

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO - UFES
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS - CCAE
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA RURAL - ERU**

SAMUEL FERREIRA DA SILVA

**RISCO DE LIXIVIAÇÃO DE AGROTÓXICOS EM ÁREAS APTAS PARA O CULTIVO
DO EUCALIPTO NO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO**

ALEGRE, ES

2018

SAMUEL FERREIRA DA SILVA

RISCO DE LIXIVIAÇÃO DE AGROTÓXICOS EM ÁREAS APTAS PARA O CULTIVO
DO EUCALIPTO NO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Rosa dos Santos.

ALEGRE, ES

2018

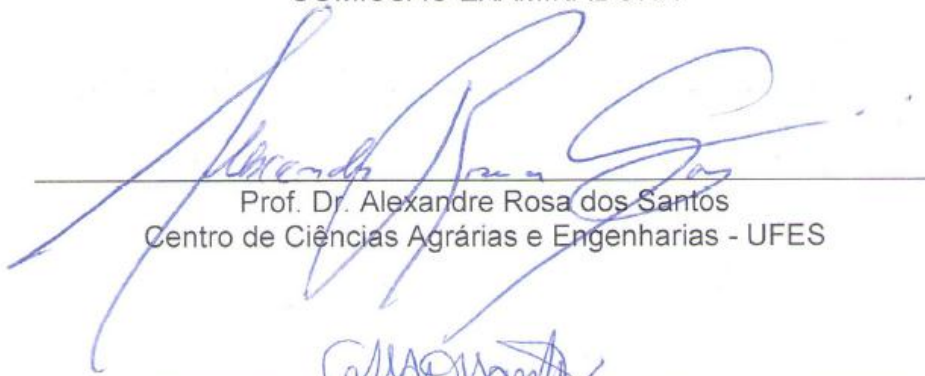
SAMUEL FERREIRA DA SILVA

**RISCO DE LIXIVIAÇÃO DE AGROTÓXICOS EM ÁREAS APTAS PARA O CULTIVO
DO EUCALIPTO NO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Agronomia. Orientador: Prof. Dr. Alexandre Rosa dos Santos.

Aprovado em 03 de julho de 2018

COMISSÃO EXAMINADORA



Prof. Dr. Alexandre Rosa dos Santos
Centro de Ciências Agrárias e Engenharias - UFES



Profª. Dra. Gleissy Mary Amaral Dino Alves dos Santos
Centro de Ciências Agrárias e Engenharias - UFES



Dr. José Romário de Carvalho
Centro de Ciências Agrárias e Engenharias - UFES

AGRADECIMENTOS

Ao único digno de toda honra e glória, nosso Deus, pela força e proteção durante a minha vida. Sempre me proporcionando a oportunidade de seguir em frente.

Ao Professor Alexandre Rosa dos Santos, pela supervisão e orientação, contribuindo diretamente para o meu crescimento profissional e pessoal.

Aos demais professores, pesquisadores, funcionários e estudantes do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo - CCAE/UFES.

Aos membros do grupo de pesquisa do intitulado *Geotechnology Applied to Global Environment* (GAGEN), pelo apoio imprescindível na execução do presente estudo, durante todas as fases.

À infraestrutura referente aos laboratórios do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCAЕ-UFES), principalmente os Laboratórios de Geoprocessamento, Solos, Silvicultura e a Biblioteca Setorial em Ciência Florestal, bem como os equipamentos e softwares para a realização deste estudo.

Finalmente, agradeço imensamente a todos os meus Amigos e Familiares pelo apoio e carinho, sempre me apoiando e incentivando.

Muito obrigado!

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	V
LISTA DE TABELAS	VII
RESUMO.....	VIII
ABSTRACT	IX
1. INTRODUÇÃO	10
2. REVISÃO DE LITERATURA	12
3. MATERIAL E MÉTODOS	15
3.1 Descrição da área de estudo.....	15
3.2 Zoneamento edafoclimático das diferentes espécies e híbrido de eucalipto....	16
3.2.1 Geração do banco de dados.....	16
3.2.2 Regressão linear múltipla e interpolação linear por tendência.....	17
3.2.3 Interpolação espacial por Krigagem esférica	18
3.2.4 Reclassificação espacial para a cultura	18
3.2.5 Cruzamento tabular e zoneamento edafoclimático	19
3.2.6 Vetorização espacial do zoneamento edafoclimático.....	19
3.2.7 Zoneamento edafoclimático para a cultura do eucalipto no estado do Espírito Santo.....	20
3.3 Avaliação do potencial de lixiviação dos princípios ativos de agrotóxicos nas áreas cultivadas com eucalipto empregando os métodos GUS, LIX e RF/AF	21
3.3.1 Método GUS	22
3.3.2 Método LIX.....	23
3.3.3 Métodos RF/AF.....	23
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	25
4.1 Zoneamento edafoclimático para a cultura do eucalipto (<i>Corymbia citriodora</i> , <i>Eucalyptus grandis</i> , <i>Eucalyptus urophylla</i> e <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>Eucalyptus grandis</i>) no estado do Espírito Santo	25
4.2 Avaliação do potencial de lixiviação dos princípios ativos de agrotóxicos utilizados para o eucalipto (<i>Corymbia citriodora</i> , <i>Eucalyptus grandis</i> , <i>Eucalyptus urophylla</i> e <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>Eucalyptus grandis</i>) no estado do Espírito Santo, empregando os métodos GUS e LIX	28
4.3 Espacialização e avaliação do potencial de lixiviação dos princípios ativos de agrotóxicos nas áreas de aptidão edafoclimática para o eucalipto (<i>Corymbia citriodora</i> , <i>Eucalyptus grandis</i> , <i>Eucalyptus urophylla</i> e <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>Eucalyptus grandis</i>) no estado do Espírito Santo empregando os métodos RF/AF.....	30
5. CONCLUSÕES	48
6. REFERÊNCIAS.....	49

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da área de estudo.....	15
Figura 2. Etapas metodológicas realizadas para o desenvolvimento do zoneamento edafoclimático para a cultura do eucalipto no estado do Espírito Santo	20
Figura 3. Zoneamento edafoclimático para o eucalipto A) <i>Corymbia citriodora</i> ; B) <i>Eucalyptus grandis</i> ; C) <i>Eucalyptus urophylla</i> e D) <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>Eucalyptus grandis</i> no estado do Espírito Santo.....	26
Figura 4. Classes de aptidão edafoclimáticas para o eucalipto <i>Corymbia citriodora</i> (CC), <i>Eucalyptus grandis</i> (EG), <i>Eucalyptus urophylla</i> (EU) e <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>Eucalyptus grandis</i> (EE) no estado do Espírito Santo	27
Figura 5. Fator de Retardo (RF) dos agrotóxicos avaliados para a área de aptidão edafoclimática do eucalipto (<i>Corymbia citriodora</i>) no estado do Espírito Santo.....	31
Figura 6. Fator de Retardo (RF) dos agrotóxicos avaliados para a área de aptidão edafoclimática do eucalipto (<i>Eucalyptus grandis</i>) no estado do Espírito Santo.....	32
Figura 7. Fator de Retardo (RF) dos agrotóxicos avaliados para a área de aptidão edafoclimática do eucalipto (<i>Eucalyptus urophylla</i>) no estado do Espírito Santo	33
Figura 8. Fator de Retardo (RF) dos agrotóxicos avaliados para a área de aptidão edafoclimática do eucalipto (<i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>Eucalyptus grandis</i>) no estado do Espírito Santo	34
Figura 9. Fator de Atenuação (AF) do princípio ativo Clorfenapir avaliado para a área de aptidão edafoclimática do eucalipto (<i>Corymbia citriodora</i> , <i>Eucalyptus grandis</i> , <i>Eucalyptus urophylla</i> e <i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>) no estado do Espírito Santo	36
Figura 10. Fator de Atenuação (AF) do princípio ativo Flumioxazina avaliado para a área de aptidão edafoclimática do eucalipto (<i>Corymbia citriodora</i> , <i>Eucalyptus grandis</i> , <i>Eucalyptus urophylla</i> e <i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>) no estado do Espírito Santo.....	37
Figura 11. Fator de Atenuação (AF) do princípio ativo Glifosato avaliado para a área de aptidão edafoclimática do eucalipto (<i>Corymbia citriodora</i> , <i>Eucalyptus grandis</i> , <i>Eucalyptus urophylla</i> e <i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>) no estado do Espírito Santo.....	38
Figura 12. Fator de Atenuação (AF) do princípio ativo Indaziflam avaliado para a área de aptidão edafoclimática do eucalipto (<i>Corymbia citriodora</i> , <i>Eucalyptus grandis</i> , <i>Eucalyptus urophylla</i> e <i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>) no estado do Espírito Santo	39
Figura 13. Fator de Atenuação (AF) do princípio ativo Isoxaflutol avaliado para a área de aptidão edafoclimática do eucalipto (<i>Corymbia citriodora</i> , <i>Eucalyptus grandis</i> , <i>Eucalyptus urophylla</i> e <i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>) no estado do Espírito Santo.....	40
Figura 14. Fator de Atenuação (AF) do princípio ativo Pendimetalina avaliado para a área de aptidão edafoclimática do eucalipto (<i>Corymbia citriodora</i> , <i>Eucalyptus grandis</i> , <i>Eucalyptus urophylla</i> e <i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>) no estado do Espírito Santo.....	41

Figura 15. Fator de Atenuação (AF) do princípio ativo Piraclostrobina avaliado para a área de aptidão edafoclimática do eucalipto (<i>Corymbia citriodora</i> , <i>Eucalyptus grandis</i> , <i>Eucalyptus urophylla</i> e <i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>) no estado do Espírito Santo.....	42
Figura 16. Fator de Atenuação (AF) do princípio ativo Sulfentrazone avaliado para a área de aptidão edafoclimática do eucalipto (<i>Corymbia citriodora</i> , <i>Eucalyptus grandis</i> , <i>Eucalyptus urophylla</i> e <i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>) no estado do Espírito Santo.....	43
Figura 17. Fator de Atenuação (AF) do princípio ativo Tiametoxam avaliado para a área de aptidão edafoclimática do eucalipto (<i>Corymbia citriodora</i> , <i>Eucalyptus grandis</i> , <i>Eucalyptus urophylla</i> e <i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>) no estado do Espírito Santo.....	44
Figura 18. Fator de Atenuação (AF) do princípio ativo Triclopir avaliado para a área de aptidão edafoclimática do eucalipto (<i>Corymbia citriodora</i> , <i>Eucalyptus grandis</i> , <i>Eucalyptus urophylla</i> e <i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>) no estado do Espírito Santo	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Faixas de aptidão térmica para o eucalipto (<i>Corymbia citriodora</i> , <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>Eucalyptus grandis</i> , <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>Eucalyptus urophylla</i>).....	18
Tabela 2. Faixas de aptidão hídrica para o eucalipto (<i>Corymbia citriodora</i> , <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>Eucalyptus grandis</i> , <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>Eucalyptus urophylla</i>).....	18
Tabela 3. Faixas de aptidão edáfica para o eucalipto (<i>Corymbia citriodora</i> , <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>Eucalyptus grandis</i> , <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>Eucalyptus urophylla</i>).....	19
Tabela 4. Variáveis utilizadas para estimar a lixiviação dos princípios ativos de agrotóxicos	21
Tabela 5. Propriedades físico-químicas dos tipos de solos aptos utilizados nos estudos	22
Tabela 6. Classes de potencial de lixiviação para o Fator de Retardo (RF) e Fator de Atenuação (AF)	24
Tabela 7. Potencial risco de lixiviação dos princípios ativos de agrotóxicos no solo pelos métodos GUS e LIX.....	29

RESUMO

O cultivo de espécies do gênero *Eucalyptus* representa a base econômica florestal no estado do Espírito Santo, sendo uma alternativa viável para a produção de energia e subprodutos madeireiros. Estudar técnicas de manejo adequadas nesses cultivos é de fundamental importância, destacando-se o uso de agrotóxicos. Neste contexto, objetivou-se com a realização deste estudo avaliar o potencial risco de lixiviação de agrotóxicos em áreas de aptidão edafoclimática para a cultura do eucalipto no estado do Espírito Santo. Para tanto, foram definidas as áreas de aptidão edafoclimática para as principais espécies e híbrido de eucalipto e, posteriormente, avaliou-se o potencial de lixiviação dos princípios ativos de diferentes agrotóxicos nessas áreas, por meio dos métodos *Groundwater Ubiquity Score* (GUS), *Leaching Index* (LIX) e *Retardation Factor / Attenuation Factor* (RF/AF). Com base nos resultados obtidos, constatou-se que 18,99, 26,37, 56,88 e 50,15% da área do estado é apta ao cultivo das espécies *Corymbia citriodora*, *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla* e o híbrido *E. urophylla* x *E. grandis*, respectivamente. Quanto ao potencial risco de lixiviação dos agrotóxicos nessas áreas aptas, com base nos métodos GUS, LIX e RF/AF, dentre os dez princípios ativos estudados, o Sulfentrazone, Tiametoxam e Triclopir apresentaram potencial risco de lixiviação. Conclui-se que a aplicação desses métodos associados as técnicas de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), são úteis para a avaliação do potencial risco de contaminação das águas subterrâneas, monitorando diversos princípios ativos em áreas extensas, de forma rápida, eficiente e econômica, facilitando a tomada de decisões para a escolha dos agrotóxicos mais indicados para aplicação. Esta proposta metodológica apresenta potencial para ser adaptada para outras áreas, variáveis e culturas.

Palavras-chave: Geotecnologia, Saúde, Meio ambiente, Controle fitossanitário.

ABSTRACT

The cultivation of species of the genus *Eucalyptus* represents a forest economic base in the State of Espírito Santo, being a viable alternative for the production of energy and wood by-products. Studying management techniques for these crops is of fundamental importance, especially the use of agrochemicals. Our objective with this work was to evaluate the potential risk of pesticides leaching in areas of edaphoclimatic suitability for eucalyptus cultivation in the state of Espírito Santo. For that, the areas of edaphoclimatic suitability for the main species and eucalyptus hybrids were defined and the potential of the active principles leaching of the different pesticides in these areas was evaluated using the Groundwater Ubiquity Score (GUS), Leaching Index (LIX) and Retardation Factor / Attenuation Factor (RF/AF). Based on the results, it was possible to verify that 18.99, 26.37, 56.88 and 50.15% of the state area is suitable for the cultivation of *Corymbia citriodora*, *Eucalyptus grandis*, *E. urophylla* and *E. urophylla* x *E. grandis*, respectively. Concerning the potential risk of pesticides leaching in these suitable areas, based on the GUS, LIX and RF/AF methods, among the ten active principles studied, Sulfentrazone, Thiamethoxam and Triclopyr presented a potential leaching risk. It is possible to conclude that the applicability of these methods, associated to Geographic Information Systems (GIS) techniques, are useful for assessing the potential risk of groundwater contamination, monitoring several active principles in large areas, in a fast, efficient and economical way, facilitating the decision-making when choosing the most suitable pesticides for application. This methodological proposal has the potential to be adapted to other areas, variables and cultures.

Keywords: Geotechnology, Spatial analysis, Health, Environment, Phytosanitary control.

1. INTRODUÇÃO

O cultivo de espécies do gênero *Eucalyptus* representa a base econômica florestal no estado do Espírito Santo, sendo uma alternativa viável para a produção de energia e subprodutos madeireiros, que visam atrair viveiros florestais, fábricas de carvão, celulose e painéis de madeira (SPERANDIO et al., 2010; ABRAF, 2013). Entretanto a atual oferta deste produto não atende à demanda, sendo necessário desenvolver técnicas mais eficientes para a identificação de áreas de aptidão para esta cultura.

Dentre estas técnicas, destaca-se o zoneamento edafoclimático, que deve ser constantemente atualizado visando obter maiores informações sobre as condições climáticas das culturas selecionadas e, sobretudo, proporcionar maior retorno dos investimentos a médio e longo prazo para os produtores, pois os índices de produção em áreas impróprias a cultura tendem a serem menores (SOUZA et al., 2015; SANTOS, 2017).

Sabe-se que o processo de produção do eucalipto demanda manejo fitossanitário com uso de diferentes agrotóxicos, com a finalidade de evitar e combater pragas e doenças que geram perdas na colheita. No entanto, a utilização indiscriminada desses agrotóxicos, aliada à falta de informação, tem causado danos e consequências para os trabalhadores e ao meio ambiente. Dentre tais problemas, pode-se destacar a possibilidade de contaminação de cursos d'água e lençóis freáticos por agrotóxicos (ANDRADE et al., 2010; SILVA et al., 2013; SOUZA et al., 2015). Dessa forma, compreender e avaliar o potencial risco de lixiviação de agrotóxicos no sistema planta-solo-água é um fator decisivo para se atingir níveis satisfatórios de produção, baseado em um manejo racional e eficiente.

Neste sentido, para avaliar o potencial risco de lixiviação dos princípios ativos dos agrotóxicos, recomenda-se utilizar alguns métodos matemáticos, sejam mais simples como o GUS (*Groundwater Ubiquity Score*) e LIX (*Leaching Index*), baseados nas características físico-químicas do agrotóxico em questão ou métodos mais complexos como o RF/AF (*Retardation Factor / Attenuation Factor*), baseados nas características físico-químicas do agrotóxico estudado e nas características do solo, como descritos por Rao et al. (1985), Gustafson (1989) e Spadotto (2002).

Para auxiliar na aplicação desses métodos, diversos estudos utilizaram técnicas de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) para o monitoramento da lixiviação de agrotóxicos em áreas de aptidão edafoclimática para diversas culturas, permitindo assim,

avaliar o potencial risco de lixiviação e contaminação das águas subterrâneas, concluindo que a utilização dessas técnicas em conjunto, mostraram-se eficientes para definir áreas com maiores suscetibilidades a contaminação (COUTINHO et al., 2008; ANDRADE et al., 2010; SANTOS, 2017).

Desta forma, em face a necessidade de fornecer suporte de decisão para o diagnóstico, planejamento e gerenciamento governamental, estudos de áreas com risco de lixiviação de agrotóxicos, tornam-se essenciais e justificáveis para o estabelecimento estratégico de mitigação e manejo fitossanitário, pois mesmo se configurando uma necessidade para o manejo adequado com menores riscos de contaminação pelo uso de agrotóxicos, são raros os trabalhos científicos que objetivaram traçar uma metodologia para avaliar o risco de lixiviação dos princípios ativos desses compostos em áreas com aptidão edafoclimática para a cultura do eucalipto.

Diante do exposto, objetivou-se com a realização deste estudo avaliar o potencial risco de lixiviação de agrotóxicos em áreas de aptidão edafoclimática para a cultura do eucalipto no estado do Espírito Santo, empregando os métodos matemáticos GUS, LIX e RF/AF.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A atividade florestal tem desempenhado um importante papel no cenário socioeconômico do país. Isso se deve ao fato de que as áreas de florestas plantadas no território nacional vêm crescendo consideravelmente nos últimos anos. Esse crescimento, especificamente às florestas plantadas de eucalipto, caracteriza-se principalmente pela diversidade de utilização de seus produtos, compreendendo desde a produção, a colheita e o transporte de madeira, até a obtenção dos produtos finais para diferentes segmentos industriais (ABRAF, 2013).

Atualmente, o país se apresenta como líder mundial na produção de derivados do eucalipto, tendo os estados de Minas Gerais, São Paulo, Bahia, Mato Grosso do Sul, Rio Grande do Sul, Espírito Santo e Paraná mais de 80% dos plantios do gênero *Eucalyptus* no Brasil (ABRAF, 2013). O plantio de eucalipto representa a base florestal do estado do Espírito Santo, sendo utilizada principalmente para a produção de celulose, além dos usos como matéria-prima para construção, produção de móveis, lenha e carvão (SPERANDIO et al., 2010). No estado do Espírito Santo, o eucalipto vem sendo utilizada principalmente para a produção de celulose, além dos usos como matéria-prima para construção, produção de móveis, lenha e carvão (SPERANDIO et al., 2010).

A aptidão edafoclimática do eucalipto reflete diretamente nos índices de produção, onde cultivos realizados em áreas impróprias a cultura tende a serem menos produtivos, logo, o conhecimento dessas áreas com aptidão torna-se de fundamental importância para se implantar novos cultivos e possibilitar a adoção do manejo mais adequado dessas áreas (SOUZA et al., 2015).

Pereira et al. (2002) relataram que todas as culturas dependem de condições favoráveis durante o seu ciclo vegetativo. A determinação de áreas de aptidão climática para o cultivo de espécies de interesse agrícola, designado como áreas aptas, restritas e inaptas, é o principal objetivo do zoneamento edafoclimático. De acordo com Ometto (1981) o zoneamento edafoclimático é o estudo da complementação da potencialidade natural de determinada região para dada cultura, no qual, além do clima, inserem-se no estudo os aspectos edáficos e pedológicos.

O zoneamento é uma importante ferramenta de planejamento e gestão ambiental, cujo principal objetivo é regular o uso da terra (SABATINI et al., 2007). Neste contexto, o zoneamento é visto como um instrumento de desenvolvimento global, que traz benefícios ambientais para a preservação e utilização racional dos recursos naturais

(ZIRLEWAGEN et al., 2007; MARÍN et al., 2015; YATES et al., 2015). Além disso, há também vantagens econômicas, pois permite a identificação de áreas potenciais para as atividades agrícolas (SEDIYAMA et al., 2001; CALDIZ et al., 2002; GENG et al., 2014).

Técnicas de zoneamento edafoclimático empregam atualmente Sistema de Informação Geográfica (SIG). Vários estudos relatam que o SIG automatiza tarefas executadas manualmente e facilita a realização de análises complexas, integrando dados georreferenciados (SANTOS et al. 2010; EUGENIO et al., 2011; FERRARI et al., 2012; PELUZIO et al., 2013; PIROVANI et al., 2014; FERRARI et al., 2015; LUPPI et al., 2015; MOREIRA et al., 2015; PANETO et al., 2015; PIROVANI et al., 2015; SILVA et al., 2015).

Este método deve ser considerado em qualquer iniciativa que envolve o planejamento de culturas, incluindo a análise do potencial de lixiviação de agrotóxicos no sistema planta-solo-água, sendo um fator decisivo para se atingir níveis satisfatórios de produção, baseado no manejo racional e eficiente. Assim, o zoneamento edafoclimático para a cultura do eucalipto é uma ferramenta importante no planejamento e consolidação desta atividade.

Além do conhecimento das áreas de aptidão edafoclimática para a cultura do eucalipto, para se atingir níveis de produtividade satisfatórios, deve-se adotar outros manejos, por exemplo, o controle fitossanitário, principalmente relacionados aos fungos, pois as espécies de eucaliptos cultivadas estão sujeitas a dezenas de doenças de origem fúngica, que afetam de forma negativa os seus índices de produção (ALFENAS et al., 2009).

O controle químico dos patógenos é realizado por meio da aplicação de agrotóxicos com diferentes princípios ativos. Estes produtos são compostos orgânicos sintéticos que inibem funções metabólicas dos patógenos, causando-lhes a morte e/ou interrompendo seu ciclo. Estes produtos apresentam alta eficiência e são muito utilizados em grandes áreas de cultivos florestais no Brasil (SILVA et al., 2013).

Estes patógenos são responsáveis por decréscimos na produção do eucalipto, portanto, faz-se necessário a adoção do manejo fitossanitário, desta forma, o uso de agrotóxicos é realizado em praticamente todos os cultivos florestais comerciais do país, o que leva a necessidade de se realizar um monitoramento dessas áreas, a fim de acompanhar possíveis alterações químicas nas características do solo e da água, oriundas da lixiviação dos princípios ativos desses produtos (COUTINHO et al., 2008).

Para a avaliação do risco potencial de lixiviação dos princípios ativos dos agrotóxicos, recomenda-se utilizar alguns métodos mais simples como GUS (*Groundwater Ubiquity Score* – Índice de Vulnerabilidade de Águas Subterrâneas) e LIX (*Leaching Index* – Índice de Lixiviação), baseados nas características físico-químicas do agrotóxico em questão e métodos mais complexos como o RF/AF (*Retardation Factor / Attenuation Factor*), baseados nas características físico-químicas do agrotóxico estudado e nas características do solo (RAO et al., 1985; GUSTAFSON, 1989 e SPADOTTO, 2002).

Os mais de 450 princípios ativos de grande parte dos agrotóxicos em uso no Brasil podem ser avaliados por meio desses métodos, no intuito de subsidiar a priorização de produtos para uso e de orientar investigações subsequentes nas matrizes onde esses compostos apresentem maior potencial de serem encontrados (solo ou água), permitindo a aplicação do manejo mais eficiente desses ambientes (PESSOA et al., 2004).

Trabalhos desenvolvidos com o intuito de estudar a lixiviação desses produtos oriundos do manejo fitossanitário das florestas cultivadas no Brasil, demonstram que o uso indiscriminado e sem critérios dos agrotóxicos, acarretam em contaminação dos solos e lixiviação desses compostos para o lençol freático, contaminando esses mananciais e acarretando impactos negativos ao ambiente (COUTINHO et al., 2008; SILVA et al., 2014; SANTOS e LEITE, 2016).

Desta forma, o estudo da aptidão edafoclimática para a cultura do eucalipto pode reunir informações sobre as condições favoráveis ao seu desenvolvimento e indicar e classificar diferentes zonas de risco. No caso do cultivo das diferentes espécies do eucalipto, os mapas de zonas de risco, acoplados aos modelos de simulação e ao Sistema de Informação Geográfica, podem ser úteis para indicar áreas geográficas ou até mesmo, áreas com predominância de clima mais favoráveis à implantação desses cultivos, e por meio da modelagem indicar riscos de lixiviação dos princípios ativos de diferentes agrotóxicos, baseando-se nos métodos descritos anteriormente (SOUZA et al., 2015).

Mesmo se configurando uma necessidade para o manejo adequado nos cultivos do eucalipto, com menores custos de aplicação e menores riscos de contaminação com o uso desses produtos, são raros os trabalhos científicos que objetivaram traçar uma metodologia para avaliar a dinâmica do manejo fitossanitário em cultivos de diferentes espécies de eucalipto e o risco de lixiviação dos princípios ativos desses compostos.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Descrição da área de estudo

A área de estudo é representada pelo estado do Espírito Santo que possui uma área territorial de 45.987,78 km². Está localizado entre os paralelos de 17°53'29" a 21°18'03" de latitude Sul e os meridianos 39°41'18" a 41°52'45" longitude Oeste de Greenwich (Figura 1). Integra, com os estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo, a chamada Faixa de Desenvolvimento da Região Sudeste (SANTOS, 2006).

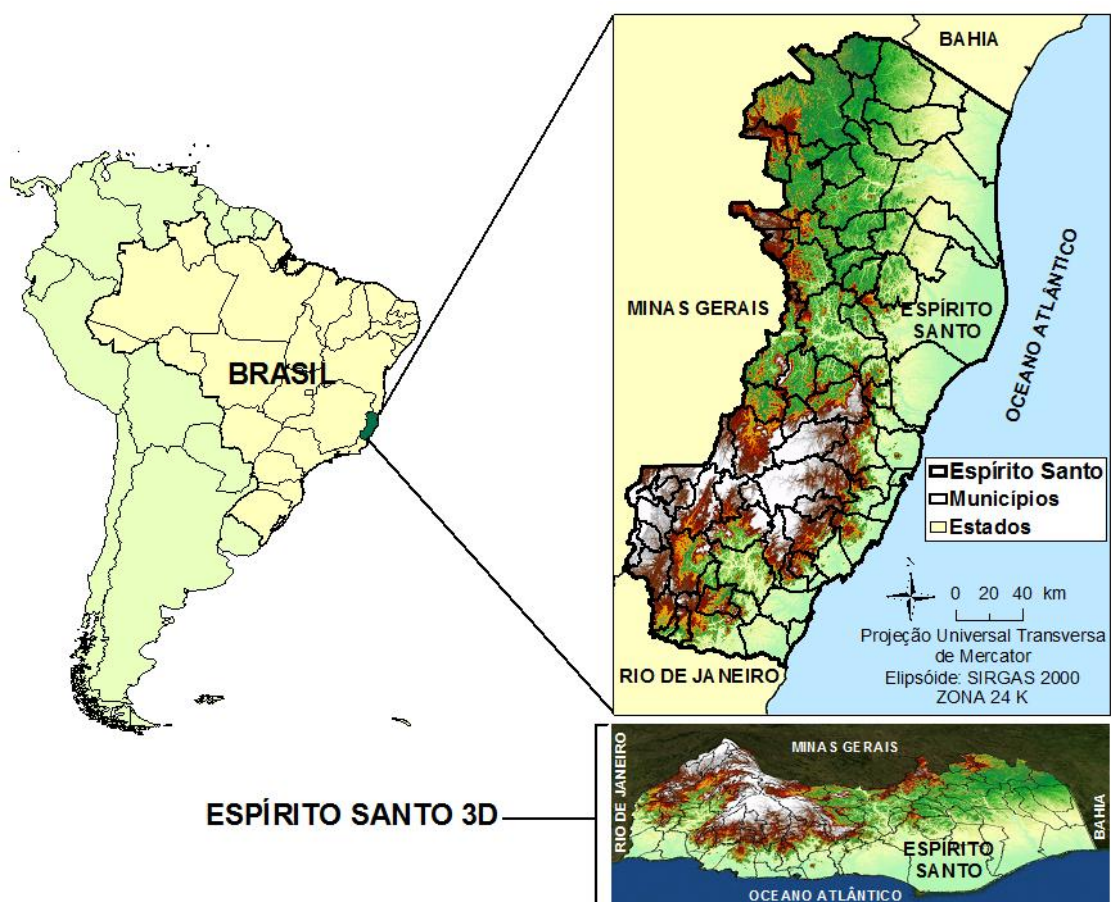


Figura 1. Localização da área de estudo.

Fonte: Santos et al. (2016).

O estado tem quatro tipos de climas de acordo com a classificação de Köppen: a) Cwb: clima subtropical, com invernos secos e verões amenos encontrado na região montanhosa do estado; b) Cwa: clima subtropical com invernos secos e verões quentes encontrado na região sudoeste do estado; c) Am: clima úmido ou subtropical úmido

encontrado na região nordeste do estado; e d) Aw: clima tropical, com invernos secos encontrados na região oeste do estado.

3.2 Zoneamento edafoclimático das diferentes espécies e híbrido de eucalipto

3.2.1 Geração do banco de dados

Todas as operações geotecnológicas foram baseadas em uma série de dados meteorológicos de 30 anos, representativa de 109 estações localizadas no estado do Espírito Santo e áreas limítrofes do mesmo, visando favorecer as interpolações estatísticas futuras dos dados, à norte, no estado da Bahia, à oeste em Minas Gerais e ao sul do estado do Rio de Janeiro.

A base de dados meteorológica foi importada para o aplicativo computacional *Microsoft Office Excel*[®], versão 2010, sendo processado o balanço hídrico agroclimatológico proposto por Thornthwaite e Matter (1955) com o objetivo de gerar uma planilha eletrônica em formato *.xls* contendo 17 campos, sendo: 1) identificador da estação; 2) código da estação; 3) órgão de coordenação; 4) nome da estação; 5) município da estação; 6) altitude da estação; 7) ano inicial da coleta de dados; 8) ano final da coleta de dados; 9) série temporal; 10) longitude; 11) latitude; 12) temperatura média anual; 13) precipitação média anual; 14) evapotranspiração potencial; 15) evapotranspiração real; 16) deficiência hídrica anual; e, 17) excedente hídrico anual.

Após a geração do balanço hídrico, visando, futuramente, não elaborar um “lixo organizado”, foi aplicada uma das fases do método estatístico denominado crítica dos dados, que tem como objetivo encontrar e corrigir falhas, erros ou imperfeições que possam comprometer os resultados espaciais temporais e temáticos.

De posse do aplicativo computacional *ArcGIS*[®], versão 10.3, foi realizada a importação das planilhas eletrônicas, em formato *.xls*, referente aos balanços hídricos, mais especificamente dos campos representativos das coordenadas geográficas longitude e latitude, culminando na vetorização espacial pontual das referidas estações meteorológicas e suas respectivas tabelas de atributos contendo todos os campos referentes aos balanços hídricos.

3.2.2 Regressão linear múltipla e interpolação linear por tendência

Sabendo que na prática, ocorre uma relação linear entre a temperatura (variável dependente) e a altitude (variável independente) (VIANELLO e ALVES, 2004), foi aplicada a regressão linear múltipla (RIBEIRO JR., 2011), utilizando a altitude e as coordenadas *UTM X* e *Y* como variáveis independentes e a temperatura como variável dependente, todas disponibilizadas nas tabelas de atributos oriundas dos balanços hídricos importadas para o aplicativo ArcGIS®, conforme demonstrado na Equação 1:

$$T = \beta_0 + \beta_1 ALT + \beta_2 X + \beta_3 Y; \quad (\text{eq. 1})$$

Em que,

T: temperatura (°C);

β_0 : constante de regressão (adimensional);

β_1, β_2 e β_3 : coeficientes de regressão para as variáveis (adimensional);

ALT: altitude (m);

X: coordenada *UTM X* (m); e,

Y: coordenada *UTM Y* (m).

De posse dos campos das coordenadas *UTM X* e *Y* da imagem vetorial pontual representativa das estações meteorológicas, foi aplicada a interpolação espacial pelas tendências com o objetivo de gerar as imagens matriciais das coordenadas *UTM X* e *Y*.

Além disso, foi importado para o aplicativo computacional ArcGIS® o Modelo Digital de Elevação (MDE) do projeto *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), disponibilizado gratuitamente no portal da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) na escala de 1:250.000 na projeção cartográfica WGS 84 (MIRANDA, 2005).

Aplicou-se a álgebra de mapas, tendo como entrada as equações de regressões lineares múltiplas com suas respectivas variáveis independentes representadas pelas imagens matriciais MDE/SRTM, coordenadas *UTM X* e *Y*, obtendo como saída, as imagens matriciais de temperaturas médias mensais e, posteriormente, a temperatura média anual.

3.2.3 Interpolação espacial por Krigagem esférica

Com base nos campos de precipitação pluviométrica anual e déficit hídrico anual dos pontos da imagem vetorial, representativa das estações meteorológicas, aplicou-se a interpolação espacial por Krigagem esférica (MAZZINI e SCHETTINI, 2009), com ajuste do semivariograma (CRESSIE, 1991), com o objetivo de gerar as imagens matriciais de precipitação pluviométrica anual e déficit hídrico anual.

3.2.4 Reclassificação espacial para a cultura

Sobre as imagens matriciais de temperatura média anual, precipitação pluviométrica anual e déficit hídrico anual, aplicou-se a função de “reclassificação espacial” com o objetivo de representar as classes de aptidão, restrição e inaptidão (Tabelas 1, 2 e 3), para as espécies e híbrido da cultura do eucalipto (SPERANDIO et al., 2010).

Tabela 1. Faixas de aptidão térmica para o eucalipto (*Corymbia citriodora*, *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*).

Aptidão	Temperatura (°C)			
	<i>Corymbia citriodora</i>	<i>Eucalyptus grandis</i>	<i>Eucalyptus urophylla</i>	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>
Apta	20 a 24	17 a 23	19 a 26	18 a 25
Restrita	19 a 20 e	15 a 17 e	18 a 19 e	17 a 18 e
	24 a 25	23 a 25	26 a 27	25 a 26
Inapta	< 19 e > 25	< 15 e > 25	< 18 e > 27	< 17 e > 26

Tabela 2. Faixas de aptidão hídrica para o eucalipto (*Corymbia citriodora*, *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*).

Aptidão	Deficiência hídrica (mm)			
	<i>Corymbia citriodora</i>	<i>Eucalyptus grandis</i>	<i>Eucalyptus urophylla</i>	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>
Apta Sem Irrigação	< 90	< 120	< 210	< 170
Apta com Irrigação Ocasional	90 a 270	120 a 240	210 a 310	170 a 340
Apta com Irrigação Obrigatória	> 270	> 240	> 310	> 340

Tabela 3. Faixas de aptidão edáfica para o eucalipto (*Corymbia citriodora*, *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*).

Aptidão	Solos (eucalipto)
Apta	Argissolo
	Cambissolo
	Chernossolo
	Latossolo
	Neossolo flúvico
	Neossolo litólico
	Nitossolo vermelho
	Organossolo háplico
Inapta	Afloramento de rocha
	Espodossolo
	Gleissolo
	Neossolo quartzarênico
	Solos indiscriminados

3.2.5 Cruzamento tabular e zoneamento edafoclimático

A função “cruzamento tabular” foi aplicada sobre as imagens matriciais reclassificadas com a finalidade de gerar o zoneamento edafoclimático para as diferentes espécies e híbrido do eucalipto.

3.2.6 Vetorização espacial do zoneamento edafoclimático

Nesta etapa, todas as quatro imagens matriciais representativas do zoneamento edafoclimático foram convertidas para o formato vetorial poligonal. Devido ao elevado número de polígonos obtidos após o processo de conversão vetorial, aplicou-se a função “dissolução” poligonal, tendo como saída uma nova imagem vetorial com tabela de atributos contendo apenas três classes de aptidão denominadas aptas, inaptas e restritas.

Na tabela de atributo da imagem vetorial poligonal dissolvida, criou-se três novos campos, com tipos de dados reais, intitulados área, perímetro e porcentagem. Em estado de edição, utilizando a função “cálculo geométrico”, foi calculada as áreas (km²) e perímetros (km) para as referidas classes de aptidão. Finalmente, por meio da função “calculadora de campos”, calculou-se a porcentagem das classes de aptidão.

3.2.7 Zoneamento edafoclimático para a cultura do eucalipto no estado do Espírito Santo

O fluxograma metodológico contendo as etapas realizadas para o desenvolvimento do zoneamento edafoclimático para a cultura do eucalipto no estado do Espírito Santo é apresentado na Figura 2.

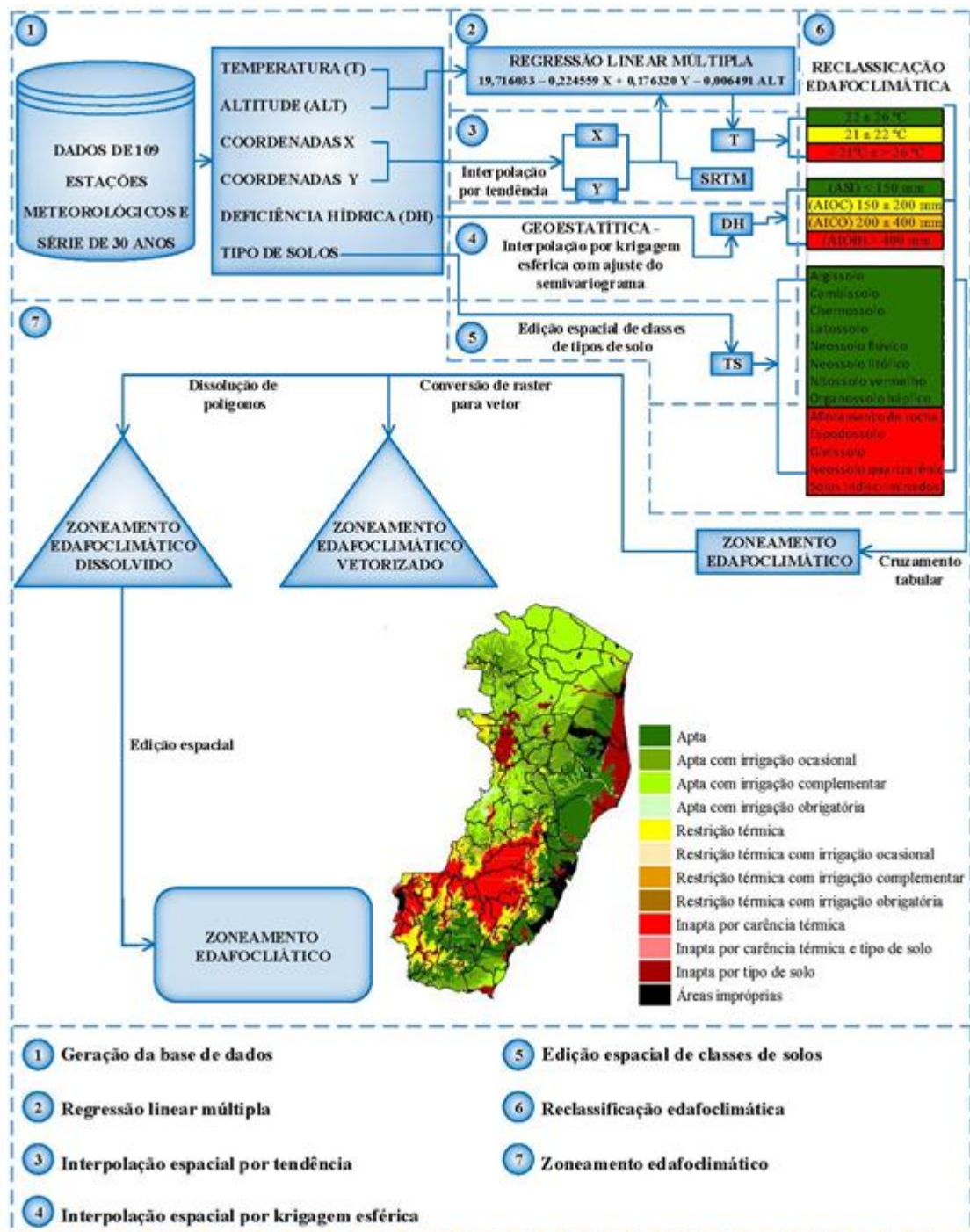


Figura 2. Etapas metodológicas realizadas para o desenvolvimento do zoneamento edafoclimático para a cultura do eucalipto no estado do Espírito Santo.

3.3 Avaliação do potencial de lixiviação dos princípios ativos de agrotóxicos nas áreas cultivadas com eucalipto empregando os métodos GUS, LIX e RF/AF

Como o objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial de risco de lixiviação de agrotóxicos em áreas de aptidão edafoclimática para a cultura do eucalipto no estado do Espírito Santo, os agrotóxicos estudados foram aqueles que estão na lista de ingredientes ativos autorizados pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 2018).

Para tanto, foi realizado um levantamento junto à Associação dos Plantadores de Eucaliptos do estado do Espírito Santo e Órgãos de Extensão Rural, para obtenção de informações referente a venda e distribuição dos agrotóxicos mais frequentemente aplicados na cultura do eucalipto que foram utilizados para avaliação do potencial de risco de lixiviação em áreas de aptidão edafoclimática pelos métodos GUS, LIX e RF/AF. Para aplicação de tais métodos foram utilizados dados referentes ao clima, solos e princípios ativos dos agrotóxicos (Tabelas 4 e 5).

Tabela 4. Variáveis utilizadas para estimar a lixiviação dos princípios ativos de agrotóxicos.

Agrotóxicos	$t_{1/2}$	K_{oc}	k	K_H
Clorfenapir ¹	1,40	12.000,00	0,4951051290	0,0005810000
Flumioxazina ¹	21,90	889,00	0,0316505562	0,1450000000
Glifosato ¹	15,00	1.424,00	0,0462098120	0,0000002100
Indaziflam ¹	150,00	1.000,00	0,0046209812	0,0000026900
Isoxaflutol ¹	0,90	145,00	0,7701635340	0,0000187000
Pendimetalina ¹	182,30	17.491,00	0,0038022336	1,2700000000
Piraclostrobina ¹	32,00	9.304,00	0,0216608494	0,0000053100
Sulfentrazone ^{1,2}	541,00	43,00	0,0012812332	0,0001878000
Tiametoxam ¹	50,00	56,20	0,0138629436	0,0000000005
Triclopir ¹	39,00	27,00	0,0177730046	0,0029000000

Fonte: ¹IUPAC (2018) e ²Lourencetti et al. (2005). $t_{1/2}$: tempo de meia-vida do agrotóxico no solo (dias⁻¹); K_{oc} : coeficiente de adsorção à matéria orgânica do solo (mL g⁻¹); k: constante de velocidade de reação de primeira ordem do agrotóxico ($k=\ln 2/ t_{1/2}$) (dias⁻¹); K_H : constante de Henry (m³ mol⁻¹).

Tabela 5. Propriedades físico-químicas dos tipos de solos aptos utilizados nos estudos.

Solos	F _c	ρ	OC	δ
Argissolo ¹	0,2950	1,5875	0,0263	0,5875
Cambissolo ²	0,4685	1,4000	0,0296	0,4763
Chernossolo ^{3,4}	0,1540	1,4200	0,0218	0,4800
Latossolo ¹	0,2625	1,2625	0,0194	0,5875
Neossolo flúvico ⁵	0,2027	1,3700	0,0088	0,4450
Neossolo litólico ⁶	0,2637	1,6900	0,0024	0,3500
Nitossolo vermelho ¹	0,3250	1,2625	0,0225	0,6375
Organossolo háplico ⁷	0,2080	0,2660	0,3738	0,8900

Fonte: ¹Gomes et al. (2001); ²Portugal et al. (2008); ³Alvez et al. (2014); ⁴Bonumá et al. (2014); ⁵Coelho et al. (2008); ⁶Parahyba (2013) e ⁷Scheer et al. (2011). F_c: capacidade de campo do solo (v v⁻¹); ρ : densidade do solo (g cm⁻³); OC: teor de carbono orgânico do solo (g g⁻¹); δ : porosidade do solo na capacidade de campo (v v⁻¹).

3.3.1 Método GUS

Este método, proposto por Gustafson (1989), foi empregado para estimar o potencial de lixiviação de agrotóxicos para água subterrânea sendo expresso pela Equação 2:

$$GUS = \log(t_{1/2\text{ solo}}) \cdot (4 - \log K_{oc}) \quad (\text{eq. 2})$$

Em que,

$t_{1/2\text{ solo}}$: meia vida do produto no solo (dias⁻¹); e,

K_{oc} : coeficiente de adsorção ao carbono orgânico (mL g⁻¹).

Posteriormente, o valor de GUS obtido para cada princípio ativo foi classificado em uma das categorias definidas por faixas pré-estabelecidas, conforme os seguintes intervalos:

- a) $GUS \leq 1,8$ = não sofre lixiviação;
- b) $1,8 < GUS < 2,8$ = faixa de transição; e
- c) $GUS \geq 2,8$ = provável lixiviação.

3.3.2 Método LIX

Este método, proposto por Spadotto (2002), foi empregado para estimar o potencial de lixiviação de agrotóxicos para água subterrânea sendo expresso pela Equação 3:

$$LIX = \exp(-k \cdot K_{oc}) \quad (\text{eq. 3})$$

Em que,

k : constante de degradação de primeira ordem do agrotóxico no solo (dias^{-1}); e,

K_{oc} : coeficiente de adsorção ao carbono orgânico (mL g^{-1}).

Posteriormente, o valor de LIX obtido para cada princípio ativo foi classificado em uma das categorias definidas por faixas pré-estabelecidas, conforme os seguintes intervalos:

- a) 0 = nulo;
- b) 0 e 0,1 = zona de transição; e
- c) $\geq 0,1$ = potencial de lixiviação.

3.3.3 Métodos RF/AF

Este método, proposto por Rao et al. (1985), foi empregado para estimar o retardo da lixiviação do composto orgânico relativo à percolação da água (RF) e a atenuação estimada por meio do aporte relativo de massa de um composto orgânico na água subterrânea (AF), ou seja, estima a fração de agrotóxico que aplicado à superfície lixívia através do solo a uma determinada profundidade, obtidos pelas Equações 4 e 5:

$$RF = 1 + \left(\frac{\rho \cdot OC \cdot K_{oc}}{FC} \right) + \left(\frac{\delta \cdot K_H}{FC} \right) \quad (\text{eq. 4})$$

Em que,

ρ : densidade do solo (g cm^{-3});

OC : teor de carbono orgânico do solo (g g^{-1});

δ : porosidade do solo na capacidade de campo ($v v^{-1}$);

K_H : coeficiente de partição ar-água do agrotóxico ($m^3 mol^{-1}$); e,

FC : capacidade de campo do solo ($v v^{-1}$).

$$AF = \exp\left(\frac{-0,693 \cdot L \cdot RF \cdot FC}{q \cdot t_{1/2}}\right) \quad (\text{eq. 5})$$

Em que,

L : profundidade da água subterrânea (ou profundidade considerada) a partir da superfície do solo (m);

RF : fator de retardação (adimensional);

FC : capacidade de campo do solo ($v v^{-1}$);

q : recarga líquida da água subterrânea ($mm dia^{-1}$); e,

$t_{1/2}$ solo: meia vida do produto no solo ($dias^{-1}$).

Os métodos RF/AF foram associados ao Sistema de Informação Geográfica (SIG) por meio do aplicativo computacional ArcGIS®, versão 10.3, sendo os resultados expressos em forma de mapas temáticos e as informações sobre o risco de contaminação de águas subterrâneas foram espacializadas para as áreas de aptidão edafoclimática, considerando as classes de solos, obtidas no mapa de Distribuição e Classificação de Solos do Brasil (EMBRAPA, 2013) para as espécies e híbrido de eucalipto no estado do Espírito Santo, nas seguintes classes de potencial de lixiviação (Tabela 6):

Tabela 6. Classes de potencial de lixiviação para o Fator de Retardo (RF) e Fator de Atenuação (AF).

Fator de Retardo (RF)	Potencial de adsorção	Fator de Atenuação (AF)	Potencial de lixiviação
1,0	Muito baixo	0,0	Nulo
1,0 a 2,0	Baixo	0,0 a 0,0001	Muito baixo
2,0 a 3,0	Médio	0,0001 a 0,01	Baixo
3,0 a 10,0	Alto	0,01 a 0,1	Médio
> 10,0	Muito alto	0,1 a 0,25	Alto
-	-	0,25 a 1,0	Muito alto

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

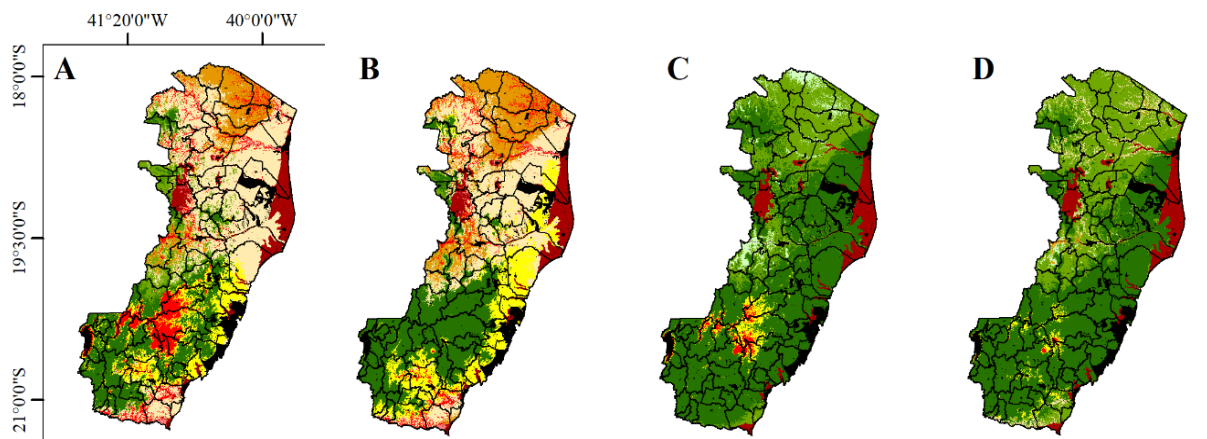
4.1 Zoneamento edafoclimático para a cultura do eucalipto (*Corymbia citriodora*, *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*) no estado do Espírito Santo

O Zoneamento edafoclimático para as três espécies de eucalipto *Corymbia citriodora* (CC), *Eucalyptus grandis* (EG) e *Eucalyptus urophylla* (EU) e o híbrido *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* (EE), no estado do Espírito Santo são apresentados nas Figuras 3 e 4.

De acordo com os resultados obtidos, observa-se que as áreas aptas para as espécies CC (Figuras 3a e 4), EG (Figuras 3b e 4) e EU (Figuras 3c e 4) e o híbrido EE (Figuras 3d e 4), corresponderam a 18,99, 26,37, 56,88 e 50,15% da área do estado, respectivamente. As áreas aptas com algum tipo de restrição somaram 7,55, 1,58 e 25,91% para as espécies CC, EG e EU, respectivamente e 30,45% para o híbrido EE.

Para as áreas com alguma restrição, obteve-se um total de 50,78, 54,26 e 3,29%, para as espécies CC, EG e EU, respectivamente e 6,89% para o híbrido EE. Enquanto, as áreas inaptas somaram 16,89, 11,99, 8,12 e 6,70%, para as espécies CC, EG e EU e o híbrido EE, respectivamente (Figuras 3 e 4).

Tais resultados demonstram o potencial do estado do Espírito Santo para o cultivo de eucalipto. Este potencial é corroborado com os índices de produção de eucalipto no estado, de forma que em conjunto com os estados de Minas Gerais, São Paulo, Bahia, Mato Grosso do Sul, Rio Grande do Sul e Paraná, representam mais de 80% dos plantios do gênero *Eucalyptus* no Brasil (ABRAF, 2013). Segundo um levantamento do INCAPER (Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural), estima-se que haja no estado do Espírito Santo mais de 250 mil hectares de eucalipto plantado (INCAPER, 2018).



Legenda	Classes de Aptidão	A (CC)		B (EG)		C (EU)		D (EE)	
		Área (km ²)	%	Área (km ²)	%	Área (km ²)	%	Área (km ²)	%
	Apta	8.731,49	18,99	12.125,35	26,37	26.156,19	56,88	23.062,25	50,15
	Apta com irrigação ocasional	3.359,45	7,31	702,38	1,53	10.178,44	22,13	13.687,97	29,76
	Apta com irrigação obrigatória	110,92	0,24	25,01	0,05	1.738,94	3,78	319,01	0,69
	Restrição térmica	4.672,34	10,16	6.705,82	14,58	1.514,49	3,29	999,18	2,17
	Restrição térmica com irrigação ocasional	14.509,24	31,55	11.276,49	24,52	-	-	1.896,88	4,12
	Restrição térmica com irrigação obrigatória	4.171,30	9,07	6.973,19	15,16	-	-	278,08	0,60
	Inapta por carência térmica	4.779,87	10,39	2.526,37	5,49	746,55	1,62	91,24	0,20
	Inapta por carência térmica e tipo de solo	224,39	0,49	224,39	0,49	-	-	-	-
	Inapta por tipo de solo	2.764,46	6,01	2.764,46	6,01	2.988,85	6,50	2.988,85	6,50
	Áreas impróprias	2.664,32	5,79	2.664,32	5,79	2.664,32	5,79	2.664,32	5,79
	Total	45.987,78	100,00	45.987,78	100,00	45.987,78	100,00	45.987,78	100,00



0 100 200 km

Sistema de Coordenadas Geográficas
Datum: WGS 84

Figura 3. Zoneamento edafoclimático para o eucalipto A) *Corymbia citriodora*; B) *Eucalyptus grandis*; C) *Eucalyptus urophylla* e D) *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* no estado do Espírito Santo.

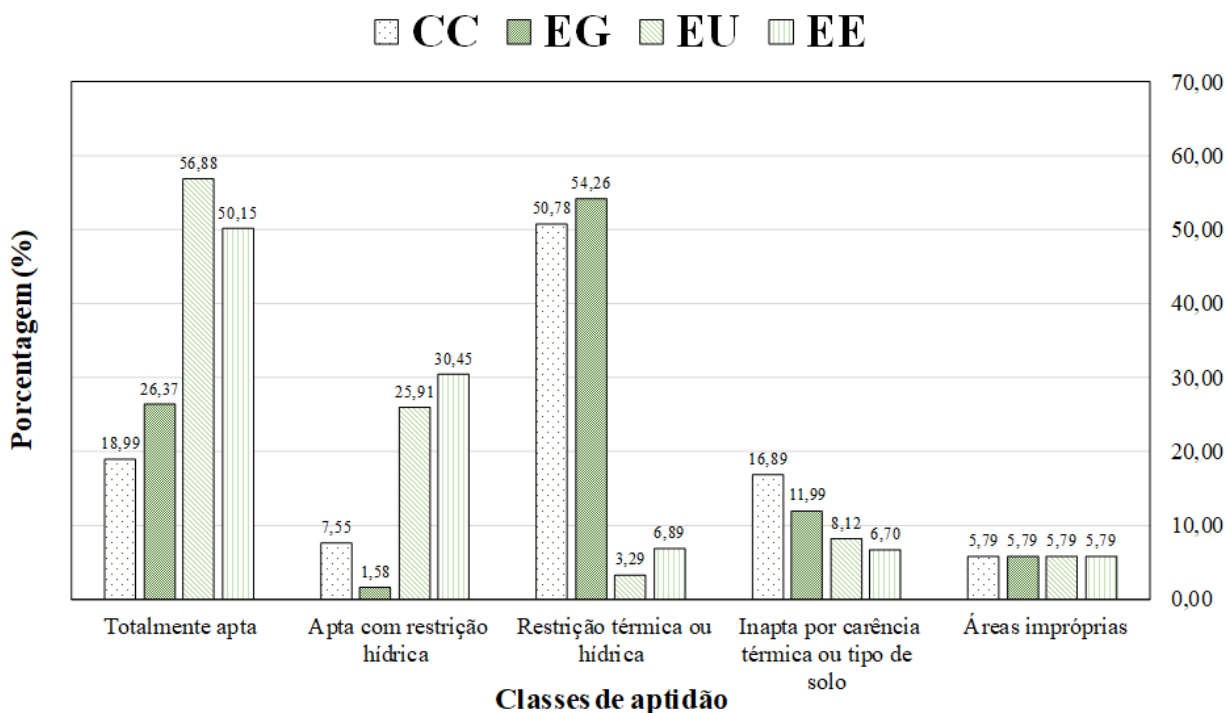


Figura 4. Classes de aptidão edafoclimáticas para o eucalipto *Corymbia citriodora* (CC), *Eucalyptus grandis* (EG), *Eucalyptus urophylla* (EU) e *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* (EE) no estado do Espírito Santo.

De acordo com os resultados relativos ao zoneamento edafoclimático para a cultura do eucalipto no estado do Espírito Santo (Figuras 3 e 4), nota-se que as variáveis meteorológicas temperatura e deficiência hídrica do solo apresentaram forte influência sobre as áreas aptas, restritas e inaptas, pois estas estão relacionadas com a velocidade das reações químicas celulares que governam o crescimento da planta e o desenvolvimento fotossintético, dependente tanto da disponibilidade de água no solo, como da medida do nível de energia do sistema solo-água-planta (MALAVOLTA, 2008; TAIZ e ZEIGER, 2013).

As áreas consideradas aptas tanto para as espécies como para o híbrido de eucalipto estão relacionadas com a elevada amplitude do relevo caracterizado por altitudes menores em grande parte do estado e altitudes elevadas principalmente na região Sul e Sudoeste Serrano. Neste sentido, pelo fato de ocorrer uma diminuição da temperatura média do ar em relação ao aumento da altitude (VIANELLO e ALVES, 2004), as áreas consideradas aptas para o cultivo da cultura estão localizadas na região Sul do estado com predomínio de relevo suavemente ondulado, onde as temperaturas são mais amenas em comparação ao Norte do estado (SANTOS et al., 2016). Esta característica

é muito importante, uma vez que a temperatura considerada apta para cultivo das espécies e híbrido do eucalipto não ultrapassam 26°C.

Em relação aos tipos de solo do estado do Espírito Santo, os solos considerados inaptos (Afloramento de rocha, Espodossolo, Gleissolo, Neossolo quartzarênico e Solos indiscriminados), para o desenvolvimento tanto das espécies como do híbrido do eucalipto estão localizados, em sua maioria, nas áreas mais baixas, próximas à linha de costa do Oceano Atlântico. Estes solos apresentam restrições físicas e químicas que impedem o pleno desenvolvimento tanto das espécies como do híbrido do eucalipto.

Apesar de algumas áreas serem consideradas restritas ou inaptas ao cultivo do eucalipto com base no zoneamento edafoclimático realizado, tais áreas podem vir a serem consideradas aptas, utilizando-se de técnicas de melhoramento genético e biotecnologia, para o desenvolvimento de novas cultivares mais resistentes às variações climáticas, edáficas e, sobretudo, ao ataque de pragas e doenças, favorecendo a expansão de novas áreas produtivas que atualmente são consideradas restritas ou inaptas (CAPPA et al., 2018; LESLIE et al., 2018).

4.2 Avaliação do potencial de lixiviação dos princípios ativos de agrotóxicos utilizados para o eucalipto (*Corymbia citriodora*, *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*) no estado do Espírito Santo, empregando os métodos GUS e LIX

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 7, avaliou-se com base nas características físico-químicas dos agrotóxicos estudados o potencial risco de lixiviação dos princípios ativos no solo, por meio dos métodos GUS e LIX. Destacam-se para ambos os métodos os princípios ativos Sulfentrazone, Tiametoxam e Triclopir, sendo classificados com provável e potencial risco de lixiviação no solo. Os resultados obtidos com ambos os métodos foram similares quanto a classificação do potencial risco de lixiviação dos ingredientes ativos em direção as águas subterrâneas. Tais resultados corroboram os dados obtidos por Santos (2017), ao estudar o potencial risco de lixiviação de agrotóxicos em áreas de cafeicultura no estado do Espírito Santo, aplicando os métodos GUS e LIX.

No processo de produção do eucalipto esta análise preliminar torna-se um fator decisivo para o manejo racional e eficiente com a finalidade de controlar e combater pragas, doenças e plantas daninhas que geram perdas no desenvolvimento da cultura e

consequente diminuição na quantidade e qualidade da madeira produzida. Além disso, estas técnicas de triagem e índices para a escolha dos agrotóxicos mais indicados a serem utilizados nos cultivos podem vir a ser uma ferramenta valiosa no estudo de risco de contaminação da água subterrânea (PARAÍBA et al., 2003; HALL et al., 2015).

Tabela 7. Potencial risco de lixiviação dos princípios ativos de agrotóxicos no solo pelos métodos GUS e LIX.

Agrotóxicos	GUS	Classificação*	LIX	Classificação**
Clorfenapir	-0,01157	NL	0,00000	N
Flumioxazina	1,40894	NL	0,00000	N
Glifosato	0,99555	NL	0,00000	N
Indaziflam	2,17609	FT	0,00985	ZT
Isoxaflutol	-0,08413	NL	0,00000	N
Pendimetalina	-0,54895	NL	0,00000	N
Piraclostrobina	0,04716	NL	0,00000	N
Sulfentrazone	6,46820	PL	0,94641	PL
Tiametoxam	3,82313	PL	0,45882	PL
Triclopir	4,08687	PL	0,61886	PL

* NL: Não Sofre Lixiviação; FT: Faixa de Transição; PL: Provável Lixiviação. ** N: Nulo; ZT: Zona de Transição; PL: Potencial de Lixiviação.

Estes métodos apontam o potencial de lixiviação destes princípios ativos no perfil do solo. Isto significa que substâncias com elevado potencial de lixiviação podem ser transportadas pelo fluxo de água no perfil do solo, atingindo, consequentemente, as águas subterrâneas. E do mesmo modo, podem ser transportadas pelo escoamento superficial em direção aos corpos de águas. Quanto maior o tempo de meia vida de uma substância, maior será o tempo em que ela estará disponível no ambiente, logo, a possibilidade de ser lixiviada será maior. Para as substâncias que apresentam tempos de meia-vida menores, a lixiviação pode ocorrer logo após a sua aplicação, em casos de condições favoráveis, como elevados índices de precipitação. Isto, porque estas substâncias apresentam menor tempo de disponibilidade no solo por serem degradadas mais rapidamente (SEVERINO e SILVA, 2012).

Por outro lado, quanto menor for o coeficiente de adsorção, maior será o potencial de lixiviação dos princípios ativos de cada agrotóxico, pois sua capacidade de sorção em relação ao solo é reduzida (HALL et al., 2015). Estas características inerentes a cada princípio ativo podem vir a ser a justificativa pelas diferenças de classificação e potencial risco de lixiviação obtidos no presente estudo com a aplicação dos métodos GUS e LIX.

Desta forma, tais métodos podem ser utilizados para selecionar quais princípios ativos devem receber maior atenção durante a escolha dos produtos a serem aplicados nos cultivos. Apesar de sua facilidade para a estimativa do potencial risco de lixiviação, os métodos GUS e LIX não levam em consideração outras variáveis, como as condições ambientais (clima, textura e conteúdo de água do solo), as características pedológicas da área (tipos de solo, topografia e presença de sistemas de drenagem e redes de entrada de escoamento de águas superficiais) e as práticas de manejo (tratos culturais, seleção da cultura e métodos de aplicação dos agrotóxicos), sendo assim, os métodos GUS e LIX devem ser utilizados apenas para uma análise preliminar do risco de lixiviação dos princípios ativos no solo (LOURENCETTI et al., 2005; SANTOS e LEITE, 2016; SANTOS, 2017).

Com base nesta análise crítica dos métodos GUS e LIX, os resultados sugerem que o uso apenas das propriedades físico-químicas dos agrotóxicos, não são suficientes para prever o potencial de lixiviação dessas moléculas com eficácia em diferentes ambientes. Desta forma, é justificável a adoção de outros métodos, baseados não apenas nas características físico-químicas do agrotóxico, como também nas características do solo e condições climáticas da área de estudo, com destaque para os métodos RF/AF, também empregados neste estudo.

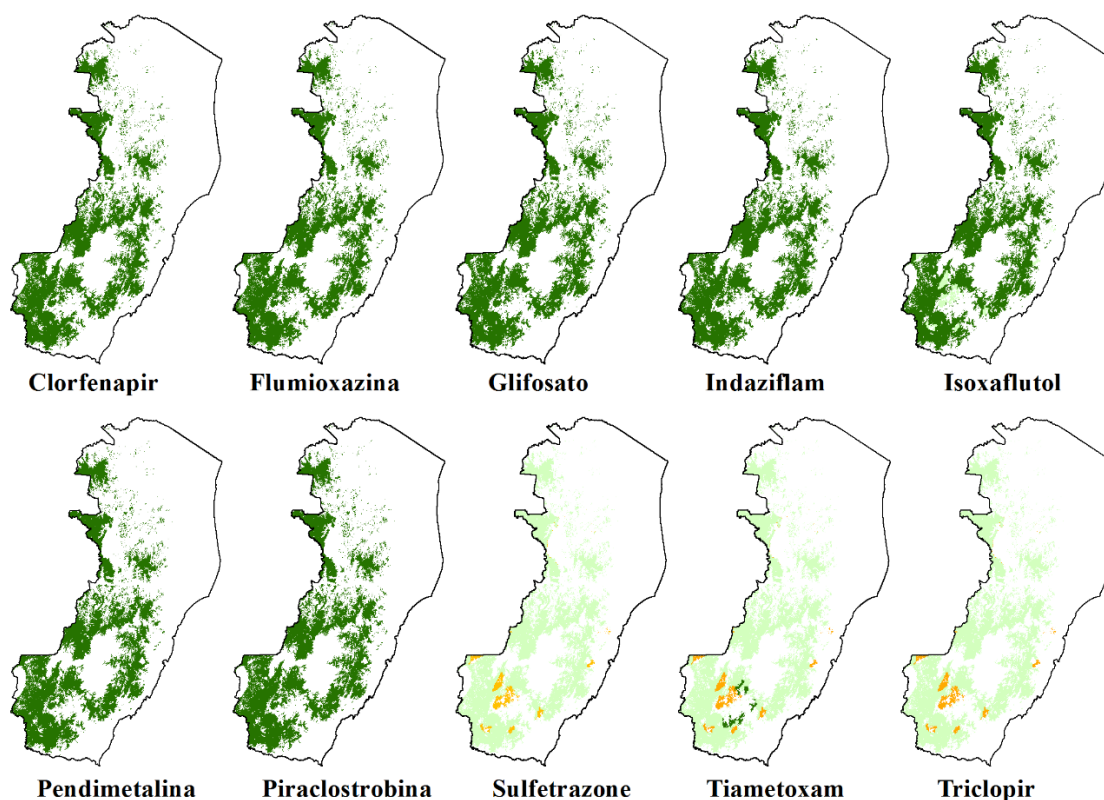
4.3 Espacialização e avaliação do potencial de lixiviação dos princípios ativos de agrotóxicos nas áreas de aptidão edafoclimática para o eucalipto (*Corymbia citriodora*, *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*) no estado do Espírito Santo empregando os métodos RF/AF

O Fator de Retardo (RF) de cada agrotóxico avaliado para as três espécies e o híbrido de eucalipto no estado do Espírito Santo são apresentados nas Figuras 5, 6, 7 e 8. Dos dez princípios ativos avaliados para as culturas, seis (Clorfenapir, Flumioxazina, Glifosato, Indaziflam, Pendimetalina e Piraclostrobina), apresentaram Muito Alto potencial de adsorção equivalente a 100% da área de aptidão do zoneamento edafoclimático para as culturas no estado, enquanto, um (Isoxaflutol) apresentou Alto potencial de adsorção para 4,60%, 4,51% e 2,53% da área para as espécies CC, EG e EU e 2,50% para o híbrido EE, respectivamente.

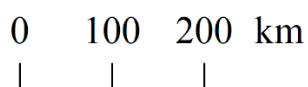
Os resultados mais preocupantes foram obtidos para três princípios ativos (Sulfentrazone, Tiametoxam e Triclopir), que apresentaram Baixo potencial de adsorção,

equivalente a 4,59% da área para a espécie CC, 4,51% da área para a espécie EG, 2,10, 2,10 e 2,12% da área para a espécie EU, respectivamente e 2,24, 2,24 e 2,21% da área para o híbrido EE, respectivamente. É importante destacar que quanto menor for o coeficiente de adsorção, maior será o potencial de lixiviação do ingrediente ativo, pois sua capacidade de sorção em relação ao solo é reduzida (SEVERINO e SILVA, 2012; HALL et al., 2015). Desta forma, é desejável que os princípios ativos tenham um alto fator de retardo, diminuindo o transporte dessas moléculas do solo até o lençol freático.

Corymbia citriodora



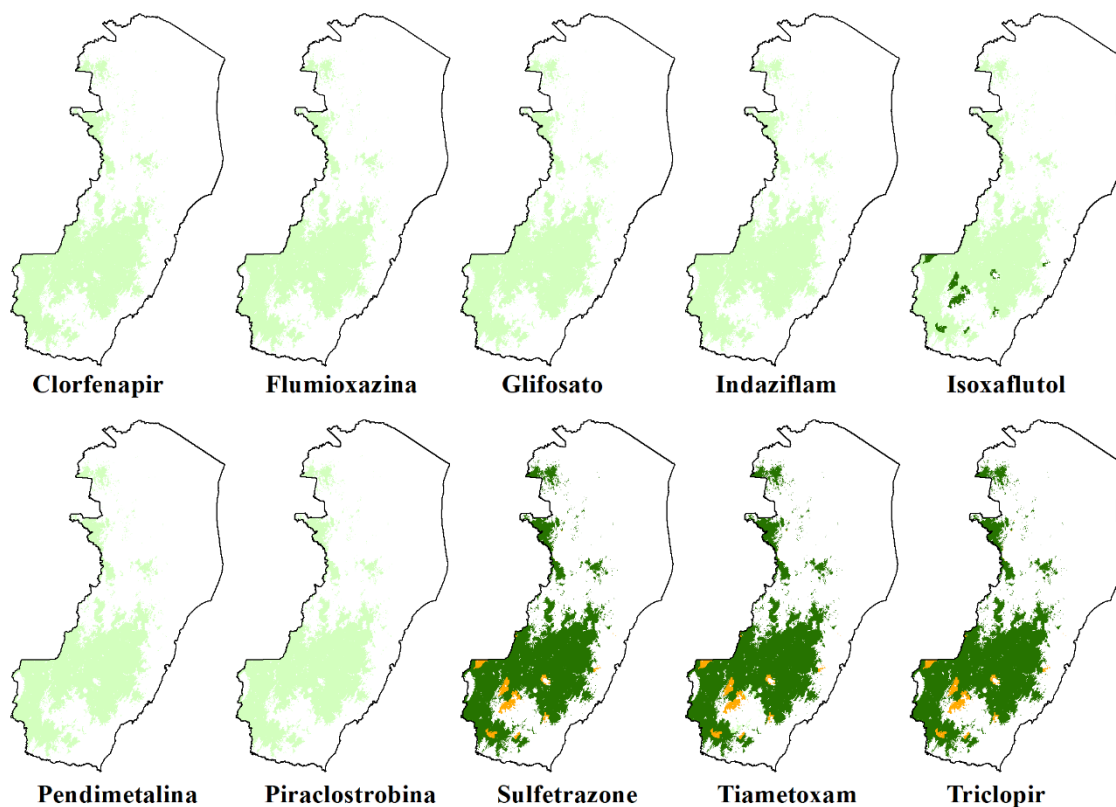
Agrotóxicos	Fator de Retardo (RF)										Total (km²)
	Muito baixo ≤ 1,0		Baixo 1,0 a 2,0		Médio 2,0 a 3,0		Alto 3,0 a 10,0		Muito Alto > 10,0		
	Área (km²)	%	Área (km²)	%	Área (km²)	%	Área (km²)	%	Área (km²)	%	
Clorfenapir	-	-	-	-	-	-	-	-	12.201,86	100,00	12.201,86
Flumioxazina	-	-	-	-	-	-	-	-	12.201,86	100,00	
Glifosato	-	-	-	-	-	-	-	-	12.201,86	100,00	
Indaziflam	-	-	-	-	-	-	-	-	12.201,86	100,00	
Isoxaflutol	-	-	-	-	-	-	560,82	4,60	11.641,04	95,40	
Pendimetalina	-	-	-	-	-	-	-	-	12.201,86	100,00	
Piraclostrobina	-	-	-	-	-	-	-	-	12.201,86	100,00	
Sulfentrazone	-	-	560,21	4,59	-	-	11.641,65	95,41	-	-	
Tiametoxam	-	-	560,21	4,59	-	-	11.390,30	93,35	251,35	2,06	
Triclopir	-	-	560,21	4,59	0,61	0,01	11.641,04	95,40	-	-	



Sistema de Coordenadas Geográficas
Datum: WGS 84

Figura 5. Fator de Retardo (RF) dos agrotóxicos avaliados para a área de aptidão edafoclimática do eucalipto (*Corymbia citriodora*) no estado do Espírito Santo.

Eucalyptus grandis



Agrotóxicos	Fator de Retardo (RF)										Total (km ²)
	Muito baixo ≤ 1,0		Baixo 1,0 a 2,0		Médio 2,0 a 3,0		Alto 3,0 a 10,0		Muito Alto > 10,0		
	Área (km ²)	%	Área (km ²)	%	Área (km ²)	%	Área (km ²)	%	Área (km ²)	%	
Clorfenapir	-	-	-	-	-	-	-	-	12.852,74	100,00	12.852,74
Flumioxazina	-	-	-	-	-	-	-	-	12.852,74	100,00	
Glifosato	-	-	-	-	-	-	-	-	12.852,74	100,00	
Indaziflam	-	-	-	-	-	-	-	-	12.852,74	100,00	
Isoxaflutol	-	-	-	-	-	-	579,89	4,51	12.272,85	95,49	
Pendimetalina	-	-	-	-	-	-	-	-	12.852,74	100,00	
Piraclostrobina	-	-	-	-	-	-	-	-	12.852,74	100,00	
Sulfentrazone	-	-	579,85	4,51	-	-	12.272,89	95,49	-	-	
Tiametoxam	-	-	579,85	4,51	-	-	12.145,96	94,50	126,93	0,99	
Triclopir	-	-	579,85	4,51	0,04	0,00	12.272,85	95,49	-	-	



0 100 200 km

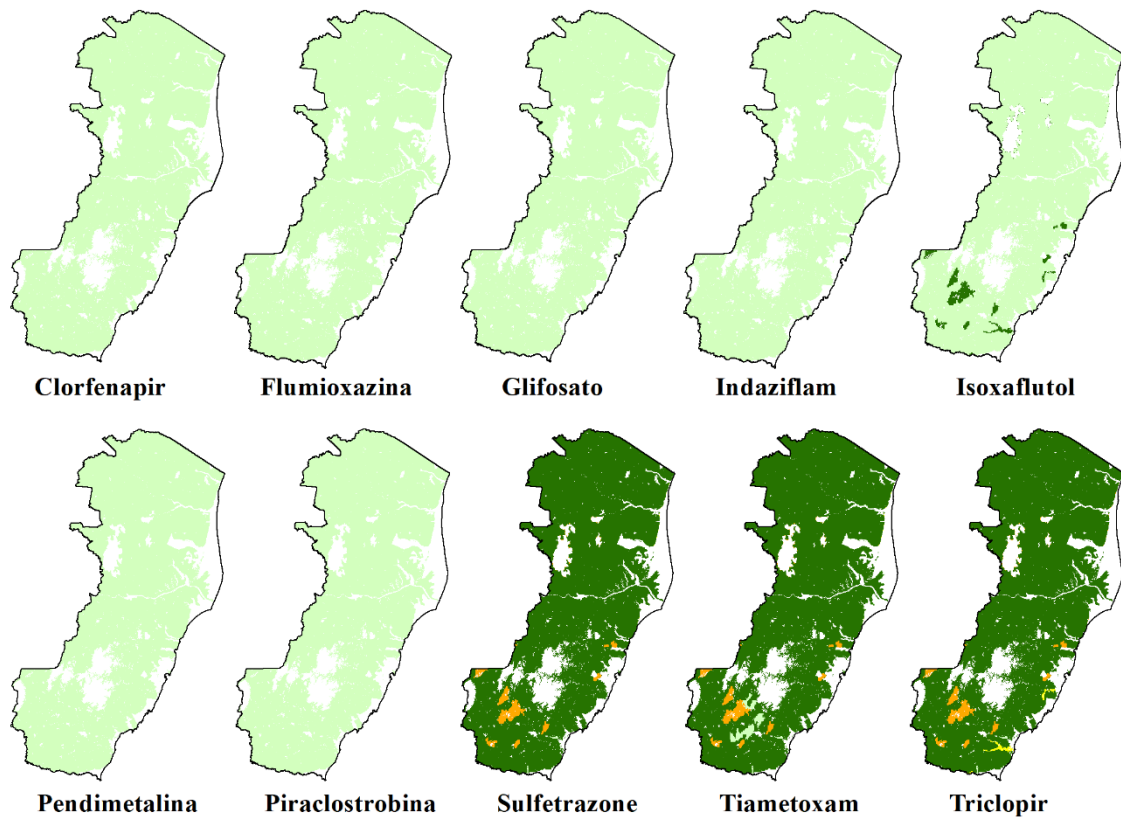


Sistema de Coordenadas Geográficas

Datum: WGS 84

Figura 6. Fator de Retardo (RF) dos agrotóxicos avaliados para a área de aptidão edafoclimática do eucalipto (*Eucalyptus grandis*) no estado do Espírito Santo.

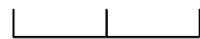
Eucalyptus urophylla



Agrotóxicos	Fator de Retardo (RF)										Total (km ²)
	Muito baixo ≤ 1,0		Baixo 1,0 a 2,0		Médio 2,0 a 3,0		Alto 3,0 a 10,0		Muito Alto > 10,0		
	Área (km ²)	%	Área (km ²)	%	Área (km ²)	%	Área (km ²)	%	Área (km ²)	%	
Clorfenapir	-	-	-	-	-	-	-	-	38.073,57	100,00	38.073,57
Flumioxazina	-	-	-	-	-	-	-	-	38.073,57	100,00	
Glifosato	-	-	-	-	-	-	-	-	38.073,57	100,00	
Indaziflam	-	-	-	-	-	-	-	-	38.073,57	100,00	
Isoxaflutol	-	-	-	-	-	-	963,63	2,53	37.109,94	97,47	
Pendimetalina	-	-	-	-	-	-	-	-	38.073,57	100,00	
Piraclostrobina	-	-	-	-	-	-	-	-	38.073,57	100,00	
Sulfentrazone	-	-	800,72	2,10	7,29	0,02	37.231,40	97,79	34,16	0,09	
Tiametoxam	-	-	800,72	2,10	7,29	0,02	36.752,89	96,53	512,67	1,35	
Triclopir	-	-	808,01	2,12	155,62	0,41	37.082,02	97,40	27,92	0,07	



0 100 200 km

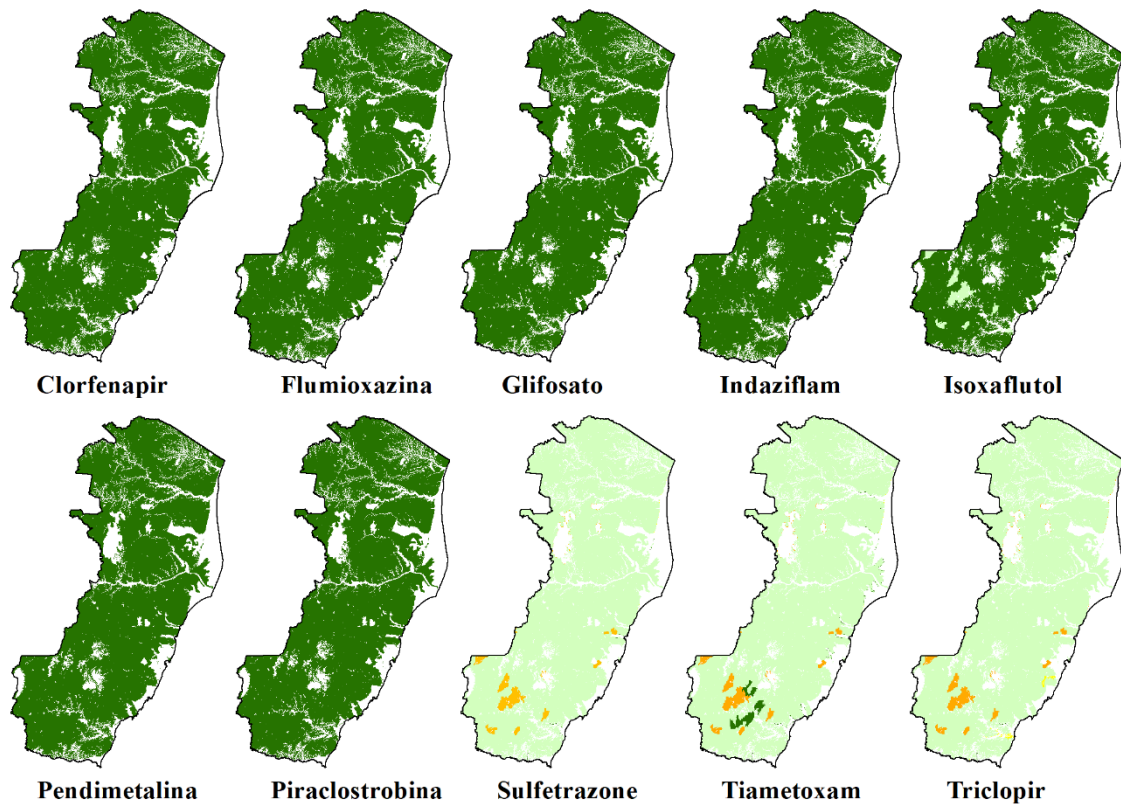


Sistema de Coordenadas Geográficas

Datum: WGS 84

Figura 7. Fator de Retardo (RF) dos agrotóxicos avaliados para a área de aptidão edafoclimática do eucalipto (*Eucalyptus urophylla*) no estado do Espírito Santo.

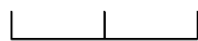
E. urophylla x E. grandis



Agrotóxicos	Fator de Retardo (RF)										Total (km ²)
	Muito baixo ≤ 1,0		Baixo 1,0 a 2,0		Médio 2,0 a 3,0		Alto 3,0 a 10,0		Muito Alto > 10,0		
	Área (km ²)	%	Área (km ²)	%	Área (km ²)	%	Área (km ²)	%	Área (km ²)	%	
Clorfenapir	-	-	-	-	-	-	-	-	37.069,23	100,00	37.069,23
Flumioxazina	-	-	-	-	-	-	-	-	37.069,23	100,00	
Glifosato	-	-	-	-	-	-	-	-	37.069,23	100,00	
Indaziflam	-	-	-	-	-	-	-	-	37.069,23	100,00	
Isoxaflutol	-	-	-	-	-	-	924,94	2,50	36.144,29	97,50	
Pendimetalina	-	-	-	-	-	-	-	-	37.069,23	100,00	
Piraclostrobina	-	-	-	-	-	-	-	-	37.069,23	100,00	
Sulfetrazone	-	-	831,48	2,24	7,25	0,02	36.218,30	97,71	12,2	0,03	
Tiametoxam	-	-	831,48	2,24	7,25	0,02	35.755,88	96,46	474,62	1,28	
Triclopir	-	-	838,73	2,26	86,21	0,23	36.138,18	97,49	6,11	0,02	



0 100 200 km



Sistema de Coordenadas Geográficas

Datum: WGS 84

Figura 8. Fator de Retardo (RF) dos agrotóxicos avaliados para a área de aptidão edafoclimática do eucalipto (*Eucalyptus urophylla x Eucalyptus grandis*) no estado do Espírito Santo.

Dos dez princípios ativos avaliados para a cultura do eucalipto (Figuras 9 a 18), sete destacam-se com praticamente 100% da área com classificação Nula ou Muito Baixo risco de lixiviação, sendo eles, Clorfenapir, Flumioxazina, Glifosato, Indaziflam, Isoxaflutol, Pendimetalina e Piraclostrobina. Tais resultados foram observados quando

levado em consideração a profundidade média do lençol freático, assim como, a profundidade efetiva do sistema radicular da cultura do eucalipto, demonstrando que de fato, esses princípios ativos quando aplicados de forma racional e metodologicamente correta, não apresentam riscos de lixiviação no solo, baseando-se no Fator de Atenuação (AF) de cada princípio ativo.

Assim como observado nos métodos anteriores (GUS, LIX e RF), os três princípios ativos que apresentaram os resultados mais danosos ao ambiente, ou seja, maiores riscos de lixiviação e potencial contaminação do lençol freático, foram o Sulfentrazone, Tiametoxam e Triclopir. Esses três princípios ativos indicaram valores representativos para as classes variando de Muito Baixo a Alto potencial risco de lixiviação. Esses resultados foram observados em ambos os cenários estudados (profundidade média do lençol freático e profundidade efetiva do sistema radicular da cultura).

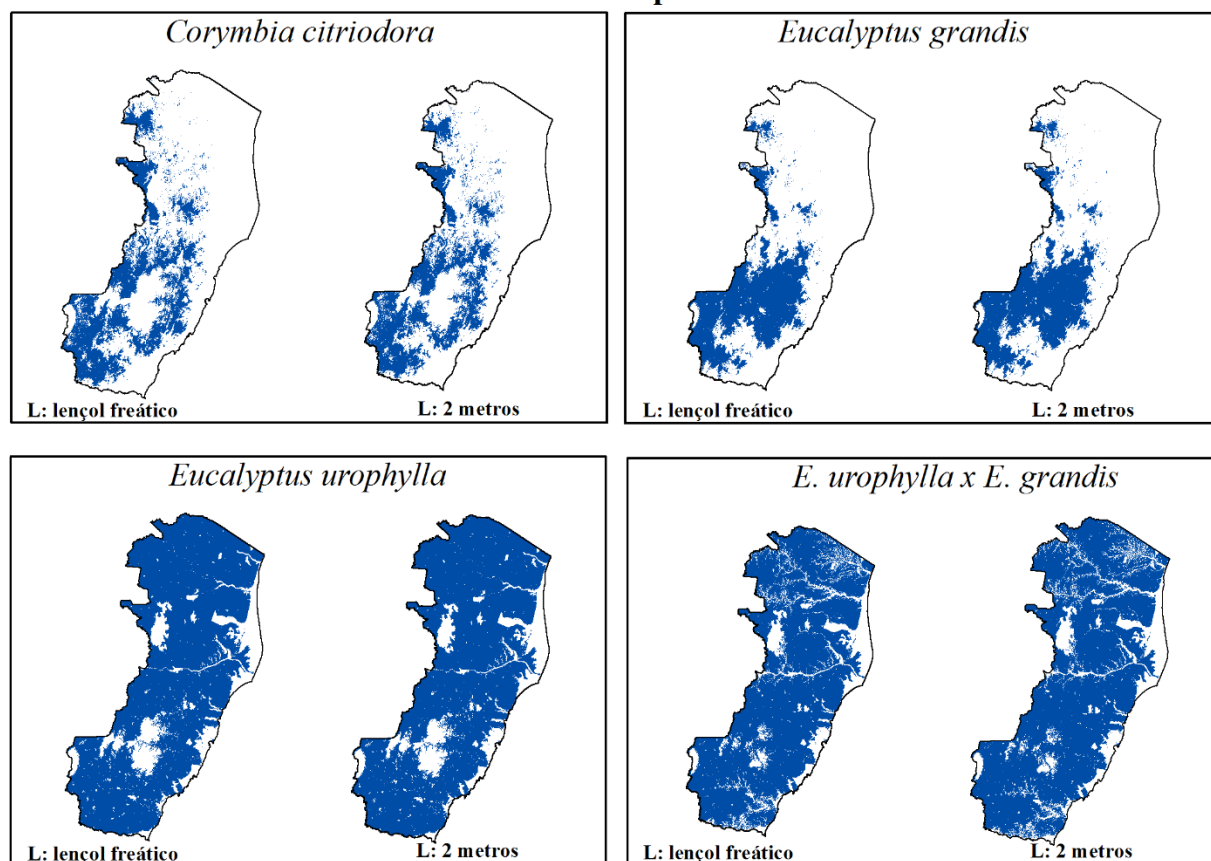
Para o princípio ativo Sulfentrazone (Figura 16), os resultados obtidos revelaram que para as três espécies e o híbrido de eucalipto a nível de lençol freático, o potencial de lixiviação manteve-se como Muito Alto, correspondendo a 0,09% (13,58 km²) da área do estado para a espécie EU e 0,03% (12,13 km²) da área para o híbrido EE. Enquanto, a nível de profundidade do sistema radicular da cultura a classe Muito Alto, correspondeu a 0,17% (21,14 km²) para a espécie CC, 0,23% (29,30 km²) para a espécie EG, 0,08% (29,19 km²) para a espécie EU e 0,09% (32,35 km²) para o híbrido EE.

Em relação ao princípio ativo Tiametoxam (Figura 17), os resultados obtidos revelaram que quando adotada a profundidade do lençol freático, houve um Baixo risco de lixiviação, correspondendo a uma área de 2,64 km² para a espécie EU e 2,45 km² para o híbrido EE. Em ambos os casos, correspondendo a 0,01% da área total edafoclimaticamente apta para o cultivo da cultura no estado. Para o princípio ativo Triclopir (Figura 18), também a nível de lençol freático, houve um Baixo risco de lixiviação, correspondendo a uma área de 5,01 km² para a espécie EU e 4,52 km² para o híbrido EE. Essas áreas podem ser consideradas irrisórias, uma vez que representam apenas 0,01% da área edafoclimaticamente apta para a implantação e cultivo da cultura do eucalipto no estado.

É válido destacar que quanto maior o fator de atenuação maior é o potencial de contaminação do lençol freático, logo, é desejável que os princípios ativos dos agrotóxicos sejam classificados como Muito Baixo fator de atenuação. Isto se deve ao fato da degradação das moléculas dos agrotóxicos no solo serem resultantes da combinação de eventos químicos e predominantemente biológicos, portanto, quanto

maior à atenuação dessas moléculas menos espessa se tornam, favorecendo assim, sua degradação no ambiente, conseqüentemente, aumentado o risco de contaminação do lençol freático (COUTINHO et al., 2008; SILVA et al., 2014; SANTOS e LEITE, 2016).

Clorfenapir



Profundidade (m)	Legenda	Potencial de lixiviação	Fator de Atenuação (AF)	<i>Corymbia citriodora</i>		<i>Eucalyptus grandis</i>		<i>Eucalyptus urophylla</i>		<i>E. urophylla x E. grandis</i>	
				Área (km ²)	%	Área (km ²)	%	Área (km ²)	%	Área (km ²)	%
Nível do lençol freático		Muito baixo	0,0 a 0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-
		Baixo	0,0001 a 0,01	-	-	-	-	-	-	-	-
		Médio	0,01 a 0,1	-	-	-	-	-	-	-	-
		Alto	0,01 a 0,25	-	-	-	-	-	-	-	-
		Muito alto	0,25 a 1	-	-	-	-	-	-	-	-
		Áreas nulas	-	-	12.201,86	100,00	12.852,86	100,00	38.073,57	100,00	37.069,23
Total				12.201,86	100,00	12.852,86	100,00	38.073,57	100,00	37.069,23	100,00
2		Muito baixo	0,0 a 0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-
		Baixo	0,0001 a 0,01	-	-	-	-	-	-	-	-
		Médio	0,01 a 0,1	-	-	-	-	-	-	-	-
		Alto	0,01 a 0,25	-	-	-	-	-	-	-	-
		Muito alto	0,25 a 1	-	-	-	-	-	-	-	-
		Áreas nulas	-	-	12.201,86	100,00	12.852,86	100,00	38.073,57	100,00	37.069,23
Total				12.201,86	100,00	12.852,86	100,00	38.073,57	100,00	37.069,23	100,00

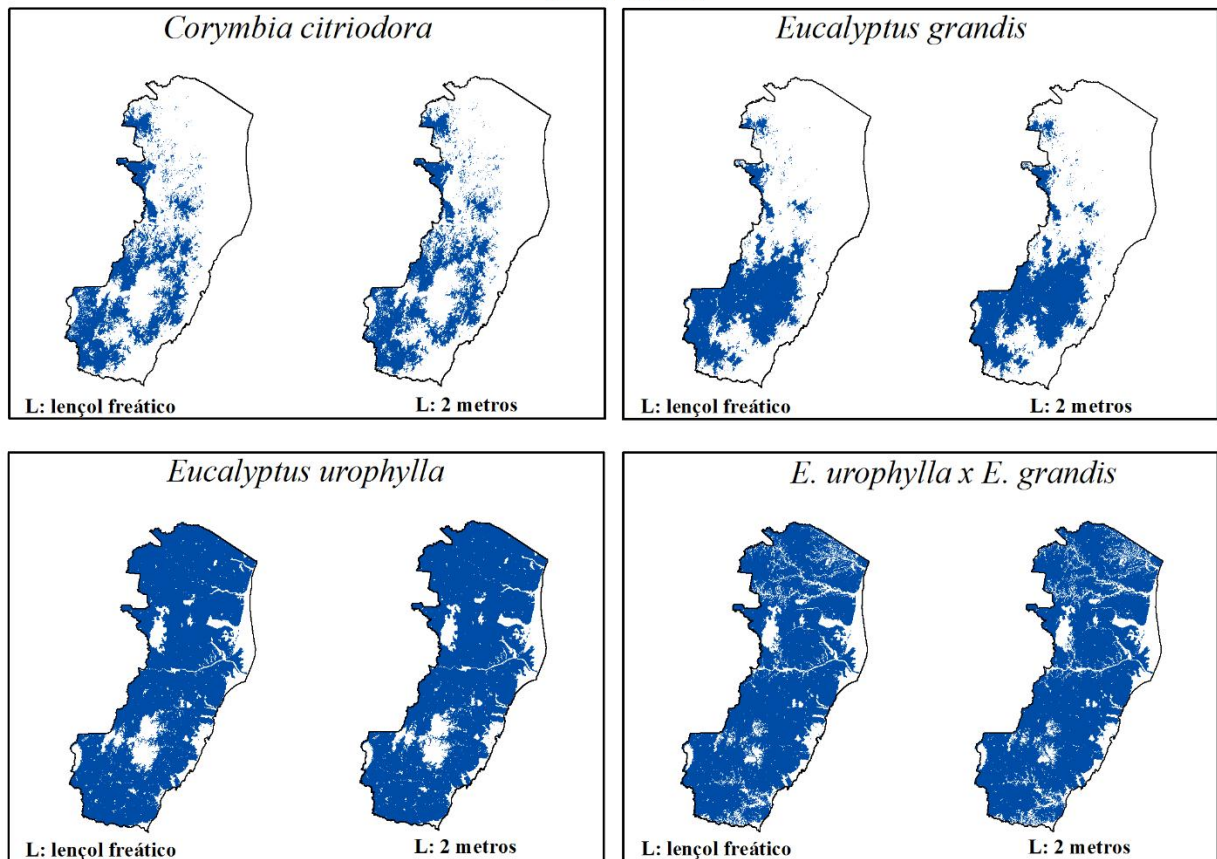


0 140 280 km

Sistema de Coordenadas Geográficas
Datum: WGS 84

Figura 9. Fator de Atenuação (AF) do princípio ativo Clorfenapir avaliado para a área de aptidão edafoclimática do eucalipto (*Corymbia citriodora*, *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla* e *E. urophylla x E. grandis*) no estado do Espírito Santo.

Flumioxazina



Profundidade (m)	Legenda	Potencial de lixiviação	Fator de Atenuação (AF)	<i>Corymbia citriodora</i>		<i>Eucalyptus grandis</i>		<i>Eucalyptus urophylla</i>		<i>E. urophylla x E. grandis</i>	
				Área (km ²)	%	Área (km ²)	%	Área (km ²)	%	Área (km ²)	%
Nível do lençol freático		Muito baixo	0,0 a 0,0001	-	-	-	-	0,25	0,00	0,22	0,00
		Baixo	0,0001 a 0,01	-	-	-	-	0,02	0,00	0,02	0,00
		Médio	0,01 a 0,1	-	-	-	-	-	-	-	-
		Alto	0,01 a 0,25	-	-	-	-	-	-	-	-
		Muito alto	0,25 a 1	-	-	-	-	-	-	-	-
		Áreas nulas	-	-	12.201,86	100,00	12.852,86	100,00	38.073,30	100,00	37.068,99
	Total			12.201,86	100,00	12.852,86	100,00	38.073,57	100,00	37.069,23	100,00
2		Muito baixo	0,0 a 0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-
		Baixo	0,0001 a 0,01	-	-	-	-	-	-	-	-
		Médio	0,01 a 0,1	-	-	-	-	-	-	-	-
		Alto	0,01 a 0,25	-	-	-	-	-	-	-	-
		Muito alto	0,25 a 1	-	-	-	-	-	-	-	-
		Áreas nulas	-	-	12.201,86	100,00	12.852,86	100,00	38.073,57	100,00	37.069,23
	Total			12.201,86	100,00	12.852,86	100,00	38.073,57	100,00	37.069,23	100,00

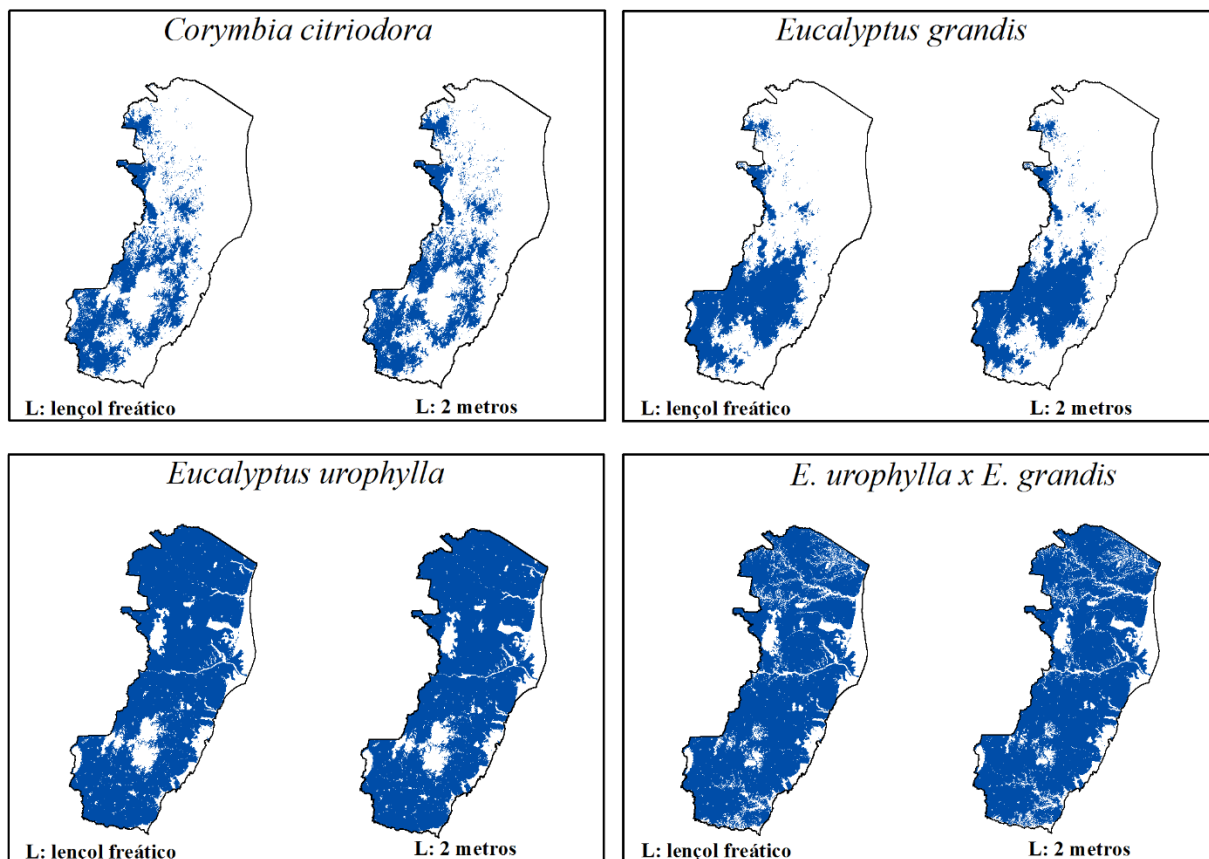


0 150 300 km

Sistema de Coordenadas Geográficas
Datum: WGS 84

Figura 10. Fator de Atenuação (AF) do princípio ativo Flumioxazina avaliado para a área de aptidão edafoclimática do eucalipto (*Corymbia citriodora*, *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla* e *E. urophylla x E. grandis*) no estado do Espírito Santo.

Glifosato



Profundidade (m)	Legenda	Potencial de lixiviação	Fator de Atenuação (AF)	<i>Corymbia citriodora</i>		<i>Eucalyptus grandis</i>		<i>Eucalyptus urophylla</i>		<i>E. urophylla x E. grandis</i>	
				Área (km ²)	%	Área (km ²)	%	Área (km ²)	%	Área (km ²)	%
Nível do lençol freático		Muito baixo	0,0 a 0,0001	-	-	-	-	0,10	0,00	0,10	0,00
		Baixo	0,0001 a 0,01	-	-	-	-	-	-	-	-
		Médio	0,01 a 0,1	-	-	-	-	-	-	-	-
		Alto	0,01 a 0,25	-	-	-	-	-	-	-	-
		Muito alto	0,25 a 1	-	-	-	-	-	-	-	-
		Áreas nulas	-	-	12.201,86	100,00	12.852,86	100,00	38.073,47	100,00	37.069,13
	Total			12.201,86	100,00	12.852,86	100,00	38.073,57	100,00	37.069,23	100,00
2		Muito baixo	0,0 a 0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-
		Baixo	0,0001 a 0,01	-	-	-	-	-	-	-	-
		Médio	0,01 a 0,1	-	-	-	-	-	-	-	-
		Alto	0,01 a 0,25	-	-	-	-	-	-	-	-
		Muito alto	0,25 a 1	-	-	-	-	-	-	-	-
		Áreas nulas	-	-	12.201,86	100,00	12.852,86	100,00	38.073,57	100,00	37.069,23
	Total			12.201,86	100,00	12.852,86	100,00	38.073,57	100,00	37.069,23	100,00

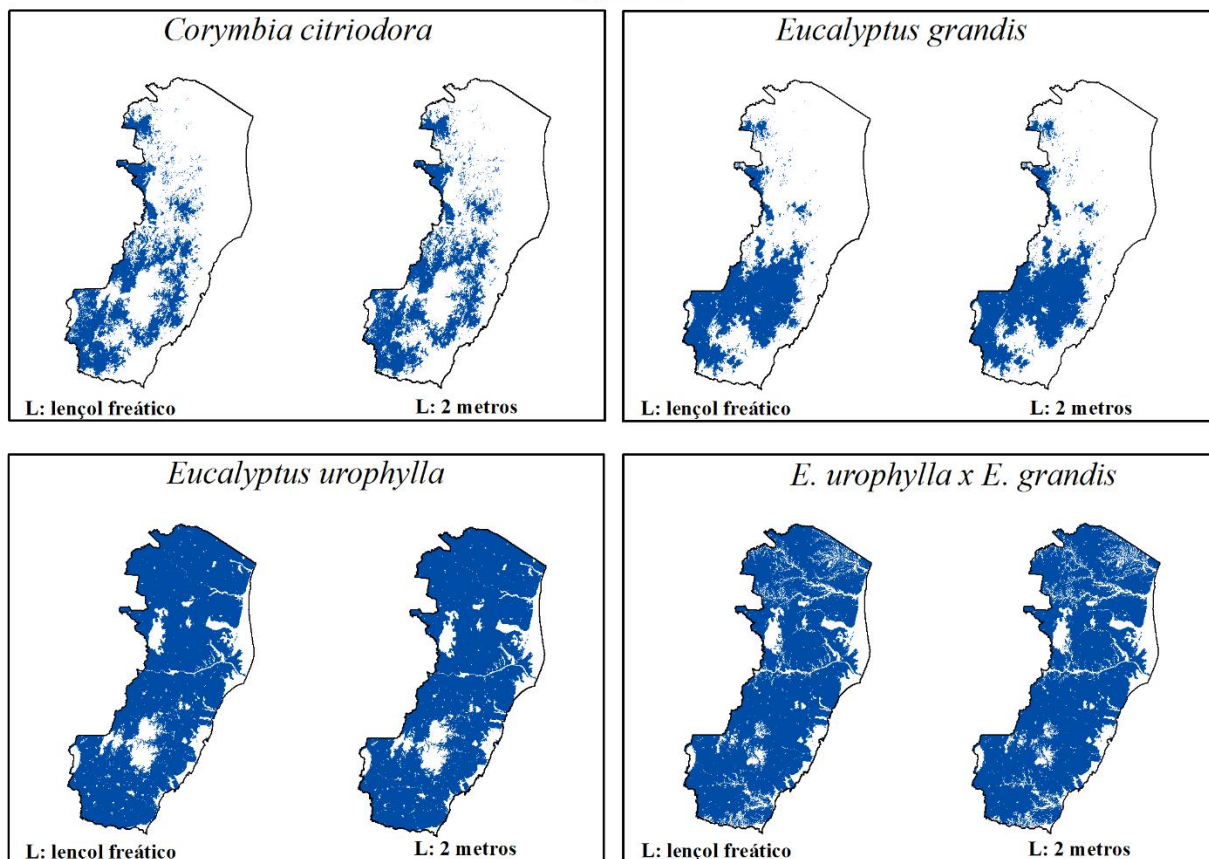


0 150 300 km

Sistema de Coordenadas Geográficas
Datum: WGS 84

Figura 11. Fator de Atenuação (AF) do princípio ativo Glifosato avaliado para a área de aptidão edafoclimática do eucalipto (*Corymbia citriodora*, *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla* e *E. urophylla x E. grandis*) no estado do Espírito Santo.

Indaziflm



Profundidade (m)	Legenda	Potencial de lixiviação	Fator de Atenuação (AF)	<i>Corymbia citriodora</i>		<i>Eucalyptus grandis</i>		<i>Eucalyptus urophylla</i>		<i>E. urophylla x E. grandis</i>	
				Área (km ²)	%	Área (km ²)	%	Área (km ²)	%	Área (km ²)	%
Nível do lençol freático		Muito baixo	0,0 a 0,0001	0,15	0,00	0,06	0,00	16,56	0,04	14,56	0,04
		Baixo	0,0001 a 0,01	-	-	-	-	0,07	0,00	0,06	0,00
		Médio	0,01 a 0,1	-	-	-	-	0,03	0,00	0,03	0,00
		Alto	0,01 a 0,25	-	-	-	-	0,01	0,00	0,01	0,00
		Muito alto	0,25 a 1	-	-	-	-	0,02	0,00	0,02	0,00
		Áreas nulas	-	-	12.201,71	100,00	12.852,80	100,00	38.056,88	99,96	37.054,55
	Total			12.201,86	100,00	12.852,86	100,00	38.073,57	100,00	37.069,23	100,00
2		Muito baixo	0,0 a 0,0001	0,95	0,01	1,28	0,01	1,28	0,00	1,28	0,00
		Baixo	0,0001 a 0,01	-	-	-	-	-	-	-	-
		Médio	0,01 a 0,1	-	-	-	-	-	-	-	-
		Alto	0,01 a 0,25	-	-	-	-	-	-	-	-
		Muito alto	0,25 a 1	-	-	-	-	-	-	-	-
		Áreas nulas	-	-	12.200,91	99,99	12.851,58	99,99	38.072,29	100,00	37.067,95
	Total			12.201,86	100,00	12.852,86	100,00	38.073,57	100,00	37.069,23	100,00

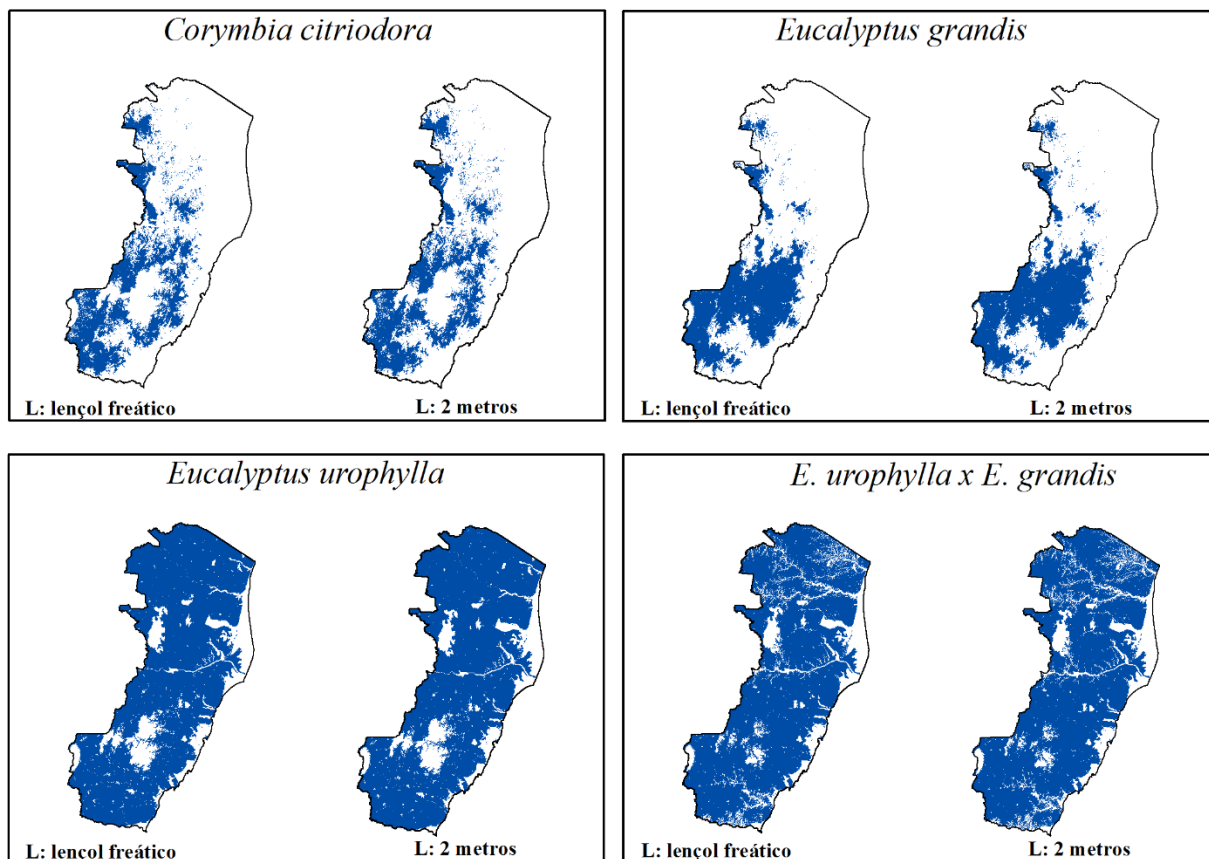


0 150 300 km

Sistema de Coordenadas Geográficas
Datum: WGS 84

Figura 12. Fator de Atenuação (AF) do princípio ativo Indaziflam avaliado para a área de aptidão edafoclimática do eucalipto (*Corymbia citriodora*, *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla* e *E. urophylla x E. grandis*) no estado do Espírito Santo.

Isoxaflutol



Profundidade (m)	Legenda	Potencial de lixiviação	Fator de Atenuação (AF)	<i>Corymbia citriodora</i>		<i>Eucalyptus grandis</i>		<i>Eucalyptus urophylla</i>		<i>E. urophylla x E. grandis</i>	
				Área (km ²)	%	Área (km ²)	%	Área (km ²)	%	Área (km ²)	%
Nível do lençol freático		Muito baixo	0,0 a 0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-
		Baixo	0,0001 a 0,01	-	-	-	-	-	-	-	-
		Médio	0,01 a 0,1	-	-	-	-	-	-	-	-
		Alto	0,01 a 0,25	-	-	-	-	-	-	-	-
		Muito alto	0,25 a 1	-	-	-	-	-	-	-	-
		Áreas nulas	-	-	12.201,86	100,00	12.852,86	100,00	38.073,57	100,00	37.069,23
	Total			12.201,86	100,00	12.852,86	100,00	38.073,57	100,00	37.069,23	100,00
2		Muito baixo	0,0 a 0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-
		Baixo	0,0001 a 0,01	-	-	-	-	-	-	-	-
		Médio	0,01 a 0,1	-	-	-	-	-	-	-	-
		Alto	0,01 a 0,25	-	-	-	-	-	-	-	-
		Muito alto	0,25 a 1	-	-	-	-	-	-	-	-
		Áreas nulas	-	-	12.201,86	100,00	12.852,86	100,00	38.073,57	100,00	37.069,23
	Total			12.201,86	100,00	12.852,86	100,00	38.073,57	100,00	37.069,23	100,00

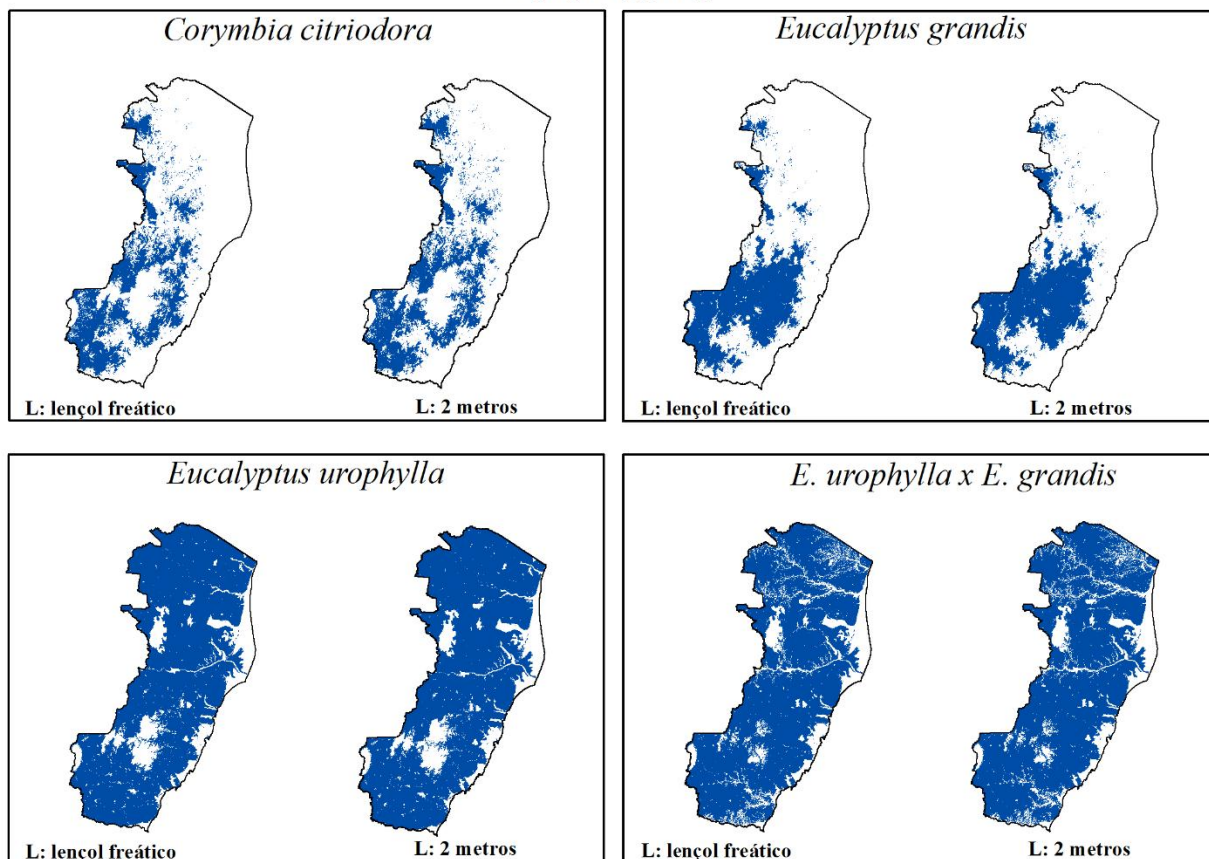


0 150 300 km

Sistema de Coordenadas Geográficas
Datum: WGS 84

Figura 13. Fator de Atenuação (AF) do princípio ativo Isoxaflutol avaliado para a área de aptidão edafoclimática do eucalipto (*Corymbia citriodora*, *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla* e *E. urophylla x E. grandis*) no estado do Espírito Santo.

Pendimetalina



Profundidade (m)	Legenda	Potencial de lixiviação	Fator de Atenuação (AF)	<i>Corymbia citriodora</i>		<i>Eucalyptus grandis</i>		<i>Eucalyptus urophylla</i>		<i>E. urophylla x E. grandis</i>	
				Área (km ²)	%	Área (km ²)	%	Área (km ²)	%	Área (km ²)	%
Nível do lençol freático		Muito baixo	0,0 a 0,0001	-	-	-	-	0,10	0,00	0,10	0,00
		Baixo	0,0001 a 0,01	-	-	-	-	-	-	-	-
		Médio	0,01 a 0,1	-	-	-	-	-	-	-	-
		Alto	0,01 a 0,25	-	-	-	-	-	-	-	-
		Muito alto	0,25 a 1	-	-	-	-	-	-	-	-
		Áreas nulas	-	-	12.201,86	100,00	12.852,86	100,00	38.073,47	100,00	37.069,13
	Total			12.201,86	100,00	12.852,86	100,00	38.073,57	100,00	37.069,23	100,00
2		Muito baixo	0,0 a 0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-
		Baixo	0,0001 a 0,01	-	-	-	-	-	-	-	-
		Médio	0,01 a 0,1	-	-	-	-	-	-	-	-
		Alto	0,01 a 0,25	-	-	-	-	-	-	-	-
		Muito alto	0,25 a 1	-	-	-	-	-	-	-	-
		Áreas nulas	-	-	12.201,86	100,00	12.852,86	100,00	38.073,57	100,00	37.069,23
	Total			12.201,86	100,00	12.852,86	100,00	38.073,57	100,00	37.069,23	100,00

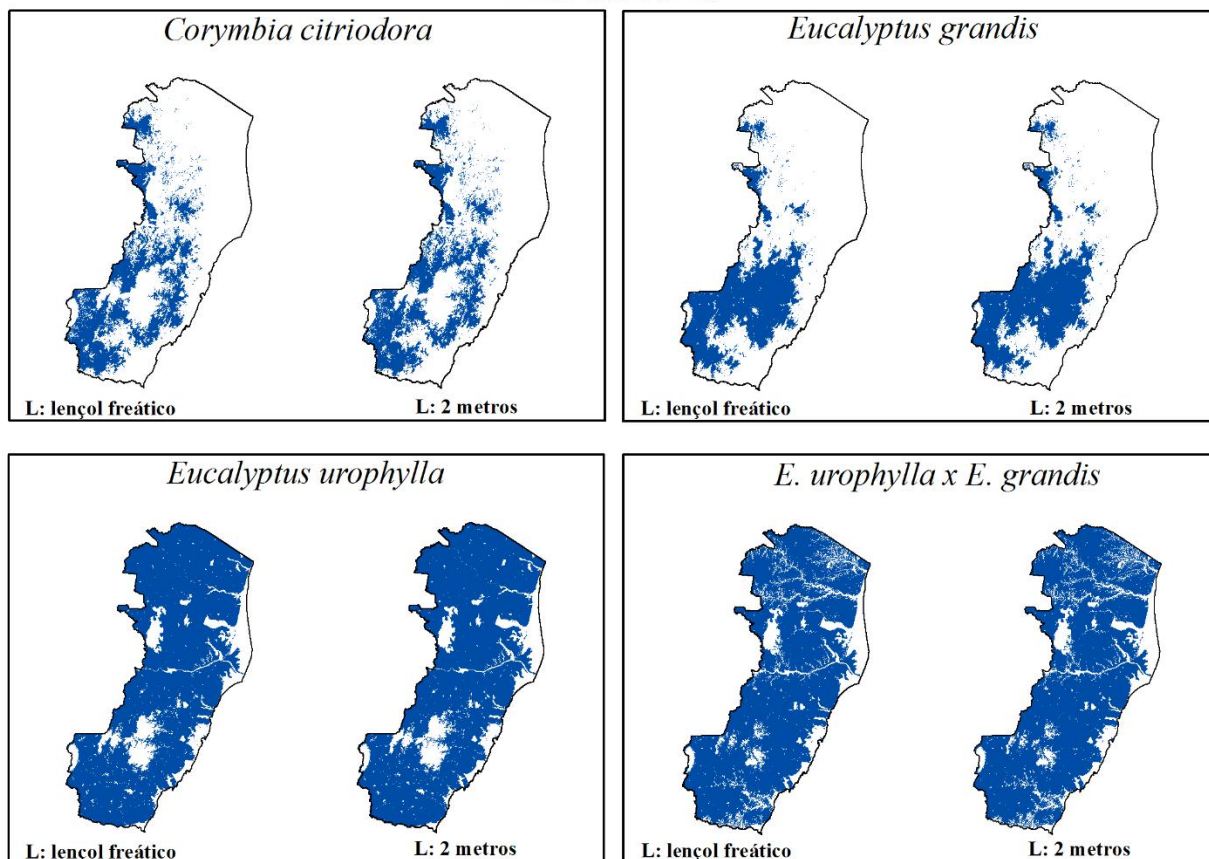


0 150 300 km

Sistema de Coordenadas Geográficas
Datum: WGS 84

Figura 14. Fator de Atenuação (AF) do princípio ativo Pendimetalina avaliado para a área de aptidão edafoclimática do eucalipto (*Corymbia citriodora*, *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla* e *E. urophylla x E. grandis*) no estado do Espírito Santo.

Piraclostrobina



Profundidade (m)	Legenda	Potencial de lixiviação	Fator de Atenuação (AF)	<i>Corymbia citriodora</i>		<i>Eucalyptus grandis</i>		<i>Eucalyptus urophylla</i>		<i>E. urophylla x E. grandis</i>	
				Área (km ²)	%	Área (km ²)	%	Área (km ²)	%	Área (km ²)	%
Nível do lençol freático		Muito baixo	0,0 a 0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-
		Baixo	0,0001 a 0,01	-	-	-	-	-	-	-	-
		Médio	0,01 a 0,1	-	-	-	-	-	-	-	-
		Alto	0,01 a 0,25	-	-	-	-	-	-	-	-
		Muito alto	0,25 a 1	-	-	-	-	-	-	-	-
		Áreas nulas	-	-	12.201,86	100,00	12.852,86	100,00	38.073,57	100,00	37.069,23
	Total			12.201,86	100,00	12.852,86	100,00	38.073,57	100,00	37.069,23	100,00
2		Muito baixo	0,0 a 0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-
		Baixo	0,0001 a 0,01	-	-	-	-	-	-	-	-
		Médio	0,01 a 0,1	-	-	-	-	-	-	-	-
		Alto	0,01 a 0,25	-	-	-	-	-	-	-	-
		Muito alto	0,25 a 1	-	-	-	-	-	-	-	-
		Áreas nulas	-	-	12.201,86	100,00	12.852,86	100,00	38.073,57	100,00	37.069,23
	Total			12.201,86	100,00	12.852,86	100,00	38.073,57	100,00	37.069,23	100,00

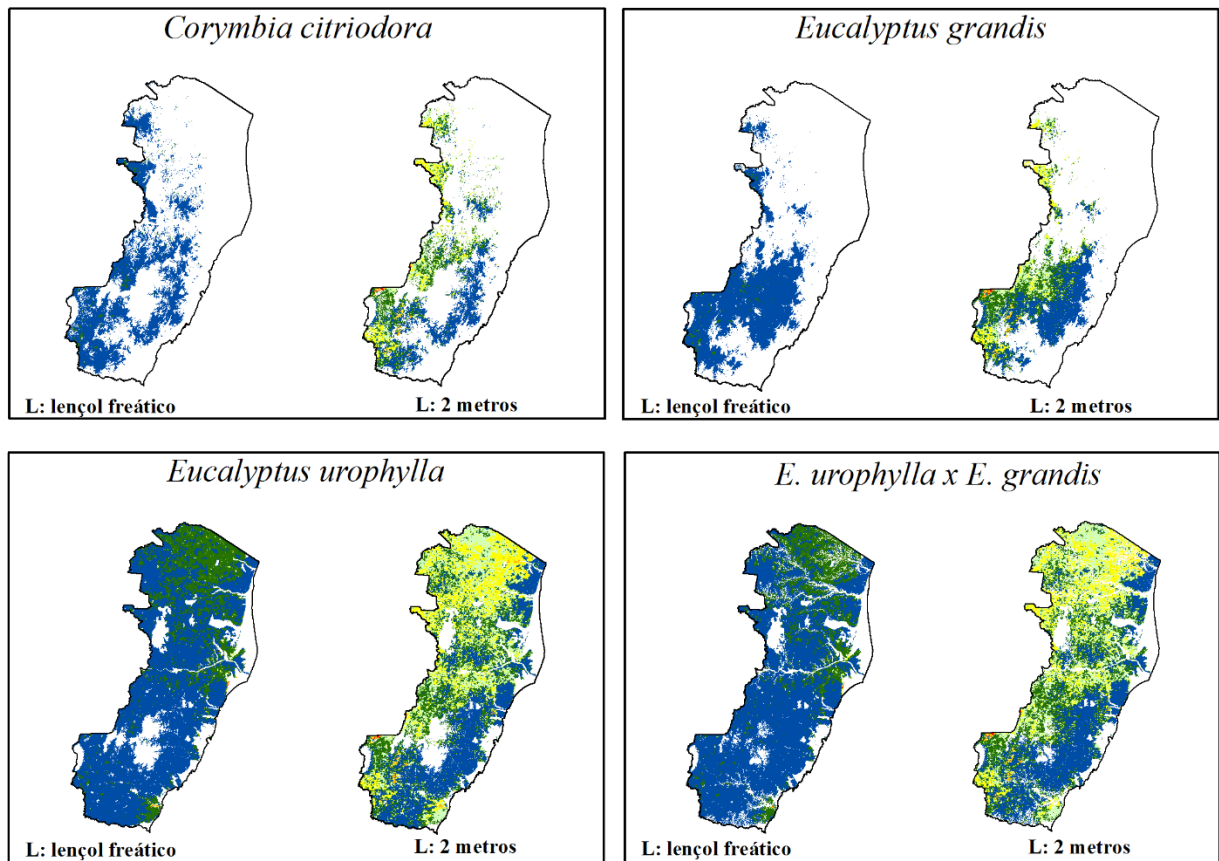


0 150 300 km

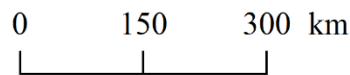
Sistema de Coordenadas Geográficas
Datum: WGS 84

Figura 15. Fator de Atenuação (AF) do princípio ativo Piraclostrobina avaliado para a área de aptidão edafoclimática do eucalipto (*Corymbia citriodora*, *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla* e *E. urophylla x E. grandis*) no estado do Espírito Santo.

Sulfentrazone



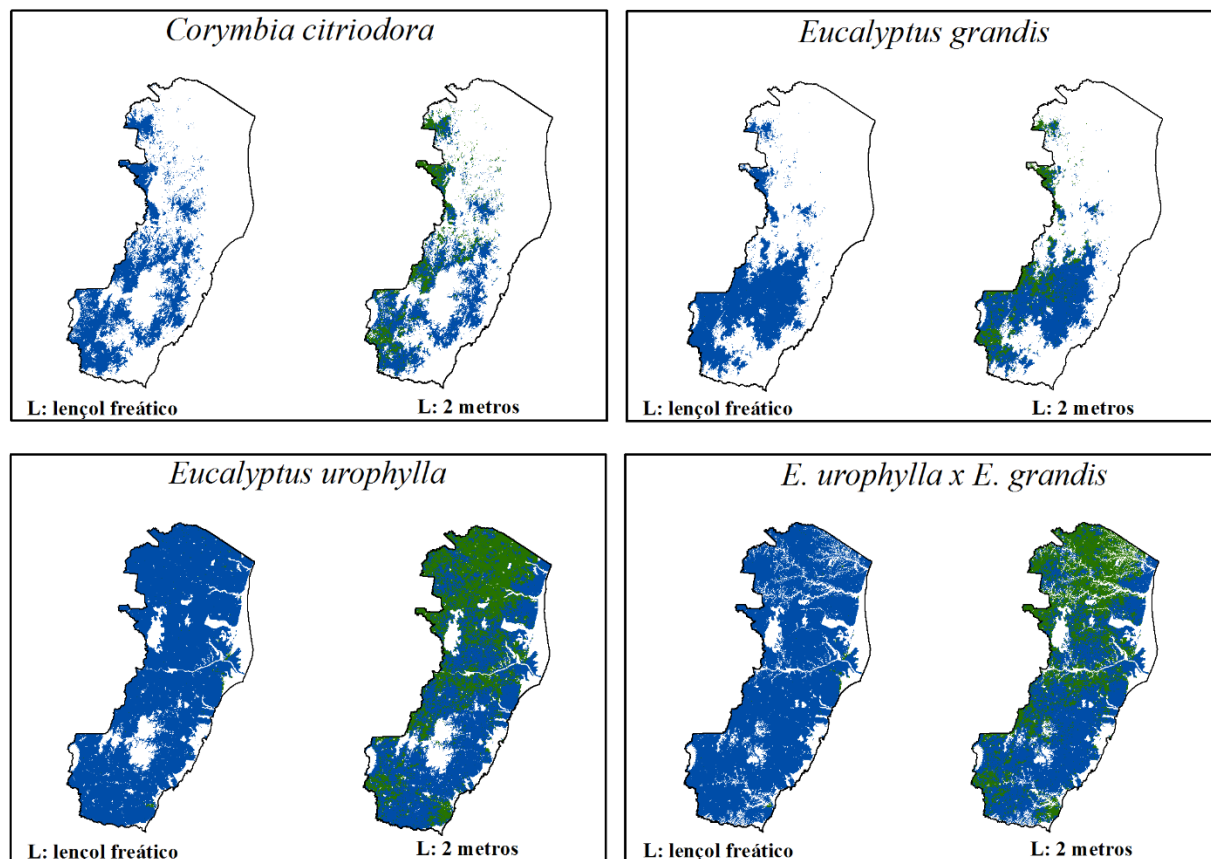
Profundidade (m)	Legenda	Potencial de lixiviação	Fator de Atenuação (AF)	<i>Corymbia citriodora</i>		<i>Eucalyptus grandis</i>		<i>Eucalyptus urophylla</i>		<i>E. urophylla x E. grandis</i>	
				Área (km ²)	%	Área (km ²)	%	Área (km ²)	%	Área (km ²)	%
Nível do lençol freático		Muito baixo	0,0 a 0,0001	499,57	4,09	353,37	2,75	8.921,99	23,43	7.908,28	21,34
		Baixo	0,0001 a 0,01	2,12	0,02	1,22	0,01	162,64	0,43	143,13	0,39
		Médio	0,01 a 0,1	0,64	0,01	0,31	0,00	57,03	0,15	49,76	0,13
		Alto	0,01 a 0,25	0,13	0,00	0,04	0,00	16,89	0,04	15,05	0,04
		Muito alto	0,25 a 1	0,12	0,00	0,05	0,00	13,58	0,04	12,13	0,03
		Áreas nulas	-	-	11.699,28	95,88	12.497,87	97,24	28.901,44	75,91	28.940,88
	Total			12.201,86	100,00	12.852,86	100,00	38.073,57	100,00	37.069,23	100,00
2		Muito baixo	0,0 a 0,0001	3.436,91	28,17	3.575,04	27,81	9.167,62	24,08	9.202,08	24,82
		Baixo	0,0001 a 0,01	2.501,49	20,50	2.202,75	17,14	10.207,08	26,81	9.721,47	26,23
		Médio	0,01 a 0,1	1.402,62	11,49	1.187,08	9,24	6.421,82	16,87	5.669,38	15,29
		Alto	0,01 a 0,25	94,65	0,78	93,49	0,73	195,69	0,51	166,61	0,45
		Muito alto	0,25 a 1	21,14	0,17	29,30	0,23	29,19	0,08	32,35	0,09
		Áreas nulas	-	-	4.745,05	38,89	5.765,20	44,85	12.052,17	31,65	12.277,34
	Total			12.201,86	100,00	12.852,86	100,00	38.073,57	100,00	37.069,23	100,00



Sistema de Coordenadas Geográficas
Datum: WGS 84

Figura 16. Fator de Atenuação (AF) do princípio ativo Sulfentrazone avaliado para a área de aptidão edafoclimática do eucalipto (*Corymbia citriodora*, *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla* e *E. urophylla x E. grandis*) no estado do Espírito Santo.

Tiametoxam



Profundidade (m)	Legenda	Potencial de lixiviação	Fator de Atenuação (AF)	<i>Corymbia citriodora</i>		<i>Eucalyptus grandis</i>		<i>Eucalyptus urophylla</i>		<i>E. urophylla x E. grandis</i>	
				Área (km ²)	%	Área (km ²)	%	Área (km ²)	%	Área (km ²)	%
Nível do lençol freático		Muito baixo	0,0 a 0,0001	2,31	0,02	1,26	0,01	190,15	0,50	167,49	0,45
		Baixo	0,0001 a 0,01	0,02	0,00	0,01	0,00	2,64	0,01	2,45	0,01
		Médio	0,01 a 0,1	-	-	-	-	0,33	0,00	0,31	0,00
		Alto	0,01 a 0,25	-	-	-	-	0,06	0,00	0,05	0,00
		Muito alto	0,25 a 1	-	-	-	-	0,08	0,00	0,08	0,00
		Áreas nulas	-	-	12.199,53	99,98	12.851,59	99,99	37.880,31	99,49	36.898,85
	Total			12.201,86	100,00	12.852,86	100,00	38.073,57	100,00	37.069,23	100,00
2		Muito baixo	0,0 a 0,0001	3.352,21	27,47	2.902,84	22,59	14.641,88	38,46	13.438,54	36,25
		Baixo	0,0001 a 0,01	-	-	-	-	-	-	-	-
		Médio	0,01 a 0,1	-	-	-	-	-	-	-	-
		Alto	0,01 a 0,25	-	-	-	-	-	-	-	-
		Muito alto	0,25 a 1	-	-	-	-	-	-	-	-
		Áreas nulas	-	-	8.849,65	72,53	9.950,02	77,41	23.431,69	61,54	23.630,69
	Total			12.201,86	100,00	12.852,86	100,00	38.073,57	100,00	37.069,23	100,00

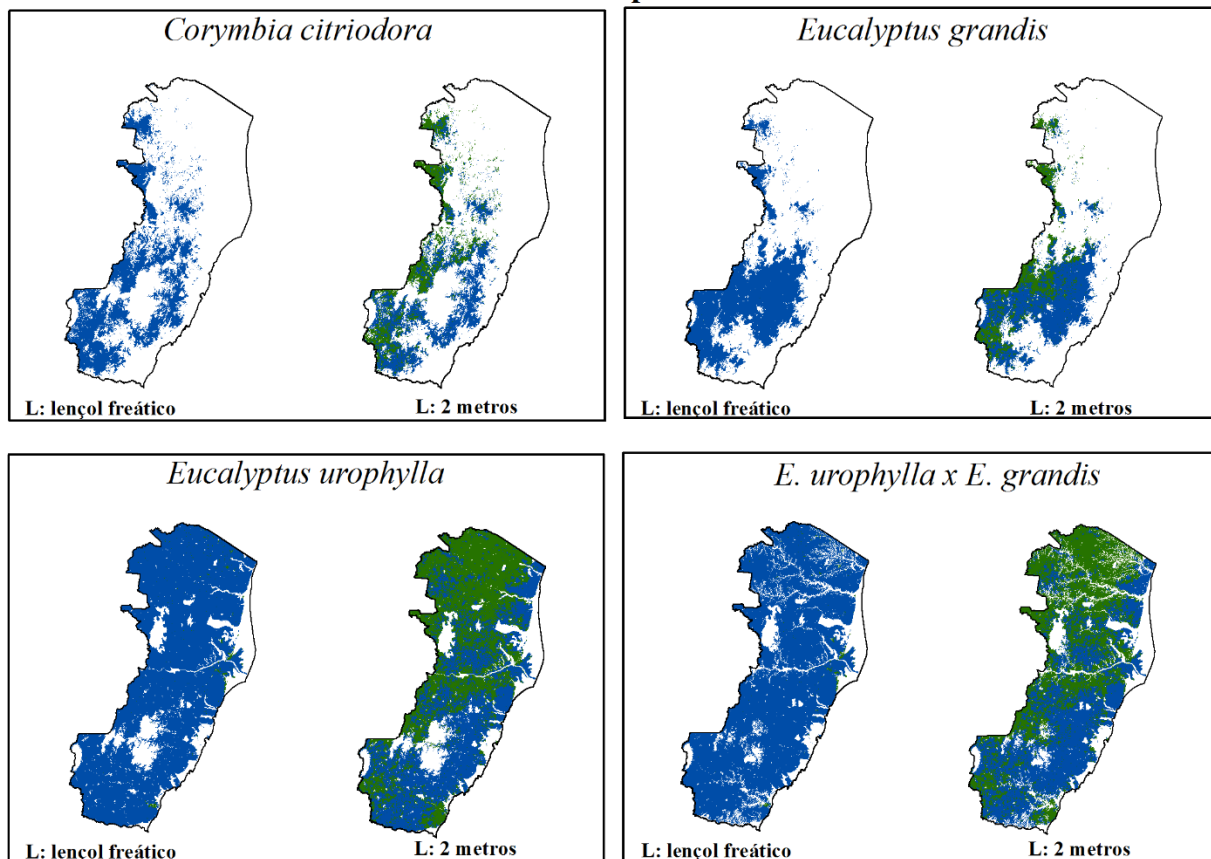


0 150 300 km

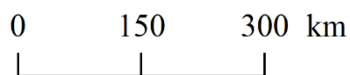
Sistema de Coordenadas Geográficas
Datum: WGS 84

Figura 17. Fator de Atenuação (AF) do princípio ativo Tiametoxam avaliado para a área de aptidão edafoclimática do eucalipto (*Corymbia citriodora*, *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla* e *E. urophylla x E. grandis*) no estado do Espírito Santo.

Triclopir



Profundidade (m)	Legenda	Potencial de lixiviação	Fator de Atenuação (AF)	<i>Corymbia citriodora</i>		<i>Eucalyptus grandis</i>		<i>Eucalyptus urophylla</i>		<i>E. urophylla x E. grandis</i>	
				Área (km ²)	%	Área (km ²)	%	Área (km ²)	%	Área (km ²)	%
Nível do lençol freático		Muito baixo	0,0 a 0,0001	3,73	0,03	1,91	0,01	313,69	0,83	275,26	0,75
		Baixo	0,0001 a 0,01	0,05	0,00	0,02	0,00	5,01	0,01	4,52	0,01
		Médio	0,01 a 0,1	0,02	0,00	-	-	0,77	0,00	0,71	0,00
		Alto	0,01 a 0,25	-	-	-	-	0,11	0,00	0,10	0,00
		Muito alto	0,25 a 1	-	-	-	-	0,11	0,00	0,10	0,00
		Áreas nulas	-	-	12.198,06	99,97	12.850,93	99,99	37.753,88	99,16	36.788,54
	Total			12.201,86	100,00	12.852,86	100,00	38.073,57	100,00	37.069,23	100,00
2		Muito baixo	0,0 a 0,0001	4.524,88	37,08	3.965,70	30,85	18.451,85	48,46	17.150,92	46,27
		Baixo	0,0001 a 0,01	-	-	-	-	0,01	0,00	0,01	0,00
		Médio	0,01 a 0,1	-	-	-	-	-	-	-	-
		Alto	0,01 a 0,25	-	-	-	-	-	-	-	-
		Muito alto	0,25 a 1	-	-	-	-	-	-	-	-
		Áreas nulas	-	-	7.676,98	62,92	8.887,16	69,15	19.621,71	51,54	19.918,30
	Total			12.201,86	100,00	12.852,86	100,00	38.073,57	100,00	37.069,23	100,00



Sistema de Coordenadas Geográficas
Datum: WGS 84

Figura 18. Fator de Atenuação (AF) do princípio ativo Triclopir avaliado para a área de aptidão edafoclimática do eucalipto (*Corymbia citriodora*, *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla* e *E. urophylla x E. grandis*) no estado do Espírito Santo.

Os diferentes resultados obtidos com os métodos RF/AF podem ser justificados pelas diferenças inerentes a cada princípio ativo estudado e devido as propriedades físico-químicas de cada solo presente na área de estudo (Tabelas 4 e 5), que influenciaram diretamente os resultados desses métodos e as respectivas classificações obtidas.

Vale salientar que cada método apresenta suas peculiaridades, por exemplo, a constante de meia-vida ($t_{1/2}$) dos princípios ativos não é utilizada no cálculo do método RF, mas é utilizada para calcular o método AF. Além disso, os métodos utilizados no presente trabalho empregaram o coeficiente de adsorção normalizado para o teor de carbono orgânico (K_{oc}), assumindo-se assim, que a adsorção ocorre exclusivamente à matéria orgânica do solo.

Segundo Martins (2006), os valores do tempo de meia vida dos princípios ativos variam com a profundidade do solo. Ao levar em consideração a profundidade efetiva do sistema radicular da cultura do eucalipto, considerada 2 metros, e levando em consideração as características heterogêneas dos solos tropicais, é de se esperar esta variação nos resultados obtidos em relação a classificação do risco de lixiviação desses princípios ativos. Além disso, agrotóxicos com baixa capacidade de adsorção, ou seja, menores K_{oc} , possuem maior variação nos valores de atenuação em função do tempo de meia-vida ($t_{1/2}$), no perfil do solo.

A adsorção e o tempo de meia-vida dos princípios ativos apresentam grande influência no fluxo descendente dos agrotóxicos no solo. Sabe-se que quanto maior a adsorção menor será a mobilidade da molécula, sendo que para as moléculas com valores de coeficiente de adsorção muito elevados a retenção nas camadas superficiais não permite seu deslocamento por lixiviação. Para as moléculas mais móveis, com valores reduzidos do coeficiente de adsorção, o tempo de meia-vida passa a exercer forte influência na lixiviação. Quanto maior o seu valor mais elevado será o potencial de contaminação do lençol freático, pois maior será o tempo necessário para a degradação durante o fluxo descendente do agrotóxico no solo (ANDRADE et al., 2010; SEVERINO e SILVA, 2012; HALL et al., 2015).

Com base nestas informações o manejo da cultura, como a técnica de adubação que insere matéria orgânica ao solo (PREZOTTI et al., 2007), pode vir a ser uma ferramenta valiosa não apenas para a nutrição mineral da cultura, como também para o aumento da adsorção dos princípios ativos dos agrotóxicos, reduzindo assim, o potencial de lixiviação e contaminação do lençol freático (HALL et al., 2015).

De acordo com os resultados obtidos no presente estudo, constatou-se que a integração dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) com métodos de avaliação do risco de lixiviação de agrotóxicos, mostrou-se uma tecnologia valiosa, permitindo relacionar a lixiviação de diversos princípios ativos com um conjunto de variáveis ambientais, possibilitando realizar um diagnóstico de riscos e conseqüentemente, auxiliando para uma tomada de decisões mais racionais e eficientes quanto a escolha dos agrotóxicos que tenham em sua composição princípios ativos menos danosos ao ambiente.

5. CONCLUSÕES

As áreas consideradas aptas para o cultivo do eucalipto no estado corresponderam a 18,99, 26,37, 56,88 e 50,15% da área para as espécies CC, EG, EU e o híbrido EE, respectivamente. Enquanto, as áreas inaptas somaram 16,89, 11,99, 8,12 e 6,70%, para as espécies CC, EG e EU e o híbrido EE, respectivamente.

Quanto ao potencial risco de lixiviação dos agrotóxicos nessas áreas aptas, com base nos métodos GUS, LIX e RF/AF, dentre os dez princípios ativos estudados, o Sulfentrazone, Tiametoxam e Triclopir apresentaram potencial de lixiviação e possível risco de contaminação do lençol freático.

A aplicação desses métodos associados as técnicas de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), mostraram-se úteis para a avaliação do potencial risco de contaminação das águas subterrâneas, monitorando diversos princípios ativos em áreas extensas, de forma rápida, eficiente e econômica, facilitando a tomada de decisões para a escolha dos agrotóxicos mais indicados para aplicação, além de permitir a classificação de áreas suscetíveis à contaminação pelos agrotóxicos.

Nas condições em que o estudo foi conduzido, as análises dos resultados permitiram concluir que é possível avaliar o risco de lixiviação de diferentes princípios ativos de agrotóxicos em áreas de aptidão edafoclimáticas para a cultura do eucalipto em solos tropicais utilizando SIG. Portanto, os resultados apresentados fornecem informações valiosas para o diagnóstico, planejamento, gerenciamento e controle da contaminação dos solos e do lençol freático por agrotóxicos.

Esta proposta metodológica apresenta potencial para ser adaptada para outras áreas, variáveis e culturas.

6. REFERÊNCIAS

ABRAF. **Anuário Estatístico da ABRAF 2013**. Ano base 2012. Brasília, 2013. 142p.

ALFENAS, A. C.; MAFIA, R. G.; MAFFIA, L. A.; FERREIRA, E. M. **Clonagem e doenças do eucalipto**. 2. ed. Viçosa. MG: UFV, 2009. 500p.

ALVEZ, I. M.; FERREIRA, L. S.; FERREIRA, E. A.; MAIA, J. C. S.; DALLACORT, R. Determinação da densidade relativa do solo sob sistema de pastejo. **CONBEA**, p.1-4, 2014.

ANDRADE, S. R. B.; SILVA, A. A.; LIMA, C. F.; QUEIROZ, M. E. L. R.; FRANÇA, A. A. C.; D'ANTONINO, L. Lixiviação do ametryn em Argissolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho-Amarelo, com diferentes valores de pH. **Planta Daninha**, v.28, p.655-663, 2010.

ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária) **Monografias** (princípios ativos utilizados – agrotóxicos). Disponível em: <<http://portal.anvisa.gov.br>>. Acesso em: 29 de maio de 2018.

BONUMÁ, N. B.; ROSSI, C. G.; ARNOLD, J. G.; REICHERT, J. M.; MINELLA, J. P.; ALLEN, P. M.; VOLK, M. Simulating Landscape Sediment Transport Capacity by Using a Modified SWAT Model. **Journal of Environmental Quality**, v.41, p.55-66, 2014.

CALDIZ, D. O.; GASPARI, F. J.; KIERNAN, A. M.; STRUIK, P. C. Agro-ecological zoning at the regional level: spatio-temporal variation in potential yield of the potato crop in the Argentinian Patagonia. **Agriculture Ecosystems & Environment**, v.88, n.1, p.3-10, 2002.

CAPPA, E. P.; EL-KASSABY, Y. A.; MUÑOZ, F.; GARCIA, M. N.; VILLALBA, P. V.; KLÁPSTE, J.; POLTRI, S. N. M. Genomic-based multiple-trait evaluation in *Eucalyptus grandis* using dominant DArT markers. **Plant Science**, v.271, p.27-33, 2018.

COELHO, J. B. M.; BARROS, M. F. C.; CORREA, M. M.; WANDERLEY, R. A.; COELHO JÚNIOR, J. M.; FIGUEREDO, J. L. C. Efeito do polímero hidratassolo sobre propriedades físico-hídricas de três solos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.3, n.3, p.253-259, 2008.

COUTINHO, H. L. C.; LEITE, A. A. S.; PARAÍBA, L. C.; CERDEIRA, A.; FILIZOLA, H.; SILVA, Ê. F.; GOMES, M. A. F. **Análise espacial do potencial de lixiviação de herbicidas em áreas de recarga do aquífero Guarani na Alta Bacia do rio Taquari, MS.** 1ª edição. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. 2008. 214p.

CRESSIE, N. **Statistics for Spatial Data.** John Wiley and Sons Inc., New York. 1991. 920p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Embrapa Solos. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 3ª edição revisada e ampliada. Brasília, DF: Embrapa. 2013. 353p.

EUGENIO, F. C.; LOUZADA, F. L. R. O.; SANTOS, A. R.; MOULIN, J. V. Identification of permanent preservation areas in Alegre-ES by using geotechnology. **Cerne**, v.17, p.563-571, 2011.

FERRARI, J. L.; SANTOS, A. R.; GARCIA, R. F.; AMARAL, A. A.; PEREIRA, L. R. Conflict Analysis of Land Use and Land Cover in the Permanent Preservation Areas of Ifes - Alegre Campus, Espírito Santo State, Brazil. **Floram**, v.22, p.307-321, 2015.

FERRARI, J. L.; SILVA, S. F.; SANTOS, A. R.; GARCIA, R. F. Potential wildlife corridors in the Horizonte stream subwatershed, Alegre, Espírito Santo, Brazil, listed by GIS. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.7, n.1, p.133-141, 2012.

GENG, Q.; WU, P.; ZHAO, X.; WANG, Y. A framework of indicator system for zoning of agricultural water andland resources utilization: A case study of Bayan Nur, Inner Mongolia. **Ecological Indicators**, v.40, p.43-50, 2014.

GOMES, M. A. F.; SPADOTTO, C. A.; LANCHOTTE, V. L. Ocorrência do herbicida tebuthiuron na água subterrânea da microbacia do córrego Espreado, Ribeirão Preto - SP. **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, v.11, p.65-76, 2001.

GUSTAFSON, D. I. Groundwater ubiquity score: a simple method for assessing pesticide leachability. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v.8, n.4, p.339-357, 1989.

HALL, K. E.; RAY, C.; KI, S. J.; SPOKAS, K. A.; KOSKINEN, W. C. Pesticide sorption and leaching potential on three Hawaiian soils. **Journal of Environmental Management**, v.159, p.227-234, 2015.

INCAPER. Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural. **Cultivo do gênero *Eucalyptus* no estado do Espírito Santo**. Disponível em: <<https://incaper.es.gov.br>>. Acesso em: 06 de maio de 2018.

IUPAC. International Union of Pure and Applied Chemistry. **PPDB: Pesticide Properties DataBase**. 2018. Disponível em: <<https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/atoz.htm>>. Acesso em: 13 de maio de 2018.

LESLIE, A. D.; MENCUCCINI, M.; PERKS, M. P. Preliminary growth functions for *Eucalyptus gunnii* in the UK. **Biomass and Bioenergy**, v.108, p.464-469, 2018.

LOURENCETTI, C.; SPADOTTO, C. A.; SILVA, M. S.; RIBEIRO, M. L. Avaliação do potencial de contaminação de águas subterrâneas por pesticidas: comparação entre métodos de previsão de lixiviação. **Pesticidas: Revista Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, v.15, p.1-14, 2005.

LUPPI, A. S. L.; SANTOS, A. R.; EUGENIO, F. C.; FEITOSA, L. S. Utilization of Geotechnology for the Mapping of Permanent Preservation Areas in João Neiva, Espírito Santo State, Brazil. **Floram**, v.22, p.13-22, 2015.

MALAVOLTA, E. **O futuro da nutrição de plantas tendo em vista aspectos agronômicos, econômicos e ambientais**. São Paulo, SP: Informações Agronômicas, 2008. 121p.

MARÍN, A. I.; ANDREO, B.; MUDARRA, M. Vulnerability mapping and protection zoning of karst springs. Validation by multitracer tests. **Science of the Total Environment**, v.5, n.32, p.435-446, 2015.

MARTINS, E. L. **Previsão da lixiviação de pesticidas usados na cultura de algodão no estado de Mato Grosso**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, MT, 2006.

MAZZINI, P. L. F.; SCHETTINI, C. A. F. Avaliação de metodologias de interpolação espacial aplicadas a dados hidrográficos costeiros quasesinóticos. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, v.13, n. 1, p. 53-64, 2009.

MIRANDA, E. E. **Brasil em Relevo**. Campinas: Embrapa monitoramento por satélite. 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 25 de maio de 2018.

MOREIRA, T. R.; SANTOS, A. R.; DALFI, R. L.; CAMPOS, R. F.; SANTOS, G. M. A. D. A.; EUGENIO, F. C. Land Use and occupation analysis of permanent preservation areas in the municipality of Muqui, Espírito Santo state, Brazil. **Floram**, v.22, p.141-152, 2015.

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia Vegetal**. São Paulo, SP: Agronômica Ceres Ltda, 1981.

PANETO, G. G.; SANTOS, A. B.; KLIPPEL, A. H.; SANTOS, A. R. Using DNA Barcodes to Identify Road-Killed Animals in Two Atlantic Forest Nature Reserves, Brazil. **Plos One**, v.10, p.1-15, 2015.

PARAHYBA, R. B. V. **Geoambientes, litotoposequências e características físico-hídricas de solos arenosos da bacia do Tucano, Bahia**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, 2013.

PARAÍBA, L. C.; CERDEIRA, A. L.; SILVA, E. F. MARTINS, J. S.; COUTINHO, H. L. C. Evaluation of soil temperature effect on herbicide leaching potential into groundwater in the Brazilian Cerrado. **Chemosphere**, v. 53, p.1087-1095, 2003.

PELUZIO, T. M. O.; SANTOS, A. R.; FIEDLER, N. C.; BAUER, M. O.; GARCIA, G. O.; SIMÃO, J. B. P.; PELUZIO, J. B. E. Photo interpretive comparison between aerial photography and satellite imaging. **Ciência Florestal**, v.23, p.537-544, 2013.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Porto Alegre, RS: Guaíba Agropecuária, 2002.

PESSOA, M. C. P. Y.; FERRACINI, V. L.; CHAIM, A.; SCRAMIN, S. **Software AGROSCRE - apoio à avaliação de tendências de transporte de princípios ativos de agrotóxicos**. Embrapa: Meio Ambiente. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento número 26. 2004. 22p.

PIROVANI, D. B.; SILVA, A. G.; SANTOS, A. R. Evolution of land use and landscape analysis in the area around the RPPN Cafundó, ES. **Cerne**, v.21, p.27-35, 2015.

PIROVANI, D. B.; SILVA, A. G.; SANTOS, A. R.; CECÍLIO, R. A.; MARTINS, S. V.; GLERIANI, J. M. Spatial analysis of forest fragments in the Itapemirim River Basin, ES. **Revista Árvore**, v.38, p.271-281, 2014.

PORTUGAL, A. F.; COSTA, O. D. V.; COSTA, L. M.; SANTOS, B. C. M. Atributos químicos e físicos de um cambissolo háplico Tb distrófico sob diferentes usos na Zona da Mata Mineira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.1, p.249-258, 2008.

PREZOTTI, L. C.; GOMES, J. A.; DADALTO, G. G.; OLIVEIRA, J. A. **Manual de recomendação de calagem e adubação para o estado do Espírito Santo**. 5ª aproximação. Vitória: SEEA/INCAPER/CEDAGRO, 2007. 305p.

RAO, P. S. C.; HORNSBY, A. G.; JESSUP, R. E. Indices for ranking the potential for groundwater contamination. **The Soil and Crop Science Society of Florida Proceedings: Soil Science**, v.44, p.1-8, 1985.

RIBEIRO JR, J. I. **Análises estatísticas no Excel: guia prático**. Viçosa: UFV, 2011. 258p.

SABATINI, M. C.; VERDIELL, A.; IGLESIAS, R. M. R.; VIDAL, M. A. Quantitative method for zoning of protected areas and its spatial ecological implications. **Journal of Environmental Management**, v.83, p.198-206, 2007.

SANTOS, A. R. **Atlas das áreas com potencial de risco do estado do Espírito Santo**. (ARES), Vitória: Editora BIOS, 2006.

SANTOS, A. R.; LOUZADA, F. L. R. O.; EUGENIO, F. C. **ArcGIS 9.3 Total: Aplicações para Dados Espaciais**. CAUFES: Alegre, ES. 2010. 184p.

SANTOS, G. M. A. D. A. **Espacialização do risco de lixiviação de agrotóxicos em áreas de cafeicultura no estado do Espírito Santo**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2017.

SANTOS, G. M. A. D. A.; SANTOS, A. R.; TEIXEIRA, L. J. Q.; SARAIVA, S. H.; FREITAS, D. F.; PEREIRA, O. S.; RIBEIRO, C. A. A. S.; LORENZON, A. S.; EUGENIO, F. C.; NEVES, A. A.; QUEIROZ, M. E. L. R.; SCHERER, R. GIS applied to agr climatological zoning and agrototoxin residue monitoring in tomatoes: A case study in Espírito Santo state, Brazil. **Journal of Environmental Management**, v. 166, p. 429-439, 2016.

SANTOS, J. L. O.; LEITE, O. D. Avaliação do risco de contaminação de águas subterrâneas na região Oeste da Bahia pelo inseticida carbofuran, empregando os modelos Attenuation Factor (AF) e Retardation Factor (RF). **Orbital: The Electronic Journal of Chemistry**, v.8, n.1, p.28-35, 2016.

SCHEER, M. B.; CURCIO, G. R.; RODERJAN, C. V. Funcionalidades ambientais de solos altomontanos na Serra da Igreja, Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, n.4, p.1113-1126, 2011.

SEDIYAMA, G. C.; MELO JUNIOR, J. C. F.; SANTOS, A. R.; RIBEIRO, A.; COSTA, M. H.; HAMAKAWA, P. J.; COSTA, J. M. N.; COSTA, L. C. Climatological zoning for arabic coffee (*Coffea arabica* L.) in the state of Minas Gerais, Brazil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.9, n.3, p.501-509, 2001.

SEVERINO, M. R.; SILVA, P. M. Taxa de degradação de ametrina em quatro solos brasileiros: indicativo do comportamento ambiental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.1023-1030, 2012.

SILVA, A. C.; SOUZA, P. E.; RESENDE, M. L. V.; SILVA JÚNIOR, M. B.; RESENDE BARONI, G. Decoctos isolados e em mistura com fungicida no controle do oídio em minicepas de eucalipto. **Revista Caatinga**, v.26, n.3, p.73-79, 2013.

SILVA, G. S.; MELO, C. A. D.; FIALHO, C. M. T.; SANTOS, L. D. T.; COSTA, M. D.; SILVA, A. A. Impacto de sulfentazona, isoxaflutol e oxyfluorfemsobre a microbiota de dois solos florestais. **Bragantia**, v.73, n.3, p.292-299, 2014.

SILVA, K. G.; SANTOS, A. R.; SILVA, A. G.; PELUZIO, J. B. E.; FIEDLER, N. C.; ZANETTI, S. S. Analysis of space-time dynamics of forest fragments in the Alegre river subwatershed, Brazil. **Cerne**, v.21, p.311-318, 2015.

SOUZA, O. M. M.; COLLICCHIO, E.; PEREIRA, E. Q.; AZEVEDO, M. I. R. Zoneamento edafoclimático para o *Eucalyptus urophylla* no estado do Tocantins. **Desafios**, v.1, n.2, p.121-134, 2015.

SPADOTTO, C. A. Screening method for assessing pesticide leaching potential. **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, v.12, p.69-78, 2002.

SPERANDIO, H. V.; CAMPANHARO, W. A.; CECÍLIO, R. A.; NAPPO, M. E. Zoneamento agroecológico para espécies de eucalipto no estado do Espírito Santo. **Revista Caminhos de Geografia**, v.11, n.34, p.203-216, 2010.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5ª edição. Porto Alegre, RS: Artmed, 2013. 954p.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balances**. Publications in Climatology. New Jersey: Drexel Institute of Technology. 1955. 104p.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa, UFV, Editora UFV. Universidade Federal de Viçosa, 2004. 450p.

YATES, K. L.; SCHOEMAN, D. S.; KLEIN, C. J. Ocean zoning for conservation, fisheries and marine renewable energy: Assessing trade-offs and co-location opportunities. **Journal of Environmental Management**, v.152, p.201-209, 2015.

ZIRLEWAGEN, D.; RABEN, G.; WEISE, W. Zoning of forest health conditions based on a set of soil, topographic and vegetation parameters. **Forest Ecology and Management**, v.248, p.43-55, 2007.