

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS
DEPARTAMENTO DE PRODUÇÃO VEGETAL**

SAMIRA LUNS HATUM DE ALMEIDA

**RISCO POTENCIAL DE LIXIVIAÇÃO DE HERBICIDAS
NA CULTURA DO CAFÉ CONILON**

ALEGRE-ES

2016

SAMIRA LUNS HATUM DE ALMEIDA

**RISCO POTENCIAL DE LIXIVIAÇÃO DE HERBICIDAS
NA CULTURA DO CAFÉ CONILON**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Produção Vegetal do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.
Orientador: Alexandre Rosa dos Santos

ALEGRE-ES

2016

SAMIRA LUNS HATUM DE ALMEIDA

**RISCO POTENCIAL DE LIXIVIAÇÃO DE HERBICIDAS
NA CULTURA DO CAFÉ CONILON**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Produção Vegetal do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Apresentado em 07 de julho de 2016.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. D. Sc. Alexandre Rosa dos Santos

Departamento de Engenharia Rural CCA/UFES

Orientador

Prof. D. Sc. Samuel de Assis Silva

Departamento de Engenharia Rural CCA/UFES

Examinador 1

José Romário de Carvalho

Doutorando em Produção Vegetal CCA/UFES

Examinador 2

AGRADECIMENTOS

Meus agradecimentos primeiramente a Deus que sempre esteve comigo, iluminou meu caminho e que me possibilitou chegar até aqui rodeada de pessoas maravilhosas.

Aos meus pais Samir e Jeanne e à minha tia Soraya por sempre incentivarem e apoiarem minhas decisões e por terem me passado ensinamentos essenciais para eu me tornar a pessoa que sou hoje. À minha irmã Sayanne, pessoa que esteve ao meu lado em todos os momentos da minha vida, sendo uma grande conselheira e companheira. À minha Irmã Renata, que sempre me escutou e que esse ano me deu o maior presente de todos, meu sobrinho Daniel. Ao meu avô Clóvis que sempre deu à suas netas muito amor e carinho. Aos meus tios Clóvis, Fábio e sua esposa Rafaela pelo apoio e pelos conselhos. Aos meus cunhados Leonardo's, quase irmãos, ao Demir, Eduardo e à Gisela. Sem dúvidas, todos vocês foram fundamentais nessa caminhada.

Aos amigos de longa data, Isabela e Pedro que sempre estiveram comigo, presentes nos momentos de alegrias e também nos momentos difíceis, pessoas maravilhosas, capazes de me alegrar em qualquer situação, e que nem grandes distâncias fizeram diminuir o carinho e admiração que tenho por vocês.

Aos amigos que a UFES me deu, pessoas incríveis que fizeram essa caminhada ser mais alegre e mais leve. Fundamentais não só nas questões acadêmicas, mas também na vida e que espero levar para a vida toda, em especial, meus amigos, Daniel, Wilian e André.

A Universidade Federal do Espírito Santo, por dispor de ótimos professores, que contribuíram para o meu crescimento pessoal e profissional. Ao Guimarães Rosa e ao CELP, excelentes escolas que me prepararam para ingressar na UFES.

Ao meu orientador Samuel, pessoa que se mostrou sempre muito paciente, disposta a repassar seus conhecimentos a seus alunos e a ajuda-los.

Ao meu orientador, Alexandre Rosa dos Santos, com quem trabalhei na maior parte do meu curso, e foi de fundamental importância para eu me encantar com a área de SIG, e por todo conhecimento compartilhado com seus alunos. À nossa equipe de pesquisa, composta por Gleissy, Rozi, Samuel, Zé Romário, Cintia e Leandro, e pelo professor Alexandre, pessoas que impulsionaram e se empenharam em função deste trabalho.

“Não confunda derrotas com fracasso nem vitórias com sucesso. Na vida de um campeão sempre haverá algumas derrotas, assim como na vida de um perdedor sempre haverá vitórias. A diferença é que, enquanto os campeões crescem nas derrotas, os perdedores se acomodam nas vitórias.”

Roberto Shinyashiki

Resumo

A cultura do café representa a maior fonte de renda da agricultura para o estado do Espírito Santo, contribuindo para a sustentabilidade da economia estadual, com profundas implicações no nível de renda da população rural. Deste modo, compreender e avaliar o potencial de lixiviação de agrotóxicos no sistema planta-solo-água é um fator decisivo para se atingir níveis satisfatórios de produção, baseado no manejo racional e eficiente. Neste contexto, objetivou-se com este trabalho, avaliar o potencial de risco de lixiviação de agrotóxicos em áreas de aptidão edafoclimática para a cultura do café no estado do Espírito Santo, utilizando modelo AF/RF. Como metodologia proposta, inicialmente definiram-se as áreas de aptidão edafoclimática para o café conilon (*Coffea canephora* Pierre ex Froehner) e, posteriormente, estimou-se o fator de potencial de adsorção, através do fator de retardamento, e em sequência, por meio do fator de atenuação, estimou-se o risco de lixiviação dos princípios químicos 2,4D e Glifosato. Os resultados do estudo indicaram que o 2,4D apresentou risco de potencial de lixiviação Muito Baixo em grande parte do Estado do Espírito Santo, quando utilizada a profundidade de 0,3 m.. Considerando a profundidade do lençol freático, a maior parte do Estado apresentou risco de lixiviação Nulo, com a presença inclusive de áreas nas classes até o risco Muito Alto. Já para o Glifosato, em todas as situações, a maioria das áreas do estudo apresentou um risco de lixiviação Nulo.

Palavras-chave: Agroquímica, Sistemas de Informações Geográficas, Modelagem, Meio Ambiente.

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1. Localização da área de estudo.....	14
Figura 2. Zoneamento Agroclimático da cultura do café conilon.....	22
Figura 3. Fator de Retardamento para o Estado do Espírito Santo.....	24
Figura 4. Fator de Atenuação do 2,4D para o Estado do Espírito Santo.....	26
Figura 5. Fator de Atenuação do Glifosato para o Estado do Espírito Santo.....	28

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1. Faixas de aptidão térmica para as culturas do café conilon.....	17
Tabela 2. Faixas de aptidão hídrica para a cultura do café conilon.....	17
Tabela 3. Propriedades dos ingredientes ativo usados na cultura do café.....	20
Tabela 4. Classes de potencial de lixiviação para o fator de retardamento (RF).....	20
Tabela 6. Classes de potencial de lixiviação para o fator de atenuação (AF).....	21

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	11
3. METODOLOGIA.....	14
3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	14
3.2 ETAPAS METODOLÓGICAS.....	15
3.2.2 Zoneamento Edafoclimático para o café conilon.....	15
3.2.2 Avaliação do potencial de lixiviação empregando o método RF/AF.....	18
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	21
4.1 ZONEAMENTO AGROCLIMÁTICO.....	21
4.2 FATOR DE RETARDAMENTO (RF).....	23
4.3 FATOR DE ATENUAÇÃO (AF).....	24
5. CONCLUSÃO.....	29
6. REFERÊNCIAS.....	29

1. INTRODUÇÃO

No cenário atual, o Brasil destaca-se como o maior produtor mundial de café, sendo esta, uma atividade considerada de grande importância no âmbito econômico e social. Principal produtor de café conilon (*Coffea canephora* Pierre ex Froehner), o Estado do Espírito Santo é responsável por 76% da produção nacional desta espécie (INCAPER, 2009).

Um fator que pode ser determinante no desenvolvimento do cafeeiro é a presença de plantas daninhas na área. Sua influência negativa se dá principalmente pela competição pelos recursos do meio, como água, luz e nutrientes. Além disso, as plantas infestantes podem liberar substâncias alelopáticas, além de atuar como hospedeiras de pragas e doenças comuns à cultura (KUYA et al., 2003).

Visando o controle dessas plantas daninhas, a utilização de produtos químicos tem se intensificado nos últimos anos, principalmente devido a busca pelo aumento da produção e uma maior geração de lucro pelos produtores (PAZ e RUBIO, 2006). Entretanto, a agricultura se tornou o maior contaminante de solos e sistemas aquáticos, já que é alta a quantidade de agrotóxicos utilizados (HOSSARD et al., 2014; GUARDO e FINIZIO, 2016). A identificação e controle adequado dos agrotóxicos na água são cruciais, visto que esta contaminação é uma ameaça à saúde humana e ao ecossistema (SHAO et al., 2016).

A lixiviação de pesticidas em solo está diretamente relacionada às características físico-químicas do solo e do próprio agrotóxico (HALL et. al., 2015; KELEMEN e BEHN, 2016). Outros fatores que podem levar ao aumento da contaminação de águas subterrâneas por lixiviação são o manejo do solo e métodos de irrigação das lavouras (ALLER et al., 1987; CONNELL e DAELE, 2003; Bozzo et al., 2001). A fim de evitar tais riscos, o uso de compostos químicos deve ser reduzido ou eliminado, principalmente em áreas próximas às áreas de coletas de água (GUARDO e FINIZIO, 2015).

Nesse contexto, buscou-se com este trabalho, avaliar o potencial de risco de lixiviação de agrotóxicos em áreas de aptidão edafoclimática para a cultura do café conilon no estado do Espírito Santo, por meio do emprego do modelo AR/RF (Attenuation Factor/ Retardation Factor) (RAO et. al., 1985), utilizando técnicas de geotecnologia. A junção dessas técnicas tem se mostrado útil por minimizar problemas de variação espacial e temporal de parâmetros envolvidos na lixiviação de agrotóxicos em recursos aquáticos subterrâneos (WORRALL et al., 2002).

2. REVISÃO DE LITERATURA

O café é um dos mais importantes produtos da agricultura brasileira, comercializado tanto no mercado nacional como no internacional. Tal cultura tem se destacado econômica e socialmente no País desde a chegada das primeiras mudas, em meados do século XVIII ocupando atualmente, a 5ª posição entre os produtos mais exportados. O Brasil está na vanguarda das pesquisas cafeeiras e lidera o *ranking* mundial de produção do café, tendo alcançado a marca de 42,15 milhões de sacas em 2015, o que representou 33,85% da produção mundial. O café arábica (*coffea arábica L.*) representa 72% da produção nacional, sendo o conilon (*Coffea canephora* Pierre ex Froehner) responsável por 28% do total produzido. O Estado de Minas Gerais é o maior produtor de arábica, sendo o Espírito Santo o maior produtor de conilon (CONAB, 2014).

De um modo geral, a cafeicultura é responsável por cerca de 43,6% do valor bruto da agropecuária capixaba, sendo, portanto, uma cultura de fundamental importância. O Estado é o segundo maior produtor de café do Brasil, e destaca-se principalmente na produção de café conilon, sendo responsável por aproximadamente 76% de toda produção desta espécie no País, além de obter o terceiro lugar na produção de arábica, atrás apenas de Minas Gerais e São Paulo (INCAPER, 2009).

A aptidão edafoclimática do café reflete diretamente nos índices de produção, onde cultivos realizados em áreas impróprias a cultura tende a ser menos produtiva, 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 (CARNEIRO et al., 2006; 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, ou pedológicos, e considerados, em geral, na mesma escala de análise do zoneamento agroclimático.

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 (EUGENIO et al., 2011; SANTOS et al. 2010; 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 café é uma ferramenta importante no planejamento e consolidação desta atividade.

Além do conhecimento das áreas de aptidão edafoclimática para a cultura do café, para se atingir níveis de produtividade satisfatórios, devem-se adotar outros manejos, por exemplo, o controle de plantas daninhas. O controle químico de plantas daninhas é realizado por meio da aplicação de herbicidas com diferentes princípios ativos. Estes produtos são compostos orgânicos sintéticos que inibem funções metabólicas das plantas, podendo interromper seu ciclo. Estes produtos apresentam alta eficiência e são muito utilizados em grandes áreas de cultivos no Brasil (SILVA et al., 2013).

A presença de plantas daninhas pode causar decréscimos na produção do café. Com isso, faz-se necessário a adoção de manejo, desta forma, o uso de agrotóxicos é realizado em praticamente todos os cultivos 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, pode-se trabalhar com modelos mais simples como GUS (*Groundwater Ubiquity Score* – Índice de Vulnerabilidade de Águas Subterrâneas), EPA (*Environmental Protection Agency* – Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos) e LIX (*Leaching Index* – Índice de Lixiviação), baseado nas características físico-químicas do agrotóxico em questão ou mais complexos como o RF (*Retardation Factor* – Fator de Retardação), AF (*Attenuation Factor* – Fator de Atenuação) e

TLPI (*Temperature Leaching Potential Index* – Índice Potencial de Lixiviação por Temperatura), baseado nas características físico-químicas do agrotóxico estudado, características do solo e condições geoclimáticas da área de estudo (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 de cultivos agrícolas 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 (LOURENCETTI et al., 2005; COUTINHO et al., 2008; SILVA et al., 2014).

Desta forma, o estudo da aptidão edafoclimática para a cultura do café pode reunir informações sobre as condições favoráveis ao seu desenvolvimento e indicar e classificar diferentes zonas de risco (MASSON et al., 2007). No caso do cultivo do café, os mapas de zonas de risco, somados aos modelos de simulação e ao Sistema de Informação Geográfica, podem ser úteis para indicar áreas geográficas, ou até mesmo, áreas com predominância de climas mais favoráveis à implantação desses cultivos (LOPES et al., 2008), e por meio da modelagem indicar riscos de lixiviação dos princípios ativos de diferentes agrotóxicos, baseando-se nos métodos descritos anteriormente.

Mesmo se configurando uma necessidade para o manejo adequado nos cultivos do café, 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 para a cultura do café e o risco de lixiviação dos princípios ativos desses compostos.

3. METODOLOGIA

3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo é representada pelo estado do Espírito Santo, que possui uma área territorial de 46.053,19 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).

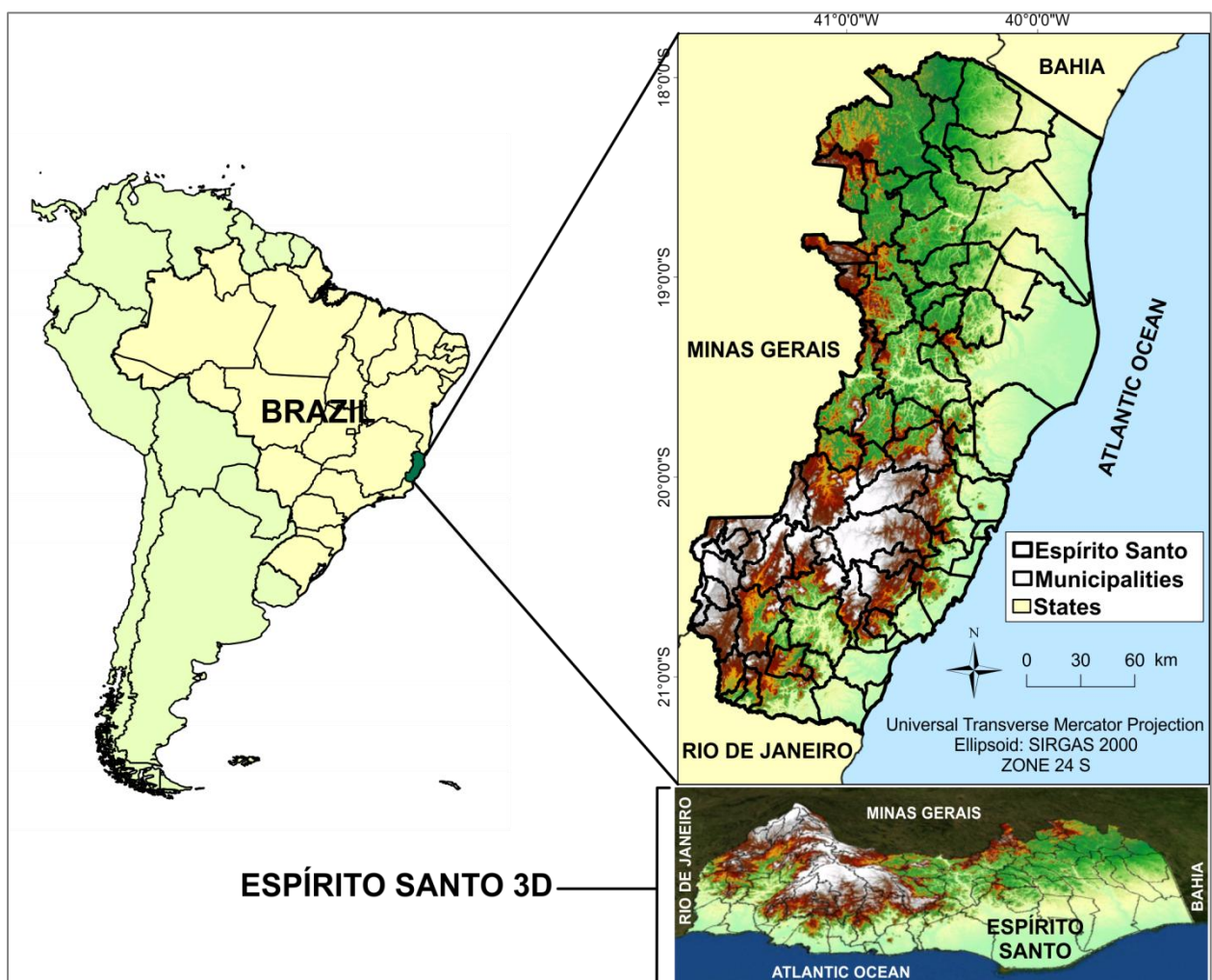


Figura 1. Localização da área de estudo.

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 ETAPAS METODOLÓGICAS

3.2.1 Zoneamento edafoclimático para o café conilon (*Coffea canephora* Pierre ex Froehner).

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 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.

De posse do aplicativo computacional ArcGIS[®], versão 10.3, realizou-se 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.

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) aplicou-se 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 recém importadas para o aplicativo ArcGIS® conforme demonstrado na equação abaixo:

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

Em que,

T : temperatura (°C);

ALT : altitude (m);

X : coordenada UTM X (m);

Y : coordenada UTM Y (m);

β_0 : constante de regressão; e

β_1, β_2 e β_3 : coeficientes de regressão para as variáveis ALT, X e Y .

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.

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 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.

Interpolação espacial por krigagem

Com base no campo de déficit hídrico anual dos pontos da imagem vetorial, representativa das estações meteorológicas, aplicou-se a interpolação espacial por krigagem (MAZZINI e SCHETTINI, 2009), com ajuste do semivariograma por modelo esférico (CRESSIE, 1991), com o objetivo de gerar as imagens matriciais de déficit hídrico anual para as culturas do café conilon.

Reclassificação espacial para a cultura

Sobre as imagens matriciais de temperatura média anual e déficit hídrico anual, foi aplicada a função de “reclassificação espacial” com o objetivo de representar as classes de aptidão, restrição e inaptidão para o café conilon, disponibilizadas nas Tabelas 2 e 3 e sugeridas por Matiello (1991), Matiello et al. (2002), Omena (2014), Santinato et al. (2008) e Santos et al. (2000), com adaptações das faixas de aptidões térmicas e hídricas.

Tabela 1. Faixas de aptidão térmica para as culturas do café conilon.

Aptidão	Temperatura (°C)
Apta	22 a 26
Restrita	21 a 22
Inapta	< 21 e > 26

Fonte: Adaptada de Matiello (1991), Matiello et al. (2002), Omena (2014) e Santos et al. (2000).

Tabela 2. Faixas de aptidão hídrica para a cultura do café conilon.

Aptidão	Deficiência hídrica (mm)
Apta Sem Irrigação (ASI)	< 150
Apta com Irrigação Ocasional (AIOC)	150 a 200
Apta com Irrigação Complementar (AICO)	200 a 400
Apta com Irrigação Obrigatória (AIOB)	> 400

Fonte: Adaptada de Matiello et al. (2002), Omena (2014) e Santinato et al. (2008).

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 culturas do café conilon.

Vetorização espacial do zoneamento edafoclimático

Nesta etapa, todas as duas 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, foi aplicada a função “dissolução” poligonal, tendo como saída uma nova imagem vetorial com tabela de atributos contendo as classes de aptidão denominadas aptas, restritas e inaptas.

Na tabela de atributo da imagem vetorial poligonal dissolvida, criaram-se três novos campos, com tipos de dados reais, intitulados área, perímetro e porcentagem. Em estado de edição, utilizando a função “cálculo geométrico”, foram 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 para a cultura do café conilon.

3.2.2 Avaliação do potencial de lixiviação empregando o método 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 lixivia através do solo a uma determinada profundidade.

Distribuição espacial da taxa de recarga das águas subterrâneas

Utilizou-se uma série de dados meteorológicos de 30 anos, representativa de 109 estações localizadas no estado do Espírito Santo e áreas limítrofes do mesmo, para obtenção de dados de precipitação e a evapotranspiração. A evapotranspiração potencial foi multiplicada pela constante da cultura (kc) do café conilon, de modo a obter a evapotranspiração da cultura. Com base no campo de precipitação e evapotranspiração anual da cultura dos pontos da imagem vetorial, representativa das estações meteorológicas, aplicou-se a interpolação espacial por krigagem (MAZZINI e SCHETTINI, 2009), com ajuste do semivariograma por modelo esférico (CRESSIE, 1991), com o objetivo de gerar as imagens matriciais dos dados em questão. Com a utilização da calculadora Raster aplicou-se a equação 2, de modo a obter os valores de recarga.

A partir do mapa obtido no zoneamento edafoclimático do café conilon, estabeleceram-se diferentes valores de lâmina d'água para as áreas aptas e inaptas à cultura do café. Inicialmente, considerou-se que as áreas aptas não recebem irrigação, por possuírem precipitação superior a evapotranspiração. Com isso apenas as áreas inaptas receberam irrigação, com lâminas de 600, 900, 1200 e 1500 mm (Cenário A e B)

Considerando porém, que as áreas aptas não possuem uma precipitação constante ao longo do ano, o que pode prejudicar o desenvolvimento da cultura, e que nas condições reais, algumas lavouras recebem irrigação, foi estipulado um segundo cenário. Cenário esse que atribui às áreas aptas, lâminas de 50% do que foi aplicado nas áreas inaptas. Dessa forma, simulou-se

lâminas de 600 mm para áreas inaptas, e 300 mm para áreas aptas. As outras combinações foram: 900 mm e 450 mm; 1200 mm e 600 mm; e 1500 mm e 750 mm (Cenário C e D)

$$q = P + I - ETC \quad (\text{eq. 2})$$

Em que,

q: Recarga anual ($\text{m}\cdot\text{dia}^{-1}$)

P: Precipitação (m)

ETC Evapotranspiração (m)

I: Irrigação

Distribuição espacial do fator de retardamento

A partir do mapa de Distribuição e Classificação de Solos do Brasil, identificaram-se os diferentes tipos de solos presentes do Estado do Espírito Santo. Esse mapa foi editado e dissolvido de modo a obter mapa com as Classes de Solo que tiveram a adição de informações sobre suas características físicas e químicas (Tabela 3) e também propriedades dos agrotóxicos (Tabela 4). Com base na equação 3, e através da utilização da calculadora raster, estimou-se o valor de fator de Retardamento (RF).

Em seguida, sobre o RF calculado, fez-se a transformação de polígono para raster. Na sequência aplicou-se função de “reclassificação espacial”, gerando cinco classes, como descrito na tabela 5. O RF, posteriormente, foi rasterizado, para adição das áreas impróprias.

$$RF = 1 + \left(\frac{\rho \cdot OC \cdot K_{oc}}{Fc} \right) + \left(\frac{\delta \cdot K_H}{Fc} \right) \quad (\text{eq. 3})$$

Em que,

ρ : densidade do solo;

OC : teor de carbono orgânico do solo;

δ : porosidade do solo na capacidade de campo;

K_{oc} : coeficiente de adsorção ao carbono orgânico;

K_H : coeficiente de partição ar-água do agrotóxico; e

FC : capacidade de campo do solo.

As informações referentes às propriedades dos herbicidas (2,4-diclorofenoxiacético e Glifosato), estão descritas na tabela a seguir.

Tabela 3. Propriedades dos ingredientes ativos usados na cultura do café.

Pesticidas	$t_{1/2s}$ (d)	K_{OC} (mL g ⁻¹)	K_H (Pa m ³ mol ⁻¹)	$t_{1/2w}$ (d)	Sw (mgL ⁻¹)
2,4-D ¹	4.40	39.30	4.00×10^{-6}	7.70	24,300.00
Glyphosate ¹	15.00	1,424.00	2.10×10^{-7}	9.90	10,500.00

Fonte: ¹IUPAC (2016).

Tabela 4. Classes de potencial de lixiviação para o fator de retardamento (RF).

Fator de retardo (RF)	Potencial de lixiviação
1,0	Muito Baixo
1,0 a 2,0	Baixo
2,0 a 3,0	Médio
3,0 a 10,0	Alto
> 10,0	Muito Alto

Fonte: Matos e Silva (1999).

Distribuição espacial do fator de atenuação

Com base na capacidade de campo, na recarga anual, profundidade definida de 0,3 (Cenário A e C) do lençol freático (Cenário B e D), meia vida do pesticida e o fator de retardamento estimado, calculou-se a estimativa do fator de atenuação, através da calculadora raster, de acordo com a equação 4.

Em seguida, Sobre o AF calculado, fez-se a transformação de polígono para raster. Na sequencia aplicou-se função de “reclassificação espacial”, gerando seis classes, como descrito na tabela 6. O RF, posteriormente, foi rasterizado, para adição das áreas impróprias.

$$AF = \exp\left(\frac{-0,693 \cdot L \cdot RF \cdot Fc}{q \cdot t^{1/2}}\right) \quad (\text{eq. 4})$$

Em que,

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

RF : fator de retardação;

FC : capacidade de campo do solo;

q : recarga líquida da água subterrânea; e

$t_{1/2}$ solo: meia vida do produto no solo;

Tabela5. Classes de potencial de lixiviação para o fator de atenuação (AF).

Fator de atenuação (AF)	Potencial de lixiviação
0,0	Nulo
0,0 a 0,0001	Muito baixo
0,0001 a 0,01	Baixo
0,01 a 0,1	Médio
0,1 a 0,25	Alto
0,25 a 1,0	Muito alto

Fonte: Matos e Silva (1999).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ZONEAMENTO AGROCLIMÁTICO

Por meio do zoneamento agroclimático para a cultura do café conilon no Estado do Espírito Santo, foi possível identificar áreas consideradas aptas, restritas e inaptas para o cultivo desta cultura, considerando inclusive a aptidão em diferentes condições de irrigação, sendo elas: ocasional, complementar e obrigatória. Tais resultados são demonstrados na Figura 2.

Dentro do zoneamento verificou-se uma área de aptidão de 28,69%. Considerado como inapta observou-se uma área equivalente a 16,02% do Estado. Dos 49,51% restantes (retirada as áreas impróprias – 5,79%), verificou-se a ocorrência de áreas com aptidão e restrição térmica com carência hídrica, ou seja, necessidade de irrigação.

Dentre as áreas consideradas inaptas, grande parte encontra-se na região Sul e Serrana do estado. Na região Serrana essa inaptidão ao cultivo do café conilon, se dá principalmente por não atender as exigências térmicas da cultura. Isso é comprovado por Luppi et al. (2014) que em estudo, quantificou que cerca de 44% da Região Serrana do Espírito Santo foi inapta (quanto a temperatura) para o cultivo do café conilon, e outros 42,51% consideradas restritas.

Quando uma região não detém de temperaturas ideais para o desenvolvimento da cultura, mas ainda assim permite o seu desenvolvimento e sua produção, são consideradas restritas. No Espírito Santo, 6,26% das áreas possuem restrição térmica, sendo que 0,13% ainda possuem necessidade de irrigação, ocasional ou complementar.

Considerando ainda as exigências térmicas da cultura do café conilon, 71,94% da área de estudo possui aptidão térmica para o cultivo. Porém, grande parte dessas áreas não atende as necessidades hídricas da cultura. Dessa forma, para serem consideradas áreas aptas atendendo as exigências térmicas e hídricas, devem ser manejadas com irrigação. As áreas em que se encontra maior déficit hídrico durante o ano, deve-se utilizar a irrigação obrigatória, e isso ocorre em 0,47% do Estado. À medida que se reduz esse déficit podem ser utilizadas irrigação complementar, situação que ocorre em 30,74% da área estudada, e a irrigação ocasional, presente em 12,04% do Estado.

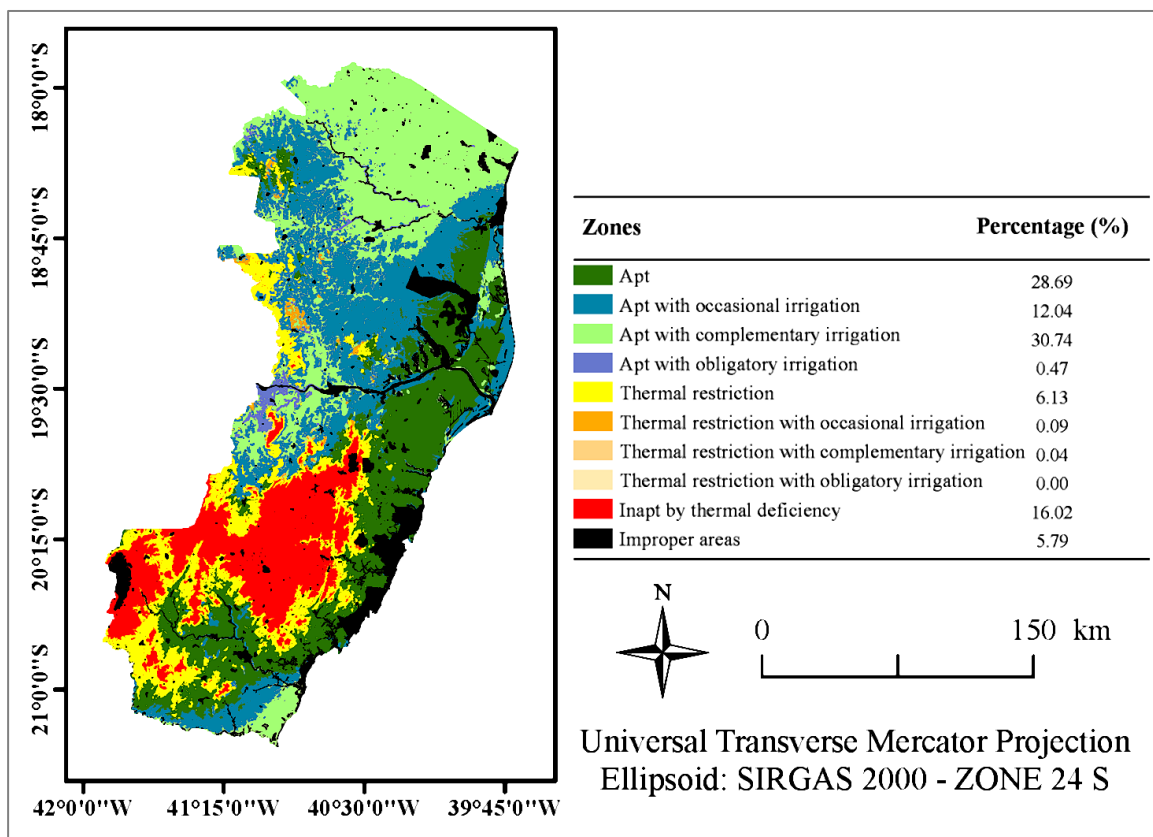


Figura 2. Zoneamento Agroclimático da cultura do café conilon

4.1 FATOR DE RETARDAMENTO

O fator de retardamento é um modelo utilizado para estimar o potencial de adsorção, ou seja, avaliar o potencial do composto químico de ficar retido nas partículas do solo. Com isso, facilmente percebe-se que as propriedades do solo, como a densidade, a porosidade, e o teor de matéria orgânica, são fatores que influenciam significativamente neste processo. Solos mais porosos, como é o caso de solos de textura arenosa, tem uma menor capacidade de retenção, logo apresentarão um menor fator de retardamento.

A partir de características físico-químicas dos herbicidas 2,4-D e Glifosato, assim como as propriedades do solo, foi possível obter mapas (Figura 3) com estimativa do fator de retardamento para os princípios ativos destes dois compostos químicos ao decorrer do Estado do Espírito Santo.

Ao calcular o fator de retardamento, são obtidos valores que vão do intervalo de um a infinito. Esses valores são divididos em cinco classes, sendo elas: Baixo, em que RF varia de 1 a 2; Médio, de 2 a 3; Alto, de 3 a 10; e Muito Alto, em que RF é maior que 10 (MATOS e SILVA, 1999). Quando maior as estimativas de RF, supõe-se que mais partículas do produto químico irão ficar retidas nas partículas do solo. Logo, reduzem-se as chances deste produto ser perdido através do perfil do solo, por meio da lixiviação.

O composto químico 2,4D apresentou 87,02% da área do Estado com potencial de adsorção variando entre 3 e 10, sendo classificada como Alto. Outros 4,39% do Estado foram divididos entre as classes Baixo, Médio e Muito Alto, além de 8,59% referentes às áreas impróprias ao cultivo do café. Essa variação de classes de potencial de adsorção do herbicida 2,4D foi em função do tipo de solo. As regiões do Estado que apresentam Neossolo Litólico, foram os que apresentaram valores mais baixos de fator de retardamento, ou seja, nesse solo as partículas ficam menos retidas, sendo mais facilmente lixiviadas. Esse fato ocorreu devido às características físicas no Neossolo, que apresenta em sua composição, uma parcela mais significativa de areia (EMBRAPA, 2013).

O princípio ativo Glifosato apresentou a totalidade do Estado (descontando áreas impróprias – 8,59%) com potencial muito Alto de adsorção. Com isso, percebe-se que a variada composição de solos presente no Espírito Santo, não influenciou no fator de retardamento deste herbicida.

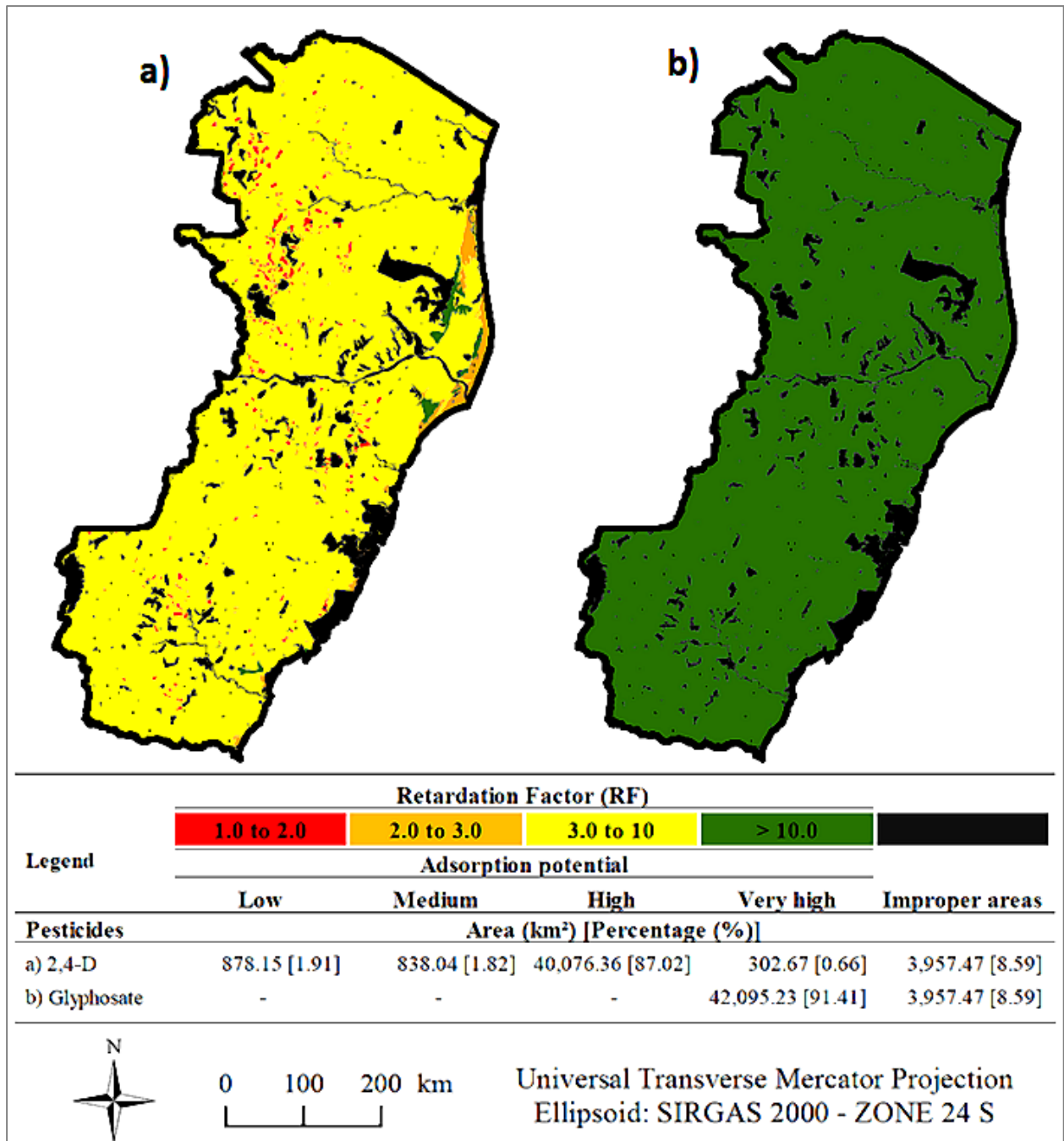


Figura 3. Fator de Retardamento para o Estado do Espírito Santo.

4.1 FATOR DE ATENUAÇÃO

Com base na equação de Fator de Atenuação (AF), que leva em consideração características do composto químico, do solo, assim como características climáticas (precipitação e evapotranspiração) e de manejo da cultura (irrigação), obtiveram-se mapas com estimativas do fator de atenuação para os herbicidas avaliados (Figura 4 e 5).

Nos mapas referentes ao 2,4D, foram analisados quatro cenários diferentes. No primeiro Cenário, representado na Figura 4 pela sigla SA, estimou-se o fator de atenuação no Estado do Espírito Santo considerando a profundidade de raiz efetiva de 0,3 metros, região onde se encontra grande parte do sistema radicular do cafeeiro (SILVA et al., 2009). Neste cenário, as áreas aptas não receberam irrigação, enquanto as inaptas receberam lâminas variando de 600 mm a 1500 mm, com intervalos de 300 mm.

Com a lâmina de irrigação de 600 mm, o 2,4D apresentou um risco de lixiviação Nulo em 29,72% do Estado, e um risco muito baixo em 61,69%. Com o aumento da lâmina para 900 mm e 1200 mm houve a presença de mais uma classe de risco, a classe Baixa, presente em 0,94% e 1,13% da área de estudo, respectivamente. A lâmina de 1500 mm, além das classes anteriormente citadas, também apresentou risco médio de lixiviação, em 0,02% do Estado do Espírito Santo. Ainda assim, esta lâmina, assim como as demais avaliadas, apresentou mais de 60% da área de Estudo com Muito Baixo risco de lixiviação.

No cenário C (SC), também se estipulou como profundidade efetiva da raiz 0,3 m. Entretanto nesta situação, foram aplicadas as mesmas lâminas anteriormente descritas nas áreas inaptas, e 50% destas lâminas em áreas Aptas, isso porque apesar da aptidão, ainda assim, existem regiões que utilizam a irrigação, buscando uma melhor distribuição de água durante todas as fases de desenvolvimento da cultura, o que reflete em aumento da produtividade. As lâminas de 600, 900 e 1200 mm obtiveram três classes diferentes de risco de lixiviação, sendo elas: Nulo, Muito Baixo e Baixo. Porém, mais de 88% da área de estudo nas três situações apresentarem risco Muito Baixo de lixiviação. Assim como no cenário anterior, a lâmina de 1500 mm, também apresentou 0,02% da área de estudo com um risco Médio de lixiviação.

Outra Situação (SB e SD) analisada tomou como base a profundidade do lençol freático, com o objetivo de estimar o risco do herbicida de atingi-lo. No Cenário B (SB) - em que se aplicaram lâminas somente nas áreas inaptas - assim como do D (SD) - que recebeu lâminas nas áreas inaptas e 50% destas lâminas nas áreas aptas – Em todas as situações de lâmina, mais de 87% da área do Estado apresentou um risco de lixiviação Muito Baixo. Apesar disso, e diferentemente dos cenários anteriormente descritos, os cenários que consideraram a profundidade de lençol freático obtiveram risco variando da classe Nula até Muito Alta. Isso ocorreu devido à variação da profundidade dos lençóis no decorrer do Estado. Quanto mais profundo o lençol, menores as chances de o herbicida atingir o mesmo, logo o risco de lixiviação será menor. Porém, em locais em que os lençóis freáticos encontram-se mais superficiais, a probabilidade dos resíduos do herbicida atingir o mesmo são bem maiores, obtendo assim um risco Muito Alto de lixiviação, condições essas comprovadas no presente estudo.

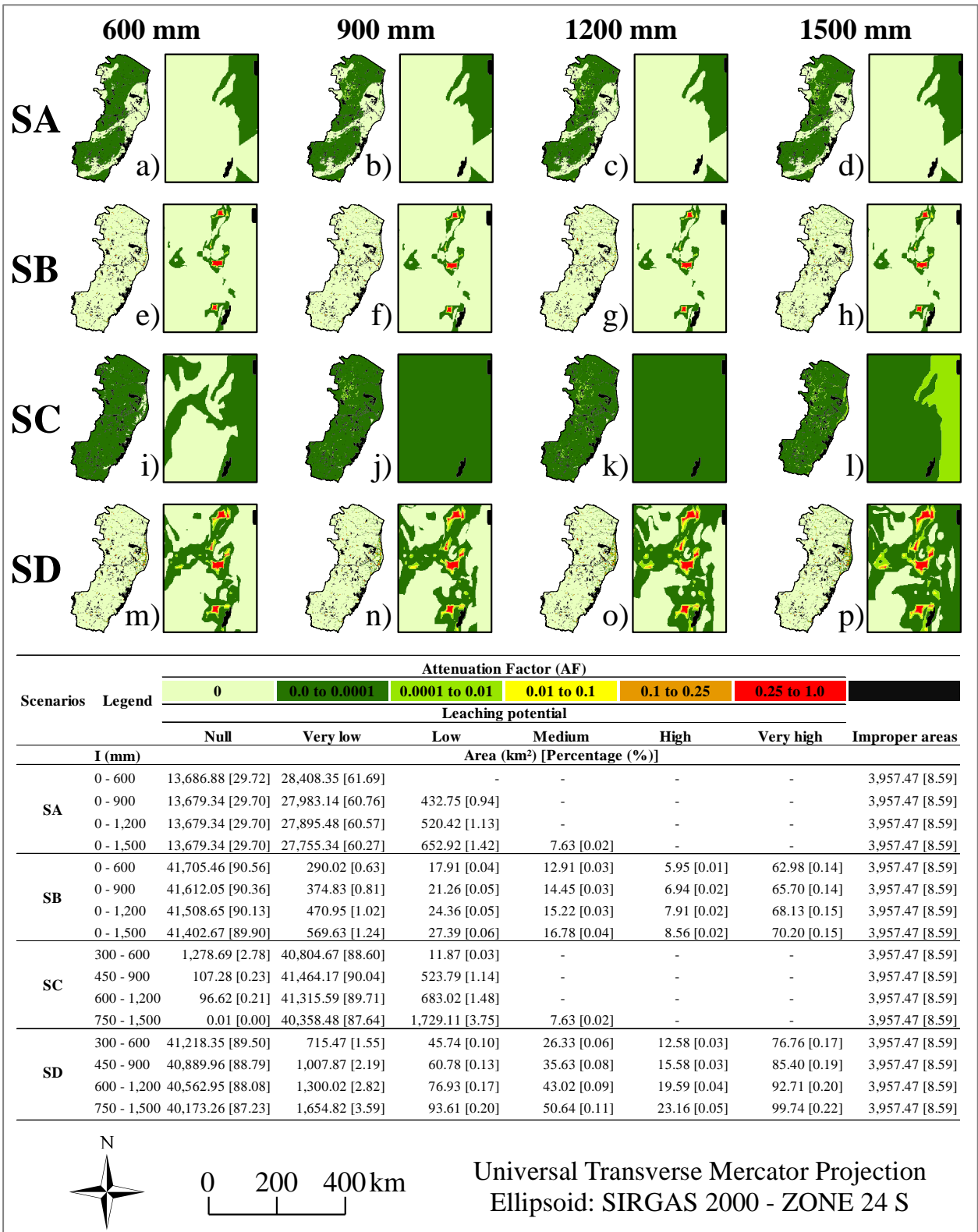


Figura 4. Fator de Atenuação do 2,4D para o Estado do Espírito Santo.

Nos mapas obtidos para estimar o risco de lixiviação do Glifosato, os cenários foram divididos igualmente aos obtidos para o 2,4D. No Cenário A (SA) em que se fixou a profundidade da raiz de 0,3 metros, e lâminas para as áreas inaptas, mais de 90% do Estado do Espírito Santo apresentou um risco de lixiviação Nulo, e menos de 1%, a classe de risco Muito Baixa. Tal situação repetiu-se também no Cenário C, cenário este com a presença de lâminas inclusive nas áreas aptas.

Os Cenários B e D, em que se aplicou irrigação somente para áreas inaptas e em ambas as áreas respectivamente, utilizou-se a profundidade do lençol freático na estimativa do fator de atenuação. Nas duas situações, mais de 90% das áreas do Estado apresentaram um risco de lixiviação Nulo, assim como ocorreu nos Cenários A e C. Porém nestes casos, obtiveram-se áreas pertencentes às classes de Nulo a Muito Alto, fato esse que ocorreu devido as diferentes profundidades de lençol freático. Na classe Muito Alta de potencial de Lixiviação encaixam-se 0,10 % a 0,13% da área de estudo.

Analisando o Cenário B, de acordo com o aumento das lâminas, é possível visualizar a redução da porcentagem de áreas que apresentaram um risco de lixiviação Nulo.

Em estudo desenvolvido por PAZ e RUBIO (2006), utilizando o AF e RF para estimar a lixiviação de diferentes princípios ativos de herbicidas, inclusive o Glifosato, na comunidade de Valência, Espanha, foi constatado um risco muito baixo de lixiviação para o composto Glifosato, devido sua forte adsorção pelo solo (Mamy e Barriuso, 2005; Cochran et al., 1994). Resultados obtidos por tal estudo aproximam-se dos resultados obtidos por este trabalho.

Lourencetti et al. (2005) por meio de estudo para comparar os modelos de lixiviação, encontrou para o composto 2,4D, resultados compatíveis com o encontrado no presente trabalho. Em um dos modelos que usou, o modelo RF/AF, encontrou valores que classificam o composto com um risco de lixiviação Muito Baixo.

É importante considerar que a ocorrência de determinado pesticida em água subterrânea depende além do seu potencial de lixiviação, da vulnerabilidade natural do aquífero e da quantidade do pesticida aplicado (LOURENCETTI et al., 2005).

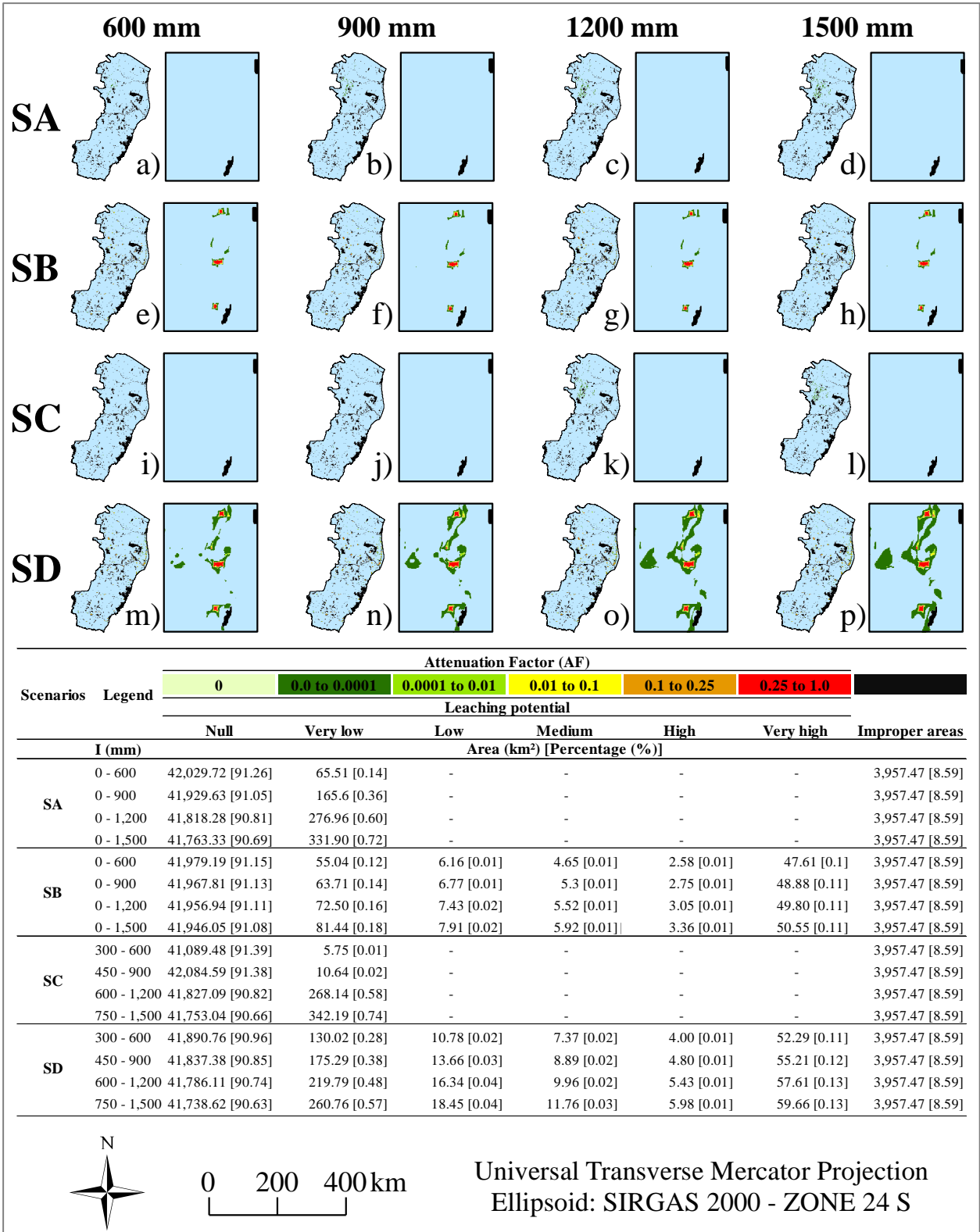


Figura 5. Fator de Atenuação do Glifosato para o Estado do Espírito Santo.

5. CONCLUSÃO

O crescente uso de herbicidas na cultura do café fez surgir a necessidade de estudos que avaliam os riscos potenciais que esses podem acarretar ao ambiente. Dessa forma, este trabalho estimou o risco de lixiviação de agrotóxicos, através do modelo RF/AF para os ingredientes ativos 2,4D e Glifosato. Ambos compostos apresentaram para grande parte do território do Estado do Espírito Santo, riscos Nulo ou Muito Baixo, variando de acordo com a profundidade fixada e as lâminas de irrigação utilizada. Além disso, este trabalho demonstra a eficiência da geotecnologia aplicada na estimativa do potencial de lixiviação de herbicidas.

6. REFERÊNCIAS

- ALLER, L., BENNETT, T., LEHR, J.H., PETTY, R.J., HACKETT, G. **DRASTIC: A Standardised System For Evaluating Groundwater Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings**. US Environmental Protection Agency, Ada, OK (EPA/600/2-87/035).
- BOZZO, S., AZIMONTI, G., VILLA, S., DI GUARDO, A., FINIZIO, A.. Spatial and temporal trend of groundwater contamination from terbuthylazine and desethyl-terbuthylazine in the Lombardy Region (Italy). **Environmental Science. Processes Impacts**. v.15, p.366-372, 2013.
- 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.
- CARNEIRO, M. A.; DANIEL, O.; VITORINO, A. C. T.; COMUNELLO, É. Aptidão da bacia do rio Dourados para o cultivo de algumas espécies de eucaliptos. **Revista Floresta**, v.36, n.3, p.331-342, 2006.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento – **Acompanhamento da Safra Brasileira-Café, Segundo Levantamento** - Maio/2014. Pag 51.
- CONNELL, L.D., DAELE, G.V.D. A quantitative approach to aquifer vulnerability mapping. **Journal of Hydrology**. v.276, p.71-88, 2003.
- COUTINHO, H. L. C.; LEITE, A. A. S.; PARAIBA, 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. 920p, 1991.

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, 353p, 2013.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 3ª Edição. Brasília, DF: Embrapa, 353p, 2013.

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.

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.

GUARDO, A. DI, FINIZIO, A. A client-server software for the identification of groundwater vulnerability to pesticides at regional level. **Science of the Total Environment**. p.530–531, 247–256, 2015.

GUARDO, A. DI, FINIZIO, A. A moni-modelling approach to manage groundwater risk to pesticide leaching at regional scale. **Science of the Total Environment**. p.545–546, 200–209, 2016.

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

HOSSARD, L., PHILIBERT, A., BERTRAND, M., COLNENNE-DAVID, C., DEBAEKE, P., MUNIER-JOLAIN, N., JEUFFROY, M. H., RICHARD, G., MAKOWSKI, D. Effects of halving pesticide use on wheat production. **Scientific Reports**, 2014.

INCAPER - Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural. **Governo estimula renovação das lavouras de café arábica em Dores do Rio Preto.** 2009.

IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry). **Databases Agrochemicals.** <http://iupac.org/what-we-do/databases/>.

KELEMEN, P.B., BEHN, M.D. Formation of lower continental crust by relamination of buoyant arc lavas and plutons. **Nature geoscience.** v.9, p.197-205, 2016.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. Die Klimate der Erde. Gotha, Verlag Justus Perthes, Wall-map 150 cm x 200 cm. 1928.

KUVA, M.A.; GRAVENA, R.; PITELLI, R.A.; CHRISTOFFOLETI, P.J.; ALVES, P.L.C.A. Períodos De Interferência Das Plantas Daninhas Na Cultura Da Cana-De-Açúcar. III – Capim-Braquiária (*Brachiaria decumbens*) e Capim-Colonião (*Panicum maximum*). **Planta Daninha,** Viçosa-MG, v.21, n.1, p.37-44, 2003.

LOPES, M. V.; BARRETO, M.; SCALOPPI, E. A. G.; BARBOSA, J. C.; BRUNINI, O. Mapas de zonas de risco de epidemias e zoneamento agroclimático para o Cancro Cítrico no Estado de São Paulo. **Summa phytopathologica,** v.34, p.349-353, 2008.

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.; BRAGANÇA, L. S.; PELUZIO J. B. E.; DALFI, R. L.; SILVA, R.G. Metodologia Para Classificação De Zoneamento Agroclimatológico. **Revista Brasileira de Climatologia.** Ano 10 – Vol. 15 – Jul/Dez 2014.

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.

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.

MASSON, M. V.; OHTO, C. T.; FURTADO, E. L.; SILVA, S. A. Zoneamento climático do eucalipto no Estado de São Paulo visando o controle da ferrugem. **Summa phytopathologica**, v.33, p.67-73, 2007.

MATIELLO, J. B. **O café: do cultivo ao consumo**. São Paulo: Globo, Coleção do agricultor. Grãos; Publicações Globo Rural. p.320, 1991.

MATIELLO, J.B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A.W.R.; Almeida, S.R.; Fernandes, D.R. **Cultura de Café no Brasil: Novo Manual de Recomendações**. Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFE. p.387, 2002.

MATTOS, L. M.; SILVA, E. F. Influência das propriedades de solo e de pesticidas no potencial de contaminação dos solos e águas subterrâneas. **Pesticidas: Revista de ecotoxicologia e meio ambiente**, Curitiba, v. 9, p. 103-124, 1999.

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

MIRANDA, E. E. **Brasil em Relevô**. Campinas: Embrapa monitoramento por satélite. 2005.

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.

OMENA, M. S. **Conjunto de ferramentas computacionais para análises agroclimáticas**. Dissertação (Mestrado - Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, Campos dos Goytacazes, RJ. p.106, 2014.

OMETTO, J. C. Bioclimatologia vegetal. São Paulo: **Ceres**, 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.

PAZ, J. M. DE, RUBIO, J. L. Application of a GIS-AF/AR model to assess the risk of herbicide leaching in a citrus-growing area of the Valencia Community, Spain. **Science Of The Total Environment**. v.371, p.44-54, 2006.

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.

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.

RAO P. S. C., HORNSBY A. G., JESSUP R. E. Indices for ranking the potential for groundwater contamination. **Proc - SoilCrop Sci Soc Fla** 1985; 44: p.1-8.

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

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.

SANTINATO, R., FERNANDES, A. L. T., FERNANDES, D. R. Irrigação na cultura do café. 2. ed. Uberaba: O Lutador. p.483, 2008. SANTOS, A. R. Atlas das áreas com potencial de risco do Estado do Espírito Santo (ARES), Vitória: Editora BIOS, 2006.

SANTOS, A. R.; SEDIYAMA, G. C.; SOARES, V. P.; RIBEIRO, A.; COSTA, J. M. N.; PEZZOPANE, J. E. M.. Zoneamento Agroclimático para a Cultura do Café Conilon (*Coffea canephora*) e Arábica (*Coffea arabica*) na Bacia do Itapemirim, ES. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.8, p.19-37, 2000. SANTOS, A. R.; LOUZADA, F. L. R. O.; EUGENIO, F. C. ArcGIS 9.3 Total: Aplicações para Dados Espaciais. CAUFES: Alegre, ES. 2010. 184p.

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

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.

SILVA, A.L.; BRUNO, I.P; REICHARDT, K.; BACCHI, O.O.S.; DOURADO-NETO, D.; FAVARIN, J.L.; COSTA, F.M.P; TIMM, L.C. Soil water extraction by roots and Kc for the coffee crop. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.** vol.13 no.3 Campina Grande May/June 2009.

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

SILVA, T., MONTEIRO, D.R., ALMEIDA, B.G., FIRMINO, M.C., LIMA, V.L.A. **Comportamento da curva de retenção de água em diferentes tipos de solo.** Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, 2015.

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.

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.

SHAO, Y., JIANG, L., ZHOU, H., PAN, J., HE, Y. Identification of pesticide varieties by testing microalgae using visible/near infrared hyperspectral imaging technology. **Scientific Reports**.

SOUZA, O. M. M.; COLLICCHIO, E.; PEREIRA, E. Q.; AZEVEDO, M. I. R. Zoneamento edafoclimático para o *Eucalyptus urophylla* no Estado do Tocantins. **DESAFIOS: Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins**, v.1, n.2, p.121-134, 2015.

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

WORRALL, F., BESIEN, T., KOLPIN, D.W. Groundwater vulnerability: interactions of chemical and site properties. **Science of the Total Environment**. v.299, p.131–143, 2002.

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

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.