



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS UNIVERSITARIO DE PALMAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

FLÁVIA PINHÃO DE SOUSA

ANÁLISE DE FRAGILIDADE AMBIENTAL DA ÁREA RURAL DENTRO DOS
LIMITES DA MICROBACIA DO BREJO COMPRIDO

Palmas – TO

2022

FLÁVIA PINHÃO DE SOUSA

**ANÁLISE DE FRAGILIDADE AMBIENTAL DA ÁREA RURAL DENTRO DOS
LIMITES DA MICROBACIA DO BREJO COMPRIDO**

Monografia apresentada à Universidade Federal do Tocantins - Câmpus Universitário de Palmas, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Rose Mary Gondim Mendonça.

Palmas – TO

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

S725a Sousa, Flávia Pinhão de.
 Análise de fragilidade ambiental da área rural dentro dos limites da
 microbacia do Brejo Comprido. / Flávia Pinhão de Sousa. – Palmas, TO, 2022.
 39 f.

 Monografia Graduação - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus
 Universitário de Palmas - Curso de Engenharia Ambiental, 2022.

 Orientadora : Rose Mary Gondim Mendonça

 1. Geoprocessamento. 2. Mapas. 3. Parâmetros. 4. Antropizado. I. Título

CDD 628

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer
forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte.
A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184
do Código Penal.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os
dados fornecidos pelo(a) autor(a).**

FOLHA DE APROVAÇÃO

FLÁVIA PINHÃO DE SOUSA

ANÁLISE DE FRAGILIDADE AMBIENTAL DA ÁREA RURAL DENTRO DOS LIMITES DA MICROBACIA DO BREJO COMPRIDO

Monografia foi avaliada e apresentada à Universidade Federal do Tocantins - Câmpus Universitário de Palmas, para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Ambiental e aprovada em sua forma final pela Orientadora e pela Banca Examinadora.

Data da aprovação: 07 de novembro de 2022.

Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente
gov.br ROSE MARY GONDIM MENDONÇA
Data: 21/11/2022 09:08:44-0300
Verifique em <https://verificador.itl.br>

Prof.^a Dr.^a Rose Mary Godim Mendonça
(Orientadora)



Prof.^a Dr.^a Adriana Malvasio
(Avaliador 01)

Documento assinado digitalmente
gov.br EDUARDO QUIRINO PEREIRA
Data: 21/11/2022 16:51:57-0300
Verifique em <https://verificador.itl.br>

Prof. Me. Eduardo Quirino Pereira
(Avaliador 02)

Palmas, 2022

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer a Deus, pela sua proteção e força e por permitir-me sentir sua presença em todos os momentos desta caminhada.

Agradeço a minha mãe Maria de Lurdes Pinhão Honorato, pelos valores da vida, valiosos ensinamentos, pela cumplicidade, amor e incentivo durante toda a minha trajetória.

A todos os professores especialmente os da minha banca: Adriana Malvasio, Eduardo Quirino Pereira e Rose Mary Gondim Mendonça, obrigada pela orientação e coorientação com competência, paciência e apoio em todos os momentos deste trabalho.

A Universidade Federal do Tocantins – UFT, por me proporcionar a oportunidade de alcançar mais esta conquista na minha vida.

Às pessoas com quem convivi ao longo desses anos de curso, que me incentivaram e que certamente tiveram impacto na minha formação acadêmica.

Muito Obrigada!

RESUMO

Ocupações em áreas do cerrado faz com que o solo perca algumas aptidões naturais, ou seja, esses solos podem apresentar alta fragilidade. Com a intenção de auxiliar os estudos futuros a compreender melhor o que se passa, demonstrando a fragilidade ambiental na área rural da Microbacia do Brejo Comprido, em Palmas – TO. Para confecção do mapa de fragilidade foi utilizado o software ArcGIS 10.5, por meio dessas operações dos planos de informações que compõe a unidade territorial da área de estudo geográfica, resulta em valores únicos para cada unidade territorial básica realizando a média aritmética dos fatores analisados, conforme a equação empírica Spörl e Ross (2004), buscando representar a posição destas unidades dentro do grau de fragilidade natural à perda de solo. Nessa metodologia, o geoprocessamento permite o mapeamento da fragilidade ambiental das unidades ecodinâmicas através da correlação e análise dos fatores, para componentes ambientais declividade e solo, e para componentes antropizados a cobertura e uso da terra. O modo de obtenção da fragilidade ambiental deste estudo é o produto onde estabelece os parâmetros metodológicos para análise empírica da fragilidade de ambientes naturais e antropizados, na qual incluiu graus de classificação sendo descritas as unidades ecodinâmicas estáveis e instáveis que variam desde instabilidade muito baixa a muito alta.

Palavras-chave: Geoprocessamento, Parâmetros, Antropizados e Mapas.

ABSTRACT

Occupations in cerrado areas cause the soil to lose some natural aptitudes, that is, these soils can present high fragility. With the intention of helping future studies to better understand what is happening, demonstrating the environmental fragility in the rural area of the Brejo Comprido Microbasin, in Palmas - TO. To make the fragility map, ArcGIS 10.5 software was used, through these operations of the information plans that make up the territorial unit of the geographic study area, it results in unique values for each basic territorial unit, performing the arithmetic mean of the analyzed factors, according to the empirical equation Spörl and Ross (2004), seeking to represent the position of these units within the degree of natural fragility to soil loss. In this methodology, the geoprocessing allows the mapping of the environmental fragility of the ecodynamic units through the correlation and analysis of the factors, for environmental components slope and soil, and for anthropized components the cover and land use. The way to obtain the environmental fragility of this study is the product that establishes the methodological parameters for the empirical analysis of the fragility of natural and anthropized environments, in which it included degrees of classification being described the stable and unstable ecodynamic units that vary from very low to very low instability. high.

Keywords: Geoprocessing, Parameters, Anthropogenic and Maps.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação do mundo, em modelos de dados vetoriais e raster.	18
Figura 2 - Fotos da área rural da microbacia do Brejo Comprido.....	20
Figura 3 - Mapa de localização da microbacia do brejo comprido.....	21
Figura 4 - Mapa de declividade da área de estudo.....	26
Figura 5 - Mapa de solos da área de estudo.....	27
Figura 6 - Mapa de uso e ocupação da terra da área de estudo.....	29
Figura 7 - Mapa de fragilidade ambiental.....	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Graus de fragilidade ambiental de declividade da área de estudo.	23
Tabela 2 – Graus de fragilidade ambiental de solos da área de estudo.	23
Tabela 3 – Graus de fragilidade ambiental de uso e ocupação da terra da área de estudo.	24
Tabela 4 – Síntese da declividade e graus de fragilidade ambiental da área de estudo.....	25
Tabela 5 – Síntese de solos e graus de fragilidade ambiental da área de estudo.....	27
Tabela 6 – Síntese de ocupação e uso da terra e graus de fragilidade ambiental da área de estudo.....	29
Tabela 7 – Síntese do mapa de fragilidade ambiental da área de estudo.....	31

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APPs	Áreas de Preservação Permanentes
ESRI	Environmental Systems Research Institute (Instituto de Pesquisa de Sistemas Ambientais)
GPS	Global Positioning System (Sistema de Posicionamento Global)
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MNT	Modelo Numérico do Terreno
SIGs	Sistemas de Informações Geográficas
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission (Missão de topografia de radar de transporte)
UFT	Universidade Federal do Tocantins

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVOS	11
2.1 Objetivo Geral	11
2.2 Objetivos Específico	11
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
3.1 A Microbacia Hidrográfica e o Planejamento Ambiental	12
3.1.1 Bacias Hidrográficas em Áreas Periurbanas	13
3.2 Estudo da Ecodinâmica	14
3.3 Geoprocessamento e Sistemas de Informações Geográficos (SIGs)	16
3.3.1 Modelo de Dados SIG	17
3.3.2 Ambiente ArcGIS	18
4 MATERIAL E MÉTODOS	20
4.1 Localização da Área de Estudo	20
4.2 Método da Análise	21
4.2.1 Base de Dados	22
4.2.2 Processamento dos Dados	22
5.1 Caracterização Fisiográfica da Área de Estudo	25
5.1.1 Declividade	25
5.1.2 Solos	27
5.1.3 Uso e Ocupação da Terra	28
5.2 Mapa de Fragilidade Ambiental	30
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	33
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34

1 INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica permite qualificar e quantificar o fluxo de matéria e energia, ela é constantemente exposta a agentes transformadores da paisagem, principalmente no que diz respeito aos processos morfodinâmicos, podendo ter a sua ecodinâmica modificada.

A unidade ecodinâmica é incorporada no conceito de ecossistema, baseado em um mecanismo coerente da teoria geral de sistema, que realça as relações mútuas entre os inúmeros componentes da dinâmica e os fluxos de energia/matéria no meio ambiente (LOBÃO, et al, 2012). A Teoria geral de sistemas analisa as leis fundamentais dos sistemas, ou seja, uma união de várias partes, é formado de componentes ou elementos.

A teoria das unidades ecodinâmicas, preconizadas por Tricart (1977), e Ross (1994) estabelece os parâmetros metodológicos para análise empírica da fragilidade de ambientes naturais e antropizados, na qual incluiu graus de classificação sendo descritas as unidades ecodinâmicas estáveis e instáveis que variam desde instabilidade muito baixa a muito alta. Este critério foi estendido às unidades ecodinâmicas de instabilidade potencial com a finalidade de prever a capacidade de suporte do ambiente, em razão de suas características naturais e da possível ação praticada pelo ser humano (LINHARES, et.al. 2020).

Segundo Filet (1995), a capacidade suporte ambiental é uma habilidade dos ambientes em acomodar, assimilar e incorporar um conjunto de atividades antrópicas sem que suas funções naturais sejam fundamentalmente alteradas em termos de produtividade primária propiciada pela biodiversidade e que ainda proporcionem padrões de qualidade de vida aceitáveis às populações que habitam estes ambientes.

O modo de obtenção da fragilidade ambiental é o mapa, empregando-se técnicas do Sistemas de Informações Geográficas (SIG) seguindo os fundamentos propostos por Tricart (1977) e Ross (1994).

Segundo Guitarrara (2022), a vegetação do Tocantins é bastante variada, pois apresenta áreas de vegetação de Cerrado e as variações desse mesmo bioma, como o Cerradão e Campos Limpos ou Rupestres. Há também a presença de floresta equatorial de transição, sob forma de "mata de galeria", extremamente variada, encontrada na porção norte-noroeste.

Como objeto de estudo e aplicação da fragilidade será observada na zona rural da microbacia do Brejo Comprido. A referida microbacia possui grande parte de sua extensão em zona urbana do município de Palmas – TO, com área de drenagem abrangendo quase todo o plano diretor central da cidade e somente um terço dela apresenta uma ocupação de zona rural (MENDES, 2019).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Analisar a fragilidade ambiental da área rural dentro dos limites da microbacia do Brejo Comprido, a partir da teoria ecodinâmica.

2.2 Objetivos Específico

- ✓ Elaborar uma descrição fisiográfica integrada da área de estudo.
- ✓ Aplicar a teoria geral de sistemas e do conceito de fragilidade ambiental na área escolhida.
- ✓ Obter mapa das áreas com fragilidade ambiental a partir de seus respectivos condicionantes.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esta seção faz uma abordagem teórica sobre o tema do presente trabalho, trazendo os principais conceitos para entendimento do tema.

3.1 A Microbacia Hidrográfica e o Planejamento Ambiental

Segundo Seab (1992) “Em seu conceito técnico, a microbacia é definida como uma área geográfica de captação de água composta por pequenos canais de confluência e delimitada por divisores naturais.” A microbacia é vista como a menor unidade territorial capaz de enfocar as variáveis ambientais de forma sistêmica.

Segundo a Secretaria da Agricultura e do Abastecimento do Município do Paraná (2021) “a microbacia hidrográfica sob o aspecto físico, é uma área geográfica relativamente homogênea, compreendida entre os divisores de água, que é drenada para um curso de água principal. Quando esse conceito se agrega o aspecto social, a microbacia passa a ser entendida como uma unidade de planejamento de uso e conservação do solo, e execução de atividades agropecuárias e ambientais com vista ao desenvolvimento humano sustentável”. De fato, nos dias de hoje os estudos ambientais, na grande maioria, tomam a microbacia hidrográfica, como unidade geográfica de estudo e planejamento em virtude da possibilidade de análise dos elementos e de como eles interagem uns com os outros, permitindo reconhecer e avaliar suas vulnerabilidades e potencialidades.

O Desenvolvimento Humano Sustentável parte do princípio de que o objetivo principal é criar um ambiente que permita às pessoas usufruírem uma vida longa, saudável e criativa, na qual elas desfrutem da oportunidade de obter as coisas que mais valorizam: maior acesso ao conhecimento, melhor nutrição e melhores serviços de saúde, uma subsistência garantida, segurança em relação a crimes e violência física, horas satisfatórias de lazer, liberdade política e cultural, e um sentimento de participação nas atividades da comunidade (OLIVEIRA, 2021).

De acordo com os autores Ross e Del Prette (1998), a bacia hidrográfica constitui uma unidade natural cujo elemento integrador é o canal de drenagem, isso faz com que todos os outros elementos ali presentes se encontrem integrados. Os autores ressaltam também sobre a importância que o recurso água exerce na sociedade atual, seja para a atividade industrial, irrigação, geração de energia e abastecimento, tornando cada vez mais a bacia hidrográfica como unidade preferencial para o planejamento.

Como a bacia hidrográfica/microbacia, é um sistema com interações difíceis e mútuas, o seu uso deve prevalecer a um exaustivo processo de análise e planejamento, que para

Ab'Saber (1969) significa: elaborar planos de melhoria, encontrar diretrizes para corrigir os espaços mal organizados e improdutivos, encontrar meios e propiciar condições para interferir nos setores menos favoráveis de uma estrutura ou de uma conjuntura, e por fim encontrar fórmulas para um desenvolvimento regional harmônico.

Correlacionando a bacia hidrográfica e o planejamento, Ross e Del Prette (1998) e Ab'Saber (1969), dizem que deve ser integrado, como base no somatório dos conhecimentos multi e interdisciplinares e que atentem ao fato de que não há possibilidade em obter êxito no planejamento desconsiderando algumas dessas variáveis, sejam elas de caráter natural ou social.

Em síntese, sendo a microbacia a unidade natural de planejamento do uso dos recursos naturais e considerando a água, o agente unificador de integração no manejo de bacias hidrográficas, o conhecimento da hidrologia, bem como do funcionamento hidrológico da bacia hidrográfica, são fundamentais para o planejamento e manejo dos recursos naturais renováveis, visando o uso sustentável (ATTANASIO, 2004).

Entende-se desta forma que com o estudo da microbacia, seja em seu sentido hidrológico, declividade, solo entre outros, é possível determinar a estabilidade da paisagem a partir de uma análise integrada destes fatores e como resultado disto realizar o planejamento correto e eficaz destas áreas que necessitam se adequar a finalidade correta do ambiente.

3.1.1 Bacias Hidrográficas em Áreas Periurbanas

Fuller et. al. (2007), cita alguns conceitos sobre bacias hidrográficas:

Do ponto de vista da hidrologia, a classificação de bacias hidrográficas em grandes e pequenas não é vista somente na sua superfície total, mas considerando os efeitos de certos fatores dominantes na geração do deflúvio, tendo as microbacias como características distintas uma grande sensibilidade tanto às chuvas de alta intensidade (curta duração), como também ao fator uso do solo (cobertura vegetal), sendo assim, as alterações na quantidade e qualidade da água do deflúvio, em função de chuvas intensas e ou em função de mudanças no solo, são detectadas com mais sensibilidade nas microbacias do que nas grandes bacias. Portanto, essa explicação contribui na distinção, definição e delimitação espacial de microbacias e bacias hidrográficas, sendo sua compreensão, crucial para a estruturação de programas de monitoramento ambiental, por meio de medições de variáveis hidrológicas, liminológicas, da topografia e cartografia e com o auxílio de sistemas de informações geográficas. Dessa forma, pode-se chegar a uma adequação espacial de microbacias e bacias hidrográficas (LIMA; ZAKIA, 2000).

Outro conceito importante atribuído a microbacias é o ecológico, que considera a menor unidade do ecossistema onde pode ser observada a delicada relação de interdependência entre os fatores bióticos e abióticos, sendo que perturbações podem comprometer a dinâmica de seu funcionamento. Esse conceito visa à identificação e o monitoramento de forma orientada dos impactos ambientais (MOSCA, 2003).

O trabalho de Souza (2014) aborda que o elevado crescimento populacional tem forçado a ocupação de zonas rurais e agrícolas que se encontram nas imediações dos grandes centros urbanos. Esse processo é conhecido como peri-urbanização, que tem se desenvolvido em grandes metrópoles, e pelo caráter emergencial ou especulativo geralmente tem ocorrido de maneira não planejada, o que possivelmente levará a conflitos futuros relacionados aos recursos hídricos.

Segundo Torres (2013), as áreas periurbanas, na maioria das vezes, são caracterizadas, em termos de uso da terra, em uma variação de infraestrutura urbana para uso estritamente rural e agrícola. Por outro lado, os assentamentos ilegais nessas áreas são um caso muito comum e sofrem com a falta de infraestrutura básica e serviços públicos. Essas dinâmicas afetam diretamente os processos hidrológicos de toda a área, alterando a permeabilidade do solo, os coeficientes de escoamento e a distribuição dos fluxos de pico nos córregos naturais, refletindo-se na vazão dos corpos hídricos na bacia.

Conforme Ingol-blanc e Mckinney (2013), uma representação adequada dos processos hidrológicos de uma bacia hidrográfica é fundamental para prever as mudanças na resposta de um sistema hidrológico formado por um conjunto de componentes interrelacionados incluindo precipitação, evapotranspiração, infiltração, escoamento subterrâneo e escoamento superficial.

3.2 Estudo da Ecodinâmica

O conceito de ecodinâmica é baseado em um mecanismo coerente de sistemas, Tricart (1977), diz que ecodinâmica é um conjunto de fenômenos que geram fluxos de matéria e energia com relações de reciprocidade. Diante disso, as principais características desses tipos de análise se definem em avaliar e quantificar esses fenômenos e as correlações existentes entre eles. Para isso, sendo necessário delimitar a área de influência dos mesmos, considerando a matéria, a energia e a estrutura.

A matéria equivale ao material que será exposto, como solos e rochas e os componentes dos fluxos, como a água e os sedimentos, já a energia corresponde às forças que atribuem dinâmica ao sistema, como a energia potencial gravitacional e a intensidade pluviométrica, por fim, a estrutura, a qual representa os elementos que constituem o sistema em seu arranjo e composição (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Segundo Marques (2004), não há barreiras entre os sistemas naturais, são abertos, pois neles há a importação e exportação de matéria e energia, como por exemplo, a luz do sol, a precipitação e até mesmo o transporte de sedimentos de um sistema para outro, tais fluxos de

entrada e saída de energia e matéria possuem como característica a busca por equilíbrio, que remete a um ajustamento constante das formas em relação a energia atuante.

Uma unidade ecodinâmica se caracteriza por certa dinâmica do meio ambiente que tem repercussões mais ou menos imperativas sobre as biocenoses (TRICART, 1977). Geralmente a morfodinâmica é o elemento determinante, esta depende do clima, da topografia (formas das vertentes), do material rochoso e permite a integração desses vários parâmetros.

Tricart (1977) definiu as unidades básicas nas seguintes categorias: estáveis, fortemente instáveis e instáveis. As unidades estáveis são aquelas onde o processo de pedogênese (formador de solos) é predominante, as fortemente instáveis são representadas pela predominância dos processos morfogenéticos (formador de declividade), e por fim as instáveis, representadas pela presença dos dois processos de maneira transicional.

Nos meios estáveis conforme já mencionado, prevalece a pedogênese, a característica geral deste meio envolve a noção de equilíbrio ou estabilidade que podem ser representados por relevos planos com solos profundos a muito profundos, com fraca susceptibilidade à erosão. No qual o regime pluviométrico não é acentuado e a cobertura vegetal oferece uma proteção elevada.

Os meios instáveis apresentam um comportamento morfodinâmico intermediário, definido pela passagem gradual entre os meios estáveis e instáveis.

Sousa e Oliveira (2011) cita que o fator característico da ecodinâmica é o balanço entre a morfogênese e pedogênese de forma que quando a morfogênese acelera e supera em rapidez a pedogênese, o balanço torna-se negativo. Em contrapartida, quando a instabilidade é fraca a pedogênese ganha vantagem e o meio torna-se mais de transição para o meio estável.

Os meios instáveis caracterizam-se por ambientes onde há o predomínio da morfogênese sobre a pedogênese, ou seja, os processos de degradação são mais intensos, os solos são geralmente rasos a pouco profundos. Os processos morfogenéticos predominantes são o escoamento difuso e concentrado, desbarrancamentos e assoreamento nos cursos d'água com ocorrência de inundações. A condição de degradação se acentua quando a concentração de chuva é alta e o grau de proteção da cobertura do solo é fraca (TRICART, 1977).

Logo, as vulnerabilidades dos ambientes naturais devem ser consideradas e avaliadas quando se pretende realizar um planejamento territorial ambiental e para isto baseando-se nos conceitos de unidades ecodinâmicas preconizadas por Tricart (1977) que posteriormente foram ampliadas por Ross (1994), estabelecendo as Unidades Ecodinâmicas Estáveis e Unidades Ecodinâmicas Instáveis.

As unidades ecodinâmicas instáveis foram definidas como sendo aquelas cujas intervenções antrópicas modificam intensamente os ambientes naturais através dos desmatamentos e práticas de atividades econômicas diversas, enquanto as unidades ecodinâmicas estáveis são as que estão em equilíbrio dinâmico e foram poupadas da ação humana, encontrando-se, portanto, em estado natural (TRICAT, 1977).

Para Ross (1994), a identificação das fragilidades e potencialidades naturais só obterão êxito se todos os elementos do estrato geográfico forem analisados, classificados e compilados, obtendo como produto final um mapa síntese de fragilidade ambiental.

Para o desenvolvimento do mapa síntese supracitado, o geoprocessamento e os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), Lobão (2012) diz ser muito importante, uma vez que facilitam a interação dos fenômenos e suas características, com estes recursos por exemplo será possível delimitar a área de estudo escolhida através da semelhança entre os seus componentes e processos, classificando cada uma de acordo com sua estabilidade ou instabilidade, sempre seguindo as singularidades ecodinâmica que se fazem presentes em cada unidade, de suma importância para a realização e aplicação do planejamento territorial e ambiental.

3.3 Geoprocessamento e Sistemas de Informações Geográficas (SIGs)

O Geoprocessamento é uma tecnologia transdisciplinar, que através da axiomática da localização e do processamento de dados geográficos, integra várias disciplinas, equipamentos, programas, processos, entidades, dados, metodologias e pessoas para coleta, tratamento, análise e apresentação de informações associadas a mapas digitais georreferenciados (ROCHA, 2000).

Segundo Fitz (2008), o geoprocessamento nada mais é que uma tecnologia, ou mesmo um conjunto de tecnologias, que possibilita a manipulação, a análise, a simulação de modelagens e a visualização de dados georreferenciados, tratando-se, portanto, de uma técnica agregada ou não ao uso de SIG.

Enquanto o geoprocessamento é um conjunto de técnicas computacionais para o tratamento de dados, o SIG é um sistema computacional que executa estas técnicas, sendo este dotado de ferramentas para captura, armazenamento, visualização, manipulação, análise e modelagem de dados georreferenciados (JACINTHO, 2003).

Como uma aplicação do geoprocessamento, o SIG tem uma grande variedade de finalidades como por exemplo: ferramenta para produção de mapas; suporte para análise espacial de fenômenos; banco de dados geográficos, com funções de armazenamento e recuperação de informação espacial.

A ferramenta SIG além de integrar as informações existentes dos mapas, agrega informações geo-espaciais oriundas das imagens de satélites, cartas topográficas, dados cadastrais e Modelo Numérico do Terreno (MNT), traduzindo-se em uma ferramenta importante em atividades de diagnóstico do quadro ambiental (BELTRAME, 1994).

3.3.1 Modelo de Dados SIG

Segundo Cavalcante (2015), as informações (paisagens) do mundo real podem ser codificadas e representadas por meio de modelos de dados com localização espacial, georreferenciação e um conjunto de descritores quantitativos e qualitativos. Esta representação dos elementos geográficos pode ter um formato do tipo matricial (raster) ou vetorial (vetor).

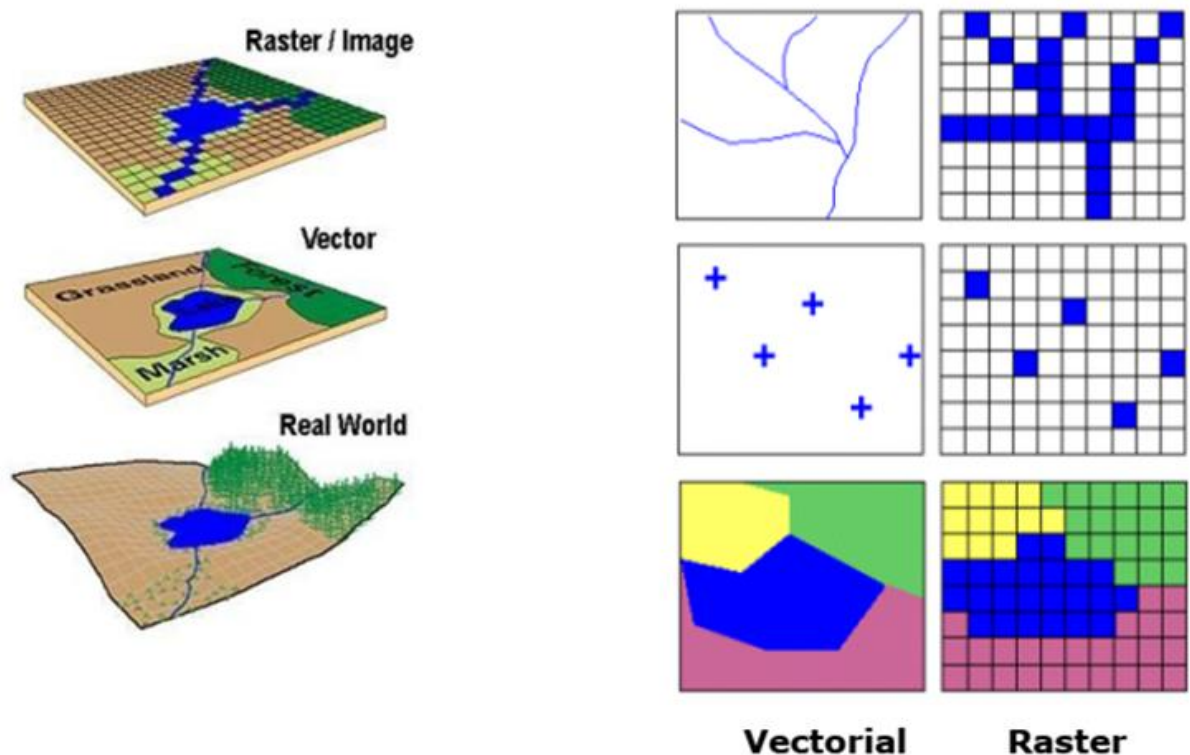
No processo de entrada de dados matriciais (raster), os mapas podem ser digitalizados ou escaneados a um tamanho de célula especificado e a cada célula é associada a um código ou um valor. O tamanho da célula pode ser ajustado de acordo com uma estrutura de grade (100 x 200 células) ou por unidades de terreno (cada célula = 30m), também denominado resolução. Cada célula armazena um valor que corresponde ao tipo de entidade que é encontrada naquela posição. Uma área geográfica pode ser representada através de diversas camadas, onde as células de uma camada armazenam os valores associados a uma única variável (ex.: vegetação), as camadas ficam totalmente preenchidas, uma vez que cada célula corresponde a uma porção do espaço sendo representado (LISBOA FILHO, 2015).

A representação vetorial é capaz de armazenar informações sobre fenômenos que podem ser identificados univocamente no mundo real, o espaço é representado por uma série de formas geométricas (linhas, pontos, polígonos), descritas por suas propriedades e cartografadas segundo um sistema de coordenadas geométricas. Já em um modelo de dados matricial, o espaço é composto por células ou pixels, estando associado a estes um valor, o qual representa uma superfície contínua de variação de um dado atributo de interesse (CAVALCANTE, 2015).

As ferramentas e potenciais específicos (vetor e raster) ambos são modelos de representação mais utilizados para estabelecer a estrutura geométrica dos dados no SIG. Também, vários SIG têm sido produzidos de forma a oferecer o recurso de geração dos modelos digitais de terreno (MANZATO, 2005).

A Figura 1 faz uma representação de cada um dos modelos de dados mencionados.

Figura 1 – Representação do mundo, em modelos de dados vetoriais e raster.



Fonte: Cavalcante (2015).

3.3.2 Ambiente ArcGIS

O ArcGIS é um conjunto integrado de softwares de SIG produzido pela empresa americana ESRI (Environmental Systems Research Institute), que fornece ferramentas baseadas em padrões para a realização de análise espacial, armazenamento, manipulação, processamento de dados geográficos e mapeamento. O ArcGIS também disponibiliza através do seu sistema de ajuda todas as descrições sobre as projeções cartográficas nele disponíveis (ESRI, 2013).

Com ArcGIS é possível digitalizar mapas a partir de mesas digitalizadoras ou então vetorizar mapas digitalizados em scanners, é possível ainda fornecer conjuntos de coordenadas x,y (provenientes por exemplo de um levantamento com receptores GNSS), endereços e rotas e então converter esses dados em feature classes de um geodatabase (FERREIRA, 2006)

O ArcGIS é composto por 6 aplicativos: ArcCatalog, Arcmap, ArcToolbox, ArcReader, ArcScene e ArcGlobe. Mas a aplicação central do programa é o Arcmap, nele é possível trabalhar com os dados e informações geográficas, criar mapas, e trabalhar com várias outras questões relacionadas a análise espacial.

Este software também é muito versátil em termos de recepção de formatos de arquivos e reconhece dados de planilhas (.csv), dados armazenados em arquivo de texto (.txt), formato de dados de GPS (.gpx), formatos do tipo raster (jpg, tiff, grid), arquivo de dados vetoriais (shapefile ou .shp), permitindo desta forma, ao usuário, trabalhar no formato que desejar (ESRI, 2013).

No ramo das Geociências e Engenharia, o ArcGIS é muito utilizado por ser uma ferramenta muito robusta e de grandes aplicabilidades como estudo de estabilidade ambiental da paisagem, por exemplo, pois ele proporciona inúmeras combinações diferentes de conteúdos com o fim de produzir um resultado esperado pelo usuário (MELO et. al., 2015).

4 MATERIAL E MÉTODOS

Esta seção apresentará os procedimentos metodológicos utilizados para a execução deste trabalho.

4.1 Localização da Área de Estudo

A área de estudo tem 2685,24 hectares, está localizada dentro dos limites da microbacia hidrográfica do Brejo Comprido entre as coordenadas UTM Fuso 22 800086 e 787670 N e 886912 e 8874527 L na Capital Palmas, Tocantins.

Na microbacia do Brejo Comprido existe uma micro compartimentação com loteamentos, pois a mesma se encontra parcialmente inserida no Plano Diretor da cidade de Palmas/TO. A microbacia tem grande importância para o abastecimento de água. Segundo Palmas (2014) o volume total aduzido do córrego Brejo Comprido em 2010 foi de 2.299.768 m³, o que corresponde uma vazão de captação de 399 m³/h ou 110 l/s, para atender 15.121 ligações de água distribuídas em 51 quadras, três propriedades rurais e 21,65% dos órgãos públicos.

Essa microbacia possui 2/3 de sua extensão em zona urbana em uma área bastante consolidada, e 1/3 em zona rural, a drenagem cerca de 56,4 km² correspondendo 2,52% do município de Palmas (SEMARH, 2021).

A Figura 2, apresenta fotos do local onde será feito a análise e Figura 3, apresenta o mapa de localização da microbacia do Brejo Comprido e a identificação da área escolhida para a análise.

Figura 2 - Fotos da área rural da microbacia do brejo comprido.



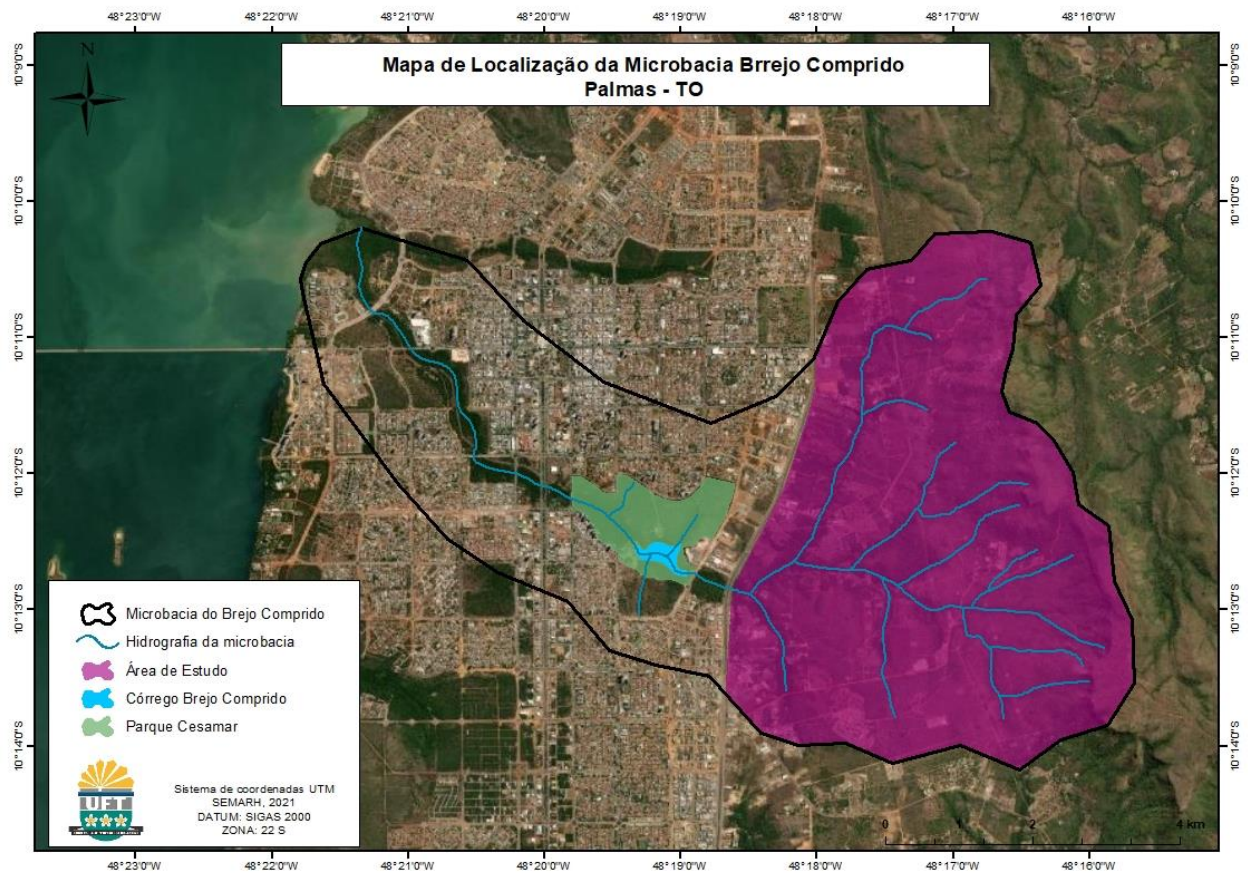
(a)



(b)

Fonte: Autor (2022).

Figura 3 - Mapa de localização da microbacia do Brejo Comprido.



Fonte: Autor (2022).

4.2 Método da Análise

A metodologia adotada para a produção deste estudo baseia-se nos critérios propostos por Tricart (1977) e Ross (1990 e 1994) que tem como objetivo proceder a análise integrada dos dados, resultados de combinações dinâmicas de elementos físicos, biológicos e antrópicos.

Tricart (1977) classifica as unidades ecodinâmicas em três categorias, são elas:

- I. **Meios estáveis** – que se caracteriza por serem predominantes a pedogênese, se evolui lentamente, muitas vezes de maneira insidiosa, dificilmente perceptível – (Prevalece a pedogênese).
- II. **Meios instáveis** – asseguram a passagem gradual entre os meios estáveis e instáveis, ou seja, nesses meios existe a interferência permanente de morfogênese e pedogênese, exercendo-se de maneira concorrente sobre um mesmo espaço – (Equilíbrio entre morfogênese e pedogênese).
- III. **Meios fortemente instáveis** – é caracterizado pela morfogênese na dinâmica do processo natural – (Prevalece a morfogênese).

A partir dessa classificação citada acima, Ross (1994) criou a metodologia análise empírica de fragilidade ambiental. Onde é possível identificar a fragilidade e as potencialidades dos diferentes ambientes.

Segundo Ross (1994) a análise de fragilidade exige conhecimentos referentes a diversos temas, sendo os temas tratados neste trabalho são declividade, solo e uso e ocupação da terra.

4.2.1 Base de Dados

- *Hidrografia*

Os shapes de hidrografia da microbacia Brejo Comprido foram utilizados da base de dados da Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos – SEMARH/TO, com escala de 1:250.000.

- *Solos*

Para a elaboração do mapa de solos, foi utilizado a base de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, com a escala de 1:250.000.

- *Declividade*

Foi utilizado para a elaboração do mapa de declividade o modelo digital de elevação SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) do estado do Tocantins, disponibilizado pelo site Brasil Relevo da Embrapa (2022), baixado em formato de Geotiff (16 bits), resolução espacial de 90 metros, sistemas de coordenadas geográficas, Datum: WGS-1984, articulação compatível com a escala de 1:250.000.

- *Cobertura e uso do solo*

Para a criação do mapa de cobertura e uso da terra, foi feita uma interpretação visual da área de estudo no ArcGIS 10.5 com as imagens do basemap (07 de maio de 2021) com o auxílio da imagem do landsat 8, bandas 04, 05 e 06 (06 de julho de 2020, INPE).

4.2.2 Processamento dos Dados

No processamento de dados geográficos da bacia hidrográfica em estudo, foi empregado o *software* ArcGIS 10.5, licenciado para o laboratório de Geoprocessamento da Universidade Federal do Tocantins (UFT) – Câmpus Palmas. Os mapas temáticos elaborados da área de estudo foram declividade, solos e uso e ocupação da terra, e o produto final, sendo o mapa de fragilidade ambiental.

O processamento do mapa de declividade foi feito no ArcGis 10.5, onde foi utilizada a ferramenta *slope* para a definição do mapa de declividade – essa ferramenta mostra de maneira

percentual as partes mais inclinadas e as menos inclinadas do terreno, após feito esse procedimento fui em propriedades do mapa e coloquei apenas 5 (cinco) classes, seguindo os pressupostos metodológicos estabelecidos pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2018), que classifica as formas do relevo de acordo com as classes de declividade, conforme é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Graus de fragilidade ambiental de declividade da área de estudo.

Declividade (%)	Classificação do Declividade	Grau de Fragilidade Ambiental
0 – 3	Plano	1 - (Muito baixa)
3 – 8	Suave ondulado	2 - (Baixa)
8 – 20	Ondulado	3 - (Médio)
20 – 45	Forte Ondulado	4 - (Alta)
> - 45	Montanhoso	5 - (Muito alta)

Fonte: Modificado de Embrapa (2018) e Ross (1994).

Considerando uma variável de suma importância na análise ambiental de área de estudo, o solo é a metamorfose resultante das dinâmicas físicas, químicas e biológicas que ocorrem na paisagem ao longo do tempo (PALMIERI; LARACH, 2017).

O processo do mapa de solo foi feito no ArcGIS 10.5, foi criado um shape polígono, em seguida identifiquei os tipos de solos do IBGE existentes dentro da área de estudo, e copie e cole cada um dos solos, formando assim o mapa.

A Tabela 2 apresenta as classes de solos identificados na área do estudo e o grau de fragilidade ambiental para cada classe presente.

Tabela 2 – Graus de fragilidade ambiental de solos da área de estudo.

Classes de solo	Sigla	Grau de Fragilidade Ambiental
Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico	LVAd	1 - (Muito Baixa)
Plintossolo Pétrico Concrecionário	FFc	3 - (Média)
Cambissolos Háptico Distrófico	CXbd	4 - (Alta)

Fonte: Modificado de Ross (1994).

No processo de geração do mapa de uso e ocupação da terra da área de estudo, empregou-se a técnica de interpretação visual da imagem de satélite do Basemap do *software* ArcGIS 10.5, onde foi possível identificar as classes de uso da terra, conforme apresentado na Tabela 3 abaixo.

A Tabela 3 apresenta as classes de uso da terra e seu grau de fragilidade ambiental conforme Ross (1994).

Tabela 3 – Graus de fragilidade ambiental de uso e ocupação da terra da área de estudo.

Classe de uso da terra	Grau de fragilidade ambiental
Vegetação densa	1 - (Muito baixa)
Vegetação rala	2 - (Baixa)
Urbano	4 - (Alta)
Solo exposto	5 - (Muito alta)

Fonte: Modificado de Ross (1994).

A proposta de Ross (1994) para determinação da fragilidade ambiental da paisagem consiste em fazer a sobreposição dos temas geográficos físicos relacionados à declividade e solos; com a inclusão do fator de uso e ocupação da terra, representando a ação antrópica, tendo assim a determinação da fragilidade ambiental do ambiente.

Nos diversos planos de informação foram definidas as classes e a ela atribuídas valores referentes a sua fragilidade conforme apresentado nas Tabelas 1, 2 e 3. Para determinar a fragilidade ambiental foi necessário sobrepor os planos de informação e fazer a operação conforme Equação 1 de modo a se obter um valor único. As formas de cálculo para a obtenção dos graus de fragilidade refletem as diferentes maneiras de ponderar a importância das variáveis avaliadas (SPÖRL E ROSS, 2004).

$$\text{Fragilidade} = \frac{\text{Declividade (\%)} + \text{Solo(\%)} + \text{Uso e Ocupação da Terra (\%)}}{3} \quad \text{Equação 1}$$

Assim, por meio da aplicação de todos os planos de informações que compõe a unidade territorial estudada e para resultar em valores únicos para cada unidade territorial básica foi feita a média aritmética dos fatores analisados, conforme a equação empírica de Spörl e Ross (2004), que busca representar a posição desta unidade dentro da escala de fragilidade natural à perda de solo.

Por meio do Software ArcGis 10.5, usando as ferramentas Map Algebra e Raster Calculator, foi possível fazer a sobreposição dos rasters de declividade, solos e uso e ocupação da terra, gerando assim os mapas de fragilidade ambiental da área de estudo.

5 RESULTADOS E DISCURSÃO

5.1 Caracterização Fisiográfica da Área de Estudo

Nesta seção serão apresentadas a descrição e análise dos elementos ambientais (declividade, solos e uso e ocupação da terra) que se encontra na zona rural (área de estudo) da microbacia do Brejo Comprido.

5.1.1 Declividade

Do ponto de vista de fragilidade ambiental o parâmetro morfométrico da declividade é uma variável que discrimina as formas do relevo no que tangencia as inclinações que o terreno apresenta. Tal parâmetro vem sendo utilizado largamente em modelos matemáticos que fazem as previsões de áreas frágeis (ROSS, 1994).

A Tabela 4 apresenta as características da declividade da área em estudo, as áreas apresentadas em hectares e o percentual, bem como o tipo de relevo correspondendo a cada grau de fragilidade associada.

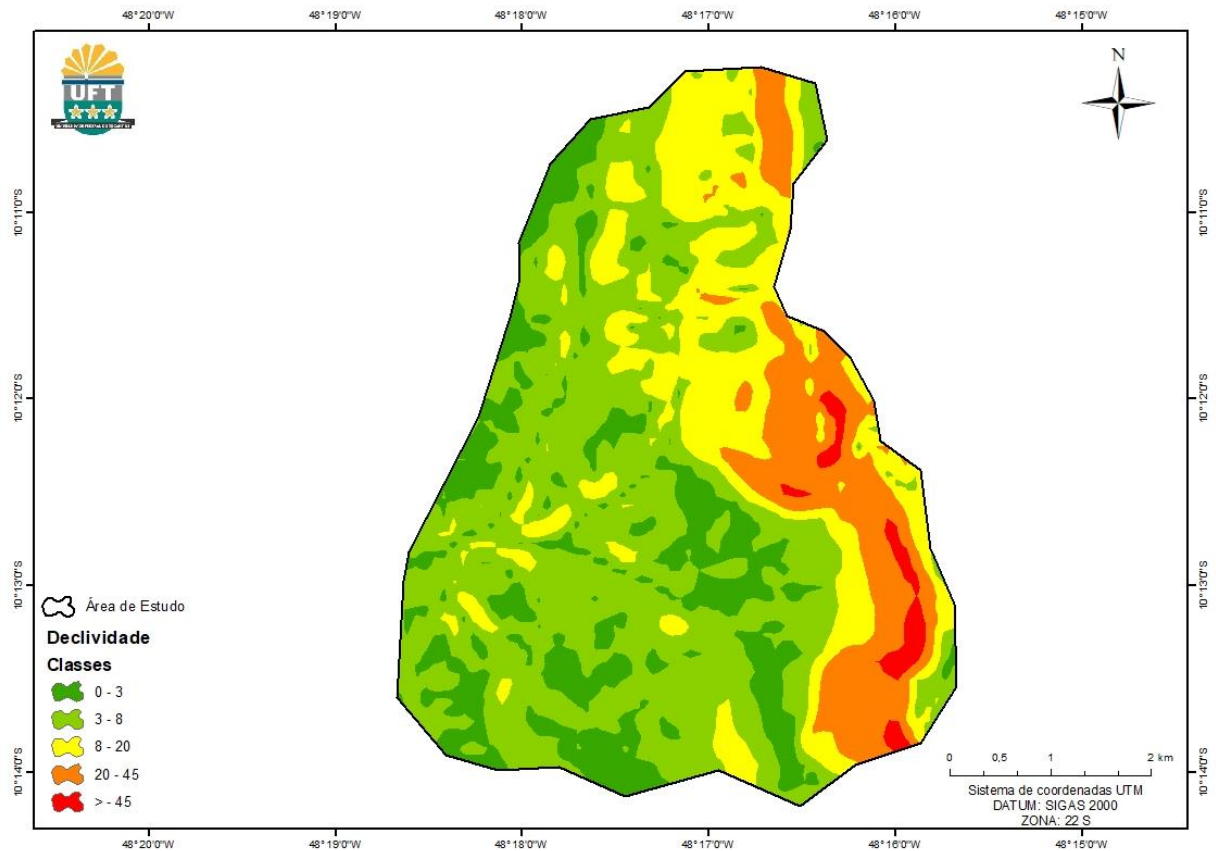
Tabela 4 – Síntese da declividade e graus de fragilidade ambiental da área de estudo.

Declividade (%)	Área (ha)	Percentual	Classificação do Declividade	Grau de Fragilidade Ambiental
0 – 3	636,14	23,69%	Plano	1 - (Muito baixa)
3 – 8	1418,36	52,82%	Suave ondulado	2 - (Baixa)
8 – 20	59,56	2,21%	Ondulado	3 - (Médio)
20 – 45	527,95	19,66%	Forte Ondulado	4 - (Alta)
> - 45	43,23	1,60%	Montanhoso	5 - (Muito alta)

Fonte: Modificado de Embrapa (2018) e Ross (1994)

Conforme apresentado no mapa da Figura 4, a declividade do terreno de estudo apresenta um mosaico diversificado do relevo.

Figura 4 – Mapa de declividade da área de estudo.



Fonte: Autor (2022).

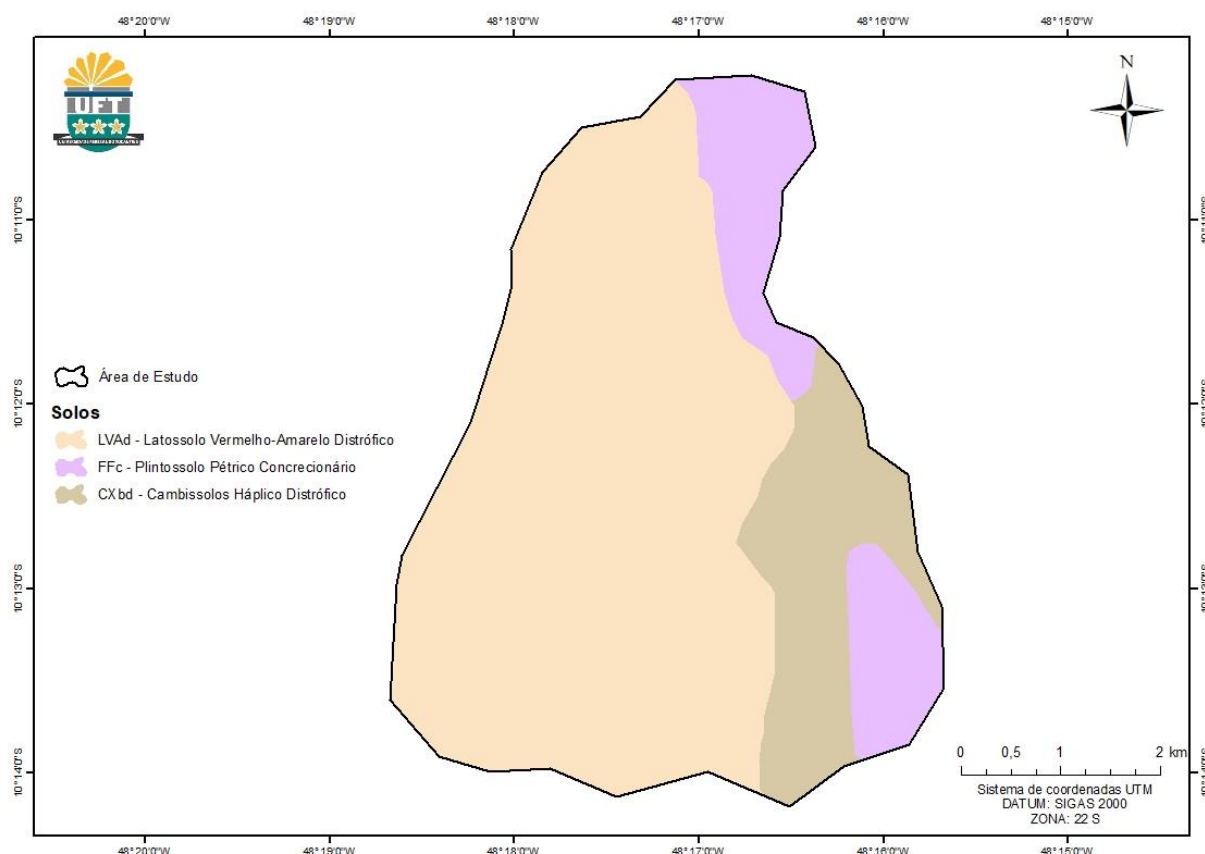
As classes como terrenos mais planos da área de estudo são constituídas por declividades situadas entre 0 a 3% com área de 636,14 hectares, representando cerca de 23,69% do conjunto da área de estudo. A classe mais representativa do contexto em análise, formada pelo relevo suave ondulado, é a declividade entre 3 a 8%, ocupando 1418,36 hectares, o equivalente a 52,82% da microbacia. Essas duas classes de declividade representam os terrenos menos frágeis do ponto de vista ambiental.

O relevo classificado como ondulado, com a declividade situada entre 8 a 20%, representa, ocupa 59,56 hectares, o que correspondente a 2,21% da microbacia, equivalente ao grau 3 de fragilidade, denominada de média. Já a área com o relevo ondulado entre 20 a 45%, com grau de fragilidade ambiental 4 – alta, ocupa 527,95 hectares, o que representa 19,66% da área de estudo. A classe de relevo conceituado como montanhoso com declividade superior a 45%, ocupa a menor dimensão espacial da área, cerca de 43,23 hectares, o equivalente a 1,60% da microbacia, sendo sua fragilidade muito alta (5).

5.1.2 Solos

No que diz respeito aos aspectos físicos da área de estudo, o mapa de solos, representado na Figura 5, apresenta os tipos de solos encontrados na área, sendo eles: Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico, Plintossolo Pétrico Concrecionário e Cambissolos Háptico Distrófico.

Figura 5 – Mapa de solos da área de estudo.



Fonte: Autor (2022).

A Tabela 5 apresenta áreas em hectares e percentual de cada classes, bem como o grau de fragilidade associada.

Tabela 5 – Síntese de solos e graus de fragilidade ambiental da área de estudo.

Classes de solo	Sigla	Área (ha)	Percentual	Grau de Fragilidade Ambiental
Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico	LVAd	1890,00	70,38%	1 - (Muito Baixa)
Plintossolo Pétrico Concrecionário	FFc	378,46	14,09%	3 - (Média)

Cambissolos Háplico Distrófico	CXbd	416,78	15,52%	4 - (Alta)
---	------	--------	--------	------------

Fonte: Ross (1994)

A classe de solo com maior representação espacial no conjunto da área em estudo é do tipo Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, ocupando cerca de 1.890,00 hectares, representando 70,38% da área de estudo, correspondendo a fragilidade ambiental muito baixa (1); esse tipo de latossolo apresentam teores medianos de Fe_2O_3 são solos ácidos e muito ácidos, com saturação de bases baixa e teor de alumínio trocável normalmente alto. Suas principais limitações são justamente a acidez elevada e a fertilidade química baixa (LABORSOLO, 2014). Segundo a Embrapa (2000), esse tipo de solo predomina no estado do Tocantins, juntamente com as Areias Quartzosas (Neossolos Quartzarênicos) e os Solos Litólicos (Neossolos Litólicos), que juntos perfazem 63,80% da superfície estadual.

O Plintossolo Pétrico Concrecionário ocupa 378,46 hectares, representando 14,09% da área com fragilidade ambiental média (3); apresentam camadas concrecionárias, com sérias restrições ao uso agrícola devido ao enraizamento das plantas, entrave ao uso de equipamentos agrícolas e pouco volume de solo disponível para as plantas (EMBRAPA, 2021).

O Cambissolos Háplico Distrófico está em 416,78 hectares, representando 15,52% da área em foco, com fragilidade ambiental alta (4); são solos pouco desenvolvidos, que ainda apresentam características do material originário (rocha) evidenciado pela presença de minerais primários. São definidos pela presença de horizonte diagnóstico B incipiente (pouco desenvolvimento estrutural) apresentando baixa (distróficos) ou alta (eutróficos) saturação por bases, baixa a alta atividade da argila, segundo critérios do SiBCS (EMPRAPA, 2021).

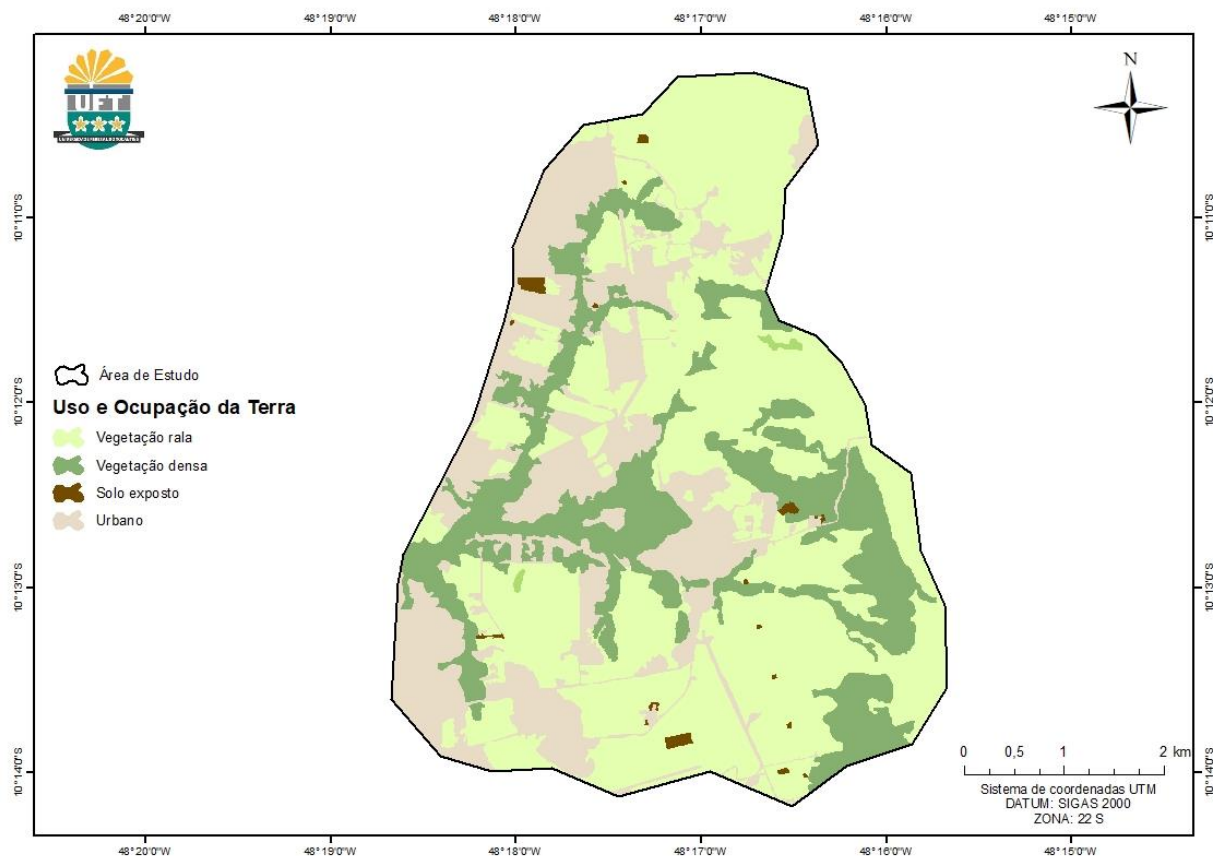
Os Solos Concrecionárias (Plintossolos Pétricos concrecionárias) e Cambissolos, representam cerca de 9,5% dos solos do estado Tocantins (EMBRAPA, 2021) e 29,61% da área.

5.1.3 Uso e Ocupação da Terra

A compreensão do modelo de uso e ocupação das terras de uma bacia hidrográfica tem se tornado cada vez mais prioridade, uma vez que tanto os mecanismos naturais, como, principalmente, os antropogênicos interferem nas propriedades dos solos, sedimentos e nas características físico-químicas e biológicas dos padrões de qualidade das águas, bem vital para a manutenção e sustentabilidade da vida no planeta terra (KARALAY; KARA, 2018).

O mapa da Figura 6, apresenta o contexto da análise de fragilidade ambiental incluindo o fator antrópico.

Figura 6 – Mapa de uso e ocupação da terra da área de estudo.



Fonte: Autor (2022).

A Tabela 6 apresenta as classes de uso da terra definidas para a área de estudo, áreas apresentadas em hectares, percentual e grau de fragilidade associada as classes.

Tabela 6 – Síntese de ocupação e uso da terra e graus de fragilidade ambiental da área de estudo.

Classe de uso da terra	Área (ha)	Percentual	Grau de fragilidade ambiental
Vegetação densa	576,26	21,46%	1 - (Muito baixa)
Vegetação rala	1418,36	52,82%	2 - (Baixa)
Urbano	686,41	25,56%	4 - (Alta)
Solo exposto	13,42	0,49%	5 - (Muito alta)

Fonte: Modificada de Ross (1994).

A classe temática denominada de vegetação rala, de acordo com a Tabela 6, abrange cerca de 1418,36 hectares da microbacia, o equivalente a 52,82% da área; esse tipo temático,

constituído por vegetação secundária ou fragmento florestal, foi classificado como fragilidade ambiental baixa (2). As denominadas de vegetação densa, também tidas na literatura especializada como cerradão, nesta pesquisa incluem as áreas de preservação permanentes (APPs), ocupam aproximadamente 576,26 hectares, o correspondente a 21,46% do contexto e tem uma fragilidade ambiental muito baixa (1).

A classe de uso denominada de solo exposto, com área de 13,42 hectares, equivalente a 0,49% da bacia, está distribuída nas porções do médio a baixo curso da área, principalmente nas proximidades do perímetro urbano. Essa classe é caracterizada como sendo de fragilidade ambiental muito alta (5).

O processo de urbanização da microbacia, conforme apresentado no mapa da Figura 4, configura-se num processo de remoção da cobertura vegetal do bioma cerrado, e uma ocupação intensa que, nem sempre, tem respeitado os limites físicos que a paisagem apresenta.

Ainda que amparadas por lei, as áreas protegidas não estão imunes a ameaças. O desmatamento, as estradas, a mineração, a exploração madeireira, a expansão agrícola, o crescimento urbano e os grandes projetos de infraestrutura, de um modo geral, impactam diretamente essas áreas protegidas, prejudicando sua manutenção. Aliado a isso, a falta de eficácia por parte do Estado no papel fiscalizador contribui para os prejuízos na conservação dessas áreas. Dessa forma, a história do processo de produção do espaço urbano e do seu impacto sobre os recursos naturais e sobre a qualidade dos assentamentos humanos evidencia as dificuldades da articulação da temática ambiental e urbana nesse processo, deixando a proteção de áreas essenciais, diversas vezes, em segundo plano (PEIXOTO, 2006).

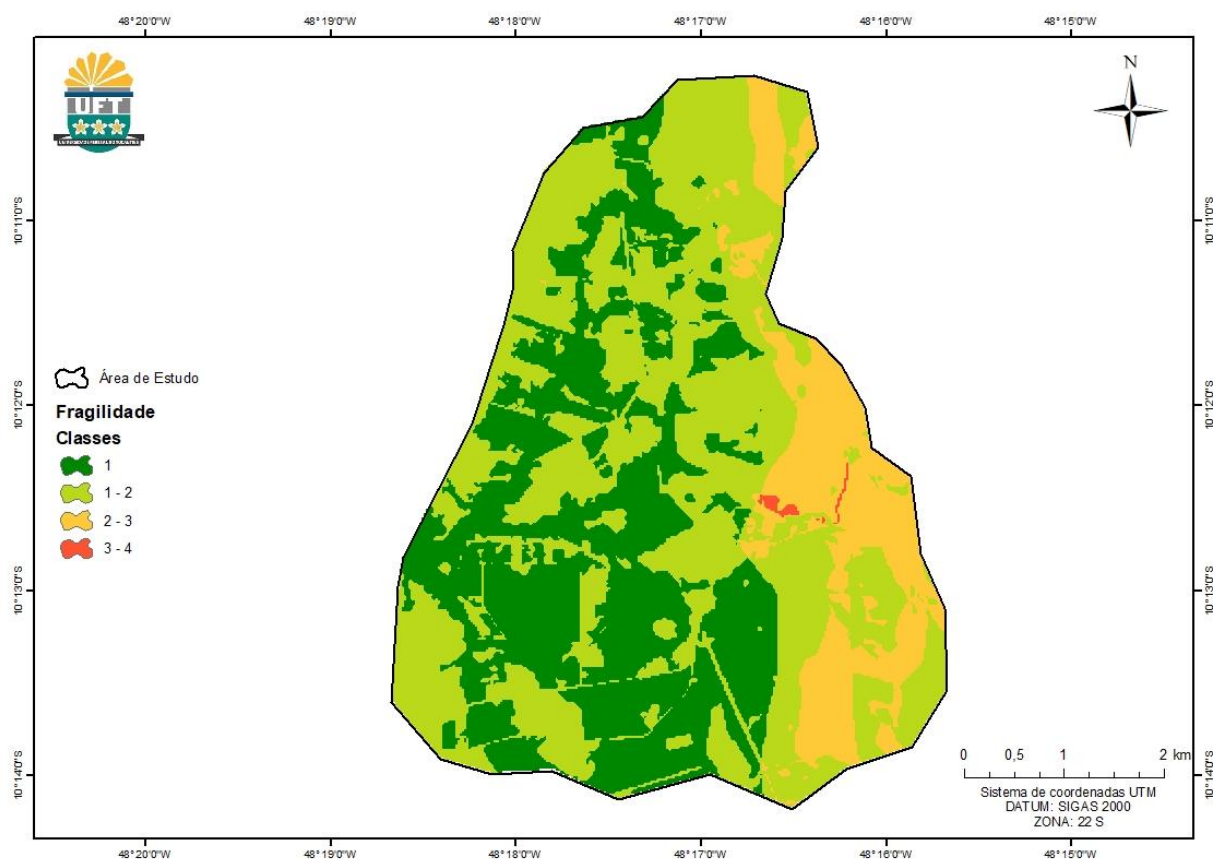
O Processo de urbanização representa 686,41 hectares da área de estudo, respondendo por 25,56% da área, e apresentando fragilidade ambiental considerada alta (4).

5.2 Mapa de Fragilidade Ambiental

Segundo Ross (1994), o diagnóstico da fragilidade ambiental favorece a compressão das áreas frágeis do ponto de vista geológico da paisagem, e aquelas que são induzidas pelas atividades antropogênicas.

A Figura 7 abaixo, apresenta o mapa de fragilidade ambiental da área de estudo.

Figura 7 – Mapa de fragilidade ambiental.



Fonte: Autor (2022).

A Tabela 7 descreve a síntese do mapa de fragilidade ambiental a cima.

Tabela 7 – Síntese do mapa de fragilidade ambiental da área de estudo.

Classe do mapa de fragilidade ambiental	Área (ha)	Percentual	Grau de fragilidade ambiental
1	2.275,73	84,74 %	Muito baixa
1 – 2			Muito baixa e baixa
2 – 3	409,51	15,26 %	Baixa e média
3 – 4			Média e alta

Fonte: AUTOR (2022)

Conforme a análise acima, o resultado obtido na área de estudo apresenta fragilidade ambiental muito baixa (1), baixa (2) e média (3) que estão todas inter-relacionadas com às declividades entre 0 a 3% a 3 a 20%, e o tipo de solo que tem maior predominância é o latossolo vermelho amarelo distrófico. Enquanto os graus de fragilidades: médias (3) e altas (4) estão inter-relacionadas com às declividades de 8 a 20% e 20 a 45% e os tipos de solos, plintossolo pétrico concrecionário e cambissolos háplico distrófico.

A média fez com que as variáveis muito frágeis sejam atenuadas pelas variáveis de menor fragilidade, sendo classificadas como muito frágeis quando combinadas com variáveis menos frágeis, deixando assim de oferecer riscos à erosão (SÖRL E ROOS, 2004).

O resultado da pesquisa de Pereira (2021), apontou que 46,96% da bacia de Ribeirão Taquaruçuzinho, em Palmas – TO, apresentam fragilidade ambiental muito baixa (1) e baixa (2), caracterizadas pelas declividades de 0 a 3% e de 3 a 8%. Os pontos mais críticos, com fragilidade muito alta, encontra-se nos terrenos com declividade acima de 45%, constituídos pelos neossolos litólicos distrófico e eutróficos, ocupando 12,80% no conjunto da área.

Os pontos mais críticos, no que diz respeito à fragilidade ambiental potencial da bacia, estão localizados ao longo da extensão da Serra do Lajeado, local que conforma um grande número dos rios de primeira e segunda ordem no contexto em foco. Esses pontos críticos são de Muito Alta fragilidade ambiental, principalmente em virtude da declividade, superior a 45%, e dos Neossolos Litólicos Distróficos e Eutróficos que os constituem; tal representação ocupa 27 km² na bacia, o equivalente a 12,80% no conjunto geral da área (PEREIRA, 2021).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

- ✓ A aplicação das técnicas de geoprocessamento para a confecção do mapa de fragilidade ambiental da área de estudo demonstrou ser de grande importância, pois através da análise foi possível identificar por meio da média aritmética dos temas associados o grau de fragilidade da área, desde muito baixa a muito forte. O principal problema observado está relacionado as atribuições relativas de cada uma das variáveis (declividade, solos e uso e ocupação da terra) na determinação do grau de fragilidade de área em foco. No entanto, esta avaliação é geralmente arbitrária e subjetiva, pois é complicado avaliar o quanto cada uma destas variáveis contribui para se estabelecer o grau de fragilidade. Esta dificuldade em atribuir pesos a cada uma destas variáveis é que explica as divergências apresentadas entre os modelos de fragilidade ambiental avaliados. Esse efeito adverso possui condições próprias, que interagindo com o tipo e a magnitude de um evento induzido, proporciona efeitos adversos.
- ✓ Foi aplicada a teoria geral de sistemas e a teoria ecodinâmica desenvolvendo o arcabouço metodológico de Ross (1994), em seguida foi produzido um mapa de fragilidade ambiental empregando as variáveis físicas (declividade e solos) e as antrópicas (uso e ocupação da terra).
- ✓ Ao identificar e analisar as áreas vulneráveis e seus respectivos condicionantes, foi possível identificar que a média aritmética dos temas estudados fez com que mesmo em áreas de cobertura e uso da terra urbanizada a classe de fragilidade ficasse entre 1 e 2 em virtude da classe de solo e declividade, ficando a classe mais frágil entre 3 e 4 associada a área urbana em regiões de declividade 8-20% e 20-45%, com solos Plintossolo Pétrico Concrecionário e Cambissolos Háplico Distrófico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB’SÁBER, A. N. **O Quaternário na Bacia de Taubaté: Estado Atual dos Conhecimentos.** Geomorfologia. São Paulo, p. 52-54, 1969.

ATTANASIO, Cláudia Mira. **Planos de Manejo Integrado de Microbacias Hidrográficas com uso Agrícola: Uma Abordagem Hidrológica na busca da sustentabilidade.** Agosto de 2004, Piracicaba – SP.

BELTRAME, A. da V. 1994. **Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas: modelo e aplicação.** Florianópolis: Ed. da UFSC, 112p.

CAVALCANTE, Rodrigo. **Apostila de Introdução ao SIG.** Curso Geografia. Jul. 2015. Notas de Aula. Universidade Federal de Minas Gerais. Disponível em: <https://www.ufmg.br/proplan/wp-content/uploads/Apostila-de-Introdu%C3%A7%C3%A3o-ao-SIG-Proplan-2015.pdf>. Acesso em: 21 de abril 2022.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia.** 2. ed., São Paulo: Edgard. Blücher, 1980. 150 p.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J.S.; AZEVEDO, L.G.; DUARTE, V.; HERNANDEZ, P.; FLORENZANO, T & BARBOSA, C. **Sensoriamento Remoto e Geopro-cessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento Territorial.** São José dos Campos: INPE, 2000.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2018) **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 5. ed., rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Análise química dos solos, temáticas, latossolo, cambissolo e plitossolos.** 2021.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. AQUINO, et al. **Comunicado Técnico: Embrapa Agroindústria Tropical. Aptidão Agrícola dos Solos do Estado do Tocantins.** Nº 47, dezembro/2000, p. 1-3.

EMBRAPA, Monitoramento por satélite. **BRASIL RELEVO.** Disponível em: < <https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/relevobr/conteudo/creditos.htm>>. Acessado em: 08 de junho de 2022.

EMBRAPA, **Monitoramento por Satélite.** Brasil Relevo. USGS. Reprocessing by the GLCF. 2004. (1, 3, 30) Arc Second SRTM Elevation, Reprocessed to GeoTIFF. College Park, Maryland: The Global Land Cover Facility. Version 1.0. Disponível em: < <https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/relevobr/conteudo/creditos.htm> >. Acessado em: 20 de julho de 2022.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE (ESRI). ArcGIS for Desktop. Versão. 10.5. Redlands: ESRI, 2013.

FERREIRA, Prof. Dr. Nilson. **Apostila de sistema de Informações Geográficas**. Centro Federal de Educação Tecnológica de Goiás – Sistemas de Informações Geográficas. Goiânia, 2006.

FIALHO, José Tarciso et all. **Extensão Rural no Paraná - Um modelo ambiental**. Curitiba, Emater/Seab, 1992.

FILET, MARTINUS. **Análise de Capacidade de Suporte Ambiental: um Estudo de Caso: São Paulo: TAQ**, 1995.

FITZ, Paulo Ricardo. **Geoprocessamento sem complicação**. 2ª reimpressão 2013. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

FULLER, Beatriz Buda et all. **O Conceito de Bacia Hidrográfica e a Importância da Caracterização Morfométrica para o Entendimento da Dinâmica Ambiental Local**. Revista Unitária, nº 20, 2007.

GUITARRARA, Paloma. **Tocantins; Brasil Escola**. Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/brasil/tocantins.htm>. Acesso em 14 de novembro de 2022.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, pela utilização das sedes municipais do Brasil. **Palmas – TO**, 2022.

INGOL-BLANCO, E.; MCKINNEY, D.C. **Modeling climate change impacts on flow in the Rio Conchos Basin**. Journal of Hydrologic Engineering, v. 18, n. 3, p. 340-352, 2013.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, **Catálogo de Imagens Espaciais**. Disponível: < <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Acesso em: 20 de maio de 2022.

JACINTHO, Luiz Roberto de Campos. **Geoprocessamento e sensoriamento remoto como ferramentas na gestão ambiental de Unidades de Conservação: o caso da Área de Proteção Ambiental (APA) do Capivari-Monos**. São Paulo-SP. 2003. Dissertação (Mestrado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003. DOI: 10.11606/D.44.2003.tde-14082003-230137. Acesso em: 01 de maio 2022

KARALAY, N.; KARA, Ô. (2018) **Forestry activities and surface water quality in a watershed**. Eur J Forest Eng, v. 4, n. 2, p. 70-82. Disponível em: < <https://dx.doi.org/10.33904/ejfe.438621>>.

LIMA, W.P.; ZAKIA M.J.B. Hidrologia de matas ciliares. In: RODRIGUES; R.R.; LEITÃO FILHO; H.F. (Ed.) **Matas ciliares: conservação e recuperação**. 2.ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2000. p.33-43.

LINHARES et. al. **Mapeamento da Fragilidade Ambiental Potencial do Meio Físico da Área Urbana do Município de Lábrea – Sul do Amazonas**. Revista Brasileira de Cartografia, vol. 72, n. 4, Uberlândia, 2020.

LISBOA FILHO, J.; IOCHPE, C.; HASENACK, H.; WEBER, E. J. **Modelagem conceitual de banco de dados geográficos: o estudo de caso do projeto PADCT/CIAMB**. In: UFRGS/CENTRO DE ECOLOGIA. Energia e Meio Ambiente: a questão do carvão no Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Editora da Universidade, 2000. No prelo.

LOBÃO, et. al. **Mapeamento Das Unidades Ecodinâmicas: Subsídio Ao Estudo Da Vulnerabilidade Ambiental No Polo De Irecê-Ba**. IRECÊ – BA. REVISTA GEONORTE, Edição Especial, V.2, N.4, p.1560 – 1573, 2012.

MANZATO, G; VIVIANE, E. **Geração de modelos digitais de superfície por meio de plataformas computacionais com estrutura vetorial e raster**. Ciência & Engenharia (Science & Engineering Journal) 15 (2): 27 - 34, 2005.

MARQUES NETO, R. **Abordagem sistêmica em geomorfologia e diagnóstico do meio físico para avaliação de impactos ambientais decorrentes da mineração nas bacias do Córrego São Tomé e do Ribeirão Vermelho**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geografia). IGCE. UNESP – Rio Claro, 2004.

MELO, D. H. C. T. B.; ALMEIDA, D. Y.; MENEZES, L. A. **Decifrando a ferramenta Composite Bands do ArcGIS**. Revista MundoGEO. Curitiba: MundoGEO, ano 17, n. 82, sept. 2015.

MENDES, A. T. **Dispositivos de Drenagem Urbana de Baixo Impacto para Diminuição da Vazão no Sistema de Microdrenagem da Bacia Urbana do Córrego Brejo Comprido**, Palmas – TO. Universidade Federal do Tocantins, 2019.

MOSCA, A.A.O. **Caracterização hidrológica de duas microbacias visando a identificação de indicadores hidrológicos para o monitoramento ambiental de manejo de florestas plantadas**. 2003. 96p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luis de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

PALMAS, Prefeitura Municipal de. **Plano Municipal de Saneamento Básico de Palmas – TO**. Anexo III ao Decreto no 700, de 15 de janeiro de 2014. Vol III: Drenagem Urbana. Palmas. 2014.

PALMIERI, F.; LARACH, J. O. I. (2017) **Pedologia e geomorfologia**. In: GUERRA, A. J. T; CUNHA, S. B (org.). **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 396p.

PEREIRA, M; CRISTO, S. **Aplicação de Técnicas de Geoprocessamento na Análise da Fragilidade Ambiental da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Taquaruçuzinho, Palmas (TO)**. Revista Eletrônica do Curso de Geografia Graduação e Pós-Graduação Online Geoambiente. Jataí-GO | n 40 | Mai-Agos/2021.

ROCHA, C.H.B. **Geoprocessamento: tecnologia transdisciplinar**. Juiz de Fora: Ed. do Autor, 2000.

ROCHA, José Sales Mariano da. **Manual de Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas**. Santa Maria, UFSM, 1991.

ROSS, Jurandyr L. Sanches e DEL PRETTER, Marcos Estevan. **Recursos Hídricos e as Bacias Hidrográficas: Âncoras do Planejamento e Gestão Ambiental**. GEOUSP Espaço e Tempo, São Paulo, N° 15, pp .39-49, 2004.

ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. "Análise e Síntese na Abordagem Geográfica da Pesquisa para o Planejamento Ambiental" In: Revista do Departamento de Geografia n°9, FFLCH-USP, São Paulo, 1995. SPÖRL, Christiane. Análise da Fragilidade Ambiental Relevante com Aplicação de Três Modelos Alternativos nas Altas Bacias do Rio Jaguari-Mirim, Ribeirão do Quartel e Ribeirão da Prata. Dissertação de Mestrado. São Paulo: FFLCH - USP, 2001.

ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. "Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados" In; Revista do Departamento de Geografia n°8, FFLCH-USP, São Paulo, 1994.

SECRETARIA DE AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO DO MUNICÍPIO DO PARANÁ. **Microbacias**. 2021. Disponível em: < <https://www.agricultura.pr.gov.br/Pagina/Microbacias> >. Acesso em: 16 de setembro de 2022.

SEMARH – Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Tocantins. **Base de dados**.

SEMARH - Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. (2021) **Bases vetoriais**. Disponível em: < <https://www.to.gov.br/semarh/base-vetorial-digital-tematica-do-car/1knojozyng4n> >.

SOUSA, Rosemeri Melo e OLIVEIRA, Anizia Conceição Cabral de Assunção. **Ecodinâmica dos Sistemas do município de Pirambu litoral Norte de Sergipe**. Sociedade e Território, Natal, v. 23, n°2, p. 2-20, julho/dezembro, 2011.

SOUZA, R. **Modelo Hidrológico Distribuído Unidimensional para Bacias Hidrográficas Peri-Urbanas**. Goiânia – GO, Universidade Federal do Goiás, 2014.

TORRES, A. S. **Modelling the future water infrastructure of cities**. 2013. 231 f. Doctoral dissertation, Delft University of Technology and UNESCO-IHE Institute for Water Education, Delft, Netherlands, 2013.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro, IBGE, Diretoria Técnica, SUPREN, 1977.

PEIXOTO MCD. 2006. Expansão urbana e proteção ambiental: um estudo a partir do caso de Nova Lima/MG. In: COSTA, H. S. de M.(Org.). **Novas periferias metropolitanas: a expansão metropolitana em Belo Horizonte: dinâmica e especificidades no Eixo Sul**. Belo Horizonte: C/Arte, p. 1-13.