

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE AMBIENTAL
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA AMBIENTAL

VINÍCIUS ESTEVAN CARVALHO PEREIRA

**INTENSIDADE TEMPORAL DO USO DA TERRA E SUSCETIBILIDADE DE ACÚMULO
DE CONTAMINANTES NA SUB-BACIA DO RIO DO CAMPO EM CAMPO MOURÃO –
PR**

CAMPO MOURÃO
2019

VINÍCIUS ESTEVAN CARVALHO PEREIRA

**INTENSIDADE TEMPORAL DO USO DA TERRA E SUSCETIBILIDADE DE ACÚMULO
DE CONTAMINANTES NA SUB-BACIA DO RIO DO CAMPO EM CAMPO MOURÃO –
PR**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso Superior de Engenharia Ambiental, do Departamento Acadêmico de Ambiental – DDAMB – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR – campus de Campo Mourão, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Edivando Vitor Do Couto
Co-orientadora: Prof^a. Dr^a. Luciane Maria Vieira

CAMPO MOURÃO

2019



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Campo Mourão
Coordenação de Engenharia Ambiental



TERMO DE APROVAÇÃO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO INTITULADO

Intensidade temporal do uso da Terra e suscetibilidade de acúmulo de contaminantes na Sub-Bacia do Rio do Campo em Campo Mourão - PR

DO(A) DISCENTE

VINÍCIUS ESTEVAN CARVALHO PEREIRA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no dia de 05 de Dezembro ao Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Campo Mourão. O(A) discente foi arguido(a) pela Comissão Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a comissão considerou o trabalho aprovado com alterações.

Prof. Ana Paula Peron

Avaliador(a) 1
UTFPR

Prof. Oscar Rodrigues dos Santos

Avaliador(a) 2
UTFPR

Prof. Luciane Maria Vieira do Couto

Co-Orientador(a)
UTFPR

Prof. Edivando Vitor do Couto

Orientador(a)
UTFPR

O Termo de Aprovação assinado encontra-se na coordenação do curso de Engenharia Ambiental.

DEDICATÓRIA

A meu grande e eterno avô
Waldomiro José Pereira (*In memoriam*).

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que me concedeu a vida, o conhecimento, a sabedoria e a força para conquistar meus objetivos, e também a natureza, em todas as suas formas.

Aos meus pais, Maria Olinda Carvalho e Adnilson José Pereira, pelo dom da vida, amor incondicional, ensinamentos, educação e oportunidade.

Ao meu irmão Victor José Carvalho Pereira e família por todo amor, exemplo e incentivo sempre em meus estudos.

A todos os professores que tive durante a graduação, por me proporcionarem conhecimento e experiências fundamentais para essa conquista.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Edivando Vitor do Couto, a minha co-orientadora, Prof. Dra. Luciane Maria Vieira do Couto e ao Prof. Dr. José Hilário Delconte Ferreira, por todos os ensinamentos transmitidos, pela orientação, paciência e suporte para a conclusão deste trabalho.

A minha companheira de vida e namorada, Mariana Lima Braga, por todo o amor, zelo, carinho e paciência.

Aos grandes amigos e irmãos que tive a oportunidade fazer e conviver durante a graduação, Brenno Rodrigues, Gabriel Menon, Pedro Ernesto, Matheus Marchesi, Luiz Otávio Duarte, Lenon Camargo, Carolina Veloza, Jhonny Barbieri, Alexandre Santana, Maurício Zago e Maykon Lima.

Enfim, gostaria de agradecer a todos que fizeram parte para a realização desta etapa tão importante em minha vida.

A todos, meu muito obrigado.

RESUMO

O desmatamento e o intenso uso de áreas agrícolas tem impactado negativamente em bacias hidrográficas. A contaminação por agrotóxico em corpos hídricos tem se tornado um fato comum, visto que o Brasil é o maior consumidor em volume de agrotóxicos do mundo. A conservação de áreas florestais exerce um papel importante para a contenção desses compostos, uma vez que servem de barreira natural, impedindo que cheguem ao corpo hídrico por carreamento de águas pluviais. Diante disso, visando compreender melhor o comportamento de escoamento superficial e sedimentação de bacias hidrográficas, são construídos diversos índices e indicadores, com a utilização de ferramentas de geoprocessamento, sensoriamento remoto e análise geoestatística, para determinar o comportamento de compostos como agrotóxicos no solo. Portanto, o presente estudo teve como objetivo a confecção da carta de suscetibilidade de contaminação por agrotóxico na sub-bacia do Rio do Campo, Campo Mourão-PR, gerada à partir dos índices topográficos (Índice de Corrente de máximo Fluxo, Índice Topográfico de Umidade e Índice de Capacidade de Sedimento) e também da carta de intensidade do uso da Terra. Os resultados obtidos foram apresentados em índices ou valores numéricos. Dos 7694,35 hectares da área da sub-bacia, 75,12% são de uso de culturas temporárias, representando uma grande utilização de agrotóxicos na sub-bacia. Com os índices NDVI foi observado um aumento de 28,67% de cobertura florestal (incluindo silvicultura) entre 1985 e 2018, com a intensidade do uso da Terra, foi possível observar que 471,27 ha de vegetação permaneceram intactos nesse período. A carta de suscetibilidade de contaminação por agrotóxicos apresentou com maior expressividade a média suscetibilidade de contaminação, sendo 86,15% da área total da sub-bacia, seguido de baixa suscetibilidade 9,32%, sem suscetibilidade 3,9% e alta suscetibilidade 0,59%.

Palavras-chave: SIG's, índices topográficos, uso da Terra.

ABSTRACT

Deforestation and intense use of agricultural areas have negatively impacted watersheds. Pesticide contamination in water bodies has become a common fact, as Brazil is the world's largest consumer of pesticides by volume. The conservation of forest areas plays an important role in the containment of these compounds, as they serve as a natural barrier, preventing them from reaching the water body by carrying rainwater. Therefore, in order to better understand the behavior of runoff and sedimentation of watersheds, several indexes and indicators are built using geoprocessing tools, remote sensing and geostatistical analysis to determine the behavior of compounds as pesticides in the soil. Therefore, the present study aimed to produce the susceptibility chart of pesticide contamination in the Rio do Campo sub-basin, Campo Mourão-PR, generated from the topographic indexes (Stream Power Index, LS-Factor and Topographic Wetness Index) and also the chart of intensity of use and occupation of the soil. The results obtained were presented in indices or numerical values. Of the 7694.35 hectares in the sub-basin area, 75.12% is monoculture use, representing a large use of pesticides in the sub-basin. With the NDVI indices, a 28.67% increase in forest cover (including forestry) was observed between 1985 and 2018. With the intensity of land use, it was observed that 471.27 ha of vegetation remain intact during this period. The susceptibility chart of pesticide contamination presented the medium susceptibility of contamination, being 86.15% of the area Sub-basin, followed by low susceptibility 9.32%, no susceptibility 3.9% and high susceptibility 0.59%.

Keywords: SIG's, topographic indexes, land use.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Sub-bacia do Rio do Campo, Campo Mourão – PR.....	20
Figura 2 – Mapa da bacia do Rio do Campo, Campo mourão - PR.....	24
Figura 3 – Carta do uso da Terra da sub-bacia do Rio do campo, Campo mourão – PR.....	25
Figura 4 – Carta de Índice de Corrente de Máximo Fluxo da sub-bacia do Rio do Campo, Campo Mourão – PR.....	26
Figura 5 – Carta de Índice Topográfico de Umidade da sub-bacia do Rio do Campo, Campo Mourão – PR.....	27
Figura 6 – Carta de Índice de Transporte de Sedimento da sub-bacia do Rio do Campo, Campo Mourão – PR.....	28
Figura 7 - Índices NDVI das Áreas Florestais e Antropizadas da sub-bacia do Rio do Campo, entre os anos 1985 e 1999.....	29
Figura 8 - Índices NDVI das Áreas Florestais e Antropizadas da sub-bacia do Rio do Campo, entre os anos 2005 e 2018.....	29
Figura 9 – Comparativo do Índices NDVI de 1985 e 2018 da sub-bacia do Rio do Campo, Campo Mourão – PR.....	30
Figura 10 – Carta de Intensidade do Uso da Terra da sub-bacia do Rio do Campo, Campo Mourão – PR.....	31
Figura 11 – Carta de Suscetibilidade de Contaminação da sub-bacia do Rio do Campo, Campo Mourão – PR.....	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classes e áreas da Carta do uso da Terra da sub-bacia do Rio do Campo, Campo Mourão – PR.....	25
Tabela 2 – Índices NDVI das Áreas Florestais e Antropizadas da sub-bacia do Rio do Campo, entre os anos 1985 e 2018.....	30
Tabela 3 – Índices de Intensidade do Uso da Terra da sub-bacia do Rio do Campo, Campo Mourão – PR.....	31
Tabela 4 – Índices da Carta de Suscetibilidade de Contaminação da sub-bacia do Rio do Campo, Campo Mourão – PR.....	33

APÊNDICES

APÊNDICE A	40
APÊNDICE B	41

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

LEGAL	Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico
MDE	Modelo Digital de Elevação
NDVI	<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>
SANEPAR	Companhia de Saneamento do Paraná
SIG	Sistema de Informação Geográfica

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1. Objetivos.....	15
1.2. Justificativa.....	15
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3. METODOLOGIA.....	20
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
5. CONCLUSÕES	36
6. REFERÊNCIAS.....	37

1. INTRODUÇÃO

O manancial de abastecimento público da sub-bacia do Rio do Campo, é responsável por 76,12% do abastecimento público de Campo Mourão - PR (Plano Municipal de Saneamento Básico Água e Esgoto, 2018). Esta bacia passou por um severo processo de fragmentação florestal decorrente da exploração madeireira e agropecuária sobre a Floresta Ombrófila Mista e a Floresta Estacional Semidecidual (FERREIRA et al., 2019).

Este aumento do desflorestamento, por outro lado, tem sido consequência da expansão da produção agroindustrial, que entre as safras de 2008/2009 para 2016/2017 cresceu 4,78% em área (hectares) e 18,21% em produção (toneladas), segundo a Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento (SEAB, 2018).

Ao mesmo tempo o abrandamento da Legislação Ambiental para a aplicação de agrotóxicos, tem aumentado significativamente o uso dessas substâncias. Sendo estas nocivas quando contaminam o solo, águas superficiais e mananciais de abastecimento público, tanto a saúde da população humana, quanto aos ecossistemas existentes nestas regiões (DELLAMATERICE; MONTEIRO, 2014).

O Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA, 2018) e a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 2018) mostraram que o Brasil é o maior consumidor de agrotóxicos do mundo, desde 2009. Com crescimento de mercado em aproximadamente 176% na última década, sendo quatro vezes maior que a média de consumo mundial.

Em 2004 o Brasil consumia cerca de 200.000 toneladas de ingredientes ativos de agrotóxicos, em 2014 esse número saltou para 500.000 toneladas segundo dados do IBAMA (2016). O Paraná é o terceiro maior consumidor de agrotóxicos do Brasil, com um total de 92.398.000 kg consumidos no ano de 2017 (SIAGRO, 2018). Foi responsável por 16,23% da produção de grãos no Brasil na safra 2017/2018 (CONAB, 2018).

O município de Campo Mourão teve uma quantidade de 9.770,31 toneladas de agrotóxicos comercializadas em 2015, enquanto em 2017 foram comercializadas 10.432,61 toneladas (SECRETARIA DO ESTADO DA SAÚDE DO PARANÁ, 2018). Dentre os cultivos temporários no município, destacou-se a produção de soja, que representou 65,5% de toda área cultivada no ano de 2018, enquanto o trigo 20,21% e o milho 7,94% (IBGE, 2018).

A preocupação com o aumento da utilização de agroquímicos na produção de grãos, se deve aos agrotóxicos utilizados poderem alcançar os mananciais por meio do escoamento superficial e sub-superficial, causando impactos no meio ambiente de duas formas: acumulando na biota e contaminação da água e o solo (LIMA et al., 2017; MARTINI et al., 2012).

Os agrotóxicos são constituídos por um conjunto de moléculas químicas, com diferentes modos de ação e toxicidade, sendo divididos em: inseticidas, fungicidas, herbicidas, nematocidas e moluscicidas (SILVA; FAY, 2004). O uso intensivo destas substâncias aliado a utilização e armazenamento incorreto, desmatamento, má preservação dos remanescentes florestais, nascentes, bacias hidrográficas, matas ciliares e também ao manejo incorreto das terras tem causado a contaminação dos rios brasileiros por agroquímicos e compostos xenobióticos, derivados das atividades antrópicas ao longo das bacias hidrográficas. (DELLAMATERICE; MONTEIRO, 2014).

O transporte dos agrotóxicos pode ocorrer de muitas formas, incluindo a migração em água (em suspensão ou dissolvidos), em partículas do solo (adsorvidos) ou no estado de vapor. A água pode dispersar os agrotóxicos no ambiente via lavagem das folhas (plantas), escoamento superficial e lixiviação (SILVA; FAY, 2004). A lixiviação é o transporte de solutos para camadas subsuperficiais e é responsável pelo transporte de agrotóxicos e outros elementos provindos de áreas agrícolas, podendo causar contaminação, principalmente, das águas subterrâneas (DELLAMATERICE; MONTEIRO, 2014).

A perda de agrotóxicos no local de aplicação, através da força do fluxo de água na superfície, denominado escoamento superficial, está relacionado com a contaminação das águas superficiais por tais substâncias, e também a contaminação da água subterrânea através das áreas de recarga pelas águas superficiais. Este processo ocorre quando a entrada da água excede a infiltração e inclui a perda do agrotóxico dissolvido, suspenso em material particulado e adsorvido (SILVA; FAY, 2004).

Bacias Hidrográficas de Manancial de Abastecimento Público são áreas a montante de captações da água de abastecimento, são áreas frágeis e a contaminação é um risco a saúde pública, sendo necessário práticas de conservação rigorosas (BUCCI et al., 2015).

1.1. Objetivos

Para tanto, com o auxílio de imagens de satélite *Landsat*, Modelo Digital de Elevação (MDE), atributos topográfico e a utilização de Sistema de Informação Geográfica (SIG's), este trabalho teve como objetivo analisar a intensidade do uso da Terra no período de 1985 a 2018, os índices topográficos e também a criação de uma carta de suscetibilidade de acúmulo de agrotóxicos, indicando possíveis locais com fatores agravantes ou não para ocorrer contaminação superficial, tendo como delimitação a sub-bacia do Rio do Campo, contendo um manancial de abastecimento público.

1.2. Justificativa

O presente estudo é importante para compreender as relações entre relevo, uso da Terra e dados topográficos para a predição de locais com maior suscetibilidade de contaminação por agrotóxicos, visto que a contaminação por agrotóxicos em bacias hidrográficas tem se agravado mais a cada ano e análises de sedimentos e solo para a identificação destes são bastante onerosas. Este método, se comprovado sua eficácia com análises de solo, torna-se uma excelente ferramenta para previsão de riscos e identificação de lugares para melhor conservação florestal ou de solo, além de reduzir custos, pois nele são utilizados *softwares* e imagens gratuitas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O modelo atual de desenvolvimento exerce uma pressão cada vez maior sobre os biomas, seus recursos naturais são cada vez mais explorados, principalmente pelos setores pecuário e agrícola. Com isso, os recursos naturais e a biodiversidade ficam cada vez mais ameaçados, não somente pelo crescente aumento das áreas cultivadas, mas muitas vezes, pelo manejo inadequado do solo e da vegetação (FRANÇA et al., 2016).

Sob influência antrópica, ocorre uma fragmentação não natural de áreas amplas de biomas naturais e com isso a diversidade tem sido reduzida a fragmentos pequenos, formas simples, elevado grau de isolamento, com matriz fortemente agroindustrializada, que leva a um histórico processo de perturbações, e pode comprometer a conservação da biodiversidade local (KORMAN, 2003).

Como consequência do desmatamento, as fragmentações provocam aumento nos efeitos de borda, perda de biodiversidade, alterações nas interações ecológicas, isolamento, aumento da predação e da competição, perda de habitat e extinção de espécies (SILVA; SOUZA et al., 2014). Os seguintes efeitos principais de vias de comunicação sobre populações animais devem ser mencionados: perda de habitat, efeito de separação e barreira, subdivisão e mortalidade (LANG, 2009; PRIMACK; RODRIGUES, 2001; SILVA; SANTOS, 2007).

A fragmentação florestal e má preservação, em locais com forte produção agrícola e atividades antropogênicas ao longo das bacias, das quais recebem materiais, sedimentos e poluentes advindos do uso da Terra, tem seus corpos hídricos contaminados por compostos xenobióticos, derivados de agrotóxicos e agroquímicos. Dependendo das características físico-químicas, esses resíduos de agrotóxicos podem se ligar ao material particulado em suspensão, se depositar no sedimento de fundo ou ser absorvido por organismos aquáticos e/ou metabólitos, também podem retornar à atmosfera por volatilização ou lixiviar para o lençol freático (DELLAMATRICE; MONTEIRO, 2014; SILVA; SANTOS, 2007).

Regimes pluviais e o relevo são condicionantes para o escoamento superficial dos agrotóxicos, pois quanto maior o volume de água, a inclinação local e a área de contribuição, maior será o potencial de escoamento superficial. Assim como o tipo de solo também influencia de modo positivo ou negativo na lixiviação (FRANÇA et al., 2016; LIMA et al., 2007).

Um estudo realizado em uma lavoura de arroz no Rio Grande do Sul simulou três tipos de regimes pluviais utilizados para irrigação, sendo fluxo contínuo, intermitente e por banhos. O estudo utiliza o herbicida clomazone, os inseticidas thiamethoxam e imidacloprid, e os fungicidas trifloxystrobin e propiconazol. Sendo relatado um transporte no valor de 3% do volume total de agrotóxicos aplicados, e as maiores concentrações de agrotóxicos em água ocorreram próximas à sua aplicação (MARTINI et al., 2012).

Os pesticidas utilizados na agricultura para combater pragas e doenças, tem causado contaminação dos recursos hídricos, cujas consequências são alterações nos ecossistemas, como alterações metabólicas em peixes e alteração da atividade e estruturas das comunidades microbianas do solo. Também podem causar prejuízos à saúde, ainda mais devido ao consumo humano. (DELLAMATERICE; MONTEIRO, 2014; BORTOLUZZI et al., 2006; VIEIRA et al., 2014; BÓRTOLI et al., 2012).

Os resíduos dos pesticidas triazínicos foram detectados com maiores frequências e concentrações em razão, provavelmente, do uso frequente e por suas características de mobilidade e persistência, além de facilidade de avaliação. Pesticidas clorados, mesmo com seu uso banido há cerca de 30 anos, foram encontrados em algumas amostras ambientais. Também foram encontrados resquícios de pesticidas organoclorados em sedimentos de um lago, mais de uma década que se cessou a agricultura no entorno (DELLAMATERICE; MONTEIRO, 2014; CEMBRANEL et al., 2017).

O cultivo de soja no Brasil consome em média cerca de 17,7 litros de agrotóxicos por hectare plantado, enquanto o cultivo de trigo consome em média 10 litros por hectare e o cultivo de milho consome em média 7,4 litros por hectare (PIGNATI et al., 2017). Segundo um estudo realizado na cidade de Arapongas, norte do estado do Paraná, em uma área de intensa atividade agrícola, onde destaca-se os cultivos de soja, milho e trigo. Foram encontrados um total de 26 pesticidas diferentes nas amostras de água coletadas ao longo da sub-bacia (ALMEIDA et al., 2019).

A contaminação com agrotóxicos ocorre principalmente em áreas próximas aos locais de aplicação por deflúvio superficial ou contaminação do lençol freático. Alguns fatores que afetam o transporte para o meio aquático são as propriedades do agente químico, manuseio dos agricultores e variáveis ambientais (tipo de solo, declividade, presença de cobertura vegetal e clima). Os efeitos prejudiciais sobre os ecossistemas dependem da toxicidade da substância, do tempo de exposição, da

dose e da persistência no ambiente. Nos ecossistemas, os efeitos da contaminação podem ser nocivos, pois atuam nos extratos inferiores da cadeia alimentar chegando, por vezes, a eliminá-los, comprometendo dessa forma toda a população local (BÓRTOLI et al., 2012, RIBEIRO et al., 2001; SILVA; FAY, 2004).

O uso da Terra, somado as características naturais, demonstram riscos ou atributos positivos para a contaminação de águas superficiais e subsuperficiais. Sub-bacias com predominância de vegetação nativa próxima aos córregos, mesmo com a utilização de agrotóxicos em lavouras de tabaco próximas, apresentaram quantidades nulas de moléculas dos compostos utilizados, indicando um efeito positivo na qualidade da água (BORTOLUZZI et al., 2006).

A conscientização dos agricultores para práticas agrícolas mais conservacionistas, melhor preservação de cobertura vegetal e mata ciliar podem reduzir os riscos de contaminação por agroquímicos (SILVA; FAY, 2004). A preocupação maior ocorre na presença de solos mais arenosos, áreas de relevo planáltico e alta incidência de chuvas, as quais são as responsáveis pela maioria dos casos de pesticidas encontrados na água (DELLAMATERICE; MONTEIRO, 2014).

Geotecnologias têm sido uma excelente aliada em trabalhos de monitoramento florestal e ambiental, sobretudo com a utilização do sensoriamento remoto. Uma vez que podem demonstrar a tendência do comportamento da água e o escoamento superficial, afim de prever o comportamento de agrotóxicos e agroquímicos na superfície do solo (FRANÇA et al., 2016).

A álgebra de mapas, caracterizada pela composição de linguagens matemáticas, cartográficas e espacial, refere-se ao conjunto de procedimentos de análise espacial em geoprocessamento que produz novos dados a partir de funções de manipulação aplicadas a um ou mais mapas (SANTOS et al., 2010).

Um importante método de amostragem da área florestal é o índice NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), que através da resposta das bandas espectrais: Infravermelho, infravermelho-próximo e Vermelho é possível realçar e distinguir a vegetação dos outros elementos. Se tornando eficiente para análises temporais com a utilização de SIG's (FERREIRA et al., 2019; ROSA et al., 2013).

Com a combinação de índices NDVI, é possível, por meio da Álgebra de Mapas, linguagem LEGAL (Linguagem Espacial de Geoprocessamento Algébrico), criar uma análise de intensidade do uso da Terra, comparando em uma série temporal a relação entre área florestal e área antropizada (FRANÇA et al., 2016).

Atributos topográficos gerados a partir de um Modelo Digital de Elevação (MDE) podem ser essenciais para entender a relação entre relevo, solo e bacia hidrográfica. Alguns índices importantes para compreender a interação do solo com águas pluviais são: Índice de Corrente de Máximo Fluxo (*Stream Power Index*), índice Topográfico de Umidade (*Topographic Wetness Index*) e Índice de Capacidade de Sedimento (*LS-Factor*) (SILVEIRA et al., 2012).

O Índice de Corrente de Máximo Fluxo é uma medida da erosão do poder do fluxo da água, sendo calculado com base em declive e área de contribuição. À medida que a área de captação e o gradiente de declive aumentam, a quantidade de água contribuída pelas áreas em declive e a velocidade do fluxo de água aumentam, aumentando o índice de potência da corrente e o risco de erosão (VIJITH; DODGE-WAN, 2019).

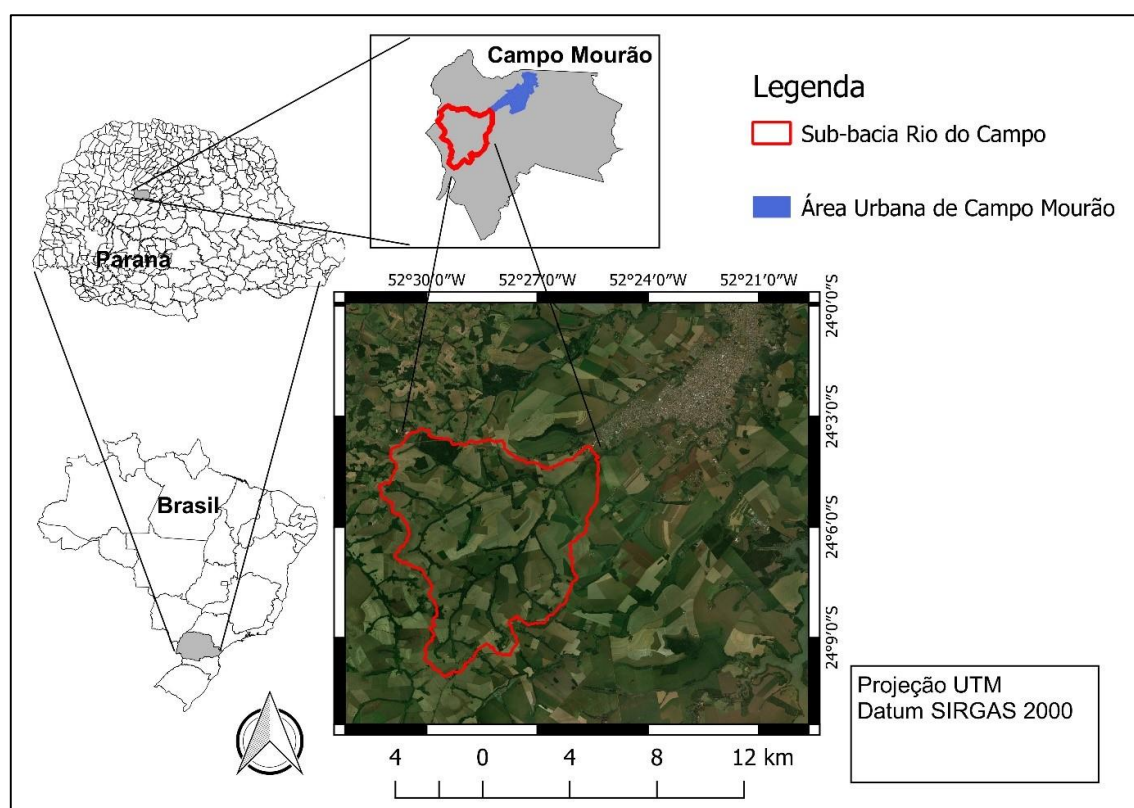
O índice Topográfico de Umidade, caracteriza as zonas de saturação de água superficial e o conteúdo de água nos solos. Enquanto o Índice de Capacidade de Sedimento, combina os fatores comprimento da rampa L com a declividade S. Utilizado para estimar a erosão do solo e a produção de sedimentos em bacias hidrográficas, o fator LS combinado descreve o efeito da topografia na erosão do solo (PRATES et al., 2012; VIJITH; DODGE-WAN, 2019).

A carta de suscetibilidade de acúmulo de contaminantes, combina os índices topográficos com o uso da Terra e relevo para a predição de lugares com maior possibilidade de contaminação através do escoamento superficial. Com a representatividade em área de culturas temporárias no entorno de bacias hidrográficas, os agrotóxicos tornam-se possíveis representantes desta contaminação (ANJINHO et al., 2018; LIMA et al., 2007)

3. METODOLOGIA

O estudo foi realizado na sub-bacia do Rio do Campo, Campo Mourão –PR (Figura 1). Através do *Google Earth*, foram obtidas as coordenadas longitudinais e latitudinais do retângulo envolvendo a área de estudo. Foram baixadas as cenas de interesse (ALOS PALSAR) no portal Vertex: ASF's Data (*Alaska Satellite Facility*), obteve-se os dados altimétricos com o modelo digital de elevação (MDE). Realizou-se através do *software* QGIS o recorte do polígono visado, a adequação do Sistema de referência DATUM do projeto e também a geração do arquivo no formato para o SAGA GIS.

Figura 1 – Sub-bacia do Rio do Campo, Campo Mourão – PR.



Fonte: Autoria própria.

Para o tratamento de dados no SAGA GIS foi utilizado em primeiro o comando *Fill Sinks* (WANG; LIU, 2006), no arquivo MDE para a identificação e preenchimento de depressões superficiais no MDE, onde, segundo Pereira (2018), o algoritmo Wang e Liu mantém a consistência do fluxo de forma similar ao que se observa em situações de chuva e chuva extrema. Após a correção, foi executado o

comando *Basic Terrain Analysis (Tool Libraries → Terrain Analysis → Compound Analyses → Basic Terrain Analysis)*, que utiliza os dados MDE para gerar 16 métricas de terreno e hidrologia, onde as utilizadas no trabalho foram: *Drainage Basins* (Bacias Hidrográficas), *LS Factor* (Índice de transporte de Sedimento) e *Topographic Wetness Index* (Índice Topográfico de Umidade). Para obter o *Sream Power* (Índice de Corrente de Máximo Fluxo), foi executado o comando *Stream Power Index (Tool Libraries → Terrain Analysis → Hydrology → Stream Power Index)*.

O Índice Topográfico de Umidade utiliza a seguinte equação:

$$TWI = \ln(\alpha / \tan \beta)$$

, sendo α = Área de contribuição ascendente e β = Declive.

O Índice de Corrente de Máximo Fluxo é representado pela equação:

$$SPI_i = \ln(DA_i * \tan(G_i))$$

, em que *SPI* é a potência do fluxo índice na célula da grade *i*, *DA* é a área de drenagem à montante (acumulação de fluxo na célula da grade *i* multiplicada pela célula da grade área) e *G* é a inclinação de uma célula da grade *i* em radianos.

E o Índice de Capacidade de Sedimento é expresso pela equação:

$$L_{ij} = \frac{[(A_{ij} + D_{ij}^2)^{m+1} - \alpha_{ij}^{m+1}]}{[D^{m+2}(\text{sen}\theta_{ij} + \text{cos}\theta_{ij})^m (22,13)^m]}$$

$$S_{ij} = 65,41 * \text{sen}\theta_{ij} + 4,56 * \text{sen}\theta_{ij} + 0,065$$

onde, os subíndices *i* e *j* são as coordenadas da célula que a localiza no mapa da bacia; *A_{ij}* corresponde à área de fluxo acumulado (área de contribuição) para cada célula com coordenadas (*i, j*); *D* corresponde à resolução da grade de células; *α_{ij}* corresponde ao ângulo da direção do fluxo que indica a direção para onde o fluxo se direciona em relação ao norte; *m* corresponde ao expoente do comprimento de encostas; e *θ_{ij}* corresponde à declividade média da vertente.

Por meio do *shape* gerado (*Drainage Basins*), foi possível delimitar a área da sub-bacia do Rio do Campo até o ponto de captação da SANEPAR (Companhia de Saneamento do Paraná) com a utilização do QGIS. Com o limite exato da sub-bacia

foi obtido do SAS *Planet* a imagem de satélite para a classificação manual do uso da Terra no QGIS, gerando polígonos classificados como: Área Florestal, Silvicultura, Área Campestre, Copo Hídrico, Área Urbanizada, Pastagem, Cultura Temporária e Cultura Permanente.

Para o estudo da intensidade do uso da Terra foram requeridas imagens de satélite com os dados NDVI, da plataforma *Earth Explorer* (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) da agência científica norte americana *U.S. Geological Survey*, sendo essas imagens de média resolução, com menos de 10% de cobertura por nuvens, provenientes dos satélites *Landsat 5* e *8* das cenas órbita/ponto 223/77.

As imagens utilizadas foram referentes aos anos: 1985, 1990, 1995, 1999, 2005, 2008, 2014 e 2018. Sendo obtido 4 imagens de cada ano, cada uma em uma estação diferente, foi realizado a média através da álgebra de mapas, Linguagem Espacial de Geoprocessamento Algébrico (LEGAL) (Apêndice A) no *software* SPRING, para constatar melhor a diferença entre vegetação nativa e áreas de cultura temporária e também a sazonalidade entre as estações mais secas ou mais chuvosas, obteve-se assim um *raster* para cada ano de análise com as informações médias dos índices de NDVI.

Com as informações das médias do NDVI foi feito a normalização dos dados em cada *raster* por meio do *software* QGIS, que consiste em dividir todos os índices de cada carta pelo maior valor existente, isso é feito para que todos os índices fiquem entre 0 e 1. Foi então analisado cada *raster* para conseguir definir a faixa do índice que melhor representa a classe de cobertura florestal (incluindo silvicultura) e área antropizada (incluindo áreas urbanas, solo exposto, áreas de cultivo e pastagem). Áreas referentes a água foram classificadas como antropizadas, visto que os lagos são áreas expostas e os rios em sua maior parte cobertos com vegetação. Em seguida, através do *software* SPRING realizou-se o fatiamento das classes em cada ano e também o corte matricial para corrigir áreas classificadas incorretamente. Foram então divididas em duas classes: florestal e áreas antropizadas.

Para a obtenção da carta de intensidade do uso da Terra foi então utilizado a álgebra de mapas, linguagem LEGAL no *software* SPRING (Apêndice B), realizando um somatório entre os anos estudados, atribuindo peso 0 em locais que apresentam cobertura florestal e peso 1 quando apresenta cobertura antropizada. Com esse somatório é possível perceber lugares que entre 1985 e 2018 tiveram mais interferência antrópica e lugares em que a vegetação foi mais preservada.

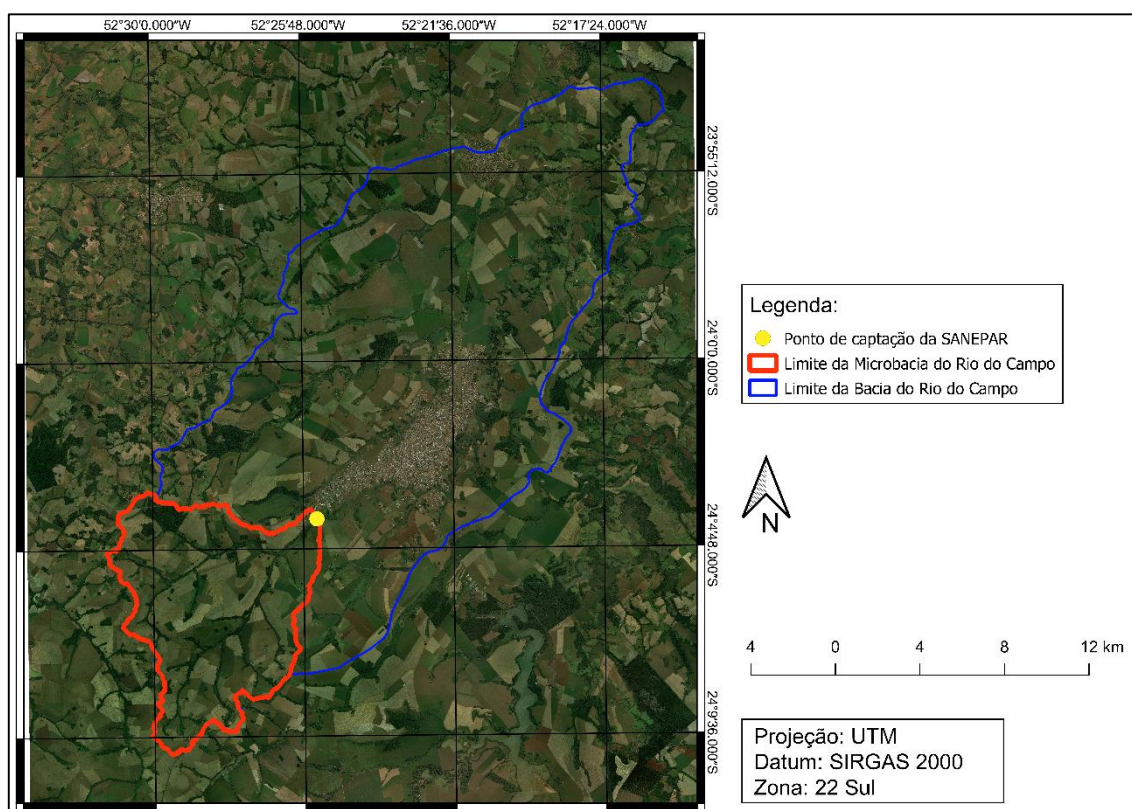
A carta de suscetibilidade de acúmulo de contaminantes é o somatório entre a carta de intensidade do uso da Terra e os índices de Corrente de máximo fluxo, de transporte de Sedimento e Topográfico de Umidade. Para conseguir realizar o somatório através da calculadora *raster* no *software* QGIS foi feito a normalização de cada índice e também para a carta de intensidade do uso da Terra.

Com os índices normalizados, foi então atribuído os pesos de cada um, sendo 0,3 para a Carta de Intensidade do uso da Terra e Índice de Corrente de Máximo Fluxo, e 0.2 para os Índices de Transporte de Sedimento e Topográfico de Umidade, gerando a seguinte equação na calculadora *raster*: $(\text{Intensidade do uso da Terra} * 0.3) + (\text{Índice de Corrente de Máximo Fluxo} * 0.3) + (\text{Índice de Transporte de Sedimento} * 0.2) + (\text{Índice Topográfico de Umidade} * 0.2)$. Essa diferenciação foi feita para dar maior significância para a Carta de Intensidade do uso da Terra e o Índice de Corrente de Máximo Fluxo, pois representam a vegetação que serve como barreira natural e o poder da água pluvial para a lixiviação dos agrotóxicos respectivamente.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com a utilização de SIG's, foi possível gerar dados e cartas temáticas para compreender melhor as características da sub-bacia do Rio do Campo. A sub-bacia (Figura 2) tem área total de 7694,35 ha, comparada com toda a bacia hidrográfica do Rio do campo que tem área total de 38766,28 ha, representa 19,84%.

Figura 2 – Mapa da bacia do Rio do Campo, Campo mourão - PR.



Fonte: Autoria própria.

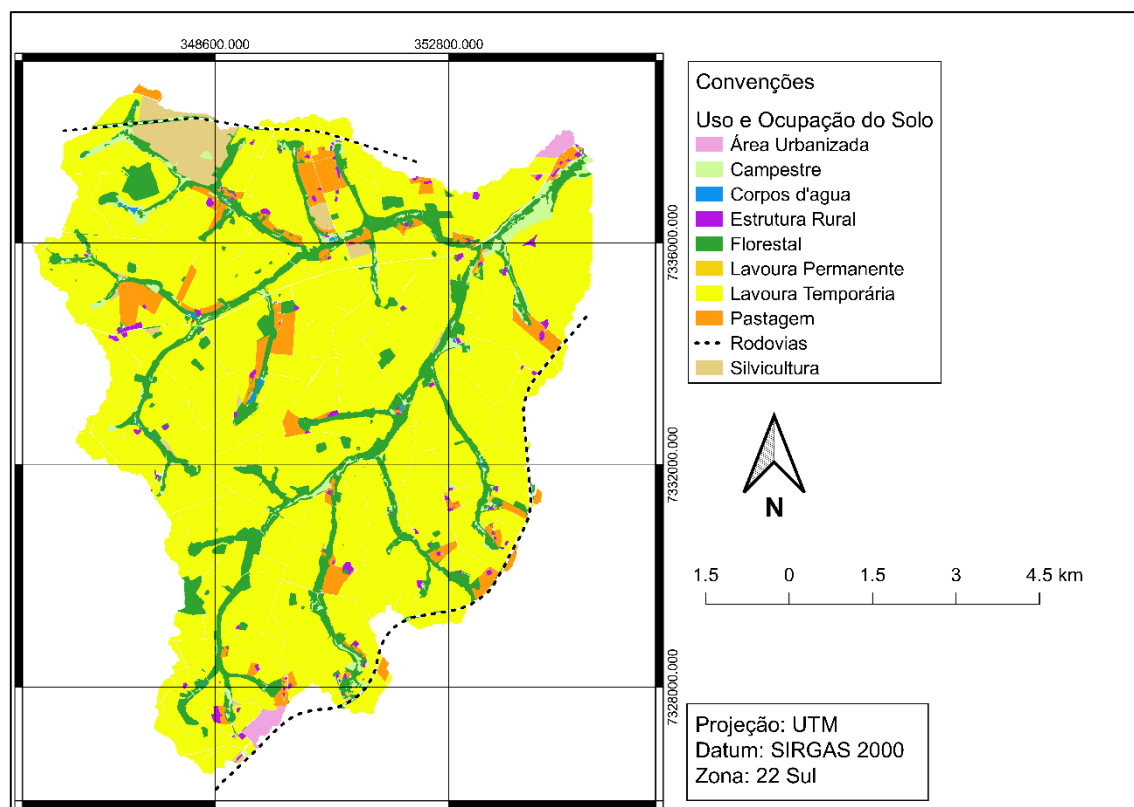
O uso e ocupação da sub-bacia (Figura 3), é representado por 9 classes e as duas rodovias, BR-272 (parte norte da carta) e BR-369 (parte sul da carta). As áreas referentes a cada classe são apresentadas na Tabela 1. A classe com maior área de uso é cultura temporária, sendo esta igual a 5780,49 ha ou 75,12%, seguido de Área Florestal com 954,63 ha ou 12,40% e Pastagem com 377,51 ha ou 4,90%. As Estruturas Rurais estão espalhadas em 136 unidades ou polígonos, totalizando 65,19 ha ou 0,84%.

Tabela 1 – Classes e áreas da Carta do uso da Terra da sub-bacia do Rio do Campo, Campo Mourão – PR.

Classe	Área (ha)	%
Área Urbanizada	43,31	0,56
Campestre	192,77	2,51
Corpos D'água	10,35	0,13
Estrutura Rural	65,19	0,84
Florestal	954,63	12,40
Cultura Permanente	18,36	0,23
Cultura Temporária	5780,49	75,12
Pastagem	377,51	4,90
Silvicultura	190,02	2,46

Fonte: Autoria própria.

Figura 3 – Carta do uso da Terra da sub-bacia do Rio do campo, Campo mourão – PR.



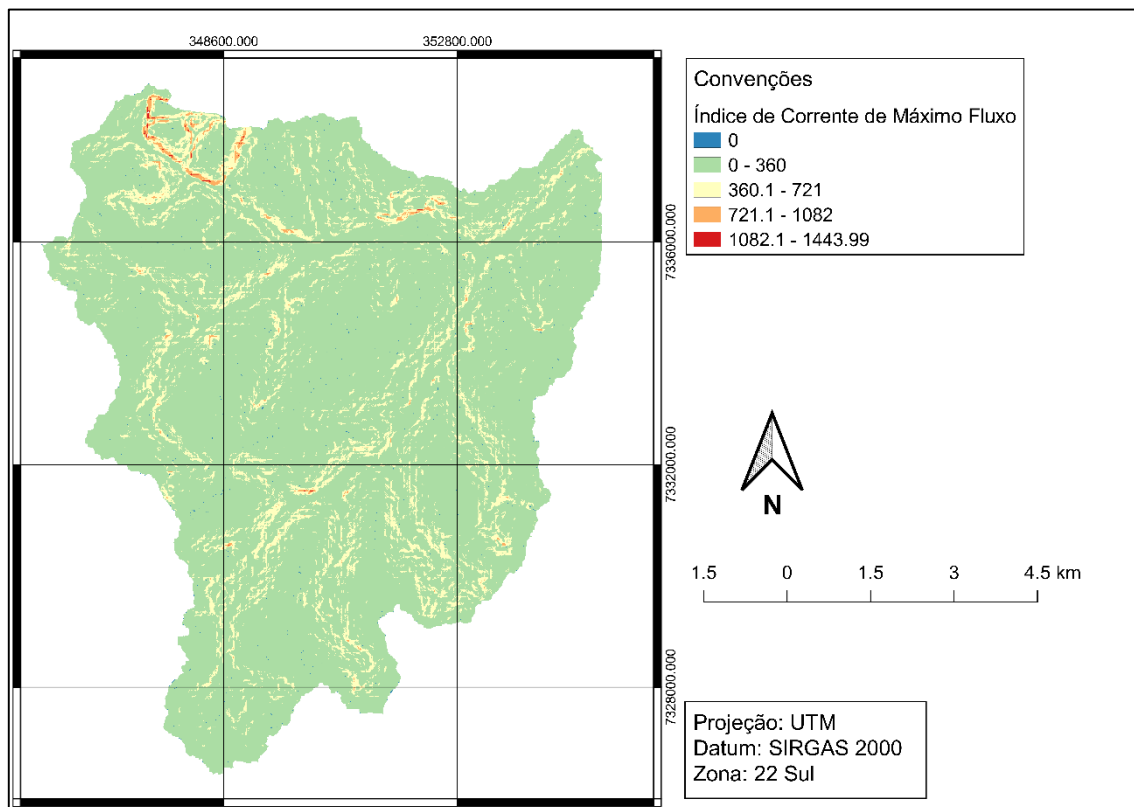
Fonte: Autoria própria.

Os Índices gerados por meio do SAGA GIS foram: Índice de Corrente de Máximo Fluxo, Índice Topográfico de Umidade, e Índice de Transporte de Sedimento.

O Índice de Corrente de Máximo Fluxo (Figura 4), apresentou valores entre 0 e 1443,9. Segundo (NOWATZKI; SANTOS, 2012) quanto maior o valor maior será a intensidade do fluxo hídrico em planos convergentes. Tornando-se um índice essencial para o trabalho, pois representa lugares que recebem maior contribuição de águas pluviais e maior perda de solo, representando assim solos mais expostos, com

risco à erosão e maior risco de lixiviação dos agrotóxicos para o corpo hídrico (MARTINI, 2012).

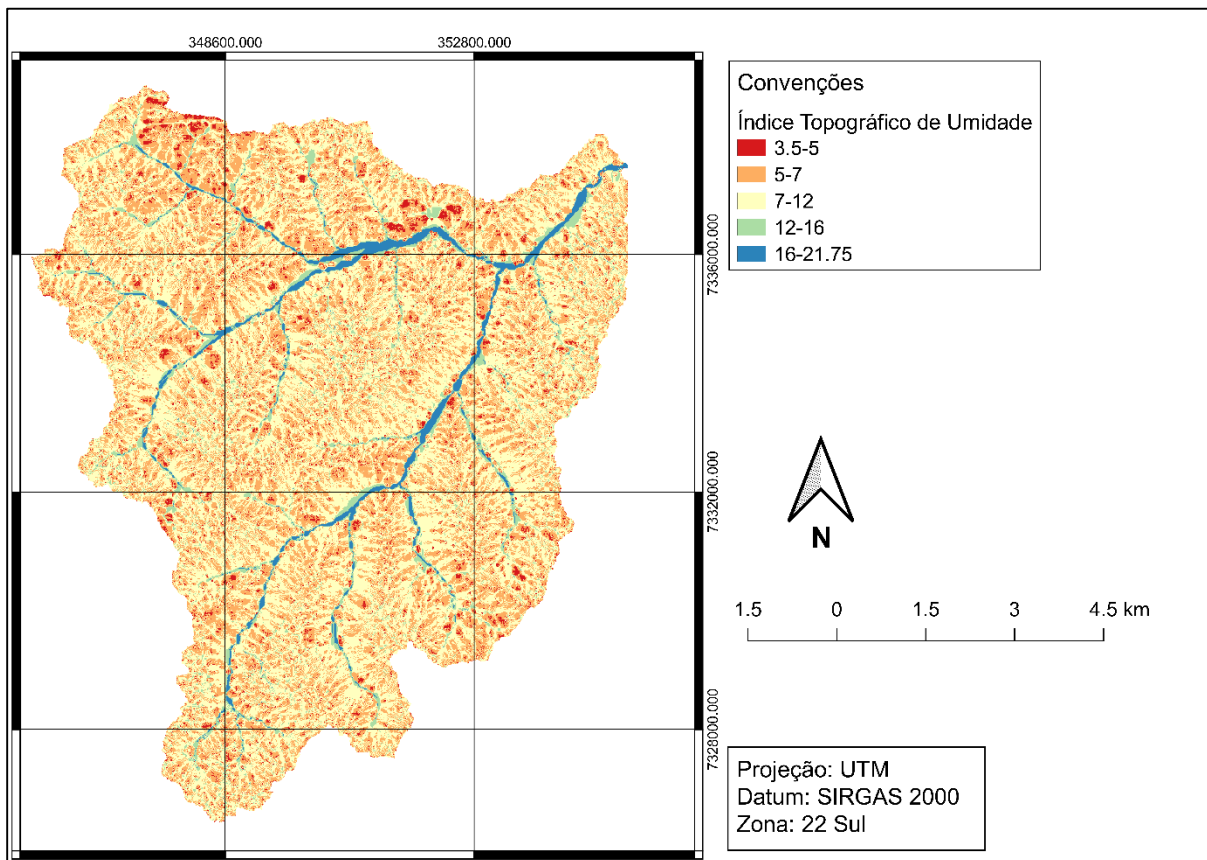
Figura 4 – Carta de Índice de Corrente de Máximo Fluxo da sub-bacia do Rio do Campo, Campo Mourão – PR.



Fonte: Autoria própria.

O Índice Topográfico de Umidade (Figura 5), apresentou valores entre 3,5 e 21,75, indicando áreas com potencial de umidade no solo. Prates et al. (2012) ressalta que para solos bem drenados, o índice varia entre 4 e 5, em solos moderadamente drenados ele varia entre 5 e 7 e em solos mal drenados, os índices oscilam entre 7 e 12. Observa-se, na Figura 5, os maiores valores presente no leito do rio e suas nascentes.

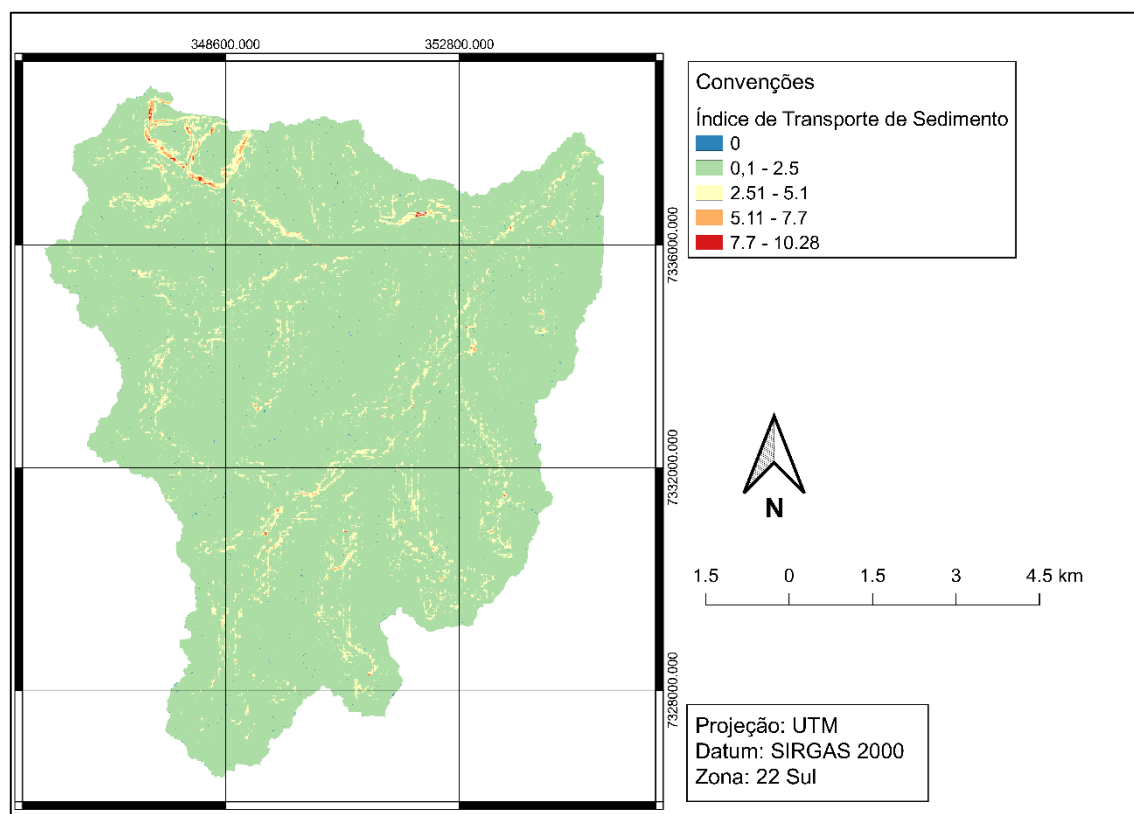
Figura 5 – Carta de Índice Topográfico de Umidade da sub-bacia do Rio do Campo, Campo Mourão – PR.



Fonte: Autoria própria.

O Índice de Transporte de Sedimento (Figura 6), apresentou valores entre 0 e 10,28. Segundo Mansor et al. (2002), áreas críticas para erosão apresentam valores entre 6 e 10, áreas com valores entre 4 e 6 podem se tornar potencialmente crítica dependendo do manejo de solo no local.

Figura 6 – Carta de Índice de Transporte de Sedimento da sub-bacia do Rio do Campo, Campo Mourão – PR.

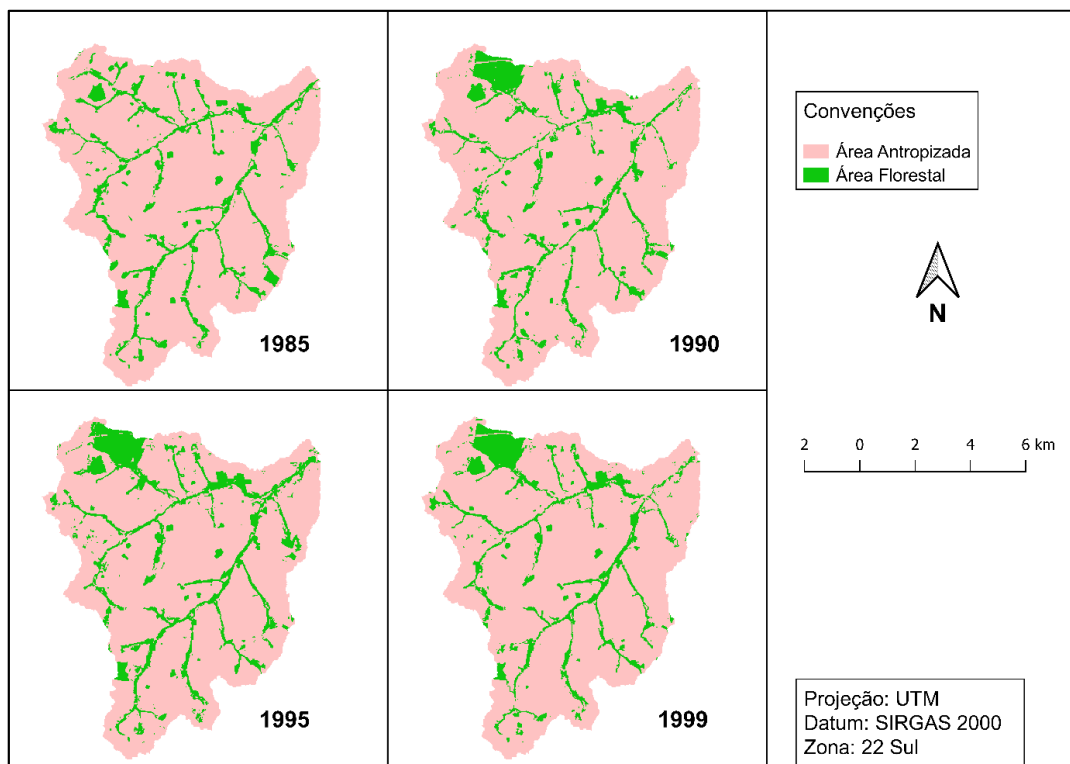


Fonte: Autoria própria.

Com o fatiamento dos índices NDVI, foram obtidas as áreas Florestais e Antropizadas referente a cada ano de estudo (Figuras 7 e 8). As áreas referentes a cada ano, com o percentual equivalente ao total de área da sub-bacia são apresentadas na Tabela 2.

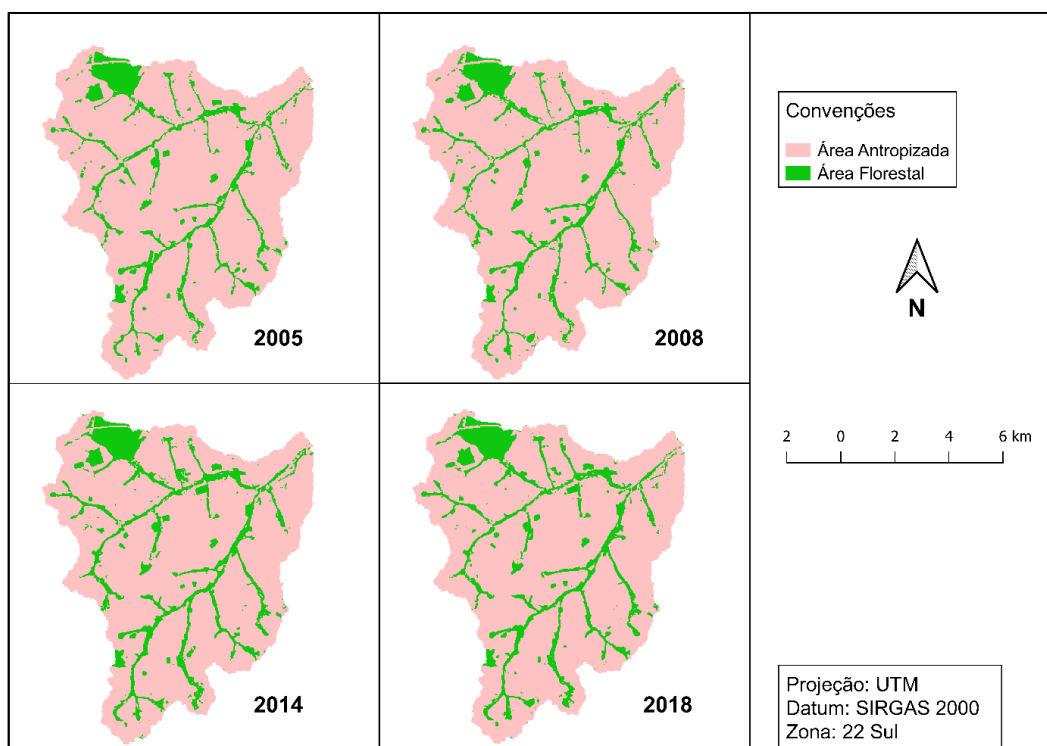
É possível observar um forte grau de antropização, sendo sempre o maior percentual de uso e ocupação destinado a culturas temporárias. Porém é possível perceber uma melhora na quantidade de área florestal quando comparado os anos de 1985 e 2018 (Figura 9), vale salientar a silvicultura (parte superior esquerda da imagem), que teve uma representação considerável a partir de 1990 até 2018.

Figura 7 - Índices NDVI das Áreas Florestais e Antropizadas da sub-bacia do Rio do Campo, entre os anos 1985 e 1999.



Fonte: Autoria própria.

Figura 8 - Índices NDVI das Áreas Florestais e Antropizadas da sub-bacia do Rio do Campo, entre os anos 2005 e 2018.



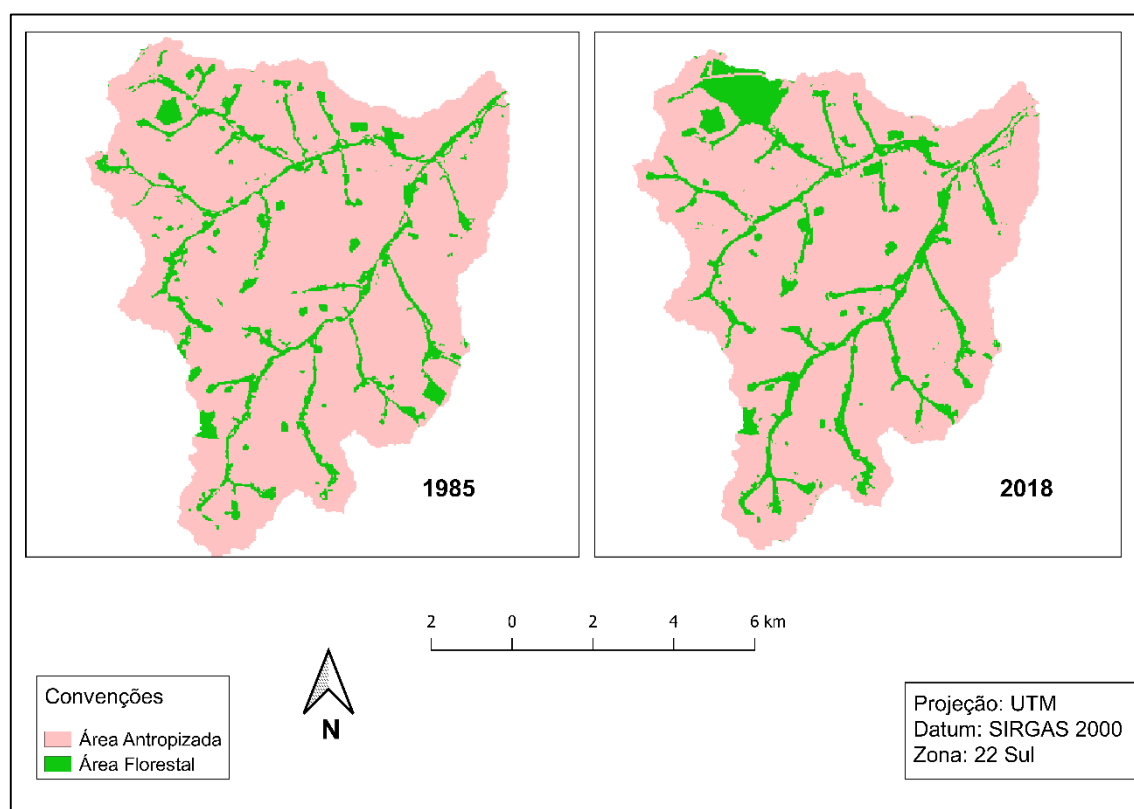
Fonte: Autoria própria.

Tabela 2 – Índices NDVI das Áreas Florestais e Antropizadas da sub-bacia do Rio do Campo, entre os anos 1985 e 2018.

Ano	Área Florestal (ha)	Área Antropizada (ha)
1985	896,32 (11,64%)	6798,03 (88,36%)
1990	990,16 (12,86%)	6704,19 (87,14%)
1995	1055,02 (13,71%)	6639,33 (86,29%)
1999	989,99 (12,86%)	6704,36 (87,14%)
2005	973,73 (12,65%)	6720,62 (87,35%)
2008	988,46 (12,84%)	6705,89 (87,16%)
2014	1176,2 (15,28%)	6518,15 (84,72%)
2018	1153,24 (14,98%)	6541,11 (85,02%)

Fonte: Autoria própria.

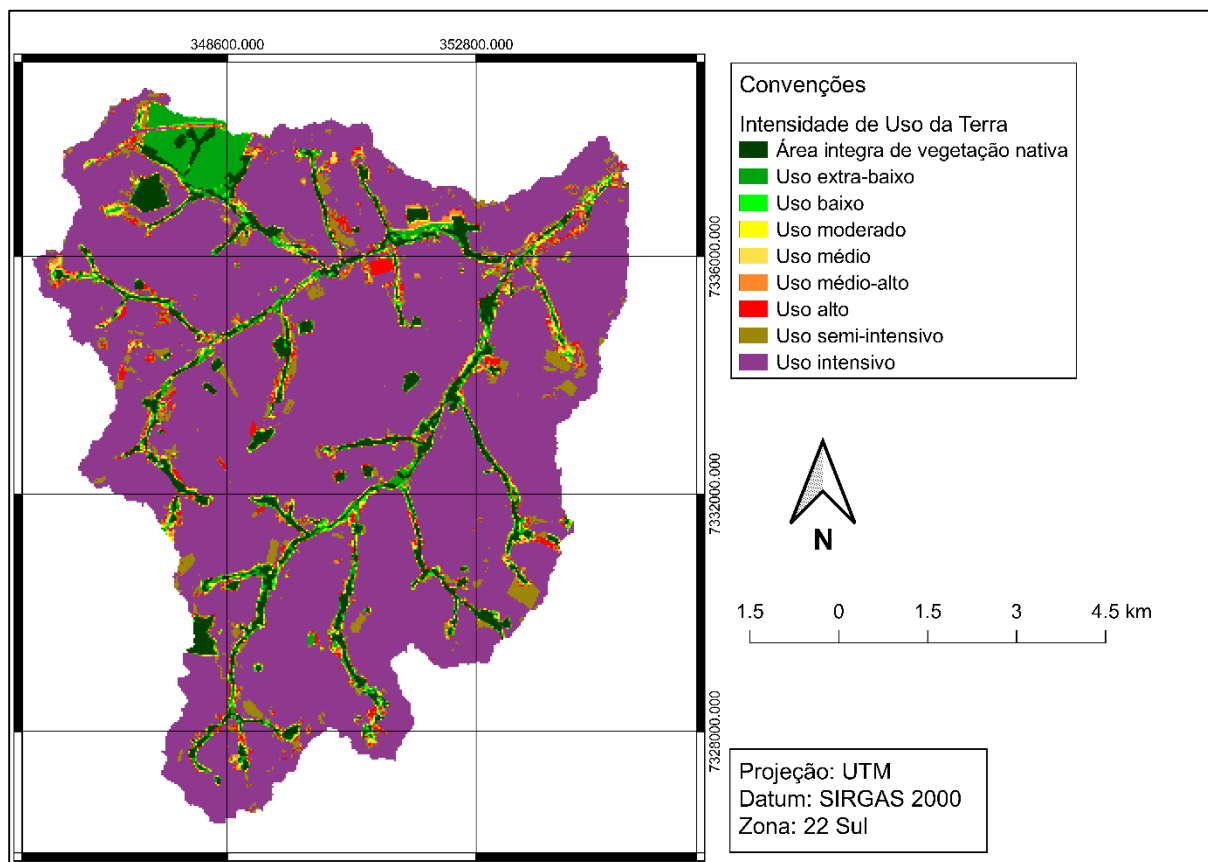
Figura 9 – Comparativo do Índices NDVI de 1985 e 2018 da sub-bacia do Rio do Campo, Campo Mourão – PR.



Fonte: Autoria própria.

Após a normalização de cada *raster* NDVI, foi efetuado a linguagem LEGAL no *software* SPRING para obter a Carta de Intensidade do uso da Terra (Figura 10). Sendo o resultado um somatório cujo valor máximo expressa lugares que desde 1985 foram predominantemente antropizados, e o valor mínimo lugares onde sempre foram de cobertura florestal.

Figura 10 – Carta de Intensidade do Uso da Terra da sub-bacia do Rio do Campo, Campo Mourão – PR.



Fonte: Autoria própria.

O resultado do somatório foi transformado em índices, sendo seus valores reais no somatório e a área representada demonstrados na (Tabela 3). É possível observar o uso intenso da sub-bacia desde 1985, sendo lugares que estiveram predominantemente como área antropizada representando 5966,67 ha (77,54%) e lugares que sempre permaneceram com a vegetação preservada representando 471,27 ha (6,12%), nessa classe foi observado apenas a presença de vegetação nativa.

Tabela 3 – Índices de Intensidade do Uso da Terra da sub-bacia do Rio do Campo, Campo Mourão - PR.

(Continua)

Intensidade:	Área (ha)	Valores reais
Área íntegra	471,27	0
Uso extra-baixo	300,9	1
Uso baixo	98,55	2
Uso moderado	80,55	3
Uso médio	91,62	4

Uso médio-alto	112,05	5
Uso alto	174,96	6

Tabela 3 – Índices de Intensidade do Uso da Terra da sub-bacia do Rio do Campo, Campo Mourão - PR.

(Conclusão)

Intensidade:	Área (ha)	Valores reais
Uso semi-intensivo	397,44	7
Uso intensivo	5966,67	8

Fonte: Autoria própria.

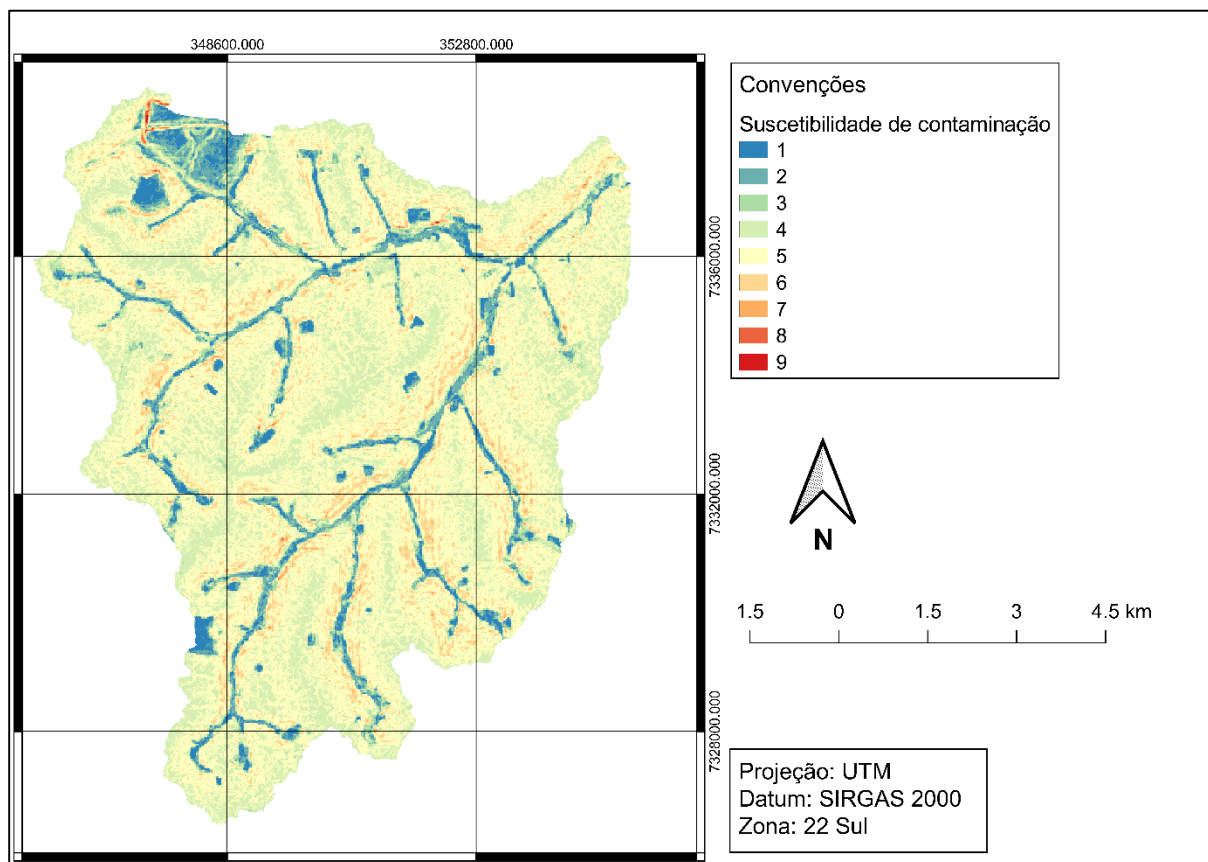
A integridade das matas ciliares é de suma importância para a preservação de bacias hidrográficas, pois além de proteger o solo de erosão e perda de biota e microbiota, exerce a função de barreira física natural, impedindo que o escoamento superficial com o carreamento de solo e agrotóxicos chegue ao corpo hídrico. Ao impedir o escoamento, impede também a contaminação da água e solo de rios e nascentes. (BORTOLUZZI et al., 2006)

De acordo com Matos et al. (2008) a silvicultura exerce um efeito significativo na redução do escoamento superficial, representando assim um fator positivo para a conservação da sub-bacia, pois impede que o escoamento superficial chegue mais próximo das águas superficiais com contaminantes.

As áreas florestais nativas além de serem importantes para a conservação da bacia, são importantes para a conservação dos ecossistemas e biodiversidade local. Pois quando apresentam alta conectividade, fragmentos com grandes áreas e matas ciliares bem preservadas podem se tornar uma grande riqueza de biodiversidade e refúgio para espécies ameaçadas de extinção. (FERREIRA et al., 2019; TOMADON et al., 2019).

A carta de suscetibilidade de contaminação por agrotóxicos (Figura 11), representa a hipótese baseada em atributos topográficos e sobre o tipo do uso da Terra em séries temporais, através de SIG's. Utilizando um somatório entre a cartas de Intensidade do uso da Terra e os índices obtidos a partir do MDE, foi possível fazer uma suposição de áreas com suscetibilidade ou não a contaminação por agrotóxicos através do comportamento de escoamento de águas pluviais e grau de erosão e sedimentação.

Figura 11 – Carta de Suscetibilidade de Contaminação da sub-bacia do Rio do Campo, Campo Mourão – PR.



Fonte: Autoria própria.

Os índices obtidos foram agrupados em 4 classes, sendo essas: Sem Suscetibilidade (1), Baixa Suscetibilidade (2 e 3), Média Suscetibilidade (4, 5 e 6) e Alta Suscetibilidade (7, 8 e 9). A área representada por cada índice é apresentada na Tabela 4.

Tabela 4 – Índices da Carta de Suscetibilidade de Contaminação da sub-bacia do Rio do Campo, Campo Mourão – PR.

Índice	Classe	Área (ha)	%
1	Sem Suscetibilidade	300,3	3,9
2	Baixa Suscetibilidade	435,7	5,66
3	Baixa Suscetibilidade	282,28	3,66
4	Média Suscetibilidade	2110,4	27,42
5	Média Suscetibilidade	3854,4	50,09
6	Média Suscetibilidade	665,43	8,64
7	Alta Suscetibilidade	40,73	0,53
8	Alta Suscetibilidade	4,37	0,05
9	Alta Suscetibilidade	0,96	0,012

Fonte: Autoria própria.

A classe Sem Suscetibilidade representa 3,9% da sub-bacia, Baixa Suscetibilidade representa 9,32%, Média Suscetibilidade representa 86,15% e Alta Suscetibilidade 0,59% (Tabela 4). Levando em consideração a representatividade em área da Média Suscetibilidade, somado ao percentual de 72,12% de área com cobertura de cultura temporária, sendo esse o principal consumidor de agroquímicos, é importante frisar a utilização racional e moderada destes produtos dentro da sub-bacia, assim como a regularização das áreas de preservação permanente. Essas medidas devem ser adotadas para que não haja contaminação do manancial de abastecimento público e também da bacia hidrográfica e águas subterrâneas, vide sua importância para as gerações futuras.

As bacias hidrográficas apresentam vulnerabilidade natural, e quando somadas ao fator antrópico, nota-se que as práticas agrícolas são as responsáveis pelo elevado risco à contaminação das águas superficiais e aquíferos. A conservação das áreas de riscos de acumulação de contaminantes é de grande importância para a preservação da qualidade das águas (ANJINHO et al, 2018; LIMA et al., 2007).

De acordo com França et al. (2016), além das áreas indicadas com susceptíveis chances de contaminação ou de estarem contaminadas, são caracterizadas apenas as áreas de intensa atividade de exploração e uso agrícola, porém, ainda assim os agrotóxicos podem ser lixiviados para os mananciais, uma vez que a problemática ambiental concentra-se em um grande número de variáveis, como tipo de solo, clima, uso e conservação de solo por parte dos proprietários, entre outros.

A suscetibilidade de contaminação visa os agrotóxicos, pois com a expressiva área de cultivo temporário, a quantidade de agrotóxicos consumidos no município e a quantidade média Brasileira utilizada por cultivo, são representantes expressivos de contaminação. Porém, a contaminação pode ocorrer também por agroquímicos, como fertilizantes, hormônios, dentre outros e materiais de uso antrópico, como óleo, combustível, medicamentos, dentre outros.

De acordo com Scaramelli et al. (2020), em um estudo com 81.705 moradores-alvo, foi relatado que 98,7% tem o abastecimento de água por meio da distribuição geral da Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR). Portanto é de suma importância a preservação da sub-bacia, sendo essa o manancial de abastecimento público em Campo Mourão – PR.

5. CONCLUSÕES

Com a carta de intensidade do uso da Terra foi possível observar o alto grau de exploração da bacia desde 1985. O uso intensivo foi realizado em 5966,67 ha, representando lugares que desde 1985 até 2018 tiveram atividades antrópicas envolvidas. E as áreas florestais sem nenhuma modificação nesse período são equivalentes a 471,27 ha.

A Carta de Suscetibilidade de Contaminação apresenta com maior expressividade uma suscetibilidade média de contaminação de 86,15%. Somando todos esses fatores é possível notar uma série de condicionantes agravantes para a qualidade da sub-bacia, visto que é um manancial de abastecimento público e necessita de cuidado e preservação para garantir a qualidade às gerações futuras.

A utilização consciente e racional de agrotóxicos, a preservação de pontos com alta suscetibilidade à contaminação, a preservação de solos expostos e também de áreas de mata ciliar podem representar essa garantia.

A validação da presente Carta de Suscetibilidade de Contaminação por agrotóxicos com análises de água e solo, pode servir de aporte para estudos das áreas ambiental e saúde pública.

Estudos futuros podem utilizar outras variáveis topográficas para tentar compreender mais efeitos que agem sobre a Bacia Hidrográfica, assim como pesquisa sobre os agrotóxicos utilizados na bacia, os locais exatos de aplicação e suas características físico-químicas.

6. REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, M. et al. Pesticide Determination in Water Samples from a Rural Area by Multi-Target Method Applying Liquid Chromatography-Tandem Mass Spectrometry. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, 2019.
- ANJINHO, P. D. S. et al. Geotecnologias aplicado à análise do risco à contaminação dos aquíferos da bacia hidrográfica do rio São Roque – SP. **Águas Subterrâneas**, v. 32, n. 3, 24 ago. 2018.
- ANVISA – **Agência Nacional de Vigilância Sanitária**. Disponível em <<http://portal.anvisa.gov.br/wps/portal/anvisa/home>>. Acesso em: 20 Out. 2018.
- BIERREGARD, R. O.; LOVEJOY, T. E.; KAPOV, V., SANTOS, A. A.,; HUTCHINGS, R. W. **The biological dynamics of tropical rainforest fragments**. *BioScience*, v.42, p. 859-866, 1992.
- BÓRTOLI, P. V. et al. Efectos del herbicida glifosato sobre la estructura y el funcionamiento de comunidades microbianas de dos suelos de plantaciones de olivo. **Ecologia austral**, v. 22, n. 1, p. 33–42, 2012.
- BORTOLUZZI, E. C. et al. Contaminação de águas superficiais por agrotóxicos em função do uso do solo numa microbacia hidrográfica de Agudo, RS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 4, p. 881–887, dez. 2006.
- BUCCI, M. M. H. S.; DELGADO, F. E. F.; SANTOS, C. S.; OLIVEIRA, L. F. C. **Análise de metais, agrotóxicos, parâmetros físico-químicos e microbiológicos nas águas da Represa Dr. João Penido, Juiz de Fora, MG**. *Revista ambiente & Água*, v. 10, n. 4, 2015.
- CEMBRANE, A. S.; FRIGO, E. P.; SAMPAIO, S. C.; MERCANTE, E.; DOS REIS, R. R.; REMOR, M. B. **Residue analysis of organochlorine and organophosphorus pesticides in urban lake sediments**. *Engenharia Agrícola*, v. 37, n. 6, 2017.
- CONAB, C. N. DE A. **Observatório agrícola - Acompanhamento da safra brasileira grãos - Março 2018**. Disponível em: <<https://www.ampa.com.br/arquivos/conab/08032018044439.pdf>>. Acesso em: 7 dez. 2019.
- DELLAMATRICE, P.M.; MONTEIRO, R.T.R. **Principais aspectos da poluição de rios brasileiros por pesticidas**. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 18, n. 12, 2014.
- FERREIRA, I.J.M., BRAGION, G.R., FERREIRA, J.H.D., BENEDITO, E. & COUTO, E.V., 2019. **Landscape pattern changes over 25 years across a hotspot zone in Southern Brazil**. *Southern Forests* 81: e36503. <https://doi.org/10.2989/20702620.2018.1542563>
- FRANÇA, L. C. J.; SILVA, J. B. L.; LISBOA, G. S.; LIMA, T. P.; FERRAZ, F. T. **Elaboração de Carta de Risco de Contaminação por Agrotóxicos para a Bacia do Riacho da Estiva, Brasil**. *Floresta e Ambiente*, v. 23, n. 4, 2016.
- IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Consolidação de dados fornecidos pelas empresas registrantes de produtos técnicos, agrotóxicos e afins, conforme art. 41 do Decreto nº 4.074/2002 (2016)**. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/phocadownload/qualidadeambiental/relatorios/2014/grafico_historico_comercializacao_2000_2014.pdf>. Acesso em: 04 Dez. 2018.
- IBGE. **Produção Agrícola - Lavoura Temporária**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/campo-mourao/pesquisa/14/10193?tipo=grafico&indicador=10368>> . Acesso em: 7 dez. 2019.

KORMAN, V. **Proposta de integração das glebas do Parque Estadual de Vassununga (Santa Rita do Passa Quatro, SP)**. Dissertação de Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2003.

LANG, S.; BLASCHKE, T. **Análise da paisagem com SIG**. São Paulo: Oficina de textos, 2009.

LIMA, L. M. et al. **Simulação da movimentação de agrotóxicos no solo com o uso de geotecnologias, como instrumento para avaliação do potencial de risco de contaminação de águas subterrâneas na Amazônia Oriental**. Florianópolis, Brasil: 2007.

LIMA, T.P.; FERRAZ, F.T.; FRANÇA, L.C.J.; SILVA, J.B.L.; AGUIAR JUNIOR, A.L. **Áreas Susceptíveis a Contaminação por Agrotóxicos em Trecho da Bacia Hidrográfica do Rio Uruçuí-Preto, Piauí (Brasil)**. Revista Espacios, v. 38, n. 42, p.15, 2017.

MDA – **Ministério do Desenvolvimento Agrário**. Disponível em: <<http://www.mda.gov.br/portal/noticias/18.02.2012>>. Acesso em: 10 Out. 2018.

MANSOR, M. T. C. et al. **PARÂMETRO PARA AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE RISCO DE EROÇÃO. Anais - I Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto**, v. I, p. 1–4, 2002.

MARTINI, L. F. D. et al. Risco de contaminação das águas de superfície e subterrâneas por agrotóxicos recomendados para a cultura do arroz irrigado. **Ciência Rural**, v. 42, n. 10, p. 1715–1721, out. 2012.

MATOS, A. T. et al. Streamside management zone (SMZ) efficiency in herbicide retention from simulated surface flow. **Planta Daninha**, v. 26, n. 1, p. 131–142, mar. 2008.

NOWATZKI, A. .; SANTOS, L. J. C. O USO DE ATRIBUTOS TOPOGRÁFICOS COMO SUBSÍDIO PARA O MAPEAMENTO PEDOLÓGICO PRELIMINAR DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PEQUENO (ANTONINA/PR). **IX SINAGEO**, v. 9, p. 2, 2012.

PEREIRA, H. L. **ELABORAÇÃO E AVALIAÇÃO DE UMA FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA DELIMITAÇÃO AUTOMÁTICA E CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DE BACIAS HIDROGRÁFICAS A PARTIR DE UM MDE**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental - Universidade Federal do Tocantins, 2018.

PIGNATI, W. A. et al. Distribuição espacial do uso de agrotóxicos no Brasil: uma ferramenta para a Vigilância em Saúde. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 22, n. 10, p. 3281–3293, out. 2017.

PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO BÁSICO ÁGUA E ESGOTO MUNICÍPIO DE CAMPO MOURÃO / PR. Disponível em: <<https://campomourao.atende.net/atende.php?rot=1&aca=119-&ajax=t&Nprocesso=viewFile&ajaxPrevent=1521655608920&file=1C0C310669209CC21200026B8CBE0695DDA43E36&sistema=WPO&classe=UploadMidia>>. Acesso em: Nov. de 2018.

PRATES, V.; SOUZA, L. C. DE P.; OLIVEIRA JUNIOR, J. C. DE. Índices para a representação da paisagem como apoio para levantamento pedológico em ambiente de geoprocessamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 4, p. 408–414, abr. 2012.

PRIMACK, R. B.; RODRIGUES, E. **Biologia da conservação**. Londrina: Viva, p. 328, 2001.

RIBEIRO, G.; ORVALHO, J.; ASSUMPÇÃO, S. **Os agrotóxicos como disruptores edócrinos**. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa, 2001.

ROSA, P. A. et al. Dinâmica da Floresta do Parque Estadual do Turvo com Índices de Vegetação. **Floresta e Ambiente**, 2013.

SANTOS, M. A.; BARBIERI, A. F.; CARVALHO, J. A. M.; MACHADO, C. J. **O cerrado brasileiro: notas de estudo**. Belo Horizonte: UFMG/Cedeplar; 2010.

SCARAMELLI, B. F. et al. Priority actions maps of municipal public services with geospace application. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 42, p. 1–9, 2020.

SEAB – Secretaria da Agricultura e do Abastecimento. **Produção Agrícola Paranaense por Município**. Disponível em: <http://www.agricultura.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=137&fbclid=IwAR1s2eEgGZQ8o02rSOFglc_LjSwFI5SIldiW8o3_ahvnuiDZnlueGt4Yeu8>. Acesso em: Nov. de 2018.

SESP, SECRETARIA DO ESTADO DA SAÚDE DO PARANÁ. **Plano de Vigilância e Atenção à Saúde de Populações Expostas aos Agrotóxicos do Estado do Paraná 2017 a 2019**. Disponível em: <http://www.saude.pr.gov.br/arquivos/File/PlanoAgrotoxic30_05_18.pdf>. Acesso em: 7 dez. 2019.

SIAGRO. Agência de Defesa Agropecuária do Paraná - ADAPAR, 2018. Disponível em: <<http://www.adapar.pr.gov.br/>>. Acesso em: 06 de dez. de 2019.

SILVA, C. M. M. S.; FAY, E. F. **Agrotóxicos e Ambiente**. Brasília, DF: Embrapa Informação e Tecnologia, 2004.

SILVA, J. M.; SANTOS, J. R. Toxicologia de agrotóxicos em ambientes aquáticos. **Oecologia Brasiliensis**, v.11, p.565-573, 2007

SILVA, G.L.; SANTOS, A.M.; FOTOPOULOS, I.G.; FURTADO, R.S. **Fragmentação florestal e sua influência sobre a fauna: Estudo de Caso na Província Ocidental da Amazônia, Município de Urupá, Estado de Rondônia**. Foz do Iguaçu, 2013. *In*: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR. Anais..., Foz do Iguaçu, p. 3163–3170, 2013.

SILVA, M.S.F.; SOUZA, R.M. **Padrões Espaciais De Fragmentação Florestal Na Flona Do Ibura – Sergipe**. Mercator, Fortaleza, v. 13, n. 3, p. 121-137, 2014.

SILVEIRA, C. T. DA et al. PEDOMETRIA APOIADA EM ATRIBUTOS TOPOGRÁFICOS COM OPERAÇÕES DE TABULAÇÃO CRUZADA POR ÁLGEBRA DE MAPAS. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 13, n. 2, 19 out. 2012.

TOMADON, L. DA S. et al. Significance of forest fragments for conservation of endangered vascular plant species in southern Brazil hotspots. **Écoscience**, v. 26, n. 3, p. 221–235, 3 jul. 2019.

VIEIRA, C. E. D. et al. Integrated biomarker response index using a Neotropical fish to assess the water quality in agricultural areas. **Neotropical Ichthyology**, v. 12, n. 1, p. 153–164, mar. 2014.

VIJITH, H.; DODGE-WAN, D. Modelling terrain erosion susceptibility of logged and regenerated forested region in northern Borneo through the Analytical Hierarchy Process (AHP) and GIS techniques. **Geoenvironmental Disasters**, v. 6, n. 1, p. 8, 12 dez. 2019.

WANG, L.; LIU, H. An efficient method for identifying and filling surface depressions in digital elevation models for hydrologic analysis and modelling. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 20, p. 193-213, 2006.

APÊNDICE A

```

1 {
2 // Média dos índices de vegetação da MRC
3 // Para os anos de 1985 1990 1995 1999 2005 2008 2014 e 2018 para as quatro estações do ano
4 // Definição das variáveis
5
6 Numerico NDVI85, NDVIa85, NDVIb85, NDVIc85, NDVID85 ("CAT_MNT");
7 Numerico NDVI90, NDVIa90, NDVIb90, NDVIc90, NDVID90 ("CAT_MNT");
8 Numerico NDVI95, NDVIa95, NDVIb95, NDVIc95, NDVID95 ("CAT_MNT");
9 Numerico NDVI99, NDVIa99, NDVIb99, NDVIc99, NDVID99 ("CAT_MNT");
10 Numerico NDVI05, NDVIa05, NDVIb05, NDVIc05, NDVID05 ("CAT_MNT");
11 Numerico NDVI08, NDVIa08, NDVIb08, NDVIc08, NDVID08 ("CAT_MNT");
12 Numerico NDVI14, NDVIa14, NDVIb14, NDVIc14, NDVID14 ("CAT_MNT");
13 Numerico NDVI18, NDVIa18, NDVIb18, NDVIc18, NDVID18 ("CAT_MNT");
14
15 // Recuperação dos dados de entrada
16 NDVIa85 = Recupere (Nome="1985_out_NDVI");
17 NDVIb85 = Recupere (Nome="1985_inv_NDVI");
18 NDVIc85 = Recupere (Nome="1985_pri_NDVI");
19 NDVID85 = Recupere (Nome="1985_ver_NDVI");
20
21 NDVIa90 = Recupere (Nome="1990_out_NDVI");
22 NDVIb90 = Recupere (Nome="1990_inv_NDVI");
23 NDVIc90 = Recupere (Nome="1990_pri_NDVI");
24 NDVID90 = Recupere (Nome="1990_ver_NDVI");
25
26 NDVIa95 = Recupere (Nome="1995_out_NDVI");
27 NDVIb95 = Recupere (Nome="1995_inv_NDVI");
28 NDVIc95 = Recupere (Nome="1995_pri_NDVI");
29 NDVID95 = Recupere (Nome="1995_ver_NDVI");
30
31 NDVIa99 = Recupere (Nome="1999_out_NDVI");
32 NDVIb99 = Recupere (Nome="1999_inv_NDVI");
33 NDVIc99 = Recupere (Nome="1999_pri_NDVI");
34 NDVID99 = Recupere (Nome="1999_ver_NDVI");
35
36 NDVIa05 = Recupere (Nome="2005_out_NDVI");
37 NDVIb05 = Recupere (Nome="2005_inv_NDVI");
38 NDVIc05 = Recupere (Nome="2005_pri_NDVI");
39 NDVID05 = Recupere (Nome="2005_ver_NDVI");
40
41 NDVIa08 = Recupere (Nome="2008_out_NDVI");
42 NDVIb08 = Recupere (Nome="2008_inv_NDVI");
43 NDVIc08 = Recupere (Nome="2008_pri_NDVI");
44 NDVID08 = Recupere (Nome="2008_ver_NDVI");
45
46 NDVIa14 = Recupere (Nome="2014_out_NDVI");
47 NDVIb14 = Recupere (Nome="2014_inv_NDVI");
48 NDVIc14 = Recupere (Nome="2014_pri_NDVI");
49 NDVID14 = Recupere (Nome="2014_ver_NDVI");
50
51 NDVIa18 = Recupere (Nome="2018_out_NDVI");
52 NDVIb18 = Recupere (Nome="2018_inv_NDVI");
53 NDVIc18 = Recupere (Nome="2018_pri_NDVI");
54 NDVID18 = Recupere (Nome="2018_ver_NDVI");
55
56 // Criação do dado de saída
57 NDVI85 = Novo (Nome="NDVI_1985", ResX=30, ResY=30, Escala=50000, Min=-10000, Max=10000);
58 NDVI90 = Novo (Nome="NDVI_1990", ResX=30, ResY=30, Escala=50000, Min=-10000, Max=10000);
59 NDVI95 = Novo (Nome="NDVI_1995", ResX=30, ResY=30, Escala=50000, Min=-10000, Max=10000);
60 NDVI99 = Novo (Nome="NDVI_1999", ResX=30, ResY=30, Escala=50000, Min=-10000, Max=10000);
61 NDVI05 = Novo (Nome="NDVI_2005", ResX=30, ResY=30, Escala=50000, Min=-10000, Max=10000);
62 NDVI08 = Novo (Nome="NDVI_2008", ResX=30, ResY=30, Escala=50000, Min=-10000, Max=10000);
63 NDVI14 = Novo (Nome="NDVI_2014", ResX=30, ResY=30, Escala=50000, Min=-10000, Max=10000);
64 NDVI18 = Novo (Nome="NDVI_2018", ResX=30, ResY=30, Escala=50000, Min=-10000, Max=10000);
65
66 // Geração da média
67 NDVI85 = (NDVIa85 + NDVIb85 + NDVIc85 + NDVID85)/4;
68 NDVI90 = (NDVIa90 + NDVIb90 + NDVIc90 + NDVID90)/4;
69 NDVI95 = (NDVIa95 + NDVIb95 + NDVIc95 + NDVID95)/4;
70 NDVI99 = (NDVIa99 + NDVIb99 + NDVIc99 + NDVID99)/4;
71 NDVI05 = (NDVIa05 + NDVIb05 + NDVIc05 + NDVID05)/4;
72 NDVI08 = (NDVIa08 + NDVIb08 + NDVIc08 + NDVID08)/4;
73 NDVI14 = (NDVIa14 + NDVIb14 + NDVIc14 + NDVID14)/4;
74 NDVI18 = (NDVIa18 + NDVIb18 + NDVIc18 + NDVID18)/4;
75 }

```


APÊNDICE B

```
LEGAL
Programa LEGAL  Editar  Executar

IntensidadeUsoSolo.alg

1 {
2 // Pesos a ser aplicados
3 // CAT_Tematico = 0.200
4 // Fatiamento_NDVI = 0.200
5
6 // Razao de consistência
7 // CR = 0.200 (este valor não
8 // e recomendavel - refaça os pesos)
9
10 // Programa em LEGAL
11 // Este programa deve ser completado
12 // pelo usuario para incluir os dados
13 // apresentados entre os sinais de <>
14
15 // Definicao dos dados de entrada
16
17 Tematico v1,v2,v3,v4,v5,v6,v7,v8 ("Fatiamento_NDVI");
18
19
20 Tabela tabl (Ponderacao);
21 tabl = Novo (Categoriaini = "Fatiamento_NDVI" ,
22             "Antropico":1,
23             "Florestal":0);
24
25 // Definicao do dado de saida
26
27 Numerico var3 ("CAT_MNI");
28
29 // Recuperacao dos dados de entrada
30
31 v1 = Recupere (Nome="NDVI-1985");
32 v2 = Recupere (Nome="NDVI-1990");
33 v3 = Recupere (Nome="NDVI-1995");
34 v4 = Recupere (Nome="NDVI-1999");
35 v5 = Recupere (Nome="NDVI-2005");
36 v6 = Recupere (Nome="NDVI-2008");
37 v7 = Recupere (Nome="NDVI-2014");
38 v8 = Recupere (Nome="NDVI-2018");
39 // Criacao do dado de saida
40
41 var3 = Novo (Nome="Intensidade", ResX=30, ResY=30, Escala=100000,
42             Min=0, Max=10);
43
44 // Geracao da media ponderada
45
46 var3 = (Pondere(v1, tabl) + (Pondere(v2, tabl))+(Pondere(v3, tabl))+(Pondere(v4, tabl))+(Pondere(v5, tabl))+
47 (Pondere(v6, tabl))+(Pondere(v7, tabl))+(Pondere(v8, tabl)));
48 }
49
```