaceae) como organismo-teste

Ritielly Maria Guimarães Guerino¹
Isa Lucia de Moraes²
Raquel Sousa³
Rafael Aparecido Carvalho Souza³
Alberto de Oliveira³
Débora de Jesus Pires⁴
Junilson Augusto de Paula Silva⁵
Rayssa Rocha e Silva⁶

¹Aluna do Mestrado em Ambiente e Sociedade da Universidade Estadual de Goiás (UEG), Câmpus Morrinhos, Morrinhos. E-mail: <bioguerino@gmail.com>.

²Docente da UEG, Câmpus Quirinópolis e Morrinhos, GO e curadora do Herbário José Ângelo Rizzo (JAR), Avenida Brasil, 435, Conjunto Hélio Leão, CEP: 75.860-000, Quirinópolis, GO. E-mail: <isamorais1@gmail.com>.

³Núcleo de Pesquisa em Produtos Naturais, Instituto de Química, Universidade Federal de Uberlândia.

⁴Docente da UEG, Câmpus Morrinhos e Itumbiara, GO.

⁵Aluno do Mestrado em Ambiente e Sociedade da Universidade Estadual de Goiás (UEG), Câmpus Morrinhos.

⁶ Aluna do Curso de Ciências Biológicas, Universidade Estadual de Goiás, Câmpus Morrinhos.

Resumo: Os aleloquímicos do eucalipto liberados no ambiente, principalmente pelas folhas, podem apresentar efeito tóxico na biota local, inclusive nos ambientes aquáticos. Ainda são poucos os estudos a respeito da composição e efeito desses compostos durante a decomposição das folhas do eucalipto em água. Diante disso, o presente estudo objetivou avaliar a atividade tóxica da água de decomposição de folhas de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake (Myrtaceae) usando *Allium cepa* L. (Amaryllidaceae) como organismo-teste. Foram coletadas folhas da serapilheira que permaneceram durante 5, 10, 15 e 30 dias em decomposição em água destilada. Para saber quais são os compostos voláteis liberados na água durante a decomposição foram separadas quatro amostras de cada período de decomposição e submetidas à microextração em fase sólida (SPME). O mesmo procedimento foi utilizado para analisar os compostos do extrato aquoso das folhas de eucalipto secas e da água do Córrego da Areia. A identificação dos compostos naturais foi feita através de cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG-EM). Para a avaliação do potencial efeito tóxico foi realizado o teste de toxicidade e citotoxicidade usando bulbos de *Allium cepa*. A toxicidade foi avaliada pela inibição do crescimento radicular (CR) e a citotoxicidade foi avaliada através do índice mitótico (IM), os valores obtidos foram comparados com os obtidos no controle negativo. Foram encontrados 32 compostos liberados durante os diferentes tratamentos de decomposição e do extrato aquoso das folhas. Os compostos 2-etil-1-hexanol, fenchone, cis-di-hidrocarvona, e trans-di-hidrocarvone apareceram na água de decomposição das folhas em todos os períodos. No entanto, dez compostos estiveram presentes apenas no extrato, sendo o eucaliptol, α -pineno e acetato de α -terpinyl os majoritários. A água do córrego não apresentou compostos provenientes do eucalipto. Houve a inibição do crescimento radicular de *Allium Cepa*, indicando toxicidades dos compostos liberados na água durante a decomposição. Para citotoxicidade os resultados não indicaram efeito tóxico, no entanto, foram identificadas algumas mutações e morte celular e alterações morfológicas nas raízes. Os resultados salientam para importância de estudos e monitoramento dos ambientes aquáticos próximos a eucaliptais.

Palavras-chave: Aleloquímicos, Alelopatia, Citotoxicidade, Compostos naturais, Toxicidade.

Abstract: Eucalyptus allelochemicals released into the environment, mainly by the leaves, may present toxic effects on the local biota, including in aquatic environments. There are still few studies about the composition and effect of these compounds during the decomposition of eucalyptus leaves into water. In view of this, the present study aimed to evaluate the toxic activity of the decomposition water of leaves of *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake (Myrtaceae) using *Allium cepa* L. (Amaryllidaceae) as test organism. Leaves were collected from litter, which remained for 5, 10, 15 and 30 days in decomposition in distilled water. In order to determine the volatile compounds released in the water during the decomposition, four samples were separated from each decomposition period and subjected to solid phase microextraction (SPME). The same procedure was used to analyze the aqueous extract compounds from dried eucalyptus leaves and the Córrego da Areia water. The natural compounds were identified by gas chromatography coupled to mass spectrometry (GC-MS). To evaluate the potential toxic effect, toxicity and cytotoxicity tests were performed using *Allium cepa* bulbs. The toxicity was evaluated by inhibition of root growth (CR) and cytotoxicity was evaluated through the mitotic index (MI), the values obtained were compared with those obtained in the negative control. We found 32 compounds released during the different treatments of decomposition and the aqueous extract of the leaves. The compounds 2-ethyl-1-hexanol, fenchone, cis-dihydrocarvone, and trans-dihydrocarvone appeared in the decomposition water of the leaves at all periods. However, ten compounds were only present in the extract, with eucalyptol, α -pinene and α -terpinyl acetate being the most beneficial. The water in the stream did not present compounds from eucalyptus. There was inhibition of the root growth of *Allium Cepa*, indicating toxicities of the compounds released in the water during decomposition. For cytotoxicity the results indicated no toxic effect, however, some mutations and cell death and morphological changes in the roots were identified. The results highlight the importance of studies and monitoring of aquatic environments near eucalyptus.

Keywords: Allelochemicals, Allelopathy, Cytotoxicity, Natural compounds, Toxicity.

Introdução

A ecotoxicologia é o estudo do comportamento e as transformações de agentes químicos no ambiente, assim como seus efeitos e respostas sobre organismos vivos (BERTOLETTI, 1990). Vários estudos têm sido conduzidos em ecossistemas aquáticos, mediante ensaios com organismos que permitem identificar problemas e monitorar esses ecossistemas (CESAR et al., 1997).

Neste viés, dentre as preocupações ambientais está o plantio de *Eucalyptus* spp. próximo a ou em ambientes ripários. Essa preocupação é devida à presença de compostos alelopáticos, principalmente, nas folhas, os quais prejudicam o desenvolvimento de outras plantas e dificultam o processo de decomposição microbiológica dos resíduos (SILVA; COSTA, 2004).

Esses compostos apresentam funções ecológicas e fisiológicas bastante específicas, envolvidas nas interações bióticas e abióticas nos ecossistemas. As principais funções estão relacionadas à proteção contra herbivoria, atração de polinizadores e controle hídrico e de temperatura (SIMÕES; SPITZER, 2004).

Dentre os aleloquímicos mais comuns estão os terpenos, alcaloides, compostos fenólicos, esteroides, ácidos graxos de cadeia longa e lactonas insaturadas (RICE, 1984). O gênero *Eucalyptus* apresenta compostos como o 1,8-cineol (eucaliptol, majoritário na maioria das espécies), piperitona, felandreno e aldeídos voláteis, entre eles os alifáticos e aromáticos, que apresentam efeitos tóxicos (ARAÚJO et al., 2010) e inibidores microbianos (CANHOTO; GRAÇA, 1999).

As folhas do eucalipto dispersas na serapilheira, durante o período de chuva, são levadas para rios e lagoas através da lixiviação, e, entrando em contato com água, liberam constituintes químicos. A permanência desses no meio aquoso representa um risco potencial de efeitos prejudiciais aos organismos aquáticos (ABELHO; GRAÇA, 1996). Esse efeito pode ser verificado através de testes de toxicidade.

Os testes de toxicidade servem para avaliar o efeito potencialmente tóxico de substâncias químicas e de águas contaminadas. No caso de substâncias específicas, o teste tem o objetivo de coletar informações para registros dos elementos e compostos químicos envolvidos, e com águas contaminadas servem para serem comparados com os valores padrões permitidos (BROTA, 2012).

Entre os testes de toxicidade, o com *Allium cepa* L. (Amaryllidaceae) (cebola comum) é eficaz quando utilizado para avaliar a qualidade de águas de fundo, superfícies e efluentes. Esse teste consiste em uma forma simples de estudo de parâmetros macroscópicos, valores de inibição de crescimento de raízes e parâmetros citológicos como aberrações celulares em metáfases ou anáfases e inibição de células em divisão (FISKESJÖ, 1988).

A utilização de *A. cepa* se torna interessante devido à sua elevada sensibilidade, baixo custo, rapidez e facilidade de manipulação determinando-se a diminuição do índice mitótico e a formação de aberrações cromossômicas (LEME; MARIN-MORALES, 2009). O ensaio tem sido validado internacionalmente como bioindicador de contaminação ambiental (EVSEEVA; GERASKIN; SHUKTOMOVA, 2003) e é comumente utilizado para avaliar o potencial genotóxico e citotóxico de substâncias (BARBÉRIO et al., 2009).

Diante do exposto, esse trabalho objetivou identificar os compostos liberados pelas folhas durante a decomposição em água, bem como do extrato aquoso das folhas. E avaliar a atividade tóxica de água de decomposição de folhas de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake (Myrtaceae) usando *Allium cepa* L. (Amaryllidaceae) como organismo-teste.

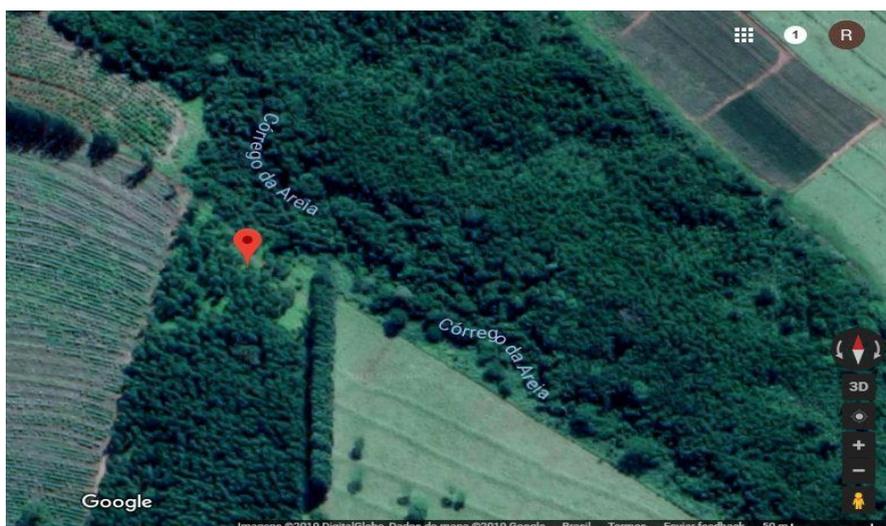
Material e métodos

Local de coleta das folhas de eucalipto e da água

As folhas foram coletadas da serapilheira de um eucaliptal (18°42'09.5"S 49°10'01.1"W) (Figura 1) contíguo à vegetação ripária do Córrego da Areia, do qual foi coletada a água (Figura 2). O local está situado no município de Canápolis, Minas Gerais, na Mesorregião do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba. O curso d'água pertence à bacia hidrográfica do Rio Paranaíba. A economia nesta região é baseada na agropecuária.

A identificação da espécie *Eucalyptus urophylla* foi feita com o auxílio de uma chave de identificação botânica e por comparação com imagens presentes em Flores et al. (2016).

Figura 1. Área de coleta: Córrego da Areia e eucaliptal de onde foram coletadas a água e as folhas, respectivamente.



Fonte: <https://www.google.com.br/maps> - Acesso: 13 de outubro de 2018.

Figura 2. Local de coleta das folhas de *Eucalyptus urophylla* na serapilheira. Na imagem à esquerda é possível observar que o eucaliptal é contíguo à mata de galeria do Córrego da Areia, Canápolis, MG.



Decomposição das folhas

As folhas foram coletadas da serapilheira e armazenadas em saco plástico. No laboratório as folhas foram separadas em quatro porções de seis gramas com o auxílio de uma balança de precisão. Essa etapa do estudo foi realizada no Laboratório de Biologia da Universidade Estadual de Goiás, Câmpus Morrinhos.

Para o processo de decomposição as folhas foram colocadas em recipientes de vidro, com a adição de um litro de água destilada. Em seguida, a abertura do vidro foi coberta com plástico filme e tampada. Os recipientes foram deixados em ambiente coberto com pouca iluminação. As folhas ficaram em decomposição em tratamentos de 5, 10, 15 e 30 dias (adaptado de ZORATTO 2007) (Figura 3). Após cada período a água foi coada em peneira (separando as folhas) e reservadas na geladeira até a realização do ensaio.

Figura 3. Água da decomposição das folhas de *Eucalyptus urophylla* nos tratamentos de 5, 10, 15 e 30 dias.



Para o ensaio a água de decomposição foi usada nas concentrações 25%, 50% e 100%, tendo sido usada água destilada para fazer a diluição.

Para averiguar se a composição química das folhas secas da serapilheira é semelhante as que foram deixadas em decomposição foi preparado um extrato aquoso para avaliação dos compostos por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG-EM). O extrato aquoso foi preparado utilizando-se seis gramas de folhas com um litro de água destilada. A mistura foi batida no liquidificador e coada em seguida.

Microextração em Fase Sólida (SPME)

Com a finalidade de verificar os compostos voláteis liberados na água durante a decomposição foram separadas quatro amostras de cada período de decomposição, somente na concentração de 100%, pois as demais concentrações se dão por diluição em água destilada, não alterando os compostos e submetidas à extração dos compostos voláteis. O mesmo procedimento foi utilizado para analisar o extrato aquoso das folhas de eucalipto e a água do Córrego da Areia (VALENTE; AUGUSTO, 1999).

Os compostos voláteis foram extraídos pelo método SPME utilizando fibra de polidimetilsiloxano/divinilbenzeno (PDMS / DVB) com d_f 65 μ m (Sigma-Aldrich). Na extração uma amostra de 5 mL (de cada tratamento e controles, extrato e água do Córrego Areia) foi colocada em frascos headspace com capacidade de 20 mL e selado. Aqueceu-se a 60 °C sob agitação durante 10 min. Em seguida, a fibra foi adicionada no CG-EM para análise da composição química.

Essa etapa e a seguinte foram realizadas em parceria com o Núcleo de Pesquisa em Produtos Naturais do Instituto de Química da Universidade Federal de Uberlândia.

Identificação dos compostos voláteis por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG-EM).

A composição volátil da amostra foi identificada por um cromatógrafo a gás acoplado a um espectrômetro de massa CG-EM de Shimadzu (modelo QP2010) utilizando uma coluna capilar DB-5 (J & W, 30m \times 0.25mm \times 0.25m). As condições utilizadas foram: hélio como gás carreador com fluxo constante de 1,0 mL min⁻¹; temperatura do injetor de 200; temperatura do detector de 230° C; temperatura de interface de 275° C, modo de injeção sem divisão; 10 min de tempo de dessorção de SPME; a temperatura do forno foi de 40° C por 5 min, após o que a temperatura do forno aumentou para 125° C a 2,5° C / min e aumentou para 245° C a 10° C / min, mantida por 15 min; potencial de ionização de 70 eV; intervalo de m / z 40-650. A

identificação dos compostos por esta técnica foi baseada no índice de similaridade (IS) obtido pelo software (LabSolution-GCMS Solution) e também foi utilizada por comparação com os espectros presentes nas bibliotecas Nist27, Nist147, Wiley7, Wiley229 e Shim2205.

Bioensaio com *Allium cepa*

O bioensaio foi realizado para verificar se as substâncias liberadas pelas folhas durante a decomposição em água causam efeito tóxico e seguiu o protocolo de Fiskesjo (1985).

Foram utilizados quinze bulbos de *Allium cepa* (cebola) de tamanhos similares, de cultura orgânica, adquiridos no comércio de Itumbiara, GO. O anel primordial (local de onde emergem as raízes) foi cuidadosamente limpo e a casca dourada dos bulbos foi retirada. Foram usados três bulbos para cada concentração e eles ficaram em contato com as amostras durante sete dias. Três bulbos foram expostos à água destilada como controle negativo e três em sulfato de cobre (0,06 g em um l de água destilada) como controle positivo. Após o período de sete dias foram medidas as três maiores raízes de cada bulbo dos tratamentos e controles.

Para as avaliações da citotoxicidade as raízes foram cortadas e colocadas em solução fixadora de etanol/ácido acético em uma proporção de 3:1. Em sequência foram coradas com orceína acética (ácido acético/etanol, proporção 3:1) e colocadas em lâminas e levemente esmagadas para a análise microscópica, com a contagem de 5.000 células para cada tratamento e controles.

Avaliação da toxicidade e citotoxicidade

Após a exposição dos bulbos por sete dias na água de decomposição (com períodos de 5, 10, 15 e 30 dias em concentrações de 25%, 50% e 100%) foram realizadas medições das raízes e comparadas com o grupo controle. A toxicidade foi avaliada pelo índice de crescimento das raízes. O índice é obtido da média de crescimento das três maiores raízes de cada bulbo expostas às amostras.

A análise estatística foi feita com o teste ANOVA Fatorial por meio do programa R (*R Core Team* 2018) para verificar a influência das concentrações e dias de decomposição no crescimento das raízes.

A citotoxicidade foi verificada pela análise de alterações celulares morfológicas indicativas de morte celular e pela frequência do índice mitótico (IM),

segundo a equação: $IM = (\text{número de células em divisão} / \text{número total de células observadas}) \times 100$.

Os valores obtidos foram comparados com os obtidos no controle negativo, por meio do teste estatístico de Qui-quadrado de proporções esperadas iguais.

Resultados e discussão

Compostos voláteis

Os compostos naturais liberados pelas folhas de *E. urophylla* durante a decomposição em água por diferentes períodos e do extrato das folhas da serrapilheira estão apresentados na Tabela 1. Na água do Córrego Areia não foram encontrados compostos e por isso não aparece na tabela 1, mas aparece no cromatograma (Figura 3).

Foram detectados 32 compostos, dos quais seis não foram identificados (Tabela 1). Os 26 identificados foram classificados em diferentes classes químicas como monoterpenos, sesquiterpenos, triterpenos e outros (Figura 4).

Em estudo que avalia os compostos presentes na água do solo, realizado por He et al. (2015), sesquiterpenos e monoterpenos são os principais compostos liberados por *E. urophylla* por lixiviação foliar e decomposição na serrapilheira.

Hepp, Delanora e Trevisan (2009) identificaram compostos secundários durante a decomposição das folhas de *E. grandis* em um riacho por diferentes períodos, alguns compostos são semelhantes aos encontrados nesse estudo, como eucaliptol, fenchol, pinocarveol, pinocamfone e terpineol,

A composição também é similar a de outras pesquisas que avaliaram a composição de óleos essenciais de *Eucalyptus*, compostos como cymeno, eucaliptol e terpineol (ZINI, 2002, ZORATTO, 2007, PEREIRA, 2010).

Como já mencionado, os compostos detectados na presente pesquisa são constituídos majoritariamente por terpenos ou seus derivados (Tabela 1, Figura 4). Os terpenos compõem um extenso grupo de moléculas orgânicas produzidas como metabólitos secundários e são encontrados principalmente nas plantas. Essas substâncias têm diferentes funções, entre elas a de evitar injúrias promovidas por agentes externos e como aleloquímicos atuando como antinutricionais, tóxicos ou repelentes (RIFFEL; COSTA, 2015; FELIPE; BICAS, 2017).

Tabela 1: Composição química da água de decomposição das folhas em diferentes períodos e do extrato das folhas de *Eucalyptus urophylla*.

TR (min)	Compostos	5 dias		10 dias		15 dias		30 dias		extrato de folhas	
		CIT (%)	IS	CIT (%)	IS	CIT (%)	IS	CIT (%)	IS	CIT (%)	IS
12.53	α -pineno (1)	-	-	-	-	4.6 \pm 0.71	90 ^a	-	-	11.10 \pm 0.46	96 ^c
18.01	cymene (o ou p) (2)	-	-	-	-	-	-	-	-	2.81 \pm 0.69	92 ^e
18.55	eucaliptol (3)	-	-	-	-	-	-	-	-	60.97 \pm 0.63	96 ^e
18.59	2-etil-1-hexanol (4)	10.6 \pm 0.89	94 ^a	12.59 \pm 0.61	95 ^d	8.59 \pm 0.43	94 ^d	5.01 \pm 1.20	94 ^c	-	-
20.97	cis-óxido de linalila (5)	2.32 \pm 1.35	84 ^a	3.61 \pm 1.00	85 ^a	-	-	3.43 \pm 1.09	83 ^a	-	-
21.73	fenchone (6)	8.73 \pm 1.31	94 ^a	8.04 \pm 0.75	97 ^e	7.26 \pm 1.36	95 ^e	12.3 \pm 0.21	94 ^e	-	-
23.02	2,2,6-trimetil-3-ceto-6-viniltetra-hidropirano (7)	-	-	-	-	-	-	4.43 \pm 0.21	87 ^c	-	-
23.33	Fenchol (8)	-	-	-	-	-	-	-	-	1.01 \pm 0.20	92 ^c
24.06	α -canfolenal (9)	-	-	-	-	-	-	-	-	0.89 \pm 0.06	82 ^c
24.76	trans-pinocarveol (10)	-	-	-	-	-	-	-	-	1.68 \pm 0.24	89 ^e
25.01	cânfora (11)	9.48 \pm 0.50	96 ^a	7.89 \pm 0.10	97 ^a	-	-	20.67 \pm 0.32	97 ^a	-	-
25.99	trans-pinocamphone (12)	6.20 \pm 0.61	94 ^e	5.32 \pm 0.02	94 ^e	8.70 \pm 1.41	94 ^e	-	-	-	-
26.13	pinocarvona (13)	8.01 \pm 0.26	95 ^e	1.44 \pm 0.59	94 ^e	1.25 \pm 0.38	90 ^e	-	-	1.26 \pm 0.23	90 ^e
26.39	isoborneol (14)	-	-	-	-	-	-	-	-	1.37 \pm 0.20	88 ^c
26.77	cis-pinocamphone (15)	3.36 \pm 0.08	91 ^d	8.68 \pm 0.32	94 ^d	3.84 \pm 1.05	90 ^a	-	-	-	-

27.05	ni	-	-	1.62±0.80	-	-	-	-	-	-	-
27.64	ni	6.45±0.87	-	6.37±0.28	-	7.10±0.44	-	-	-	-	-
27.77	trans-isocarveol (16)	10.6±0.48	92 ^d	11.47±0.61	91 ^e	11.79±0.26	91 ^d	-	-	-	-
27.91	α-terpineol (17)	-	-	-	-	-	-	-	-	2.38±0.55	87 ^c
28.20	cis-di-hidrocarvona (18)	8.67±0.24	95 ^e	10.02±0.09	90 ^e	16.56±0.11	95 ^e	24.26±0.12	95 ^e	-	-
28.59	trans-di-hidrocarvone (19)	7.14±0.14	95 ^e	8.77±0.04	95 ^d	18.91±0.55	94 ^d	21.77±0.29	96 ^e	-	-
29.29	iso-di-hidrocarveol (20)	3.96±0.29	87 ^c	5.52±0.14	91 ^d	6.43±0.13	90 ^d	-	-	-	-
30.02	nerol (21)	5.94±0.16	91 ^d	3.71±0.18	89 ^d	-	-	-	-	-	-
36.71	acetato de α-terpinyl (22)	-	-	-	-	-	-	-	-	10.55±0.27	91 ^d
39.95	trans-cariofileno (23)	-	-	-	-	-	-	-	-	1.47±0.13	89 ^c
43.84	aromadendreno (24)	-	-	0.67±0.09	85 ^b	1.06±0.64	81 ^c	2.45±0.13	84 ^d	1.85±1.00	90 ^b
44.16	óxido de cariofileno (25)	4.90±4.90	88 ^e	-	-	-	-	-	-	-	-
44.34	Aloaromadendeno (26)	-	-	0.65±0.10	80 ^a	-	-	-	-	1.11±0.10	89 ^d
44.91	ni	1.28±0.85	-	3.68±0.02	-	3.94±0.48	-	4.33±0.45	-	-	-
45.06	ni	0.59±0.59	-	-	-	-	-	-	-	0.47±0.47	-
45.39	ni	1.76±1.76	-	-	-	-	-	-	-	0.82±0.82	-
46.01	ni	-	-	-	-	-	-	1.37±0.07	-	-	-

Nota: TR: tempo de retenção; CIT: Cromatograma de íons totais. IS: Método de identificação por índice de similaridade (IS) com banco de dados espectrais de massa: a = Nist08s, b = Nist08, c = Wiley139, d = Wiley229, e = Shim225

Figura 3: Cromatograma das amostras em diferentes períodos de decomposição, do extrato de folhas e da água do córrego Areia.

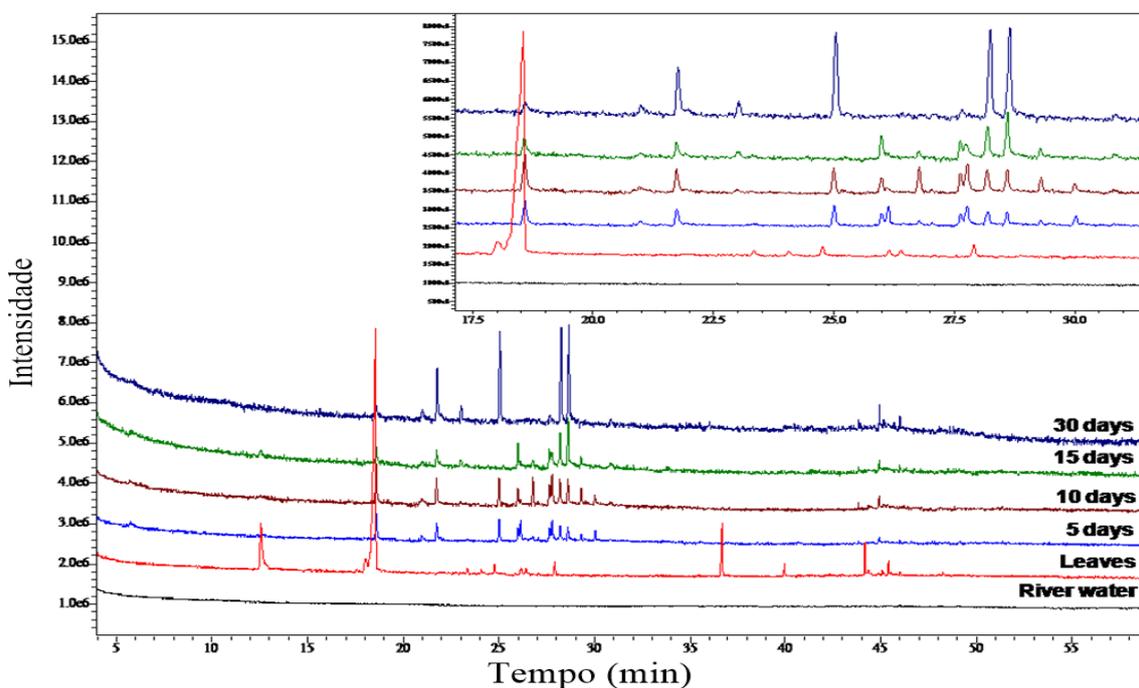
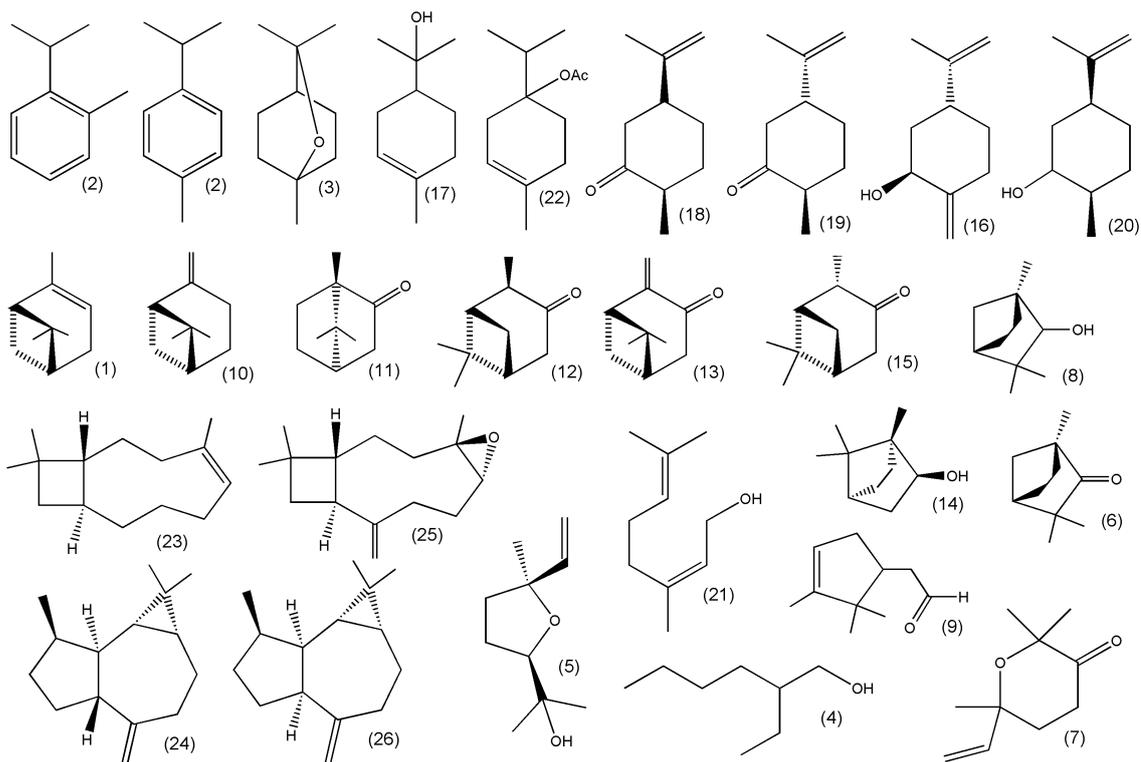


Figura 4 . Fórmula dos compostos encontrados nas amostras em diferentes períodos de decomposição das folhas e do extrato das folhas de *Eucalyptus urophylla*. (1) α -pineno (monoterpeno); (2) cymene (o ou p) (monoterpeno); (3) eucaliptol (monoterpeno); (4) 2-etil-1-hexanol (álcool quiral ramificado de oito átomos de carbono); (5) cis-óxido de linalila; (6) fenchone (um monoterpeno e uma cetona); (7) 2,2,6-trimetil-3-ceto-6-viniltetra-hidropirano (terpeno); (8) Fenchol (monoterpeno e um isômero de borneol com ampla ocorrência na natureza); (9) α -canfolenal (monoterpeno); (10) trans-pinocarveol (monoterpeno); (11) cânfora (terpeno); (12) trans-pinocamphone (monoterpeno); (13) pinocarvona (cetona); (14) isoborneol (terpeno); (15) cis-pinocamphone (monoterpeno); (16) trans-isocarveol (monoterpeno de origem natural, relacionado ao limoneno); (17) α -terpineol (monoterpeno, tem papel com o metabólito vegetal); (18) cis-di-hidrocarvona (monoterpeno); (19) trans-di-hidrocarvone (monoterpeno); (20) iso-di-hidrocarveol (monoterpeno); (21) nerol (monoterpeno); (22) acetato de α -terpinyl (monoterpeno); (23) trans-cariofileno (sesquiterpeno); (24) aromadendreno (sesquiterpeno); (25) óxido de cariofileno (sesquiterpeno); (26) Aloaromadendeno (sesquiterpeno).



Economicamente os terpenos apresentam grande importância para o aroma dos produtos naturais, particularmente de frutas cítricas, ervas aromáticas, especiarias e condimentos (FARKAS; MOHÁCSI-FARKAS, 2014).

Os compostos 2-etil-1-hexanol, fenchone, cis-di-hidrocarvona, e trans-di-hidrocarvone apareceram na água em decomposição das folhas em todos os períodos, mas foram ausentes no extrato de folhas. No entanto, dez compostos estiveram presentes apenas no extrato, sendo o eucaliptol, α -pineno e acetato de α -terpinyl os majoritários (Tabela 1). Os compostos exclusivos do extrato aquoso são comuns na composição do óleo essencial de espécies de eucalipto (PEREIRA, 2010). Pode-se inferir que o processo de obtenção do extrato, pode ter favorecido e preservado a presença desses, ao contrário do ocorrido para as amostras da água de decomposição das folhas do eucalipto.

Os períodos de 5 e 10 dias apresentaram semelhanças entre os compostos, sendo o nerol um composto exclusivo desses dois períodos. O nerol é um monoterpene encontrado em muitos óleos essenciais (ANDREI; DEL COMUNE, 2005; PEREIRA, 2010).

Alguns compostos apresentaram alterações ao longo do período de decomposição. O 2-etil-1-hexanol, por exemplo, apresentou valores mais altos até o décimo dia de decomposição, com decréscimo em 50% com trinta dias de decomposição. Já os compostos cis-di-hidrocarvona e trans-di-hidrocarvone apresentaram valores menores no início do

processo de decomposição e o triplo do valor aos trintas dias. Diferentes fatores podem influenciar na liberação dos compostos naturais como temperatura, estação do ano, localização da planta, clima e tipo de solo. A extração realizada em laboratório também pode influenciar na liberação e ação dos compostos (HE et al. 2015). As variações encontradas ao longo da decomposição podem ser explicadas devido ao tempo de liberação, diluição pela água e ação de microrganismos em cada amostra (HEPP; DELANORA; TREVISAN, 2009).

Teste de toxicidade

O crescimento das raízes pode acontecer pela produção de novas células, que acontece na zona meristemática e pela extensão das células já formadas, que ocorre tanto na zona meristemática como na zona de alongamento da raiz (CUTLER; BOTHA; STEVERSON., 2011). No entanto, o crescimento das raízes pode ser comprometido na presença de substâncias tóxicas (FISKESJÖ, 1988).

Os resultados do ensaio para avaliação da toxicidade através da inibição do crescimento, estão sumarizados na Tabela 2, onde observamos o valor médio do crescimento radicular (CR) de *Allium cepa* exposto a diferentes concentrações das amostras de água de decomposição.

Tabela 2. Médias dos valores de crescimento radicular em centímetros (cm), dos tratamentos e dos controles das três maiores raízes de cada bulbo de *Allium cepa*.

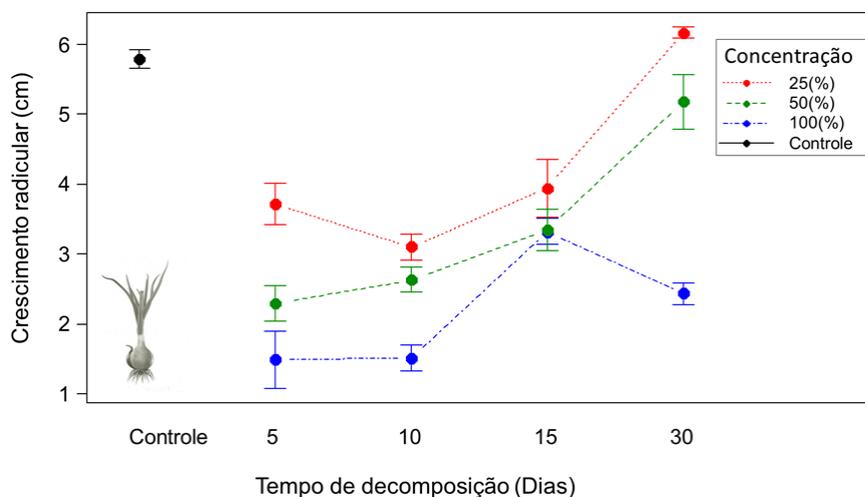
Concentrações	Crescimento radicular em cm			
	5 dias	10 dias	15 dias	30 dias
100%	1,49	1,51	3,32	2,43
50%	2,29	2,63	3,34	5,18
25%	3,71	3,1	3,94	6,17
Controle (+)	0,12	0,12	0,12	0,12
Controle (-)	5,79	5,79	5,79	5,79

Nota: controle (+) sulfato de cobre; controle (-) água destilada.

Estatisticamente o crescimento do sistema radicular dos bulbos de *Allium cepa* foi influenciado pela interação entre concentrações e intervalos de tempo e em relação ao grupo controle ($F = 7,608$; $P < 0,001$) (Figura 5).

A concentração de 100 %, nos períodos de 5 e 10 dias de decomposição, foi a que mais inibiu o crescimento radicular. Já a concentração de 25%, no período de 30 dias de decomposição, foi a que menos inibiu esse crescimento, quando comparadas ao grupo controle (Figura 5). Relacionar com os terpenos e justificar aqui com subsídio na literatura.

Figura 5: Influência da concentração e tempo de decomposição sobre o crescimento radicular de *Allium cepa* (teste ANOVA Fatorial).



A inibição do crescimento radicular é um indicativo da presença de compostos com efeito tóxico. Ribeiro (1997) comprovou a toxicidade de efluentes industriais através de testes de inibição das raízes de *Allium cepa*. Da mesma maneira Moreira et al. (2014) comprovou o efeito tóxico de agrotóxicos.

A inibição do crescimento pode ter relação com a liberação de constituintes químicos (ABELHO; GRAÇA, 1996). Dessa forma, pode-se inferir que a inibição do crescimento radicular de *A. cepa* foi devida à presença de terpenos. Os monoterpenos são capazes de inibir a germinação e o crescimento radicular de diversas espécies de vegetais, uma vez que esses compostos podem causar a redução da atividade mitótica e a formação de glóbulos lipídicos nas plantas (VAUGHN; SPENCER, 1993).

Araújo et al. (2010) realizaram um teste ecotoxicológico *in vitro* que indicou potencial ecotoxicológico de óleo volátil da serapilheira de *Eucalyptus urograndis* (espécie híbrida), com efeito deletério à biota aquática, usando *Daphnia laevis* e *Daphnia similis* como bioindicadores. Zoratto (2007) fez uma avaliação ecotoxicológica dos compostos naturais produzidos por *E. grandis* e *E. urophylla* utilizando com água de decomposição, óleos essenciais e extratos de diferentes polaridades, e como bioindicadores cladóceros. Ela comprovou o efeito tóxico destas duas espécies de eucalipto mesmo em pequenas concentrações. Ambas as pesquisas alertam para possíveis impactos prejudiciais a ecossistemas aquáticos localizados no entorno de áreas com cultivo de eucalipto.

Teste de citotoxicidade

A citotoxicidade foi avaliada a partir do índice mitótico (IM), o qual é determinado através da taxa de divisão celular (HAEB et al., 1996). Um baixo IM, comparado

ao grupo controle, significa que houve alterações químicas capazes de interferir no crescimento e desenvolvimento do organismo. No caso do IM ser mais alto do que o observado no grupo controle é porque ocorreu um aumento na divisão celular, o que é prejudicial por provocar multiplicação desordenada e formação de tumores (LEME; MARIN-MORALES, 2009).

Os valores do IM foram comparados com os obtidos no controle negativo (Tabela 3) usando o teste estatístico de Qui-quadrado. Os resultados do teste Qui-quadrado não foram significativos ($X^2 = 1,348$; GL= 9; $p < 0,998$). Dessa forma, pode-se inferir que não houve um efeito dos dias e da concentração sobre o índice mitótico (IM). No entanto, é possível observar nas lâminas alterações no ciclo celular das raízes expostas às diferentes concentrações, podendo ser identificadas algumas aberrações e sinais de morte celular (Figuras 5, 6 e 7). As raízes do controle positivo não apresentaram crescimento suficiente para a confecção de lâminas, por conta disso não foi possível cálculo do IM desse grupo.

É possível ter uma visualização melhor das células, bem como seus núcleos e etapas da divisão celular nas lâminas com cortes histológicos do controle negativo. O núcleo das células do controle está bem condensado, o que contribui para melhor coloração. Nas demais lâminas, nas quais as raízes foram expostas aos tratamentos com a água de decomposição das folhas de *E. urophylla*, o núcleo está compartimentado, pouco condensado, o que impede a fixação do corante e, conseqüentemente, a visualização. Em alguns casos, como na figura 5C, a presença de muitos vacúolos significa morte celular, não sendo possível visualizar o material genético da célula.

Tabela 3: Percentuais do índice Mitótico (IM) das raízes de *A. cepa* nos tratamentos com a água de decomposição de folhas de *E. urophylla* em diferentes períodos e concentrações e o controle.

CONCENTRAÇÕES	ÍNDICE MITÓTICO - IM (%)			
	5 dias	10 dias	15 dias	30 dias
CONTROLE (+)	34,98	34,98	34,98	34,98
25%	23,12	21,9	28,98	21,04
50%	25,1	23,38	23,96	23,42
100%	20,34	21,98	21,04	21,06

Nota: controle (+) água destilada.

Figura 5. Células meristemáticas de raiz de *Allium cepa* em divisão mitótica. a) Células do corte histológico do controle negativo. b) células em divisão do controle negativo em telófase e anáfase. c) células da raiz do tratamento de 30 dias em concentração de 100% com sinais de morte celular. d) células da raiz do tratamento de 15 dias em concentração de 25% em metáfase irregular e interfase anômala.

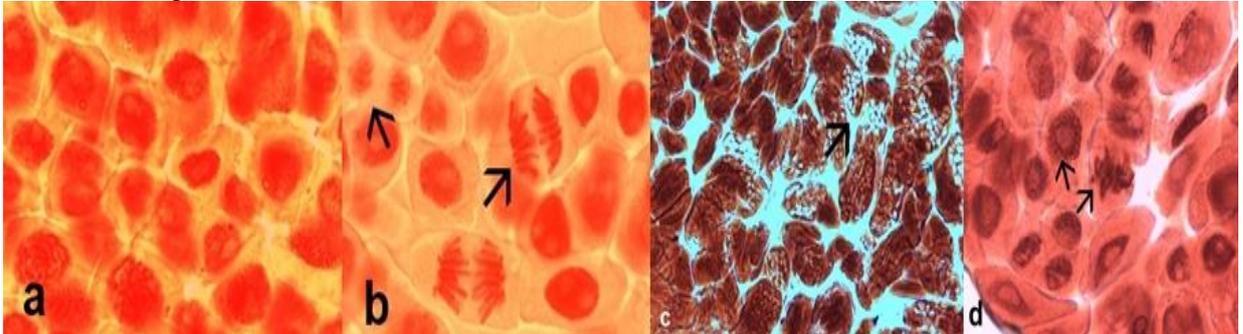


Figura 6: Células meristemáticas de raiz de *Allium cepa* expostas a amostras de 10 dias de decomposição. a) Células do corte histológico da raiz do tratamento com concentração de 50% com núcleo compartimentado e metáfases anômalas. b) células da raiz do tratamento com concentração de 100% com metáfase anormal e telófase com pontes. c) células da raiz do tratamento com concentração de 100% com sinais de morte celular.

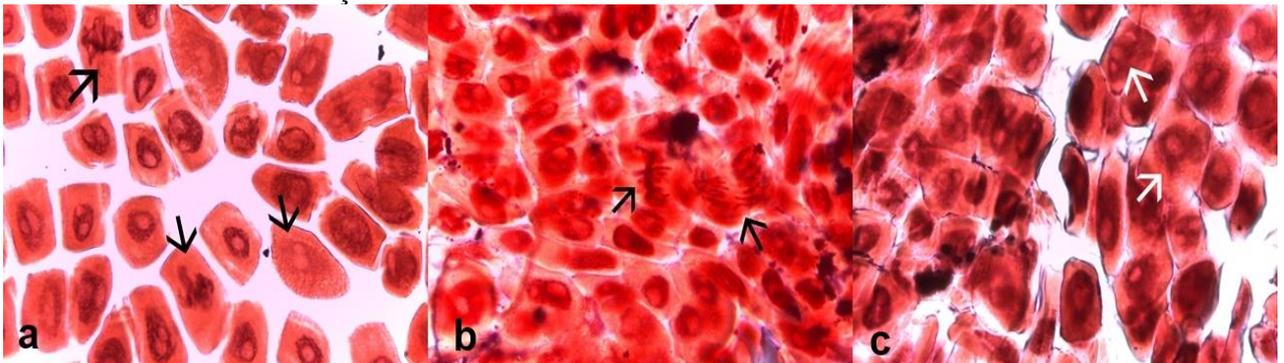
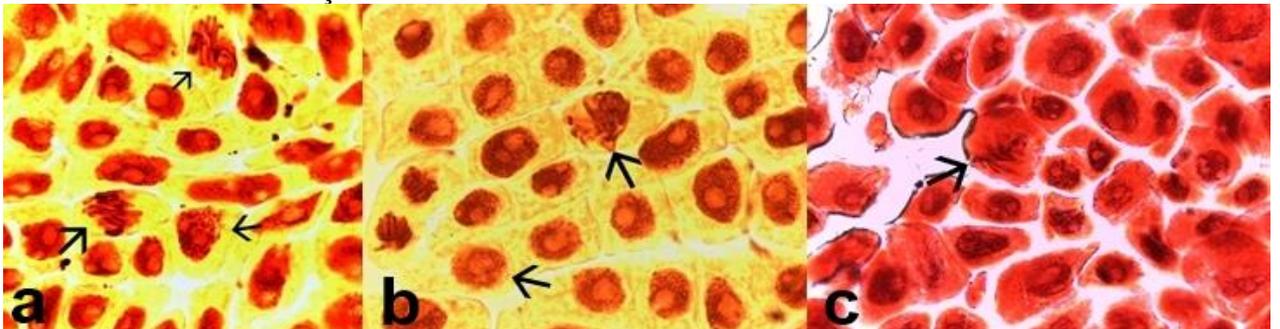


Figura 7: Células meristemáticas da raiz de *Allium cepa* expostas a amostras de 5 dias de decomposição. a) Células do corte histológico da raiz do tratamento em concentração de 100% com prófase anormal e núcleo compartimentado. b) células da raiz do tratamento em concentração de 100% com prófase anormal e núcleo compartimentado. c) células da raiz do tratamento em concentração de 25% com metáfase anômala e sinais de morte celular.



Alguns estudos utilizando o mesmo bioindicador, mas submetidos a testes com diferentes substâncias, apresentaram mutações semelhantes durante o processo de divisão

(LEME; MARIM-MORALES, 2008, MENDES, 2008, TEIXEIRA, 2014, PAULA et al., 2015).

Vale ressaltar que as raízes do presente estudo também apresentaram características morfológicas diferentes do grupo controle, especialmente as expostas às concentrações de 100% nos períodos de 15 e 30 dias. As raízes desse tratamento mesmo exibindo crescimento radicular apresentaram textura amolecida e espessura fina, motivo que dificultou a confecção de lâminas de boa qualidade.

Considerações finais

Através da cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG-EM) foi possível identificar 26 compostos liberados pelas folhas de *Eucalyptus urophylla*. Os compostos 2-etil-1-hexanol, fenchone, cis-di-hidrocarvona, e trans-di-hidrocarvone são majoritários na água em decomposição das folhas, e o eucaliptol, α -pineno e acetato de α -terpinyl no extrato aquoso. Os compostos de *E. urophylla* apresentam efeito tóxico comprovado pela inibição do crescimento radicular de *Allium cepa*. A inibição do crescimento foi maior nos primeiros 10 dias.

Os resultados do teste de citotoxicidade não foram significativos. No entanto, foi possível observar nos cortes histológicos da raiz de *A. cepa* alterações morfológicas, algumas mutações e morte celular.

Diante dos resultados aqui apresentados, a presente pesquisa corrobora o risco de material alóctone para a biota aquática, especialmente em ambientes pequenos com menor fluxo de água, como os de poças temporárias presentes na serapilheira, as quais são utilizadas, por exemplo, por anfíbios para reprodução. Embora esse estudo tenha sido realizado em laboratório, com base nos resultados encontrados aqui e em adição a outros estudos semelhantes, possivelmente o efeito tóxico pode ser encontrado na natureza.

Neste sentido, é importante o monitoramento de ambientes aquáticos próximos a eucaliptais, bem como respeitar uma distância mínima estabelecida pela legislação e utilizar barreiras naturais que impeçam as folhas de eucalipto serem lixiviadas até o curso hídrico.

Referências

- ABELHO, M.; GRAÇA, M. A. S. Effects of eucalyptus afforestation on leaf litter dynamics and macroinvertebrate community structure of streams. *Hydrobiologia*, Portugal., v. 324, p. 195–204, 1996.
- ANDREI, P. DEL COMUNE, A. P. Aromaterapia e suas aplicações. *Cadernos*, São Paulo, v. 04, n. 11, p.57-68, 2005.

- ARAÚJO, F. O. et al. Constituintes químicos e efeito ecotoxicológico do óleo volátil de folhas de *Eucalyptus urograndis* (Mirtaceae). *Química Nova*, Belo Horizonte, v. 33, n. 7, p. 1510-1513, 2010.
- BARBERIO, A. et al. Avaliação do potencial citotóxico e genotóxico da água do rio Paraíba do Sul, com o teste de *Allium cepa* L. *Braz. J. Biol.* São Carlos, v. 69, n. 3, p. 837-842, 2009.
- BERTOLETTI, E. Toxicidade e Concentração de agentes tóxicos em efluentes industriais. *Revista Ciência e Cultura*, Campinas, v. 43, n.3/4, p. 271-277, 1990.
- BROTA, G. A. Ensaio ecotoxicológico em organismos teste *Daphnia similis* e *Vibrio fischeri* na avaliação de efluentes sanitários aplicados na cultura de eucalipto (*Eucalyptus urograndis*). 2012. 90 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2012.
- CANHOTO, C.; GRAÇA, M.A.S. Leaf barriers to fungal colonization and shredders (*Tipula lateralis*) consumption of decomposing *Eucalyptus globulus*. *Microb. Ecol.*, v. 37, p. 163-172, 1999.
- CESAR, A.; SILVA, S. L. R. da., SANTOS A. R. *Testes de toxicidade aquática no controle da poluição*. 4. ed. Santos: Universidade Santa Cecília, 1997. 37 p.
- CUTLER, D. F.; BOTHA, T.; STEVENSON, D. W. *Anatomia vegetal - uma abordagem aplicada*. Porto Alegre: Artmed, 304p, 2011.
- EVSEEVA, T.I.; GERAS'KIN, S.A.; SHUKTOMOVA, I.I. Genotoxicity and toxicity assay of water sampled from a radium production industry storage cell territory by means of *Allium-test*. *Journal of Environmental Radioactivity*, Oxford, v. 68, p. 235-248, 2003.
- FARKAS, J., MOHÁCSI-FARKAS, C. In: MOTAJERMI, Y. (ed). Safety of foods and beverages: spices and seasonings. *Encyclopedia of Food Safety*. 1º ed. v. 6. Elsevier, 2014. p. 324-330.
- FELIPE, L. O., BICAS, J. L. Terpenos, aromas e a química dos compostos naturais. *Química Nova na Escola*, [s.l.], v. 39, n. 2, p.120-130, 2017. Sociedade Brasileira de Química (SBQ). <http://dx.doi.org/10.21577/0104-8899.20160068>.
- FISKESJO, G. The *Allium* test an alternative in environmental studies: the relative toxicity of metal ions. *Mutation Research*, Amsterdam, v. 197, n. 2, p. 243-260, 1988.
- FLORES, T. B. et al. *Eucalyptus no Brasil: Zoneamento climático e guia de identificação*. Piracicaba: IPEF, 2016. 448 p.
- HE, He et al. Phytotoxic effects of volatile organic compounds in soil water taken from a *Eucalyptus urophylla* plantation. *Plant And Soil*, [s.l.], v. 377, n. 1-2, p.203-215, 20 dez. 2013. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s11104-013-1989-1>.
- HEPP, L. U.; DELANORA, R.; TREVISAN, A. Compostos secundários durante a decomposição foliar de espécies arbóreas em um riacho do sul do Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, Belo Horizonte, v. 23, n. 2, p. 407-413, 2009.
- LEME, D.M.; MARIN-MORALES, M.A. *Allium cepa* test in environmental monitoring: A review on its application. *Mutation Research*, Amsterdam, v. 682, n. 1, p. 71-81, 2009.

- MENDES, Maribel da Silva. Elementos-traço em *Allium cepa* L. e *Lactuca sativa* L. 2008. 160 f. Tese (Doutorado) - Curso de Produção Vegetal, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2008.
- MOREIRA, Thaís Celles et al. Avaliação da toxicidade e da genotoxicidade da ivermectina e da deltametrina através de bioensaio com *Allium cepa*. *Revista Científica da Faminas*, Belo Horizonte, v. 9, n. 1, p.25-40, abr. 2014.
- PAULA, R P et al. Sistema *Allium cepa* como bioindicador de citotoxicidade e genotoxicidade em *Aristolochia elegans* Mast. *Enciclopédia Biosfera*, Goiânia, v. 21, n. 11, p.1749-1746, 2015.
- PEREIRA, J.L. Composição química dos óleos essenciais de espécies de *Eucalyptus* L' Herit (Myrtaceae). 2010. 69f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Agroquímica, Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2010.
- RIBEIRO, Izabel Adelina. *Teste com raízes de cebola para avaliação de toxicidade de efluentes industriais*. 1997. 91 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.
- RICE, E.L. *Allelopathy*. 2nd ed., New York, Academic Press, 1984.
- RIFFEL, A., COSTA J. G. Os voláteis de plantas e o seu potencial para a agricultura. Aracaju, 2015. *Embrapa Tabuleiros Costeiros*. 48 p. Disponível em: <https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br>> Acesso em: 20/12/2018.
- SIMÕES, C.M.O.; SPITZER, V. Óleos essenciais. In: SIMÕES, C.M.O.; SCHENKEL, E.P.; GOSMANN, G., MELLO, J.C.P.; MENTZ, L.A.; PETROVICK, P.R. *Farmacognosia: da planta ao medicamento*. 6 ed. Porto Alegre: UFRGS; Florianópolis: UFSC, 2010. p. 467-495.
- SMAKA-KINCL, V. et al. The evaluation of waste, surface and ground water quality using the *Allium* test procedure. *Mutation Research*, n. 368, p.171-179, 1996.
- TEIXEIRA, M B. Genotoxicidade e modificações anatômicas radiculares em *Allium cepa* L. (Amaralylidaceae) provocadas pelo efluente do beneficiamento de rochas ornamentais. 2014. 85 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Botânica Aplicada, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.
- VALENTE, A. L. P; AUGUSTO, F. Microextração por fase sólida. *Química Nova*, Campinas, v. 4, n. 23, p.523-530, 2000.
- VAUGHN, S. F.; SPENCER, G. F. Volatile monoterpenes as potencial parent structures for new herbicides. *Weed Science*, Champaign, v. 41, p. 114-119, 1993.
- ZINI, C A. Estudos dos compostos voláteis de algumas espécies de eucalipto através do uso de microextração em fase sólida no modo headspace (HS-SPME). 2002. 224 f. Tese (Doutorado) - Curso de Química, Ufrgs, Porto Alegre, 2002.
- ZORATTO, A. C. Avaliação ecotoxicológica de compostos naturais produzidos por *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophyllano* Vale do Rio Doce, Minas Gerais. 2007. 222 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Ciências Ambiental, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.