

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CAMPUS GOIÂNIA
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DA ÁREA III
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA E DE AGRIMENSURA**

**BRUNA ROSA SILVA
LARISSA DANIELLA LOPES DE PAULA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**ANÁLISE TEMPORAL DAS FRAGILIDADES AMBIENTAIS NA ÁREA DE
INFLUÊNCIA DIRETA DA USINA HIDRELÉTRICA CORUMBÁ IV, NO ESTADO
DE GOIÁS**

**GOIÂNIA, GO
2022**

BRUNA ROSA SILVA
LARISSA DANIELLA LOPES DE PAULA

**ANÁLISE TEMPORAL DAS FRAGILIDADES AMBIENTAIS NA ÁREA
DE INFLUÊNCIA DIRETA DA USINA HIDRELÉTRICA CORUMBÁ IV,
NO ESTADO DE GOIÁS**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado à
Coordenação de Geomática, do Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia, Campus Goiânia, como
parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura.

Orientador: Prof. Dr. Giovanni de Araújo Boggione

Co-orientador: Prof. Dr. João Batista Ramos Côrtes

GOIÂNIA, GO

2022

FICHA CATALOGRÁFICA

S586a Silva, Bruna Rosa.

Análise temporal das fragilidades ambientais na área de influência direta na usina hidrelétrica Corumbá IV, no Estado de Goiás / Bruna Rosa Silva; Larissa Daniella Lopes de Paula. – Goiânia : Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, 2022.
25f.

Orientação: Prof. Dr. Giovanni de Araújo Boggione.

Co-orientação: Prof. Dr. João Batista Ramos Côrtes.

TCC (Trabalho de Conclusão de Curso) – Curso de Bacharelado em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, Departamento da Área III, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

1. Sensoriamento remoto. 2. Geoprocessamento. 3. Vulnerabilidade ambiental. 4. Usinas hidrelétricas. I. Paula, Larissa Daniella Lopes de. II. Boggione, Giovanni de Araújo (orientação). III. Côrtes, João Batista Ramos (co-orientação). IV. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás. V. Título.

CDD 621.367 8

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Lana Cristina Dias Oliveira CRB1/ 2.631
Biblioteca Professor Jorge Félix de Souza,
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Goiânia.



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
GOIÁS – CÂMPUS GOIÂNIA

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Bruna Rosa Silva / Larissa Daniella Lopes de Paula

Matrícula: 20161011190059 / 20161011190083

Título do Trabalho: Análise Temporal das fragilidades ambientais na área de influência direta na usina hidrelétrica Corumbá IV, no Estado de Goiás

Autorização - Marque uma das opções

1. ☒ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
2. ☐ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____ (Embargo);
3. ☐ Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

☐ O documento está sujeito a registro de patente.

☐ O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.

☐ Outra justificativa: _____

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- i. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- ii. obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- iii. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Goiânia, 23 / 02 / 2022.

Bruna Rosa Silva

Larissa Daniella Lopes de Paula

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
GOIÁS – CÂMPUS GOIÂNIA

ATA Nº ECA 10 - TCC/2021.2

ENGENHARIA CARTOGRÁFICA E DE AGRIMENSURA / Campus Goiânia

**ATA DA SESSÃO PÚBLICA VIRTUAL DE APRESENTAÇÃO E DEFESA DO TRABALHO DE
CONCLUSÃO DE CURSO**

Aos dez dias do mês de fevereiro do ano de dois mil e vinte e dois, às 16:00 horas, na sala virtual meet.google.com/fbg-frvd-fea, foi realizada a sessão pública de apresentação e defesa do Trabalho de Conclusão de Curso das graduandas Bruna Rosa Silva (matrícula 20161011190059) e Larissa Daniella Lopes de Paula (matrícula 20161011190083) do curso de Bacharelado em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, do Departamento III, Campus Goiânia, do Instituto Federal de Goiás, no segundo semestre do ano de dois mil e vinte e um. A banca foi composta pelos seguintes membros:

- Giovanni de Araújo Boggione (Professor-Orientador)
- João Batista Ramos Côrtes (professor Coorientador)
- Ricardo Fernandes de Sousa
- Hostílio Maia de Paula Neto

sob a presidência do primeiro. O trabalho de conclusão de curso tem como título “Análise temporal das fragilidades ambientais na área de influência direta da usina hidrelétrica Corumbá IV, no estado de Goiás”, sob orientação do Prof. Giovanni de Araújo Boggione e coorientação do Prof. João Batista Ramos Côrtes. Após a apresentação do Trabalho de Conclusão de Curso, tendo sido as autoras arguidas pela Banca Examinadora, as notas obtidas foram, respectivamente, 9,3 (nove vírgula três) e 9,3 (nove vírgula três). Foram recomendadas correções no referido Trabalho de Conclusão de Curso.

Encerrou-se a sessão às 18 horas e 15 minutos. Eu, Profa. Marina Alberti Macedo, dato e assino a presente ata que segue assinada por todos os membros da Banca Examinadora.

Profa. Marina Alberti Macedo (Assinado eletronicamente)

Prof. Giovanni de Araújo Boggione (Assinado eletronicamente)

Prof. João Batista Ramos Côrtes (Assinado eletronicamente)

Prof. Ricardo Fernandes de Sousa (Assinado eletronicamente)

Prof. Hostílio Maia de Paula Neto (Assinado eletronicamente)

Documento assinado eletronicamente por:

- Marina Alberti Macedo, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 10/02/2022 18:10:18.
- Joao Batista Ramos Cortes, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 10/02/2022 18:09:38.
- Ricardo Fernandes de Sousa, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 10/02/2022 18:08:27.
- Hostilio Maia de Paula Neto, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 10/02/2022 18:08:20.
- Giovanni de Araujo Boggione, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 10/02/2022 18:07:57.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 05/02/2022. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifg.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 243217

Código de Autenticação: 72ec06cfcc



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Rua 75, nº 46, Centro, GOIÂNIA / GO, CEP 74055-110
(62) 3227-2735 (ramal: 2735)

RESUMO

A implantação de um reservatório para fins de abastecimento em uma usina hidrelétrica é uma obra civil de grande porte que pode causar extensas interferências nas condições naturais do meio físico. Essa e outras ações antrópicas vêm provocando graves problemas ao sistema natural dentro de um espaço geográfico, tornando-se necessário estudar quais suas características pelas vulnerabilidades desses ambientes. Diante disso, o presente trabalho tem como objetivo diagnosticar a fragilidade ambiental antes e após a construção da usina hidrelétrica de Corumbá IV, em Goiás, afim de fazer uma análise comparativa de como era essa área antes da construção desse empreendimento, no qual foi verificado a susceptibilidade do sistema em sofrer modificações, seja de forma estável na fragilidade potencial, onde estão as fragilidades naturais do meio, ou de forma instável na fragilidade emergente, com as ações humanas. Para esse estudo foi utilizado a proposta metodológica de Crepani *et al.*, (2001) das fragilidades ambientais, baseada em dados de sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento, que se sobressaiu como uma ferramenta relevante de apoio, principalmente ao utilizar os sistemas de informação geográficas, sendo aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial, para assim elaborar os mapas cartográficos. A fragilidade potencial foi gerada usando álgebra de mapas, a partir da fragilidade dos dados de declividade, hipsometria, pedologia, pluviometria, geologia e geomorfologia. Imagens dos satélites Landsat – 5 Sensor TM e Landsat – 8 Sensor OLI foram utilizadas para mapear o uso da terra e a cobertura vegetal, afim de entender a dinâmica de uso do solo e cobertura vegetal dos anos de 2004 e 2020. A fragilidade emergente foi criada a partir da sobreposição dos mapas de fragilidade potencial com os mapas de fragilidade do uso do solo e cobertura vegetal, para 2004 e 2020. Os resultados mostraram que há predomínio da classe de média fragilidade com 57,76% em 2004 e 59,76% em 2020 para a fragilidade potencial, devido ao terreno apresentar relevos suave e ondulado, ter rochas com característica de média fragilidade à erosão e morfometrias onde representam formas de topos convexos ou planos de pequena dimensão interfluvial e canais pouco e mediantemente entalhados. Já para a fragilidade emergente em 2004 foram 49,87% e em 2020 foram 37,64% de toda a área da bacia, sendo representadas pela pecuária intensiva e marcando uma transição de ocupação de solo de pastagem para agricultura. Além disso o aumento do grau de alta e muito alta fragilidade emergente dentro da área está relacionado com a expansão agrícola e o crescimento das áreas urbanas, além do povoamento ao entorno do reservatório com a construção de condomínios de chácaras, confirmando a necessidade de precauções e utilização de condutas conservacionista em relação ao uso do solo.

Palavras-Chave: Geoprocessamento. Sensoriamento Remoto. Meio Ambiente. Zoneamento Ecológico. Vulnerabilidade Ambiental.

ABSTRACT

The implementation of a reservoir for supply fins in a hydroelectric plant is a large civil work that can cause interference in the natural conditions of the physical environment. These anthropic actions within its other areas cause serious problems of a geographic space and the natural need to study which characteristics through the vulnerabilities of these environments. From this, the work has as a diagnostic diagnosis the environmental plant before and after the construction of the Corumbá IV plant, in Goiás, in order to make a comparative hydroelectric analysis of what this area was like before the construction of this project, in which it was likely to be , in a sustainable way, that is, in a stable way, with potential, where the natural ways are natural for the system to be able to make the system be able to emerge to the human environment. For this study, the methodological proposal of Crepani *et al.*, (2001) of the environmental ones was used, based on remote sensing data and geoprocessing techniques, which stood out mainly as a relevant support tool, when using geographic information systems, being applied to ecological-economic zoning and territorial planning, in order to prepare cartographic maps. The potential fragility was generated through map algebra, from the fragility of slope, hypsometry, pedology, rainfall, geology and geomorphology data. Images from the Landsat – 5 Sensor TM and Landsat – 8 Sensor OLI satellites were used to map land use and vegetation cover, in order to understand the dynamics of land use and vegetation cover in the years 2004 and 2020. The emerging fragility was created from the superposition of maps of potential fragility with maps of fragility of land use and vegetation cover, for 2004 and 2020. The results showed that there is a predominance of the medium fragility class with 57.76% in 2004 and 59.76 % in 2020 for potential fragility, due to the terrain presenting smooth and wavy reliefs, presenting rocks with medium fragility to erosion and morphometries where they represent shapes of convex tops or small interfluvial planes and channels with little and medium notched. As for emerging fragility, in 2004 it was 49.87% and in 2020 it was 37.64% of the entire basin area, represented by intensive livestock and marking a transition from land occupation from pasture to agriculture. In addition, the increase in the degree of high and very high fragility emerging within the area is related to agricultural expansion and the growth of urban areas, in addition to the settlement around the reservoir with the construction of farm condominiums, confirming the need for precautions and use of conservationist conducts in relation to land use.

Keywords: Geoprocessing. Remote Sensing. Environment. Ecological Zoning. Environmental Vulnerability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa de localização da Área de Influência Direta da UHE.....	22
Figura 2 – Mapa de localização do entorno (ADA) do reservatório da UHE.	24
Figura 3 – Fluxograma Metodológico.	27
Figura 4 – Dados de Entrada: a) Imagem Original; b) Resultado da Segmentação de (a).	38
Figura 5 – (a) Mapa de Declividade. (b) Mapa da fragilidade da declividade.	41
Figura 6 – (a) Mapa de hipsometria. (b) Mapa da fragilidade da hipsometria.	42
Figura 7 – (a) Mapa da precipitação em 2004. (b) Mapa da precipitação em 2020. ...	44
Figura 8 – (a) Mapa de pedologia. (b) Mapa de fragilidade da pedologia.	45
Figura 9 – Mapa de fragilidade da geomorfologia.	47
Figura 10 – (a) Mapa dos dados geológicos. (b) Mapa de fragilidade geológica.....	49
Figura 11 – Mapa do uso do solo e cobertura vegetal nos anos de 2004 e 2020.....	51
Figura 12 – Mapa da fragilidade do Uso do Solo e Cobertura Vegetal (2004 e 2020).	52
Figura 13 – Mapa da Fragilidade Potencial da AID do reservatório da UHE de Corumbá IV para o ano de 2004 e 2020.	54
Figura 14 – Mapa da Fragilidade Potencial do entorno (ADA) do reservatório da UHE de Corumbá IV para o ano de 2004 e 2020.	56
Figura 15 – Mapa da Fragilidade Emergente da AID do reservatório da UHE de Corumbá IV para o ano de 2004 e 2020.	58
Figura 16 – Mapa da Fragilidade Emergente do entorno (ADA) do reservatório da UHE de Corumbá IV para o ano de 2004 e 2020.	60

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Aquisição de Dados.	28
Quadro 2 – Classes de Fragilidade da Declividade.	29
Quadro 3 – Classes de fragilidade da hipsometria.....	30
Quadro 4 – Valores de precipitação média mensal e anual, número de dias com chuva e valores de intensidade pluviométrica calculados para cada estação pluviométrica.....	32
Quadro 5 – Níveis Hierárquicos Pluviométricos na área de estudo.	33
Quadro 6 – Classes de Fragilidade dos Solos na Área de Estudo.....	33
Quadro 7 – Classes de Fragilidade para a intensidade de dissecação do relevo (IDR).	35
Quadro 8 – Classes de Fragilidade da Geologia - Litologia.	36
Quadro 9 – Características das classes amostrais de treinamento.	38
Quadro 10 – Classes de fragilidade do uso da terra e cobertura do solo.	39
Quadro 11 – Níveis de exatidão e avaliação do índice <i>Kappa</i>	39
Quadro 12 - Graus de Fragilidades e seus Intervalos Numéricos.....	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Área dos municípios afetados pela Área de Influência Direta.....	23
Tabela 2 – Área dos municípios afetados pelo entorno (ADA) do reservatório.....	25
Tabela 3 – Área e percentual da variável declividade.	42
Tabela 4 – Área e percentual da variável hipsometria.....	43
Tabela 5 – Área e percentual da variável pluviometria.	44
Tabela 6 – Área, percentual e grau de fragilidade da variável pedologia.....	46
Tabela 7 – Área e percentual da fragilidade na variável pedologia.....	46
Tabela 8 – Área e percentual da fragilidade na variável geomorfologia.	48
Tabela 9 – Área e percentual da fragilidade na variável geologia.....	50
Tabela 10 – Validação Exatidão Global e Kappa dos anos de 2004 e 2020.	50
Tabela 11 – Área e percentual do uso do solo e cobertura vegetal nos anos de 2004 e 2020.	52
Tabela 12 – Área e percentual da fragilidade do Uso do Solo e Cobertura Vegetal. ...	53
Tabela 13 – Quantitativo da Fragilidade Potencial dos anos de 2004 e 2020 da AID do reservatório da UHE de Corumbá IV.	55
Tabela 14 – Quantitativo da Fragilidade Potencial dos anos de 2004 e 2020 do entorno (ADA) do reservatório da UHE de Corumbá IV.	57
Tabela 15 – Quantitativo da Fragilidade Emergente dos anos de 2004 e 2020 da AID do reservatório da UHE de Corumbá IV.	58
Tabela 16 – Quantitativo da Fragilidade Emergente dos anos de 2004 e 2020 do entorno (ADA) do reservatório da UHE de Corumbá IV.	61

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADA	Área Diretamente Afetada
AID	Área de Influência Direta
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
ASF	<i>Alaska Satellite Facility</i>
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
EIA	Estudo de impacto ambiental
GEOBIA	<i>GEographic Object-Based Image Analysis</i>
GEODMA	<i>Geographical Data Mining Analyst</i>
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDR	Índice de Dissecação do Relevo
IDW	<i>Inverse Distance Weighting</i>
IP	Intensidade Pluviométrica
MDE	Modelo Digital de Elevação
MW	Megawatt
NDC	Número de Dias com Chuva
PMA	Precipitação Média Anual
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
SIEG	Sistema Estadual de Geoinformação
SIG	Sistema de Informação Geográfica
UHE	Usina Hidrelétrica
USGS	<i>United States Geological Survey</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	7
2. OBJETIVOS	9
2.1 Objetivo Geral.....	9
2.2 Objetivos Específicos	9
3. REVISÃO DA LITERATURA.....	10
3.1 Fragilidades Ambientais	10
3.2 Impactos ambientais gerados por reservatórios de usinas hidrelétricas	14
3.3 Geoprocessamento como suporte ao planejamento ambiental.....	17
4. METODOLOGIA.....	22
4.1 Área de Estudo	22
4.1.1 Caracterização Física da Área De Estudo.....	25
4.1.2 Caracterização do Empreendimento	25
4.2 Procedimentos Metodológicos	27
4.2.1 Aquisição de Dados	27
4.2.2 Declividade	28
4.2.3 Hipsometria.....	29
4.2.4 Pluviometria.....	30
4.2.5 Pedologia	33
4.2.6 Geomorfologia	33
4.2.7 Geologia.....	35
4.2.8 Fragilidade Potencial	37
4.2.9 Uso do Solo e Cobertura Vegetal	37
4.2.10 Fragilidade Emergente	40
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	40
5.1 Declividade	41

5.2 Hipsometria	42
5.3 Pluviometria	43
5.4 Pedologia.....	45
5.5 Geomorfologia.....	47
5.6 Geologia	48
5.7 Uso do Solo e Cobertura Vegetal.....	50
5.8 Mapeamento das Fragilidades Ambientais	53
5.8.1 Fragilidade Ambiental Potencial	53
5.8.1.1 Fragilidade Ambiental Potencial na Área Diretamente Afetada	55
5.8.2 Fragilidade Ambiental Emergente	57
5.8.2.1 Fragilidade Ambiental Emergente na Área Diretamente Afetada	60
6. CONCLUSÕES.....	62
REFERÊNCIAS.....	64

1. INTRODUÇÃO

Desde quando o homem passou a interferir e utilizar os recursos naturais de forma descontrolada, ocorreram modificações na cobertura vegetal e no uso do solo, conseqüentemente, levando ao desequilíbrio e outros processos decorrentes da degradação ambiental. Sporn e Ross (2004) afirmam que qualquer alteração no relevo, solo, vegetação, clima e recursos hídricos, acarreta o comprometimento da funcionalidade do sistema, quebrando o seu estado de equilíbrio dinâmico.

Em função disso, torna-se cada vez mais necessário um planejamento físico-territorial, não só como foco socioeconômico, mas principalmente ambiental, tendo como consideração essencial a fragilidade das áreas nas quais houve intervenções antrópicas. Desse modo, de acordo com *apud Vasconcellos et al.* (2013) o estudo da fragilidade ambiental vem com o objetivo principal de indicar as potencialidades e limitações do uso e ocupação humana, ou seja, contribuir para o entendimento da realidade espacial, e assim, realizar possíveis intervenções na mesma.

Nesse sentido, os estudos territoriais trazem o entendimento da dinâmica de funcionamento do ambiente com ou sem as ações antrópicas ocorridas no espaço-tempo. Com o mapeamento da fragilidade ambiental é possível determinar a instabilidade do ambiente, indicando suas limitações do uso e ocupação humana, tendo como finalidade observar um espaço no qual naturalmente possui suas fragilidades e como ela se comporta após a interferência da ação humana em seu meio. Além disso, o mapeamento das fragilidades ambientais serve como um importante instrumento para o planejamento e gestão ambiental, auxiliando em tomadas de decisões para serem propostas e implantadas para o uso mais racional do território.

Como unidade de análise nos estudos de fragilidades ambientais, a bacia hidrográfica é a unidade ideal devido as suas relações com os elementos existentes e interligados que permitem fazer analogias e interpretar o funcionamento de um recorte menor do espaço (Birro, 2019). Além disso, que nos últimos vinte anos as bacias hidrográficas estão sendo estudadas para formação de reservatórios, sendo uma de suas principais finalidades a construção de usinas hidrelétricas, exigindo, geralmente, para a sua funcionalidade reservatórios de grande porte. Essa grande rede de reservatórios tem várias relações significativas com o meio econômico, hidrológico, ecológico e social, sendo necessário estudos e planejamentos iniciais e constantes.

A construção de uma hidrelétrica implica em alterações ambientais que comprometem muitas vezes o equilíbrio da composição da fauna e flora, podendo desencadear a extinção de espécies em escala local ou em alguns casos, regional, principalmente, devido ao enchimento do reservatório, sendo capaz também de ocasionar outros processos de impactos ambientais. Birro (2019), afirma que todos os elementos do espaço influenciam ou são influenciados por demais elementos, por trocas de energia e matéria, do mesmo modo ao fazermos um recorte, possibilita uma melhor uma análise destas relações em determinado espaço.

Atualmente, com o avanço da tecnologia, é possível fazer este tipo de análise a partir de monitoramentos a distância, tendo como aliado o Geoprocessamento que possui ferramenta que possibilita analisar um conjunto de elementos, a partir de dados geográficos georreferenciados juntamente com imagens de satélite, extraindo informações para estudos, verificando as evoluções espacial e temporal. Este recurso vem sendo cada vez mais utilizado, pois possibilita maior agilidade, flexibilidade e segurança em atividades de planejamento e monitoramento em espaços geográficos.

Diante do exposto, esse estudo foi realizado na Área de Influência Direta do reservatório da Usina Hidrelétrica de Corumbá IV, no estado de Goiás, na qual foi realizado o Mapeamento das áreas de fragilidades ambientais servindo como ferramenta para subsídio em ações que possam amenizar os prejuízos e riscos aos agentes da região.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Analisar as fragilidades ambientais na Área de Influência Direta da Usina Hidrelétrica Corumbá IV, em Goiás, antes e após a implantação da usina.

2.2 Objetivos Específicos

- Compilar os dados das seguintes variáveis ambientais: declividade, hipsometria, pluviometria, pedologia, geologia e geomorfologia, ajustar a escala dos dados e catalogar imagens de satélites da área;
- Analisar a fragilidade potencial e emergente da Área de Influência direta da Usina Hidrelétrica; e,
- Identificar as áreas com maior e menor grau de fragilidade ambiental.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Fragilidades Ambientais

A fragilidade ambiental de acordo com Ross (1994) é um estudo realizado a partir de uma disposição de componentes naturais ou antrópicos que constituem a área em análise. De uma maneira mais ampla, Sporl (2001) afirma que o termo fragilidade ambiental está conectado à susceptibilidade do sistema de sofrer alterações, podendo assim, entrar em colapso ao quebrar o equilíbrio existente, gerando uma possível situação de risco ambiental. Esse enfraquecimento no sistema tem como causador os processos naturais devido às ações antrópicas, considerando aspectos físicos e os vários tipos de uso do solo e cobertura vegetal sobre o ambiente (SPORL e ROSS, 2004).

Santos *et al.* (2006) define que a fragilidade ambiental é o fator de indicação das potencialidades e restrições para o uso humano de ocupação da terra na região, isto é, colaborar para o discernimento da realidade espacial local para assim, o mesmo, conseguir implementar mediações na área.

Ross (1994) compartilha deste ponto de vista ao afirmar que realizar a análise da fragilidade ambiental é recomendar uma classificação para um planejamento do ambiente, com o propósito de determinar quais os níveis de fragilidade em ambientes naturais e com desenvolvimento de atividades humanas. Ainda, descreveu a metodologia embasada na ecodinâmica de Tricart (1977), no sentido de que as trocas de energia e matéria que ocorrem no ambiente natural realizam-se pelas relações em equilíbrio dinâmico, e essas conexões são regularmente modificadas pelas interferências antrópicas, gerando condições de desequilíbrios momentâneos ou até mesmo permanentes (ROSS, 1994).

Segundo Ross (1996), a fragilidade é obtida pela análise do conjunto de parâmetros relevo, solos, clima, uso do solo e cobertura vegetal da terra, avaliando assim a morfometria (que são as formas físicas externas) do relevo através da declividade, dissecação horizontal e vertical pela drenagem, as classes da fragilidade do solo e o grau de proteção pelo meio do uso e cobertura da terra sendo esse, determinado por imagens de satélites ou fotografias aéreas.

Ross (1992) definiu que modelos de fragilidades são representados por duas Unidades Ecodinâmicas: uma estável (instabilidade potencial) e uma instável (instabilidade emergente). A vulnerabilidade natural do ambiente, considerando características físicas do meio, como, declividade, pedologia, geologia e geomorfologia, é determinada como Fragilidade Potencial

e, a constatação pela representação dos diferentes graus de proteção do solo com relação ao uso da terra e a ocupação do solo sobre o meio ambiente físico é determinada como Fragilidade Emergente.

Conforme Souza *et al.* (2020), a vulnerabilidade ambiental, é constituída da fragilidade potencial, que está interligada à fragilidade que o ambiente tem naturalmente, que mesmo ao estar em equilíbrio existe certa instabilidade potencial. De forma mais sucinta, Kawakubo *et al.* (2005) define a fragilidade potencial como a vulnerabilidade natural dos elementos físicos do meio ambiente sem ação humana.

A partir da metodologia proposta por Ross (1994) e atualizada por Crepani *et al.*, (2001), as variáveis para a fragilidade potencial foram integradas da seguinte maneira: a declividade e hipsometria, sendo as variações do terreno e de altitude respectivamente; a pluviometria como a informação da quantidade, intensidade e volume de chuvas; a pedologia para a caracterização dos tipos de solo e realização da análise da sua resistência; a geologia como parâmetro morfodinâmico da paisagem com informações das rochas; e, a geomorfologia através da dissecação do relevo.

De acordo com Ribeiro (2019) a declividade representa a variação do terreno em intervalos pré-estabelecidos de acordo com sua finalidade, refere-se à inclinação do relevo em relação ao horizonte. Crepani *et al.*, (2011) afirma que a declividade guarda uma relação direta com a velocidade de transformação da energia potencial em energia cinética, portanto, quando maior a declividade, mais rapidamente a energia potencial das águas pluviais transforma-se em energia cinética fazendo com que a velocidade das massas de água e seu transporte sejam responsáveis pela formação das erosões, o que a torna uma variável bastante útil na caracterização e delimitação de unidades geomorfológicas.

Sporl (2007) em seu trabalho, inclui as variáveis pluviométricas e afirma que informações climatológicas, como as chuvas, são fundamentalmente importantes para análise da fragilidade visto que sua ação atua diretamente na dinâmica do sistema ambiental. Quando ocorrem chuvas concentradas em curtos espaços de tempo, é um grande acelerador dos processos erosivos no local. A intensidade pluviométrica destaca-se entre as características físicas das chuvas no processo de erosão, por representar uma relação entre a pluviosidade total e a distribuição sazonal. Ela representa a quantidade de chuva num intervalo de tempo. Os valores de intensidade pluviométrica representam a erosividade da chuva, isto é, quanto maior a intensidade pluviométrica, maior a erosividade da chuva.

O solo é uma variável que, conforme Ross (1996) tem como critérios suas características resistentes aos processos erosivos, como textura, estrutura, teor das partículas e espessura dos horizontes superficiais e subsuperficiais. Esses atributos estão ligados totalmente com o relevo, a litologia, o clima e os fatores determinantes das características físicas e químicas do solo. A ponderação dos solos é atribuída de acordo com fragilidade ou erodibilidade dos solos considerando o escoamento superficial difuso ou concentrado das águas pluviais, sendo relativo às características físicas do solo.

A geologia e geomorfologia entram como variáveis de fornecimento da base física territorial, variável importante pois é onde se detectam os impactos no meio ambiente. A contribuição da Geologia para a análise e definição da categoria morfodinâmica da unidade de paisagem natural, leva em consideração onde a unidade geológica se encontra, ou seja, as informações relativas à litologia que compõe cada região (Crepani *et al.*, 2001).

O relevo, objeto de estudo da Geomorfologia, interfere no comportamento do clima da rede hidrográfica, na distribuição das formações vegetais e dos solos (ARAÚJO *et al.*, 2012). Desta forma a Geomorfologia, possui um caráter integrador entre as geociências, auxilia na compreensão na evolução têmporo espacial da paisagem pela análise de suas formas, materiais e processos (TRICART, 1977).

Christofolletti (2001) considera ainda que a avaliação e a análise das características e funcionamento dos condicionantes geomorfológicos contribuem para evidenciar as potencialidades naturais de um sistema ambiental. Sendo assim, são analisados os seguintes índices morfométricos: dissecação do relevo pela drenagem, a amplitude altimétrica e a declividade.

De acordo com Crepani *et al.*, (2001), a intensidade de dissecação do relevo pela drenagem é um condicionante ligado à permeabilidade do solo e da rocha e sua porosidade. Onde existem rochas e solos impermeáveis apresentam maior quantidade de água em superfície, pois faz com que exista uma dificuldade na infiltração das águas pluviais, portanto aumentando a sua capacidade erosiva.

Ainda de acordo com Crepani *et al.*, (2001), o indicador de energia potencial, que está relacionado com o aprofundamento da dissecação, é a amplitude altimétrica. Pois, quanto maior a amplitude altimétrica, maior é a energia potencial, o que significa que as águas das precipitações pluviais que caem sobre os pontos mais altos do terreno, adquirirão maior energia cinética em seu percurso em direção às partes mais baixas e, por isso, poderão adquirir maior fragilidade de erosão.

O cruzamento dessas variáveis, ou seja, a superposição das informações de declividade, hipsometria, pluviometria, pedologia, geologia e geomorfologia, dão origem, nesta primeira etapa, à carta de fragilidade potencial (BADE *et al.*, 2014).

Em síntese, enquanto a fragilidade potencial mostra a disposição de um ambiente com os fatores ambientais naturais, que estão em estabilidade em relação à morfogênese e à pedogênese, a fragilidade emergente caracteriza-se pela desestabilização do equilíbrio dinâmico, causada por atividades antrópicas, substituindo vegetação natural, como por exemplo, por pastagem e plantações. Sporl (2001) completa afirmando que com essa substituição ocorrendo, permite a ação dos agentes climáticos como a chuva, ao agir imediatamente nos solos expostos e assim gerar processos erosivos e perder sua qualidade de água ao unificar-se com os sedimentos erodidos.

Conforme Crispim (2011) as ações antrópicas atingem a estabilidade ambiental eminentemente e dependendo do jeito da utilização deste ambiente, o local não terá suporte para mais danos passando a sofrer perdas que não poderão mais ser revertidas. Dessa forma, para a fragilidade emergente tem-se a variável do uso e cobertura do solo que traz informações da proteção dos solos pela cobertura vegetal.

Na metodologia proposta por Ross (1994) a fragilidade emergente é obtida através da análise empírica da fragilidade potencial e das análises do uso do solo e cobertura vegetal, e de acordo com Kawakubo *et al.* (2005) para a elaboração da carta de fragilidade emergente, adicionam-se as informações adquiridas pela carta de fragilidade potencial, correlacionando-as com as informações obtidas da carta de uso da terra.

Para que essa proposta metodológica fosse aplicada no planejamento, Crepani *et al.*, (2001) apresentou uma classificação do grau de vulnerabilidade de cada unidade territorial. Nela a vulnerabilidade é expressa atribuindo os valores de 1 a 3, num total de 21 valores, para cada grau de fragilidade potencial e emergencial. Dentro desta escala, as unidades que apresentam maior estabilidade são os valores mais próximos de 1,0, as com estabilidade média são valores ao redor de 2,0, e as que possuem territórios vulneráveis com escalas mais próximas de 3,0. Sendo possível através desse procedimento metodológico elaborar cartas de fragilidade ambiental a partir de dados contendo informações básicas do meio físico natural e de uso da terra.

3.2 Impactos ambientais gerados por reservatórios de usinas hidrelétricas

De acordo com a resolução nº 001/86 do CONAMA (1986), a definição para Impactos Ambientais é como “qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, que são causadas por qualquer forma de matéria ou energia resultante das ações humanas que, direta ou indiretamente, afetam a I) saúde, a segurança, e o bem estar da população; II) as atividades sociais e econômicas; III) a biota; IV) as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; V) a qualidade dos recursos ambientais”.

Em uma outra classificação, estes impactos ambientais podem ser divididos na resolução como áreas de influências diretas e/ou indiretas. Carvalho *et al.* (2018) afirmam que a Área de Influência Direta - AID, engloba áreas em que os impactos gerados afetem diretamente o meio ambiente e/ou a sociedade, e pode abranger a área da bacia hidrográfica a qual está incluída, levando em consideração propriedades rurais e comunidades ao entorno. Para tal, com a escolha da área que será feito o estudo, dentro da AID, pode-se estabelecer um recorte menor do espaço para melhorar as análises.

Ross (2007) afirma que, tendo toda causa seu efeito correspondente, todo benefício que o homem extrai da natureza certamente terá seus malefícios. Dessa forma, parte-se do princípio de que toda ação antrópica no sistema natural causa algum impacto nos mais diferentes níveis, gerando alterações com graus diversos de agressão, muitas vezes levando ao estabelecimento de uma nova condição ambiental e/ou surgimento de processos irreversíveis.

Essa alteração, no âmbito ambiental, se inicia a partir dos rios onde conforme Albuquerque Filho *et al.* (2010), decorre do fato de que antes da instalação do reservatório, os rios comumente pertencentes a bacias hidrográficas, possuía nível d'água mais baixo que as vizinhanças e funciona como coletor da descarga de base regional dos aquíferos. Quando é construído o barramento, as águas do rio ocupam um nível mais elevado devido o seu represamento e, desse modo, a situação original sofre inversão, passando a ocorrer temporariamente a alimentação para o aquífero livre adjacente.

No entanto, neste caso, o elemento água presente nas bacias hidrográficas e no reservatório, entra como agente ativo nos processos naturais do meio físico, ocasionando reflexos no uso e ocupação do solo, principalmente aqueles que venham estabelecer nas bordas do reservatório.

Silva (1995) refere-se a bacia hidrográfica como a uma compartimentação geográfica natural delimitada por divisores de água. Este compartimento é drenado superficialmente por

um curso d'água principal e seus afluentes. Ainda de acordo com Silva (1995), a bacia hidrográfica quando atua como coletora das águas pluviais, ela é denominada de bacia de captação, e quando atua como uma região que está sendo drenada pelos cursos d'água é denominada de bacia de drenagem. Isso significa que a bacia é o resultado da interação da água e de outros recursos naturais como: topografia, vegetação e clima. Assim, um curso d'água, é o resultado da contribuição da topografia local, independente do seu tamanho, formando a bacia hidrográfica (BRIGANTE *et al.*, 2003).

A área de uma Bacia Hidrográfica é uma mistura de formas, a começar por áreas de preservação, áreas urbanas e rurais, além de atividades socioculturais. Assim, seus recursos hídricos servem desde a agricultura quanto às atividades industriais, pecuárias e de abastecimento humano, para a geração de energia elétrica e navegação (BIRRO, 2019).

A hidroeletricidade como fonte de geração de energia elétrica é uma marca da modernidade, no entanto este modelo de produção requer características ambientais específicas para sua efetivação, como as condições físicas de um ambiente que tem potencial hidráulico. Este meio de produção de energia é classificado como “energia limpa”, uma vez que provém de um recurso natural renovável (a água) e não depende de combustíveis fósseis, emitindo baixas taxas de carbono. Esse motivo aliado à abundância de recurso hídrico faz com que no Brasil cerca de 56,20% da energia produzida seja proveniente de hidrelétricas (AID, 2022). Convém salientar que mesmo as hidrelétricas sendo classificadas como uma forma de produção de “energia limpa”, elas interferem de maneira drástica no meio ambiente (INATOMI, 2013).

Albuquerque Filho *et al.* (2010) salienta que se por um lado a construção dessas obras civis grandes ou, muitas vezes, gigantescas, com seus expressivos reservatórios, propicia ao homem a estratégica energia elétrica renovável, não poluente e mais barata, ao mesmo tempo em que regulariza rios, elimina danos causados por enchentes e inundações e possibilita a implantação de corredores hidroviários e de projetos de irrigação, além de propiciar outras formas de uso dos recursos hídricos (turismo, lazer, esporte, dentre outros), por outro lado implicam intervenções que alteram o equilíbrio de todos os componentes ambientais, mesmo que adotadas medidas preventivas, corretivas ou mitigadoras para o conjunto de impactos negativos.

Müller (1995) chegou a tecer críticas a essa situação lamentando que sua implantação tem o histórico de experiências onde a civilização teve suas bases de sustentação econômica e seus valores socioculturais repentinamente solapados, mesmo que a geração de energia

hidrelétrica seja sustentável, algumas áreas atingidas para que ela fosse construída tiveram, em lugar de desenvolvimento, retrocesso insustentável.

Essa ideia de crescimento e progresso é entendida pela população afetada como a geração de empregos, novos investimentos e projeção das regiões de implantação, de modo geral, o que resta é a desestruturação das atividades preexistentes, o crescimento desordenado da população, desemprego, favelização, marginalização social, e, quase sempre, degradação ambiental (VAINER *et al.*, 1992).

De Jorge (1984) afirma que a implantação de um reservatório causa mais interferências com as condições naturais do meio físico do que qualquer outro tipo de obra civil de grande porte. Essas interferências são responsáveis por reações do próprio meio físico procurando se adaptar às novas condições existentes. As reações podem variar, ao longo do tempo, em intensidade e forma, impondo uma série de mudanças, convencionalmente chamadas de impactos.

Os impactos dos empreendimentos hidrelétricos, podem ocasionar um desequilíbrio tanto no meio físico quanto no biótico, sendo constante a extinção de espécies da fauna e flora, além de outros impactos no ambiente, como a remoção da vegetação para a área dos reservatórios e a exposição do solo, que causa suscetibilidade a processos erosivos e assoreamento dos rios (CARVALHO, 2018).

Canter (1990) aprofundou mais sobre esses impactos afirmando que a instalação da barragem poderá reter quantidades expressivas dos nutrientes que alimentam a vida aquática, resultando, também, em reduções significativas na quantidade de peixes e outros seres vivos que outrora habitavam os trechos do rio que ficaram a jusante da barragem. Albuquerque Filho *et al.* (2010) completa que as espécies da fauna terrestre sofrerão, também, sensíveis impactos como decorrência da instalação do reservatório, uma vez que serão inundados locais que propiciavam constituição de habitat, fontes de alimentação e de reprodução.

Além disso, de acordo com Albuquerque Filho *et al.* (2010) expressivas áreas de cobertura vegetal podem ser eliminadas ou afogadas a partir da inundação, condicionando também o deslocamento da fauna anteriormente ali habitada. Por outro lado, podem ocorrer proliferação de ervas aquáticas daninhas, tanto para o novo ecossistema estabelecido quanto para equipamentos da usina implantada. A decomposição da vegetação afogada pode resultar na formação de gases (metano e gás carbônico) contribuindo assim para o aumento do processo denominado de efeito estufa.

O corpo d'água formado e a sua superfície superior livre, sendo maiores do que a do antigo curso d'água, estarão submetidos mais ainda à ação dos ventos, resultando em ondas que muitas vezes impactam significativamente as bordas do reservatório, por meio de erosões nas suas encostas. Efeitos similares poderão ocorrer a partir de oscilações no nível d'água do reservatório, como decorrência do uso ou manejo adotado, ou senão, a partir de situações climáticas adversas ou naturalmente cíclicas na bacia do reservatório (ALBUQUERQUE FILHO *et al.*, 2010).

Estes impactos podem significar, em uma nova realidade, um sentido positivo e negativo, de acordo com a definição de Silva (1996), em diferentes usos e ocupação das terras estabelecidos no entorno do reservatório, assim como para novas formas de ocupação que se pretende ali implementar no futuro.

Além do mais, Birro (2019) completa que a modificação da dinâmica geomorfológica fluvial, ocasionado também pela sobrecarga sedimentar em áreas de lagos e aumento dos níveis de assoreamento dos rios, entre outros impactos, tornaram estes empreendimentos focos constantes de estudos de impactos ambientais antrópicos. Atualmente o uso dos recursos hídricos depende dos estudos de diagnósticos de qualidade ambiental. Cada ambiente, se respeitados e estudados, podem determinar o tipo de ocupação a ser feita, deste modo, podem-se evitar a evolução de processos erosivos e desastres ambientais.

Na análise aplicada ao modelo atual, apesar de considerarem os fatores endógenos, costumam-se priorizar a dinâmica dos processos exógenos do relevo, levando também em consideração que a sua morfologia preserva a maioria dos indicadores que possibilitam a reconstituição da forma original, e além disto, permitem compreender a participação da ação antrópica na alteração de suas formas (CASSETI, 1994).

Sendo assim, os projetos hidrelétricos devem ter como objetivo elevar a qualidade de vida da população promovendo o uso racional e sustentável do recurso. Para isso, a gestão ambiental deve começar nas fases iniciais do projeto, passando pela etapa de construção e continuar ao longo da vida útil da usina; a fim de minimizar os efeitos negativos e maximizar os benefícios do empreendimento (SIQUEIRA *et al.*, 2014).

3.3 Geoprocessamento como suporte ao planejamento ambiental

Na perspectiva moderna de gestão do território, toda ação de planejamento, ordenação ou monitoramento do espaço deve incluir a análise dos diferentes componentes do ambiente,

incluindo o meio físico-biótico, a ocupação humana, e seu inter-relacionamento (MEDEIROS *et al.*, 2017). Para isso, o geoprocessamento se sobressai como uma ferramenta importante de apoio. De acordo com Silva *et al.* (2014), no geoprocessamento são utilizadas técnicas computacionais e matemáticas para obter e analisar informações espaciais. Através dessas técnicas, os dados de diversos formatos e fontes são relacionados com o objetivo de gerar algum ganho de informação sobre determinado assunto.

Além de reduzir a subjetividade nos procedimentos de análise e aperfeiçoar a integração das informações do meio natural, o geoprocessamento possibilita a realização de uma análise qualitativa e quantitativa da paisagem (AQUINO *et al.*, 2013), o que, de acordo com o IBGE (2009) oferece parâmetros tão mais precisos na construção dos modelos, que hoje são imprescindíveis no controle e na prevenção dos desastres naturais e nas análises ambientais.

Com base nesses pressupostos, o geoprocessamento se torna uma alternativa mais acessível e confiável em relação ao manuseio de procedimentos técnicos e operacionais, bem como de técnicas para adquirir dados e monitoramento ambiental, visto que, a natureza e a sociedade não se encontram separados, mas em processo conjunto.

Desta maneira, pode-se inferir que as técnicas de análise espacial, introduzidas com o surgimento do geoprocessamento, foram desenvolvidas no sentido de facilitar a tarefa de integração e espacialização dos dados, especialmente, quando eles têm diferentes origens, tipos e formatos (RIBEIRO, 2019).

Aliado ao geoprocessamento, o Sistema de Informações Geográficas (SIG) são instrumentos técnicos utilizados pela Geografia que permitem mapear o espaço geográfico e de como este é construído, organizado e estruturado, traduzido na preocupação do profissional da Geografia, enquanto pesquisador, a inesgotável busca do conhecimento pelo estudo da realidade verificada. Os Sistemas de Informações Geográficas também são definidos como a junção da coleta, armazenamento, recuperação, transformação e exibição de dados espaciais para determinado objetivo, onde o real é transformado em informações geográficas digitais, em formato vetorial ou matricial (FITZ, 2008).

O estudo do Sensoriamento Remoto entra nesse momento, para ser integrado junto ao SIG, onde são necessárias imagens da superfície terrestre em diversas localidades e, dependendo do caso, em diferentes momentos e ângulos, revolucionando a topografia em grandes escalas, e gerando avanços nas geociências, engenharias, física, climatologia, topografia, entre outros campos de estudo. Uma vez que a leitura espacial em campo é

complicada, por questões técnicas e práticas, o Sensoriamento Remoto agiliza o estudo e garante uma certa confiabilidade de dados (COELHO *et al.*, 2015).

Conforme Rudorff *et al.* (2007) a grande vantagem das imagens de satélites de sensoriamento remoto é que estas são obtidas continuamente, na medida em que o satélite gira em torno da Terra e esta, por sua vez, em torno do seu eixo, de tal forma que a cada órbita o satélite obtém a imagem de uma nova faixa da superfície, até que todo o globo seja imageado e comece um novo ciclo. Estes ciclos definem a repetitividade das imagens e podem variar de um dia até quase um mês, dependendo do nível de detalhe com que o sensor a bordo do satélite observa a superfície. As imagens de satélites são apresentadas por Crepani *et al.*, (2001) como “âncoras” para o planejamento e ordenamento físico territorial, ao permitirem uma visão de conjunto da paisagem em diferentes períodos de tempo (multitemporais).

Florenzano (2005) afirma que a utilização destas imagens nos estudos geográficos oferece ao pesquisador uma visão de conjunto que combinada com trabalhos de campo proporcionam comodidade e cientificidade aos trabalhos de pesquisa. Também, de acordo com Araújo *et al.* (2012), às imagens orbitais podem auxiliar na escolha da área e das variáveis de estudo. A extração de feições pode ser feita através da interpretação visual ou com o auxílio de programas computacionais de processamento de imagens.

De acordo com Crósta (1992), o processamento digital de imagens trata das técnicas utilizadas para identificação, extração, condensação, e realce da feição de interesse para uma determinada finalidade, a partir de uma vasta quantidade de dados que compõem as imagens de satélite. O resultado desse processo é a produção de outras imagens contendo informações específicas, extraídas e realçadas a partir das imagens brutas.

Para extrair dados da representação matricial, como mapeamentos temáticos, é preciso realizar etapas de tratamento digital de imagem, tais como: pré-processamento, realce, segmentação e classificação. O pré-processamento é a etapa na qual se realizam as correções geométricas do posicionamento de objetos, além de melhorias na quantização dos dados e restauração dos pixels. O realce é aplicado para melhorar a qualidade visual da imagem, ampliando as feições da cena e os tons de cinza (MOREIRA, 2007).

Outras técnicas de processamento de imagens são a classificação e interpretação, ferramentas que darão suporte para a obtenção do uso do solo e cobertura da terra. Dentre essas técnicas, destaca-se por ser o estado da arte em classificação de imagens a técnica de Análise de Imagens Baseada em Objetos Geográficos (GEOBIA), que segundo Blaschke (2014), realiza o processo de agregação de pixels ou segmentos em regiões mediante análise de textura, cor,

tamanho e topologia. Como resultado, possibilita a análise regional da cena e ainda, a geração de banco de dados relacional, que pode ser exportado para um Sistema de Informação Geográfica, com descritores específicos (espacial, espectral e de textura), que possuem diferentes escalas e origens, e representam as regiões da imagem.

Para isso, é utilizado o processo de segmentação, que é a base do GEOBIA. Esta técnica consiste em segmentar a imagem em unidades semelhantes a pixels, transformando-a em estrutura vetorial (ARCÁDIO, 2013). A quantidade de objetos-imagem resultantes da segmentação depende do nível de abstração ou de detalhamento desejado, ela não vai envolver a classificação de cada objeto-imagem (TEDESCO, 2015). O segmentador apenas subdivide uma imagem, mas não reconhece os objetos individuais ou as relações com os demais (PRATT, 2007). A finalidade, posterior à segmentação, utilizando o método de treinamento de amostras, é associar os objetos segmentados da imagem a uma determinada feição ou classe do terreno.

A partir disso, os dados finais serão um mapeamento do uso e ocupação da terra que, de acordo com Santos (2004), são indispensáveis nas práticas de planejamento e gestão ambiental do município em diferentes escalas, auxiliando as tomadas de decisões para o zoneamento territorial. Sendo que esses dados irão retratar a influência das atividades humanas, podendo ser negativas aos elementos naturais.

Através desses estudos, será possível mapear, em termos de distribuição espacial e termos de intensidade, conforme Santos *et al.* (2010), a susceptibilidade do meio físico, considerando-se os fatores geológicos, geomorfológicos e pedológicos, e as suas respostas às pressões antrópicas. Esses estudos possibilitam visualizar os diferentes graus de fragilidade presentes no ambiente de acordo com suas características naturais, servindo como base para o conhecimento de sua adequada utilização (BADE *et al.*, 2014).

Assim, a ideia trazida pela metodologia proposta por Ross (1994) pôde propor que todos estes componentes do estrato geográfico devem ser levantados e analisados individualmente, por serem distintos, no entanto devem ser analisados de forma integrada, “calcada sempre no princípio de que a natureza apresenta funcionalidade intrínseca entre suas componentes física e bióticas” (ROSS *et al.*, 2017).

Dessa forma, para que essa visualização fosse possível, utiliza-se o mapeamento ambiental que, segundo Meyer (1991), configura-se como uma importante e inovadora estratégia didática para a compreensão do grau de interferência humana em determinado ambiente e, por conseguinte, as consequências que essa interferência acarreta aos seres vivos desse ambiente. Através de estudos feitos a partir de mapeamentos ambientais, é possível

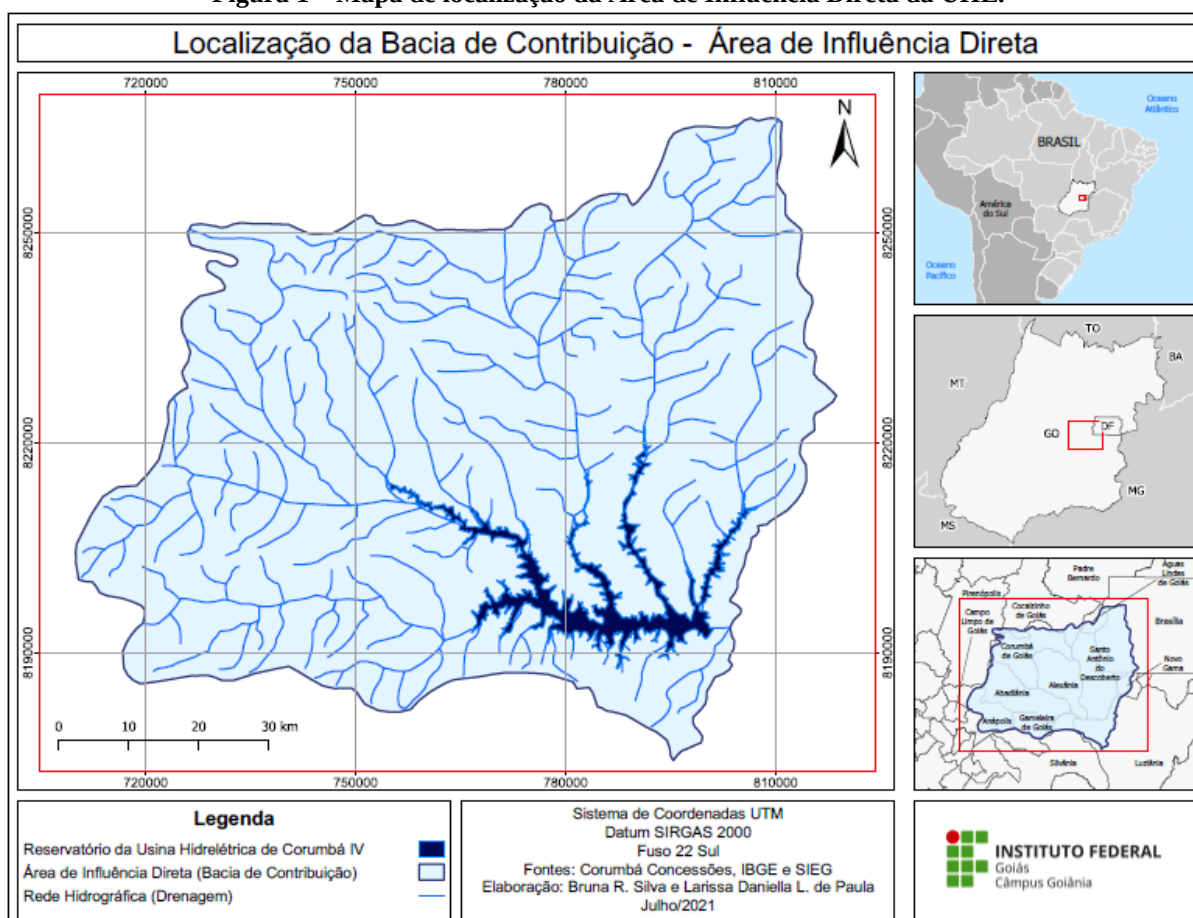
caracterizar e entender a organização de um determinado espaço, como base para o estabelecimento de fundamentos para ações e estudos futuros (MEYER, 1991). Por fim, são gerados mapas representativos, interativos e informativos da situação da região em estudo, permitindo um monitoramento detalhado do local, ao longo do tempo.

4. METODOLOGIA

4.1 Área de Estudo

Os estudos foram realizados na Bacia de Contribuição da UHE Corumbá IV, no estado de Goiás, especificamente na Área de Influência Direta (AID) da barragem (Figura 1).

Figura 1 – Mapa de localização da Área de Influência Direta da UHE.



Fonte: Corumbá Concessões, IBGE e SIEG, adaptado pelas autoras (2021).

Para o escopo do trabalho, a área de estudo foi dividida em duas análises espaciais dentro da Área de Influência Direta (AID) da barragem que comporta a UHE. A primeira se refere a AID, que abrange o espaço físico onde pode haver interferência direta da construção do empreendimento, no qual foi determinada a partir dos limites da Bacia de Contribuição da UHE de Corumbá IV, sendo esta, definida pelo projeto do Plano Ambiental feita pelo Corumbá Concessões (2011) (Figura 1). Essa área de contribuição é definida como a área da superfície do terreno que contribui com o curso d'água.

A Bacia de Contribuição possui uma área de 6.305,253 km² e um perímetro de aproximadamente 392 km e está localizada em 14 municípios que interferem na bacia hidrográfica, sendo eles: Abadiânia, Águas Lindas de Goiás, Alexânia, Anápolis, Brasília, Campo Limpo de Goiás, Cocalzinho de Goiás, Corumbá de Goiás, Gameleira de Goiás, Luziânia, Novo Gama, Pirenópolis, Santo Antônio do Descoberto, Silvânia e além de parte do território do Distrito Federal. A Tabela 1 mostra a área dos municípios afetados em quilômetros quadrados (km²) e em porcentagem, relativamente à dimensão total da bacia.

Tabela 1 – Área dos municípios afetados pela Área de Influência Direta.

Municípios	Área Afetada (km²)	Área Afetada (%)
Abadiânia	1036,576	16,44
Águas Lindas de Goiás	122,387	1,94
Alexânia	846,876	13,43
Anápolis	468,898	7,44
Brasília	819,274	13,00
Campo Limpo de Goiás	1,558	0,02
Cocalzinho de Goiás	181,584	2,88
Corumbá de Goiás	967,371	15,34
Gameleira de Goiás	291,161	4,62
Luziânia	379,101	6,01
Novo Gama	101,084	1,60
Pirenópolis	19,868	0,32
Santo Antônio do Descoberto	943,949	14,97
Silvânia	125,565	1,99
TOTAL	6.305,252 km²	100%

Fonte: As autoras.

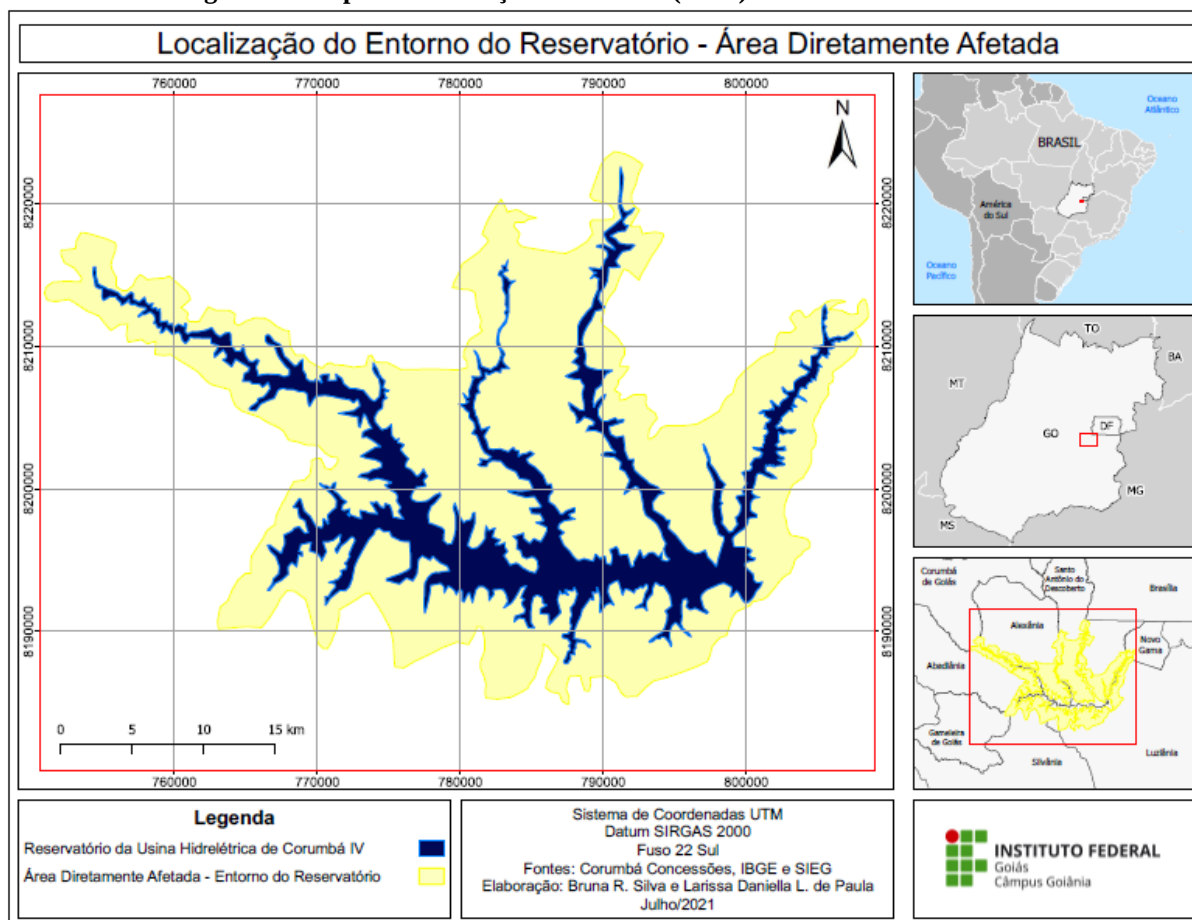
A segunda porção territorial foi realizada em um recorte espacial dentro da AID, a partir do reservatório, sendo definida pela Área de Influência Direta (ADA) do entorno da região adjacente ao lago no qual recebe de um modo mais imediato a influência das alterações ocorridas pelo reservatório da UHE de Corumbá IV.

Em ambas as áreas de estudo (AID e ADA), as áreas medidas em km² das variáveis não confrontam com a área evidenciada nesta etapa, visto que houve alterações no local do reservatório e no perímetro como áreas urbanas e etc.

Esta área também foi definida a pelo Plano Ambiental feita pelo Corumbá Concessões (2011), tendo uma área que representa 11,3% da área total da bacia de contribuição,

compreendendo 713,428 km² e um perímetro próximo de 855,2 km. O mapa da Figura 2 apresenta o recorte espacial do espaço feito dentro da área de influência direta ambiental.

Figura 2 – Mapa de localização do entorno (ADA) do reservatório da UHE.



Fonte: Corumbá Concessões, IBGE e SIEG, adaptado pelas autoras (2021).

O entorno do reservatório da ADA atinge os municípios da seguinte forma: Abadiânia (divisa leste), Alexânia (porção sul), Corumbá de Goiás (exatamente no extremo sul), Gameleira de Goiás (menor área inundada pelo reservatório, atinge a porção nordeste), Luziânia (divisa noroeste), Novo Gama (porção sudoeste), Silvânia (divisa norte) e Santo Antônio do Descoberto (maior área inundada sendo, nas divisas sul, sudeste, sudoeste e porção central). A Tabela 2 dispõe a área que é abrangida pelo entorno do reservatório em cada município atingido, em quilômetro quadrado (km²) e em porcentagem pela área total do entorno.

Tabela 2 – Área dos municípios afetados pelo entorno (ADA) do reservatório.

Municípios	Área Afetada (km²)	Área Afetada (%)
Abadiânia	85,378	11,97
Alexânia	137,951	19,33
Corumbá de Goiás	9,325	1,31
Gemeleira de Goiás	2,842	0,4
Luziânia	150,875	21,15
Novo Gama	6,532	0,91
Santo Antônio do Descoberto	55,931	7,84
Silvânia	264,594	37,09
TOTAL	713,428 km²	100%

Fonte: As autoras.

4.1.1 Caracterização Física da Área De Estudo

O rio Corumbá pertence à bacia hidrográfica do rio Paranaíba e esse, pertence a região hidrográfica do Paraná, situando-se no centro-sul do estado de Goiás. O rio Paraná, que é o segundo em extensão na América do Sul, é formado pela confluência dos rios Paranaíba e Grande. Sua bacia alcança estados como Goiás, Minas Gerais, São Paulo, Mato Grosso do Sul e Paraná, abrangendo mais de 10% do território nacional. Já a bacia do rio Paranaíba, atinge os estados de Goiás, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul e o Distrito Federal, sendo qualificada pelo valor na produção de energia hidrelétrica em âmbito nacional com presença considerável de agropecuária (CORUMBÁ CONCESSÕES, 2011).

No estado de Goiás, a bacia se destaca pela localização em algumas das principais cidades: Goiânia, Anápolis, Rio Verde, Jataí e Itumbiara. Mas há certas desvantagens nessa circunstância, ocorre o agravamento de problemas ambientais, uso e ocupação do solo desordenadas, assoreamentos de rios, perda de mata ciliar entre outros, ocorridos nos entornos das cidades grandes. O rio Corumbá é um dos rios que mais se destaca na bacia do rio Paranaíba pelo seu potencial hidrelétrico (CORUMBÁ CONCESSÕES, 2011).

4.1.2 Caracterização do Empreendimento

A Usina Hidrelétrica de Corumbá IV está implantada no rio Corumbá com um reservatório ocupando aproximadamente 173 km² e 784 km de perímetro. Nas coordenadas geográficas 16° 19' 22.15" Sul 48° 11' 4.82" Oeste encontra-se a barragem da UHE. A usina

entrou em funcionamento com as duas unidades geradoras de energia com capacidade próxima de 128 MW (apta a atender uma população de 250 mil habitantes), sendo designada ao abastecimento de uma parcela do Distrito Federal. Além da geração de energia, o reservatório é avaliado como uso múltiplo, suas águas conseguem ter mais utilidades como lazer e abastecimento humano local (CORUMBÁ CONCESSÕES, 2011).

O empreendimento da Usina Hidrelétrica Corumbá IV está localizado no estado de Goiás e seu reservatório alagado compreende apenas municípios goianos. A barragem foi estabelecida no rio Corumbá com cerca de 18 km à esquerda da rodovia GO-010, no sentido Vianópolis - Luziânia e aproximadamente com cerca de 50 km à direita da rodovia BR-060, no sentido Abadiânia - Alexânia.

Em fevereiro de 1990 deu-se início aos estudos de viabilidade ambiental e engenharia para a implantação da usina, finalizando em agosto. A partir desses estudos, foi demonstrada a viabilidade de estabelecer um aproveitamento com potência de 127 MW (Megawatt). Estudos de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental (EIA e RIMA) foram concluídos em 1999 e a Licença Ambiental foi expedida em dezembro do mesmo ano. Mas só em outubro de 2003 que foi requerida a Licença de Instalação com o IBAMA emitindo-a em setembro de 2004, liberando também a Licença de Operação somente no ano seguinte, em dezembro de 2005. Portanto, após cinco anos de construção a usina entrou em operação em 04 de abril de 2006, com apenas uma unidade gerando 64 MW, entrando a segunda unidade dias depois, completando 129,6 MW – energia suficiente para abastecer uma cidade com 250.000 habitantes (CORUMBÁ CONCESSÕES, 2011).

O enchimento total do reservatório de Corumbá IV finalizou-se em 2005 perfazendo até a inauguração da usina, com profundidade média de aproximadamente de 21 metros. O reservatório tem aproximadamente 173 km² de área inundada e um volume de capacidade total de 3,7 trilhões de litros d'água. A barragem de terra foi edificada no leito do rio Corumbá, formada de solo (terra, areia e argila), aproveitando materiais que estavam próximos ao empreendimento. Com um comprimento total de 1.290 metros, altura de 76 metros, e de largura 10 metros no topo.

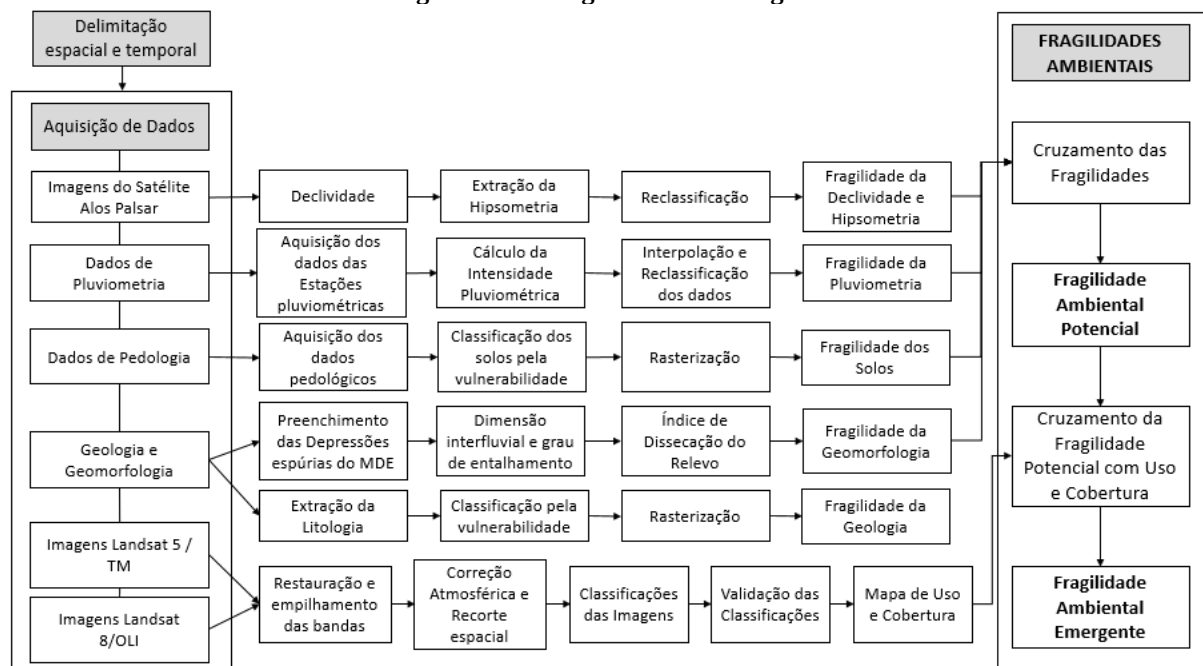
O vertedouro é utilizado para regular o nível de água no reservatório - descarregar água não utilizada para geração, possuindo três comportas metálicas com movimentos hidráulicos. A capacidade desse vertedouro é de verter mais de 2 milhões de litros de água por segundo, esse volume excedente é conduzido para retornar ao curso original do rio, à jusante da UHE. A tomada d'água é a estrutura por onde a água do reservatório é direcionada às turbinas da Usina.

E a casa de força é o local onde estão instaladas as duas unidades geradoras (com turbinas e geradores) com potência total, no qual a água do lago vai em direção da Casa de Força e a velocidade dessa locomoção movimenta a turbina que produz energia ao estar acoplada ao gerador. Por fim, tem-se a Subestação que detém de um conjunto de equipamentos elétricos com alta tensão, para interligar a energia produzida com as linhas de transmissão (CORUMBÁ CONCESSÕES, 2011).

4.2 Procedimentos Metodológicos

Os procedimentos metodológicos estão descritos no fluxograma da Figura 3.

Figura 3 – Fluxograma Metodológico.



Fonte: As autoras.

4.2.1 Aquisição de Dados

Nesta etapa foram feitas as aquisições das variáveis ambientais para geração da fragilidade potencial e emergente (Quadro 1). Para a fragilidade potencial, foram adquiridos os seguintes dados:

- Imagens de Radar do Satélite ALOS PALSAR;
- Dados Pluviométricos;

- Dados Pedológicos; e,
- Dados da Geologia e Geomorfologia.

Para gerar os dados de uso do solo e cobertura da terra foram adquiridos os seguintes dados:

- Imagens de Satélites do ano anterior ao pré-enchimento do reservatório (2004); e,
- Imagens de Satélite atual (2020).

Quadro 1 – Aquisição de Dados.

Aquisição de Dados			
	Variável	Fonte	Observação
Fragilidade Potencial	Modelo Digital de Elevação – Satélite Alos Palsar	ASF - <i>Alaska Satellite Facility</i>	Resolução Espacial de 12,5 metros
	Dados de Estações Pluviométricas	ANA - Agência Nacional da Água	Precipitação total em dados mensais, com números de dias com chuva
	Dados Pedológicos - Solos	SIEG - Sistema Estadual de Estatísticas e Informações Geográficas de Goiás	Escala 1/250.000
	Dados Geológicos	Serviço Geológico do Brasil - CPRM	Escala 1/1.000.000 com informações litológicas
Fragilidade Emergente	Imagens Satélite Landsat 5 - TM	USGS - <i>Earth Explorer</i>	Resolução Espacial de 30 metros
	Imagens Satélite Landsat 8 - OLI		

Fonte: As autoras.

4.2.2 Declividade

Os dados de Declividade foram gerados a partir de imagens do modelo digital de elevação do Radar ALOS/PALSAR, disponibilizada com a correção do terreno. Antes de gerar a declividade, esse dado foi reprojetoado para o sistema de referência utilizado no projeto, Datum SIRGAS2000 Zona 22 Sul. Com a imagem reprojetoada, a fim de obter a declividade a partir do MDE, foi gerado a declividade em porcentagem para que fosse possível realizar a medida de classes e identificar qual a porcentagem de inclinação do terreno é predominante na área de estudo.

Para obtenção da fragilidade da declividade, de acordo com a metodologia baseada em Crepani *et al.*, (2001), apresentado no Quadro 2, foi adotado o intervalo de declividade

associado as características e valores de fragilidade potencial para a análise do relevo, a fim de auxiliarem na identificação das áreas de maior e menor vulnerabilidade.

Quadro 2 – Classes de Fragilidade da Declividade.

Classes Hierárquicas			
Grau de Fragilidade	Classes Morfométricas	Variação em %	Relevo
1,0	Muito Baixa	< 2 %	Plano
1,5	Baixa	de 2 a 6 %	Suave Plano
2,0	Média	de 6 a 20 %	Suave Ondulado
2,5	Alta	de 20 a 50 %	Ondulado
3,0	Muito Alta	> 50 %	Forte Ondulado

Fonte: Crepani *et al.*, (2001), adaptado pelas autoras (2021).

4.2.3 Hipsometria

A representação de um mapa hipsométrico mostra a variação de altitude na área de estudo em relação ao nível do mar, o qual a altitude é zero. O dado de hipsometria foi gerado a partir do modelo digital de elevação, o MDE. Para a construção desse mapa não há convenções estabelecidas para o agrupamento das curvas, sendo mais significativo uma análise topográfica na área do que seguir regras gerais (SPORL, 2007). Desta forma, considerou-se o relevo da área de estudo, a amplitude altimétrica de aproximadamente 600m de diferença, sendo de 763 m a 1.330 m.

Sendo assim, para a hipsometria da área de estudo, ficou as seguintes classes altimétricas a fim de representar os valores de altitude:

- < que 800 metros
- de 800 a 900 metros
- de 900 a 1.000 metros
- de 1.000 a 1.100 metros
- de 1.100 a 1.200 metros
- de 1.200 a 1.300 metros
- > que 1.300 metros

Consequente a isso, para gerar a fragilidade da hipsometria realizou-se o processo de reclassificação, e para manter-se na proposta de Crepani *et al.*, (2001) foi necessário fazer uma adaptação no qual diminuiu o intervalo entre as altitudes apresentadas acima para adaptar as altitudes às escalas de vulnerabilidade como mostra o Quadro 3, a seguir.

Quadro 3 – Classes de fragilidade da hipsometria.

Variação da Hipsometria em Metros (m)	Grau de Fragilidade
de 763 a 875	1,0
de 875 a 988	1,5
de 988 a 1.100	2,0
de 1.100 a 1.214	2,5
de 1.214 a 1.330	3,0

Fonte.: As autoras.

4.2.4 Pluviometria

Como fatores decisivos no processo de intemperismo de rochas e solos, a distribuição e a intensidade das chuvas ao longo do ano se tornam variáveis indispensáveis para a análise da fragilidade ambiental. Os dados climáticos adquiridos no site da ANA - Agência Nacional da Água foram obtidos para calcular o valor da intensidade pluviométrica, que são de acordo com Crepani *et al.*, (2001) representantes de valores de energia potência disponível para transformar-se em energia cinética responsável pela erosividade da chuva, sendo calculado dividindo-se o valor da pluviosidade média anual (em mm) pela duração do período chuvoso (em meses), conforme a equação 1

$$\text{Intensidade Pluviométrica} = \frac{\text{Precipitação Média Anual}}{\text{Número de Dias com Chuva} / 30 *}$$

Eq. 1

*O número de dias com chuva é transformado em meses dividindo-se seu total por 30.

Sendo assim, foram utilizados os dados de 7 estações pluviométricas dentro da área de estudo, no qual foram extraídos os valores de precipitação média mensal e de duração do período chuvoso e a partir disso, foram realizados os seguintes procedimentos para os anos de 2004 e 2020:

- Para cada estação foi calculado os valores da precipitação média de todos os meses dos anos e posteriormente fazendo a somatória para obter precipitação média anual (mm) **[P.M.A]**;
- Para o número de dias de chuvas, foi feito o somatório de todos os dias que choveu no ano todo, e esse valor foi transformado em meses dividindo por 30 **[N.D.C./30]**;
- Por fim, foi calculado a intensidade pluviométrica de cada estação a partir da equação 1 **[I.P.]**.

Após obtidos a Intensidade pluviométrica de todas estações para os dois anos, a partir das coordenadas geográficas foi possível definir a localização de cada estação, que são dados disponibilizadas junto com os dados pluviométricos, e nele foram feitos os procedimentos a seguir para obtenção do mapa de fragilidade pluviométrica, para ambos os anos:

- Para especializar os dados de pontos, dentro da tabela de atributos do *shapefile* foi criado um campo para colocar os valores de intensidade pluviométrica calculado para cada estação;
- Após preenchido os valores, foi feita interpolação pelo método IDW (*Inverse Distance Weighting*) desse dado levando em consideração o campo criado com os valores de Intensidade Pluviométrica;
- Com os dados interpolados, foi feita a reclassificação, aplicando os valores conforme o Quadro 4.

Quadro 4 – Valores de precipitação média mensal e anual, número de dias com chuva e valores de intensidade pluviométrica calculados para cada estação pluviométrica.

DATA		ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS – Precipitações em (mm)						
ANO	MÊS	Descoberto	Gama ETE Alagado	Goianápolis	Macacos - Cidade Eclética	Pirenópolis	Ponte Anápolis-Brasília	Taguatinga - ETA RD
2004	Jan	387,8	472,9	376,9	353,9	474,8	305,5	368,9
	Fev	420,4	348,1	300,8	419,6	352,2	343,0	363,1
	Mar	265,2	171,8	308,6	226,0	273,3	165,1	291,9
	Abr	154,4	85,4	108,4	138,8	182,6	153,1	113,7
	Mai	17,6	0,0	18,7	10,1	44,1	15,4	0,0
	Jun	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Jul	1,8	0,0	9,9	0,0	4,0	1,0	0,0
	Ago	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Set	4,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0
	Out	208,6	103,0	185,5	74,3	254,1	192,4	65,7
	Nov	72,0	179,3	189,7	66,3	173,8	178,0	156,0
	Dez	221,6	226,3	313,1	215,6	249,0	254,5	249,5
2020	Jan	405,9	360,0	337,1	444,0	315,8	368,9	352,1
	Fev	234,2	239,5	427,6	199,1	216,0	346,2	273,5
	Mar	374,3	257,9	209,5	146,5	304,4	189,4	274,6
	Abr	245,2	228,1	82,2	30,9	168,7	166,9	253,1
	Mai	1,7	14,0	2,8	5,0	5,4	13,5	2,0
	Jun	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Jul	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Ago	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Set	35,4	27,8	4,5	12,0	22,0	10,6	31,7
	Out	162,2	256,9	125,1	12,1	158,6	85,0	147,2
	Nov	135,7	131,3	174,0	203,9	128,5	255,2	176,1
	Dez	119,2	283,4	341,7	278,7	182,8	369,0	176,7
2004	P.M.A (mm)	1754,0	1586,8	1811,6	1504,6	2007,9	1608,0	1612,8
	N.D.C	136	107	125	99	148	123	136
	N.D.C. / 30	4,5	3,6	4,2	3,3	4,9	4,1	4,5
	I.P. (mm/dia)	386,9	444,9	434,8	455,9	407,0	392,2	355,8
2020	P.M.A (mm)	1713,8	1798,9	1704,5	1332,2	1502,2	1804,7	1687,0
	N.D.C	127	109	113	113	147	137	122
	N.D.C. / 30	4,2	3,6	3,8	3,8	4,9	4,6	4,1
	I.P. (mm/dia)	404,8	495,1	452,5	353,7	306,6	395,2	414,8

Fonte: Agência Nacional da Água, adaptado pelas autoras (2021)

A partir da escala de fragilidade, pode-se dizer que quanto maior os valores da intensidade pluviométrica, maior é a erosividade da chuva. No Quadro 5 abaixo, estão os valores de Intensidade Pluviométrica classificadas na área de estudo para os anos de 2004 e 2020.

Quadro 5 – Níveis Hierárquicos Pluviométricos na área de estudo.

Intensidade Pluviométrica (mm/mês)	Grau de Fragilidade
300 - 325	2,1
350 - 375	2,3
375 - 400	2,4
400 - 425	2,5
425 - 450	2,6
450 - 475	2,7
475 - 500	2,8

Fonte: Crepani *et al.*, (2001), adaptado pelas autoras (2021).

4.2.5 Pedologia

Os dados de pedologia correspondem às informações da distribuição geográfica e dos diferentes solos existentes na área de estudo.

Para o uso dos dados pedológicos, em primeiro plano, foi feita uma relação do mapeamento dos solos existente no dado adquirido, que são os tipos de solos presente na área de estudo, com o grau de fragilidade a partir da metodologia de Crepani *et al.*, (2001), conforme mostra no Quadro 6.

Quadro 6 – Classes de Fragilidade dos Solos na Área de Estudo.

Classe de Solo Área de Estudo	Grau de Fragilidade
Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico	1,0
Latossolo Vermelho Distrófico	1,0
Latossolo Vermelho Ácrico	1,0
Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico	2,0
Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico	2,0
Cambissolo Háplico Distrófico	2,5
Neossolo Litólico Distrófico	3,0

Fonte: Emater (2017), adaptado pelas autoras (2021).

4.2.6 Geomorfologia

Para a variável de Geomorfologia, o índice de dissecação do relevo foi feito para fins de análise morfométrica, no qual foi considerado o grau de entalhamento do vale e a dimensão interfluvial média.

Inicialmente, através do polígono da área de estudo, foi aplicado a ele um *buffer* de 5 km, para que obtivesse uma margem de segurança, pois algumas ferramentas que foram

utilizadas necessitam dos valores dos pixels vizinhos, e essas áreas situadas nas bordas se encontram mais sujeitas a erros e ruídos.

Utilizando o MDE do Alos-Palsar e o *buffer* criado, foi feito um recorte espacial para que todo o procedimento feito fosse a partir deste raster com a margem de segurança. Para que as depressões espúrias fossem preenchidas, ou seja, criou-se um MDE sem depressões, preenchido os pixels “defeituosos”.

Para o mapeamento do grau de entalhamento dos vales, definido também como Dissecação Vertical, que representa quantos metros o pixel está abaixo do pico situado na mesma região altimétrica, foi feito a inversão do MDE corrigido multiplicando-o por -1, trazendo as bases para o topo. Pra isso, foi feito a multiplicação do raster por -1, gerando como resultado um raster onde os picos são transformados em depressões. Em seguida, a partir do MDE invertido foi criado uma camada em formato raster onde cada pixel corresponde a um pico do MDE original.

Por fim, foi gerado um produto no qual algumas áreas ficaram sem informação, desse modo, como resultado final do mapeamento do grau de entalhamento dos vales, obteve-se um dado raster com essas áreas preenchidas.

O mapeamento da dimensão interfluvial média, definida também como dissecação horizontal, foi dado a partir da delimitação de bacias dentro da área estudada, sendo assim, foi gerado o raster de direção de fluxo obtendo como resultado a dimensão interfluvial média de cada bacia que foi calculada a partir da distância euclidiana média entre os divisores de água, obtendo o raster de limites das microbacias.

Posteriormente, este raster foi convertido para o formato vetorial e nele foi necessário atribuir os dados de amplitude altimétrica do grau de entalhamento dos vales, gerando um campo dentro da tabela de atributos no qual esses valores foram considerados aos valores da dissecação vertical dessas bacias. Ainda, para calcular a dissecação horizontal, foi calculado de forma automatizada a área em m², o perímetro das meias-bacias e, a partir dos valores obtidos foi calculado o comprimento das bacias (eq. 2) e a largura média das bacias (eq. 3). Os valores da largura média vão ser equivalente aos valores utilizados para a dissecação horizontal.

$$\text{Comprimento da Bacia} = \frac{\text{Perímetro}}{2} \quad \text{Eq. 2}$$

$$\text{Largura Média da Bacia} = \frac{\text{Área}}{\text{Comprimento da Bacia}} \quad \text{Eq. 3}$$

Com a declividade reclassificada, seus valores de mínimo e máximo variam apenas de 1 a 3 conforme a proposta feita por Crepani *et al.*, (2001). Por fim, utilizando os dados de dissecação vertical e da dissecação horizontal gerados juntamente com os dados de declividade, a partir de álgebra de mapas, gerou o Índice de Dissecação do Relevo (IDR) de acordo com a equação 4.

$$\text{Índice de Dissecação do Relevo (IDR)} = \frac{\text{Dissecação Vertical} + \text{Dissecação Horizontal} + \text{Declividade}}{3} \quad \text{Eq. 4}$$

A seguir, no Quadro 7 estão descritos os graus de fragilidade da amplitude interfluvial para a classificação da fragilidade do IDR.

Quadro 7 – Classes de Fragilidade para a intensidade de dissecação do relevo (IDR).

Amplitude do Interflúvio (m)	Grau de Fragilidade	Amplitude do Interflúvio (m)	Grau de Fragilidade	Amplitude do Interflúvio (m)	Grau de Fragilidade
> 5000	1,0	3250 - 3500	1,7	1500 - 1750	2,4
4750 - 5000	1,1	3000 - 3250	1,8	1250 - 1500	2,5
4500 - 4750	1,2	2750 - 3000	1,9	1000 - 1250	2,6
4250 - 4500	1,3	2500 - 2750	2,0	750 - 1000	2,7
4000 - 4250	1,4	2250 - 2500	2,1	500 - 750	2,8
3750 - 4000	1,5	2000 - 2250	2,2	250 - 500	2,9
3500 - 3750	1,6	1750 - 2000	2,3	< 250	3,0

Fonte: Crepani *et al.*, (2001), adaptado pelas autoras (2021).

4.2.7 Geologia

Os dados da variável geologia foram obtidos na escala de 1/1.000.000, onde havia todas as informações litológicas, que são indispensáveis no estudo da fragilidade ambiental de um local. O termo litologia geralmente é referido ao estudo das rochas e suas camadas no processo de litificação, estando relacionada com a rocha que irá formar o solo. Foi necessário utilizar esse dado de geologia em escala menor devido a ser o único dado com as informações litológicas de toda a área de estudo.

Entretanto, anteriormente a essa decisão, foi gerado uma interpolação para que fosse possível modificar a escala do dado original. Para a geração do dado interpolado, inicialmente obteve-se os centroides dos polígonos de geologia, depois, foi experimentado o interpolador IDW que emprega o inverso da distância para a interpolação e também a krigagem que é um método de regressão usado na geoestatística para interpolar dados.

Oteve-se um resultado no qual não poderia condizer com a realidade, e em consequência disso, caso fosse utilizado esse produto, seria possível que ocorresse a interferência de MAUP (*Modifiable Areal Unit Problem*), que são os problemas decorrentes das distintas formas de delimitar as unidades espaciais. Maiores detalhes em BOGGIONE *et al.*, (2017).

Além disso, não foi encontrado em literaturas científicas comprovações que garantisse que a interpolação realizada nesse tipo de dado tivesse um resultado satisfatório. Portanto, no Quadro 8 estão listadas as classes de litologias presentes na área de estudo e seus respectivos graus de vulnerabilidade que foram estabelecidas a partir da metodologia de Crepani *et al.*, (2001) e, a partir desses dados foi gerado o mapa de fragilidade da variável geologia.

Quadro 8 – Classes de Fragilidade da Geologia - Litologia.

Classes de Geologia Área de Estudo	Grau de Fragilidade
Aglomerado, Areia, Argila, Laterita	1,0
Quartzito	1,1
Metagranito, Metagranodiorito	1,1
Metagranito, Metatonalito	1,1
Gnaisse, Gondito, Mármore, Rocha calcissilicática	1,3
Charnockito, Serpentinó, Talco xisto, Metagabro, Metanorito, Metapiroxenito	1,7
Clorita xisto, Xisto, Muscovita-biotita xisto	1,7
Serpentinó, Talco xisto	1,7
Xisto	1,7
Sericita filito carbonoso	2,1
Filito	2,1
Metassilito, Mármore, Filito	2,1
Metassilito, Sericita filito carbonoso, Argilito	2,1
Filito, Mármore, Metassilito	2,1
Mármore, Rocha calcissilicática, Quartzito-mica xisto, Metabasalto, Metagabro, Metaperidotito, Metatufo	2,3
Conglomerado oligomítico, Laterita	2,5
Metargilito, Metassilito	2,7
Silito argiloso, Metassilito	2,7

Fonte: Crepani *et al.*, (2001), adaptado pelas autoras (2021).

4.2.8 Fragilidade Potencial

Os mapas de Fragilidade Potencial foram obtidos através da sobreposição dos mapas de fragilidade de cada uma das variáveis: declividade, hipsometria, pedologia, geologia, geomorfologia e pluviometria (para os anos de 2004 e 2020). A álgebra de mapas foi calculada conforme está descrito na Equação 5.

$$\text{Fragilidade Potencial} = \frac{(\text{Declividade} + \text{Hipsometria} + \text{Pedologia} + \text{Geologia} + \text{Geomorfologia} + \text{Pluviometria})}{6} \quad \text{Eq. 5}$$

4.2.9 Uso do Solo e Cobertura Vegetal

Para gerar o mapa de uso do solo e cobertura vegetal, utilizou-se como base duas imagens do Satélite Landsat 5 Sensor TM, adquiridas nos dias 04-07-2004 e 11-07-2004, e duas imagens do Satélite Landsat 8 Sensor OLI, adquiridas 16-07-2020 e 23-07-2020, ambas com resolução espacial de 30 metros e foram obtidas no site da *USGS Earth Explore*.

Na sequência, foi necessário fazer o pré-processamento das imagens para posteriormente ser feito a classificação, para ambos satélites. Em primeiro lugar, foi feito a restauração de cada banda para que em seguida fosse feito o empilhamento das bandas. Para as imagens Landsat 5, foram empilhadas as bandas espectrais no intervalo do azul (1), verde (2), vermelho (3), infravermelho próximo (4), e bandas do infravermelho médio (5 e 7) e para as imagens do Landsat 8 as bandas do azul (2), verde (3), vermelho (4), infravermelho próximo (5), e bandas do infravermelho médio (6 e 7).

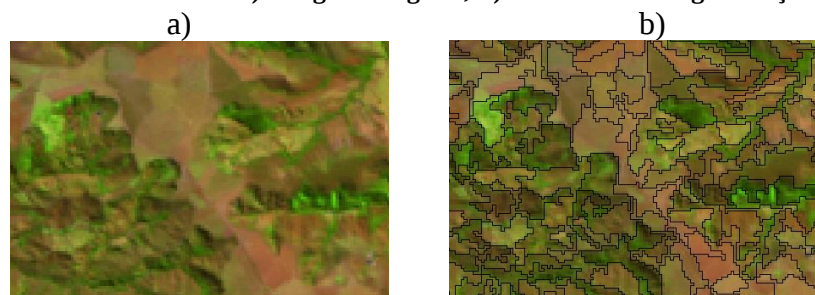
Como etapas finais do pré-processamento, foram feitas as correções atmosféricas de cada imagem, o mosaico de cada par de imagem, e o recorte a partir da área de estudo.

A classificação dos espaços ocupados, chamados de uso do solo e cobertura vegetal consiste em buscar o conhecimento das áreas que são ocupadas pelo o homem. Sendo assim, o uso da terra foi dividido em 5 classes de usos: água, áreas de infraestruturas, vegetação, pastagem e agricultura.

Para a classificação GEOBIA, foi usado uma ferramenta de mineração de dados chamado GEODMA (*Geographical Data Mining Analyst*). Nessa ferramenta, foi feito a

segmentação de ambas as imagens usando como parâmetros de entrada 50 para o tamanho mínimo do pixel e 0,010 de similaridade (Figura 4).

Figura 4 – Dados de Entrada: a) Imagem Original; b) Resultado da Segmentação de (a).



Fonte: As autoras (2021).

Antes de começar a etapa da classificação, foi elaborada uma “chave de interpretação”, contendo atributos característicos dos alvos a serem selecionados por cada classe temática, descritas no Quadro 9, a seguir:

Quadro 9 – Características das classes amostrais de treinamento.

Classes	Descrição	Amostras	Cor / Legenda
Agricultura	Áreas de culturas com preparo do solo e plantações: soja, cana-de-açúcar, lavouras temporárias e etc.		
Água	Corpos d'água: rios, lagos e lagoas		
Áreas de Infraestrutura	Edificações de área urbanizada, estradas pavimentadas e áreas não vegetadas		
Pastagem	Vegetação rasteira, naturais e melhorados, onde o gado pasta (pastagem e mosaico de pastagem)		
Vegetação	Formação Florestal; Formação Savânica; Formação Campestre; Floresta Plantada		

Fonte: As autoras (2021).

A partir disso, foi utilizado o algoritmo chamado de “árvores de decisão” para o treinamento das amostras. Para cada classe foi coletado 50 regiões amostrais, para que cada classe fosse mapeada para o tema definido. Em seguida, após o algoritmo analisar os dados, as regiões foram classificadas.

Depois das imagens classificadas serem convertidas para cada categoria temática, foram transformadas de vetor para raster. Posteriormente foi reclassificada de acordo com o Quadro 10, obtendo o mapa de fragilidade do uso do solo e cobertura vegetal.

Quadro 10 – Classes de fragilidade do uso da terra e cobertura do solo.

Classes	Grau de Fragilidade	
Agricultura	2,5	Alto
Água	1,0	Muito Baixo
Área de Infraestrutura	3,0	Muito Alto
Pastagem	2,0	Médio
Vegetação	1,0	Muito Baixo

Fonte: Adaptado de Crepani *et al.*, (2001), adaptado pelas autoras (2021).

Para a validação dos mapas de uso do solo e cobertura vegetal foram coletados 210 pontos amostrais aleatórios dentro da área de estudo, e a partir destes pontos foram feitas associações das classes temáticas em relação a imagem de alta resolução para seus respectivos anos, sendo estas imagens utilizadas como verdade terrestre e referência para validar a classificação. De forma automatizada, foram realizados os cálculos dos parâmetros estatísticos: exatidão global e índice de concordância de Kappa.

O índice de exatidão global apresenta a porcentagem da área do mapa que foi classificada corretamente em relação a verdade de campo, segundo Brites (1996), o índice de exatidão global superestima a classificação e sempre resultará em valores mais altos do que os outros índices.

Segundo Cohen (1960), o índice de kappa é uma medida de concordância no qual fornece a ideia do quanto às observações podem se afastar daquelas esperadas, fornecendo assim a porcentagem do quão verídico são as interpretações, considerando precisões importantes dentro de uma matriz de erro.

Por fim, a qualidade dos resultados obtidos do índice de kappa foram classificados a partir da distribuição adotada por Landis e Koch (1977) de acordo com o Quadro 11.

Quadro 11 – Níveis de exatidão e avaliação do índice Kappa.

Índice Kappa	Qualidade
0,0 a 0,2	Ruim
0,2 a 0,4	Razoável
0,4 a 0,6	Bom
0,6 a 0,8	Muito Bom
> 0,8	Excelente

Fonte: Adaptado de Landis e Koch (1977).

4.2.10 Fragilidade Emergente

Os mapas da fragilidade emergente (2004 e 2020) da AID do reservatório da UHE de Corumbá IV foram gerados a partir do cruzamento do mapa de fragilidade potencial e o mapa de uso do solo e cobertura vegetal da área de estudo, ambos referentes aos anos de 2004 e 2020.

$$\text{Fragilidade Emergente} = \frac{\text{Fragilidade Potencial} + \text{Uso do Solo e Cobertura Vegetal}}{2} \quad \text{Eq. 6}$$

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os produtos cartográficos empregados na análise da fragilidade ambiental potencial e emergente foram, mapa de fragilidade da declividade e hipsometria, mapa de fragilidade da pedologia, mapa pluviométrico representando os dados de precipitações médias anuais para o ano de 2004 e 2020, mapa da fragilidade da geologia, mapa da fragilidade da geomorfologia e o mapa de fragilidade do uso da terra e cobertura vegetal, sendo este último para os anos de 2004 e 2020.

A seguir, são mostradas as produções cartográficas empregadas para a análise da fragilidade ambiental potencial e emergente na área de estudo e suas respectivas fragilidades sendo representadas em escalas iguais de fragilidade e especializadas de acordo com a metodologia de Crepani *et al.*, (2001) em graus de fragilidade ambiental baixa, muito baixa, média, alta e muito alta conforme mostra o Quadro 12.

Quadro 12 - Graus de Fragilidades e seus Intervalos Numéricos.

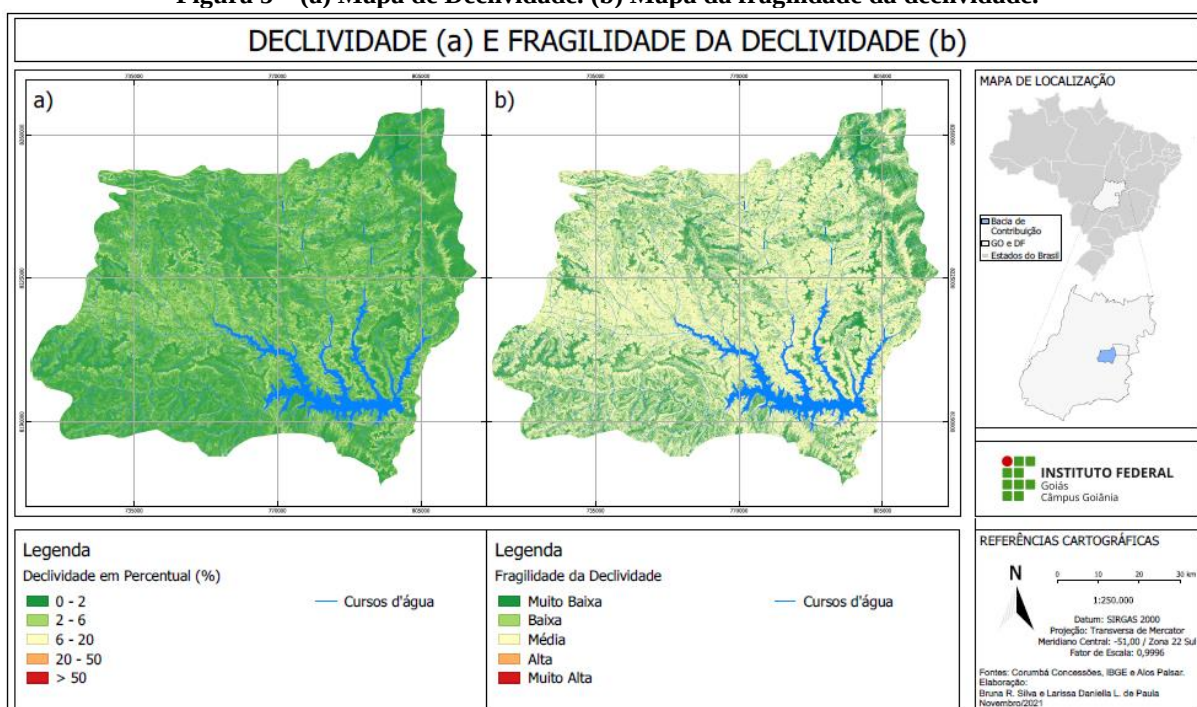
Grau Fragilidade	Intervalo
Muito Baixa	1,0 - 1,4
Baixa	1,4 - 1,8
Média	1,8 - 2,2
Alta	2,2 - 2,6
Muito Alta	2,6 - 3,0

Fonte: Adaptado de Crepani *et al.*, (2001).

5.1 Declividade

Na Figura 5-a está o mapa de declividade, note que a classe de 6 a 20% (relevo suave ondulado) foi a predominante dentro da área de estudo. Além disso, o mapeamento da declividade na AID mostrou que ela apresenta também áreas com baixas inclinações, variando de 0 a 6% e o intervalo que apresenta menor representatividade são os relevos com características ondulado e forte ondulado, com variação > 20% abrangendo uma área com presença de morros e colinas.

Figura 5 – (a) Mapa de Declividade. (b) Mapa da fragilidade da declividade.



Fonte: Adaptado de Alos Palsar (2021).

A classe de declividade entre 6 a 20% predominam na área, ocupando 59,75% da área, avaliada como risco médio de grau de fragilidade de acordo com a metodologia de Crepani *et al.*, (2001). O intervalo de 0 a 6% abrangendo juntas 26,92% da área total, apresentou a vulnerabilidade muito baixa e baixa (Figura 5-b). As demais classes, alta e muito alta, somam 13,34% e encontram-se espalhadas dentro da área. Na Tabela 3 mostra o quantitativo das áreas em quilômetros quadrados e porcentagem em relação ao grau de fragilidade classificada.

Tabela 3 – Área e percentual da variável declividade.

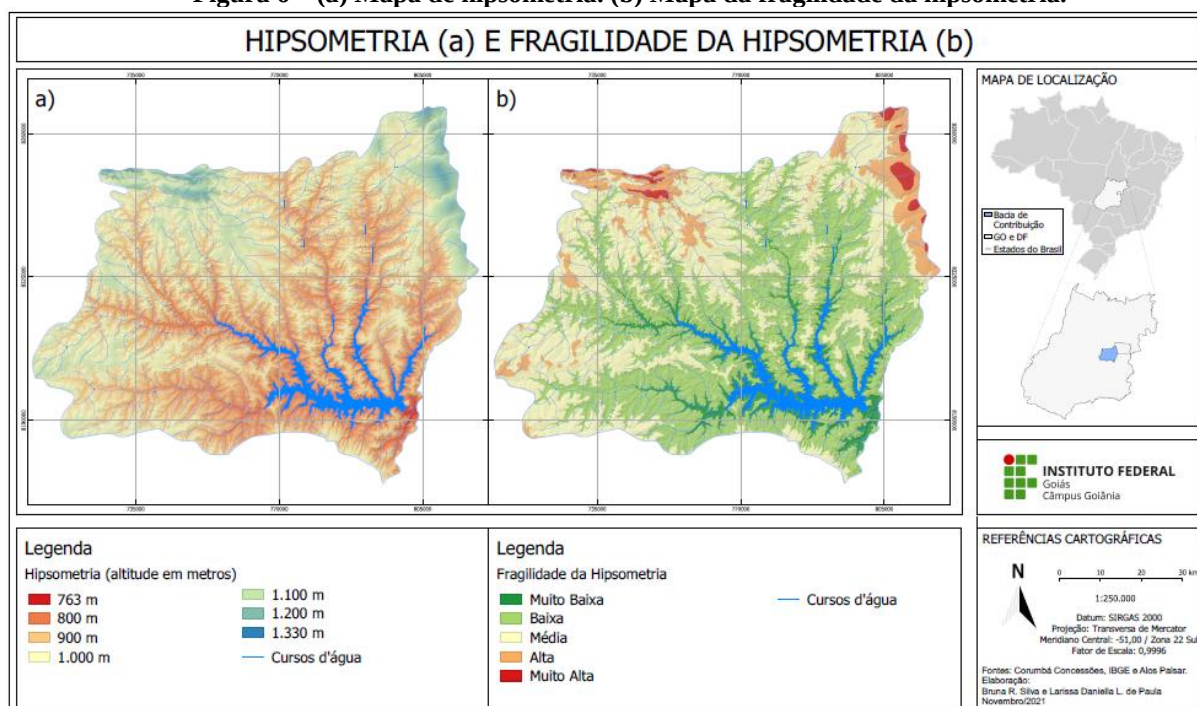
Grau de Fragilidade	Área (km ²)	Percentual (%)
Muito Baixa	204,47	3,33
Baixa	1.449,72	23,59
Média	3.672,48	59,75
Alta	811,16	13,20
Muito Alta	8,73	0,14
TOTAL	6.146,57	100,00

Fonte: As autoras.

5.2 Hipsometria

O mapa da hipsometria da AID do reservatório da UHE de Corumbá IV (Figura 6-a), mostra que dentro da área de estudo a altitude varia entre 763 à 1.330 metros, sendo que as extremidades mais distantes do reservatório possuem maiores altitudes, e o reservatório e sua bacia de contribuição estando presentes nas áreas com menores altitudes.

Figura 6 – (a) Mapa de hipsometria. (b) Mapa da fragilidade da hipsometria.



Fonte: Adaptado de Alos Palsar (2021).

Para a fragilidade da variável hipsometria (Figura 6-b) foram classificadas 5 classes de vulnerabilidade (Tabela 4), tendo como grau de baixa e muito baixa fragilidade a maior área

com 53,74%, estando presentes ao longo do curso d'água da bacia de contribuição do reservatório. Como segunda maior área classificada, o grau de média fragilidade com 37,13% representando uma categoria no qual se encontra bem espalhada dentro da área de estudo.

As áreas com os graus de muito alta e alta fragilidade são encontradas com maior evidência ao nordeste e ao noroeste da bacia de contribuição. Com uma variação de 1.100m a 1.330m de altitude e uma porcentagem de aproximadamente 9% no total, tendo como justificativa essas altitudes a presença de morros e montanhas com relevo bem acentuado. À nordeste, o relevo tem uma considerável elevação, ao comparar com o sul da bacia. Entretanto, à noroeste o que justifica as altas altitudes é a presença do Salto de Corumbá, que é um parque natural do cerrado goiano que contém inúmeras cachoeiras e estando englobando uma parte do Parque Estadual dos Pirineus, na Serra dos Pirineus, o que confirma a presença de altitudes elevadas.

Tabela 4 – Área e percentual da variável hipsometria.

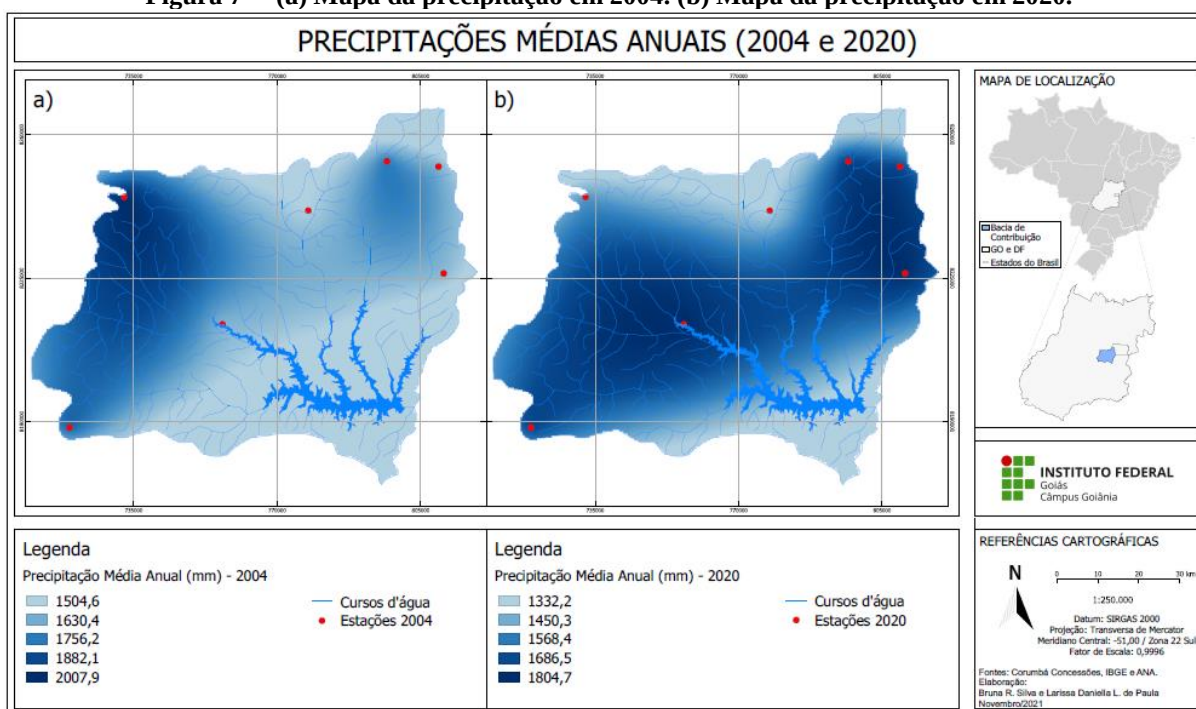
Grau de Fragilidade	Área (km²)	Percentual (%)
Muito Baixa	623,67	9,87
Baixa	2.770,98	43,87
Média	2.345,21	37,13
Alta	496,16	7,86
Muito Alta	80,13	1,27
TOTAL	6.316,16	100,00

Fonte: As autoras.

5.3 Pluviometria

A Intensidade Pluviométrica calculada para AID, foi baseada na interpolação dos dados de precipitação média anual entre 1.504,6 mm à 2.007,9 mm para o ano de 2004 e 1.332,2 mm à 1.804,7 mm para o ano de 2020 (Figura 7). As chuvas são distribuídas normalmente em 7 meses chuvosos entre os meses de outubro a abril, e 5 meses de estiagem entre os meses de maio a setembro. Sendo que os meses com maior concentração são janeiro e fevereiro com precipitações oscilando entre 199,1 mm e 474,8 mm considerando os dois anos. Entretanto para os anos estudados, em 2004 os meses de junho e agosto foram os que não tiveram nenhuma precipitação durante o ano, e para 2020 foram os meses de junho, julho e agosto.

Figura 7 – (a) Mapa da precipitação em 2004. (b) Mapa da precipitação em 2020.



Fonte: Adaptado de ANA (2021).

Na escala de fragilidade adotado por Crepani *et al.*, (2001), a intensidade pluviométrica apresentada para os dois anos varia de 2,3 a 2,8. Este resultado indica que a AID apresenta o grau de fragilidade alta e muito alta para o ano de 2004, representando 98,95% e 1,05%, respectivamente. E para o ano de 2020 foram encontradas três classes de fragilidade, sendo média predominante dentro da área ocupando 89,65%, e as áreas de alta vulnerabilidade e muito alta encontram-se em uma área inferior abrangendo uma área de 3,21% e 7,14%, respectivamente, sendo representadas na Tabela 5.

Tabela 5 – Área e percentual da variável pluviometria.

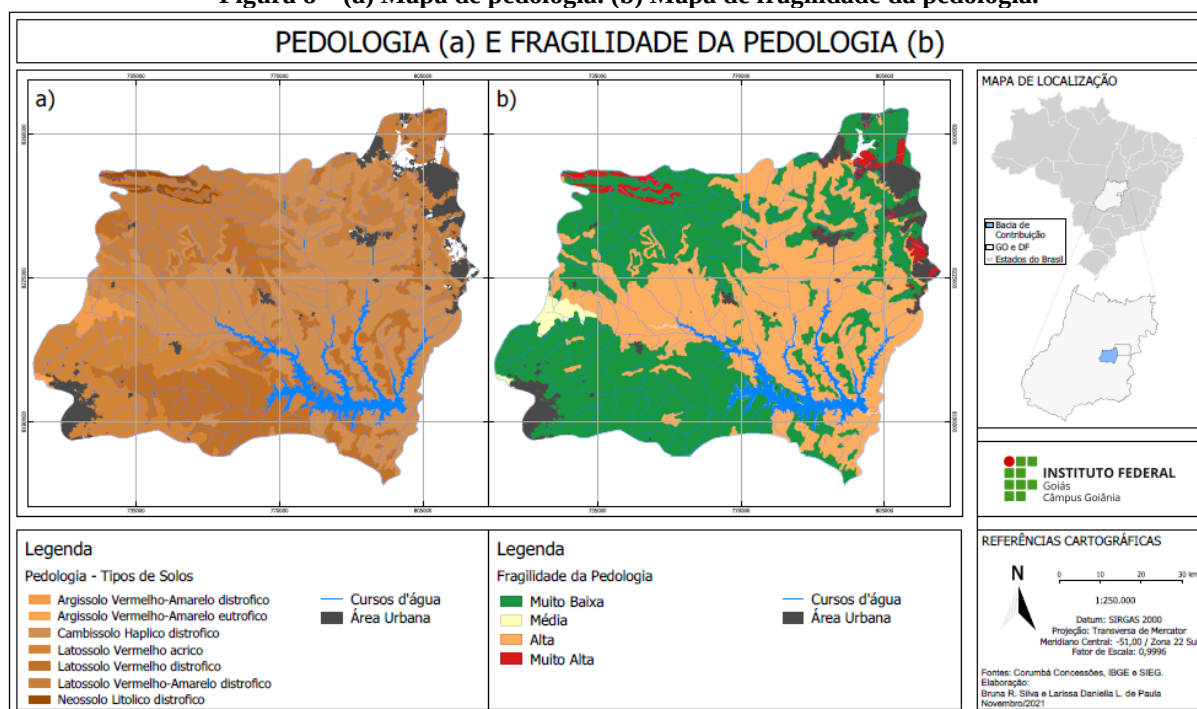
Pluviometria	2004		2020	
Grau de Fragilidade	Área (km ²)	Percentual (%)	Área (km ²)	Percentual (%)
Média	-	-	5.658,51	89,65
Alta	6.245,08	98,95	202,47	3,21
Muito Alta	66,32	1,05	450,46	7,14
TOTAL	6.311,40	100,00	6.311,44	100,00

Fonte: As autoras.

5.4 Pedologia

Para a área de estudo, foram identificadas oito classes de solo, destacando a presença do cambissolo háplico distrófico, este ocupando a maioria na área de estudo além de estar mais presente ao entorno do reservatório juntamente com o latossolo vermelho distrófico e o latossolo vermelho-amarelo distrófico, sendo as classes pedológicas com áreas de maior representatividade. Além destes, latossolo vermelho ácrico, neossolo litólico distrófico, argissolo vermelho-amarelo distrófico e o argissolo vermelho-amarelo eutróficos, todos espalhados dentro da área de estudo e presentes em pequenas quantidades (Figura 8-a).

Figura 8 – (a) Mapa de pedologia. (b) Mapa de fragilidade da pedologia.



Fonte: Adaptado de SIEG (2021).

Os critérios de hierarquização foram obtidos pela da metodologia proposta por Crepani *et al.*, (2001), que foram apresentados na Tabela 6. Sendo assim, foram identificadas quatro categorias de fragilidade sendo muito baixa, média, alta e muito alta. Dessa forma, podendo ser representadas conforme a Figura 8-b, no qual apresenta a fragilidade pedológica da AID do reservatório da UHE de Corumbá IV.

Tabela 6 – Área, percentual e grau de fragilidade da variável pedologia.

Tipos de Solos	Área (km²)	Percentual (%)	Grau de Fragilidade
Cambissolo Háptico Distrófico	2.552,16	43,53	2,5 (alto)
Latossolo Vermelho Ácrico	785,04	13,39	1,0 (muito baixo)
Latossolo Vermelho Distrófico	1.202,95	20,52	1,0 (muito baixo)
Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico	1.186,10	20,23	1,0 (muito baixo)
Neossolo Litólico Distrófico	67,53	1,15	3,0 (muito alto)
Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico	62,59	1,07	2,0 (médio)
Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico	6,56	0,11	2,0 (médio)
TOTAL	5.862,92	100,00	-

Fonte: As autoras.

Nota: Corpo Hídrico e Área Urbana não foram levados em consideração na álgebra de mapas, consequentemente não atingindo a proximidade da área total da bacia.

Conforme Bertoni *et al.*, (1985) o que determina as condições para a resistência aos processos erosivos é a estrutura do solo, que diz respeito à forma de agrupamento das suas partículas elementares. Diante disso, a área classificada como muito baixa, ou seja, mais resistente a erodibilidade, apresenta 51,64% da área total da AID (Tabela 7), sendo nela representada solos como as classes de Latossolos, no qual são identificados com boa capacidade produtiva, quando cultivados com práticas de conservação.

Tabela 7 – Área e percentual da fragilidade na variável pedologia.

Grau de Fragilidade	Área (km²)	Percentual (%)
Muito Baixa	3.176,80	51,64
Média	69,18	1,12
Alta	2.555,06	41,53
Muito Alta	350,62	5,70
TOTAL	6.151,66	100,00

Fonte: As autoras.

Os Argissolos, ocupam área de 1,12% dentro da classe de fragilidade média, está localizado à oeste da AID. Estes solos são caracterizados por possuírem fertilidade muito baixa e são restritos para o uso em ambientes que ocorrem relevos movimentados.

A classe de solo de fragilidade alta, sendo a segunda maior área dentro da AID (41,53%) está presente próximo ao reservatório, e se espalha dentro da área de estudo. O solo que classifica esse grau de vulnerabilidade é o Cambissolo háptico distrófico, classificados como solos com bom potencial agrícola se situados em relevo com pouco movimento.

O grau de vulnerabilidade muito alta está presente na área em uma porção inferior (5,70%) e mais distante do reservatório. A classe de Neossolo que representa essa classe está

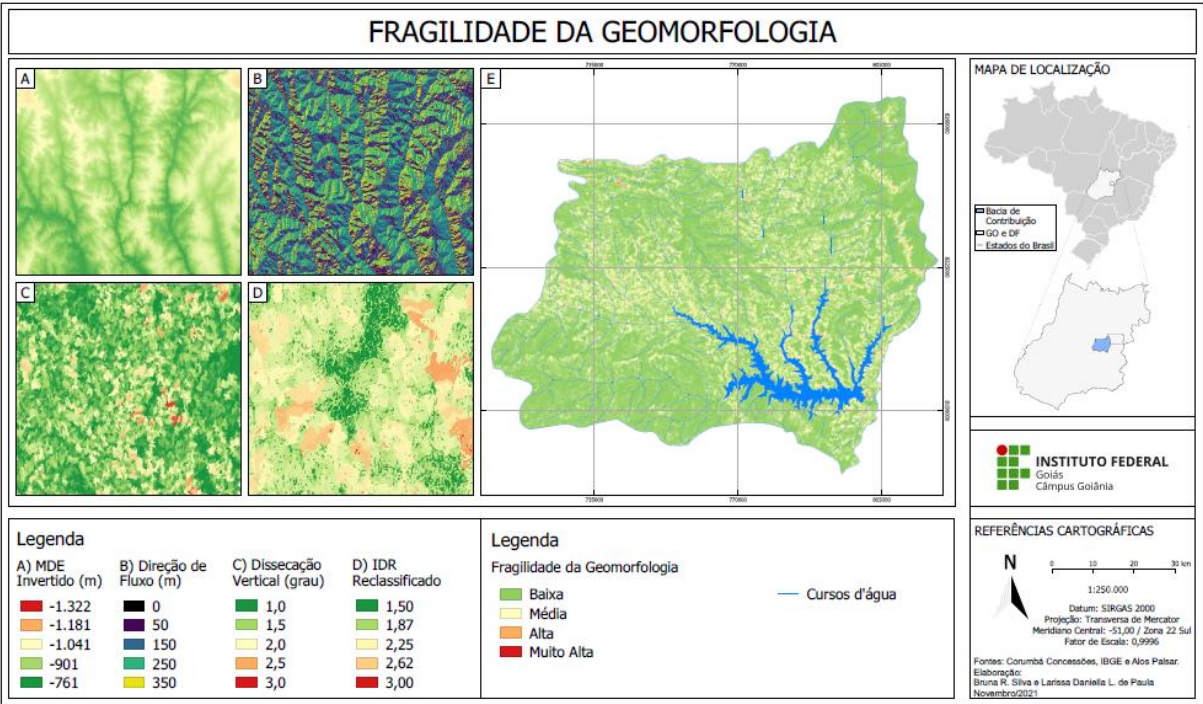
situado em áreas onde ocorrem maiores valores de altitude dentro da AID, e ocorrendo em condições de relevo desde moderadamente suavizado a mais ondulado, possuindo elevada susceptibilidade à erosão, exigindo práticas intensivas para controlar a erosão quando estiver sob manejo agrícola.

5.5 Geomorfologia

O mapa da dissecação do relevo, que representa a variável geomorfologia, foi obtido a partir da mensuração do entalhamento do vale (dissecação vertical), da dimensão interfluvial do relevo (dissecação horizontal) e da declividade, a Figura 9 apresenta os dados que foram gerados para no final obter o Índice de dissecação do relevo.

A partir do IDR, e fazendo a classificação utilizando os valores de grau de fragilidade de Crepani *et al.*, (2001), foi feita a espacialização dos dados gerando o mapa da fragilidade da variável geomorfológica (Figura 9-e).

Figura 9 – Mapa de fragilidade da geomorfologia.



Fonte: Adaptado de Alos Palsar (2021).

O mapa de fragilidade que representa a variável Geomorfologia apresentou grau de fragilidade baixa, média, alta e muito alta. A classe de maior expressão na área de estudo foi o de classe média, que corresponde a 53,22% da área total (Figura 9, Tabela 8), que apresenta de

acordo com Ross (2012) a morfometria com formas de topos convexos de pequena dimensão interfluvial e canais pouco entalhados, formas de topos convexos ou planos de dimensão interfluvial pouco maior e canais medianamente entalhados com declividades oscilando entre 12% a 20%.

O segundo grau de fragilidade de maior relevância foi o de classe baixa com 39,69%, representando superfícies planas com declividades inferiores a 20%, formas de topos planos com drenagem de fraco entalhamento e declividades variando entre 2 e 5% (ROSS, 2012).

Com menos relevância dentro da área de estudo, as classes de vulnerabilidade alta e muito alta somando ocupam área de 7,09%, apresentando uma área com formas de topos aguçados ou convexos de dimensões interfluviais de média a pequena e forte entalhamento dos canais, declividades acima de 20% (ROSS, 2012).

Tabela 8 – Área e percentual da fragilidade na variável geomorfologia.

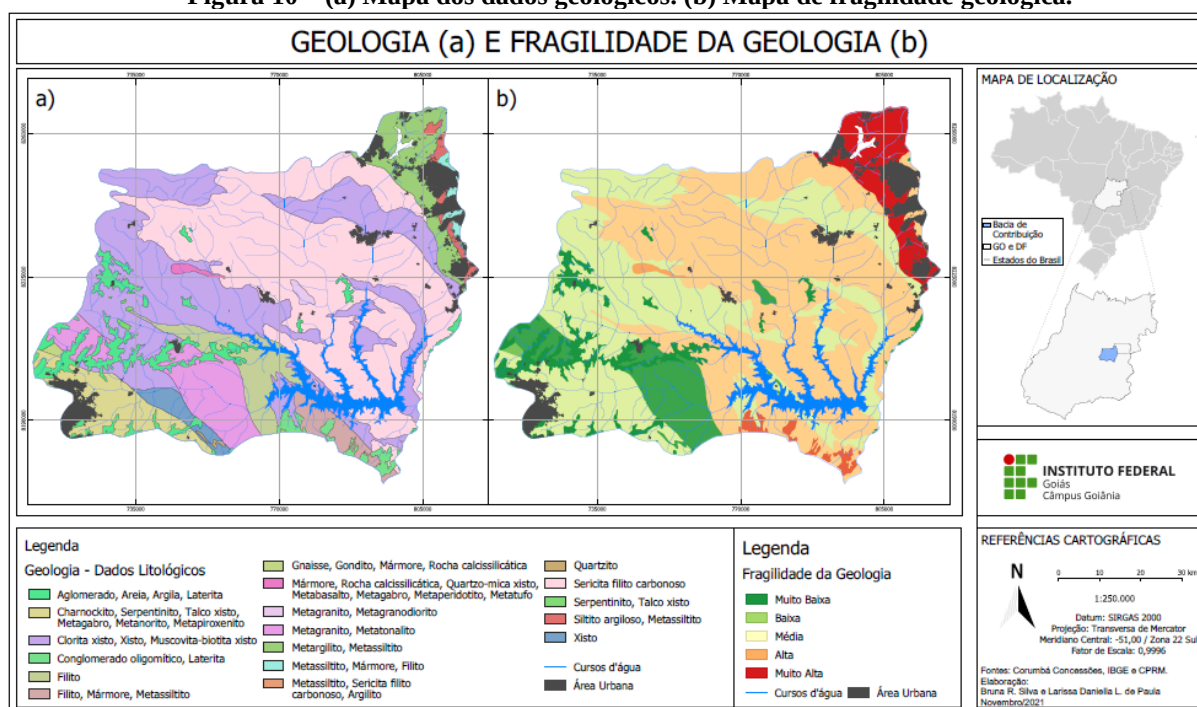
Grau de Fragilidade	Área (km²)	Percentual (%)
Baixa	2.504,45	39,69
Média	3.358,03	53,22
Alta	430,77	6,83
Muito Alta	16,23	0,26
TOTAL	6.309,47	100,00

Fonte: As autoras.

5.6 Geologia

A geologia da área de estudo é constituída por dezoito classes litológicas, sendo as classes de Sericita filito carbonoso (36,98%) e Clorita xisto, Xisto, Muscovita-biotita xisto (28,50%) áreas mais predominantes, sendo apresentadas na Figura 10.

Figura 10 – (a) Mapa dos dados geológicos. (b) Mapa de fragilidade geológica.



Fonte: Adaptado de CPRM (2021).

Em nível de fragilidade ambiental, essa variável apresentou cinco classes de vulnerabilidade (Tabela 9). Sendo a baixa e muito baixa ocupando 47,28%, o que significa que quase a metade da área de estudo se encontra localizada em classes de rochas que não são susceptíveis a erosão, dando destaque as rochas metamórficas xistosas que estão em maior área dentro da AID.

Ocupando área de 44,39%, as áreas de média vulnerabilidade estão localizadas no grupo de rochas que pertencem a mármore, o filito, entre outras. As classes de alta e muito alta fragilidade estão localizadas em menor parte dentro da área, sendo o grau de vulnerabilidade alta com 1,33% sendo representadas pelo grupo de rochas metargilito e silitito. A classe de fragilidade muito alta onde prevalece as rochas serpentinito e silitito argiloso, estão presentes ao sul da área de estudo (7,00%), sendo caracterizadas por serem rocha metamórficas e rocha sedimentar, respectivamente.

Tabela 9 – Área e percentual da fragilidade na variável geologia.

Grau de Fragilidade	Área (km²)	Percentual (%)
Muito Baixa	764,56	12,14
Baixa	2.213,38	35,14
Média	2.795,67	44,39
Alta	83,66	1,33
Muito Alta	441,03	7,00
TOTAL	6.298,30	100,00

Fonte: As autoras.

5.7 Uso do Solo e Cobertura Vegetal

O mapa de classificação do uso do solo e cobertura vegetal apresentou cinco classes temáticas, originando na atribuição de áreas correspondentes ao grau de fragilidade, conforme Crepani *et al.*, (2001), além da quantificação das áreas temáticas classificadas.

A Tabela 10, apresenta o resultado da validação da classificação realizado com o classificador GEOBIA, apontando que os mapeamentos temáticos obtiveram qualidade muito boa de acordo com LANDIS & KOCH (1977), para os anos de 2004 e 2020.

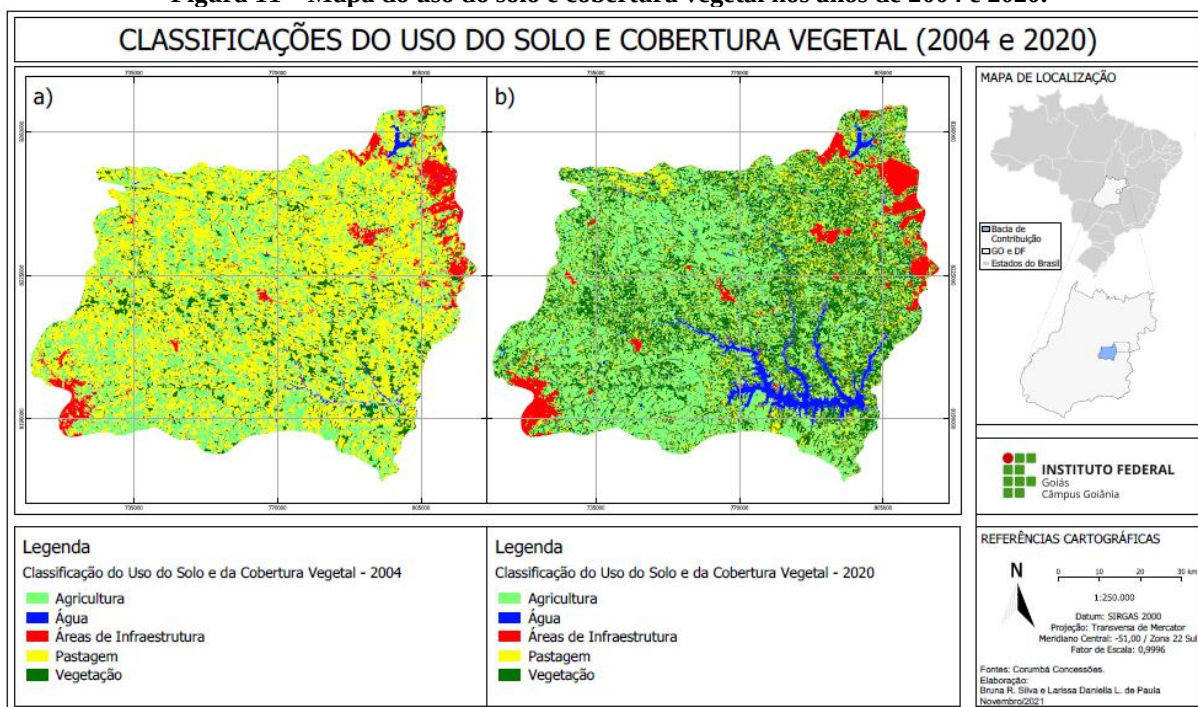
Tabela 10 – Validação Exatidão Global e Kappa dos anos de 2004 e 2020.

Anos	Exatidão Global (%)	Índice <i>Kappa</i> (%)	Qualidade
2004	71,2	67,8	Muito Boa
2020	82,2	73,6	

Fonte: As autoras.

A Figura 11 apresenta a visualização espacializada das classes de uso do solo e cobertura vegetal que foram encontradas dentro do território da área de estudo para os dois anos.

Figura 11 – Mapa do uso do solo e cobertura vegetal nos anos de 2004 e 2020.



Fonte: As autoras.

A classe de uso do solo com maior representação nos dois anos foi a pastagem, apresentando 48,74% em 2004 e 35,65% em 2020. Entre os dois anos houve a redução de 831,20 km² de área, sendo bem distribuídas dentro da AID.

As áreas de infraestruturas, principalmente as áreas urbanas tiveram um aumento de 146,95 km² entre os dois anos. A parte da área urbana que está presente no entorno do reservatório em 2020, apresenta os condomínios de chácaras que foram construídos para lazer e principalmente para aproveitamento do lago.

A classe de vegetação, segunda maior porção dentro da área de estudo, aumentou no ano de 2020 em 486,677 km², apresentando 27,71% em 2004 e 35,48% em 2020, o que mostra que grande parte dessas áreas com vegetação densa mantiveram conservadas durante esses anos além de representar o aumento do cultivo de silvicultura, que é um método de manejo de florestas que usa técnicas para sua preservação.

A agricultura, que inclui as áreas de culturas com preparo do solo e plantações: soja, cana-de-açúcar, lavouras temporárias etc., em 2004 apresentou 18,35% e para 2020 18,67% da área, uma diferença de 18,33 km².

Por fim, a classe da água teve seu aumento de 168,39 km², sendo esse aumento marcado pela construção do reservatório que abrange aproximadamente 173 km², como já foi citado anteriormente. As áreas estão descritas na Tabela 11.

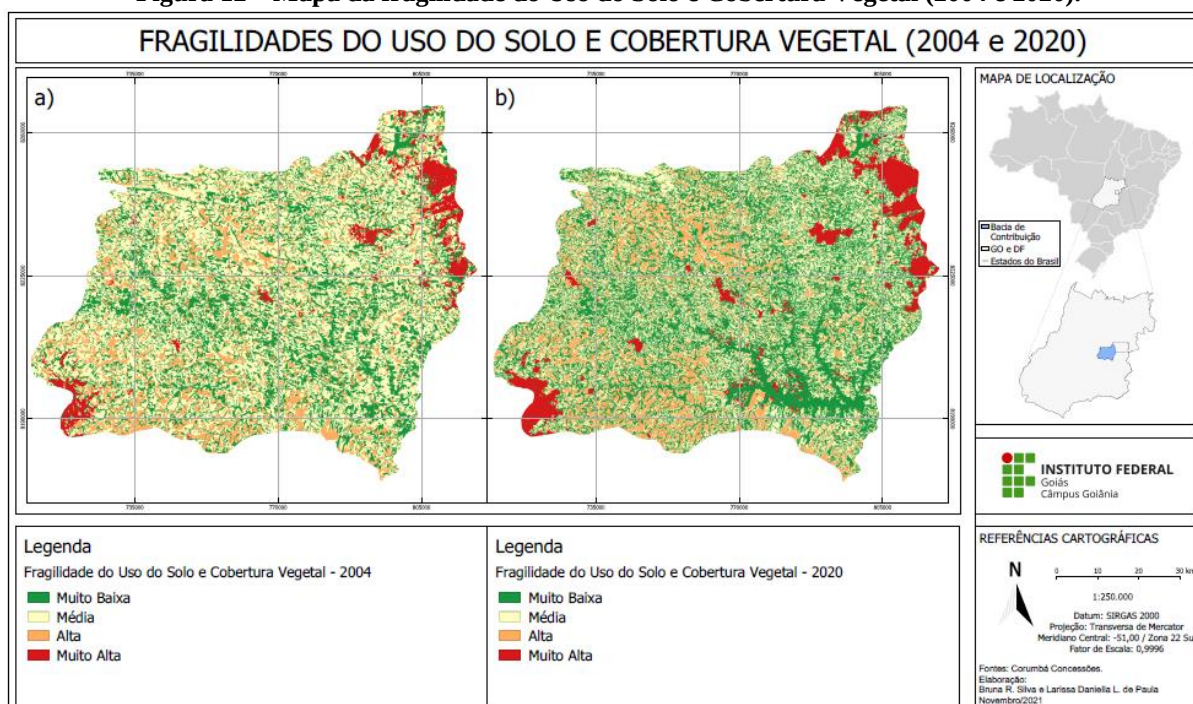
Tabela 11 – Área e percentual do uso do solo e cobertura vegetal nos anos de 2004 e 2020.

Classes	2004		2020	
	Área (km ²)	Percentual (%)	Área (km ²)	Percentual (%)
Agricultura	1.158,89	18,35	1.177,22	18,67
Água	38,82	0,61	207,21	3,29
Áreas de Infraestrutura	289,22	4,58	436,17	6,92
Pastagem	3.078,86	48,74	2.247,67	35,65
Vegetação	1.750,52	27,71	2.237,20	35,48
TOTAL	6.316,30	100,00	6.305,47	100,00

Fonte: As autoras.

As classes de uso da terra e cobertura vegetal foram reclassificadas a partir do grau de vulnerabilidade que proporcionam ao solo. Foram encontradas quatro classes de fragilidade para os dois anos, muito baixa, média, alta e muito alta (Figura 12).

Figura 12 – Mapa da fragilidade do Uso do Solo e Cobertura Vegetal (2004 e 2020).



Fonte: As autoras.

As áreas de muito baixa fragilidade correspondem à 28,34% em 2004 e 38,76% em 2020 (Tabela 12), estão situadas nas regiões com vegetação densa, o que explica o aumento da vegetação para o ano de 2020.

A classe de fragilidade que mais predomina em 2004 é a de fragilidade média, correspondendo a 48,74% da área total e em 2020 a área apresenta 35,65%. Nessas áreas estão

concentradas as áreas de pecuária representando a classe de pastagem, sendo uma área expressiva para os dois anos, mas que para 2020 foi perceptível a mudança dessas áreas por áreas vegetativas remanescentes.

Representando a menor área de fragilidade encontrada, o grau de vulnerabilidade alta apresenta 18,35% em 2004 e 18,67% em 2020, marcando o crescimento breve da agricultura dentro da área de estudo.

A classe de muito alta fragilidade aumentou para 2020 total de 2,34% e está representada pelas áreas de infraestrutura, principalmente as áreas urbanizadas, esse aumento se deu principalmente pela urbanização das áreas ao entorno do reservatório com a construção de condomínios de chácaras e pela expansão das cidades durante esse período.

Tabela 12 – Área e percentual da fragilidade do Uso do Solo e Cobertura Vegetal.

	2004		2020	
Grau de Fragilidade	Área (km²)	Percentual (%)	Área (km²)	Percentual (%)
Muito Baixa	1.791,53	28,34	2.450,73	38,76
Média	3.081,60	48,74	2.253,96	35,65
Alta	1.159,92	18,35	1.180,40	18,67
Muito Alta	289,60	4,58	437,28	6,92
TOTAL	6.322,64	100,00	6.322,38	100,00

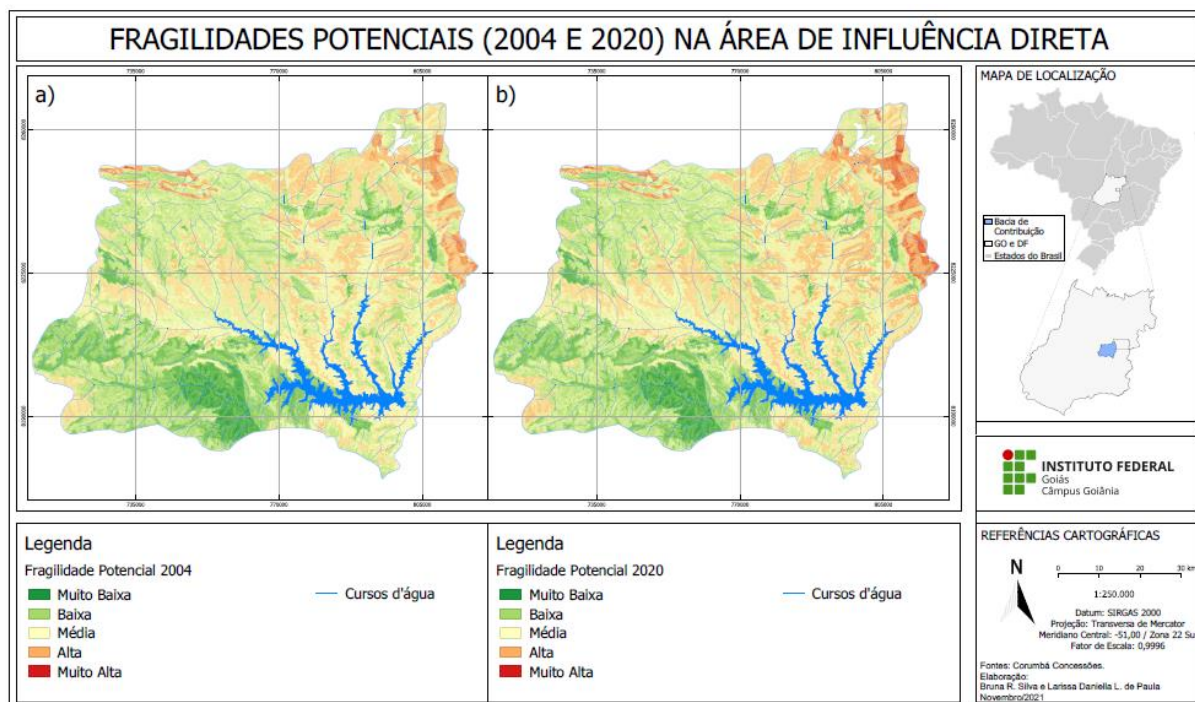
Fonte: As autoras.

5.8 Mapeamento das Fragilidades Ambientais

5.8.1 Fragilidade Ambiental Potencial

O mapa de fragilidade potencial é o que representa a capacidade natural à erosão, sem interferência do homem. Em síntese, é os fenômenos naturais agindo e tornando o ambiente vulnerável à erosão dentro da AID do reservatório da UHE de Corumbá IV, conforme apresentado na Figura 13.

Figura 13 – Mapa da Fragilidade Potencial da AID do reservatório da UHE de Corumbá IV para o ano de 2004 e 2020.



Fonte: As autoras.

A fragilidade potencial da AID apresentou as cinco classes de fragilidade, o quantitativo dessas áreas é apresentado na Tabela 13. A maior representatividade em 2004 e 2020 é o grau de fragilidade potencial média, com 57,76% e 59,76%, respectivamente. O solo que predomina nessa área é o Argissolo.

As áreas com altas declividades apresentam potencial muito alta e alta a erosão, sendo que para o grau alta representando 11,59% para 2004 e 9,37% para 2020, e para a classe muito alta, sendo a menor área de fragilidade com 0,01% para ambos os anos. O solo predominante é o Neossolo e Cambissolos, sendo uma área com relevo variando de 20% a 50% com solos poucos desenvolvidos e desfavorável para mecanização agrícola. Devido a essas características, práticas de conservação são necessárias para minimizar os impactos da erosão devido à suas altas suscetibilidade natural à erosão.

Como grau de fragilidade muito baixa e baixa, têm-se uma área de 1,48% e 1,50% para 2004 e 2020, respectivamente, para a classe muito baixa e, 29,15% e 29,35% para 2004 e 2020, respectivamente, para o grau muito baixa de fragilidade potencial. Esses níveis de fragilidade estão associados a solos da classe de latossolos, na sua maioria. Resultados semelhantes foram encontrados por Cabral *et al.*, (2013), cuja área de estudo também representou dominância de

latossolo, além de possuir também uma área com declividade considerada favorável à ocupação e desfavorável à erosão (0 a 20%).

Em suma, vale salientar que a diferença de 2004 para 2020 foi mínima (Tabela 13), sendo a variável pluviometria o fator de relevância para a alteração entre esses dois anos, devido esta ter sido a única variável que está presente nos dois anos estudados.

Tabela 13 – Quantitativo da Fragilidade Potencial dos anos de 2004 e 2020 da AID do reservatório da UHE de Corumbá IV.

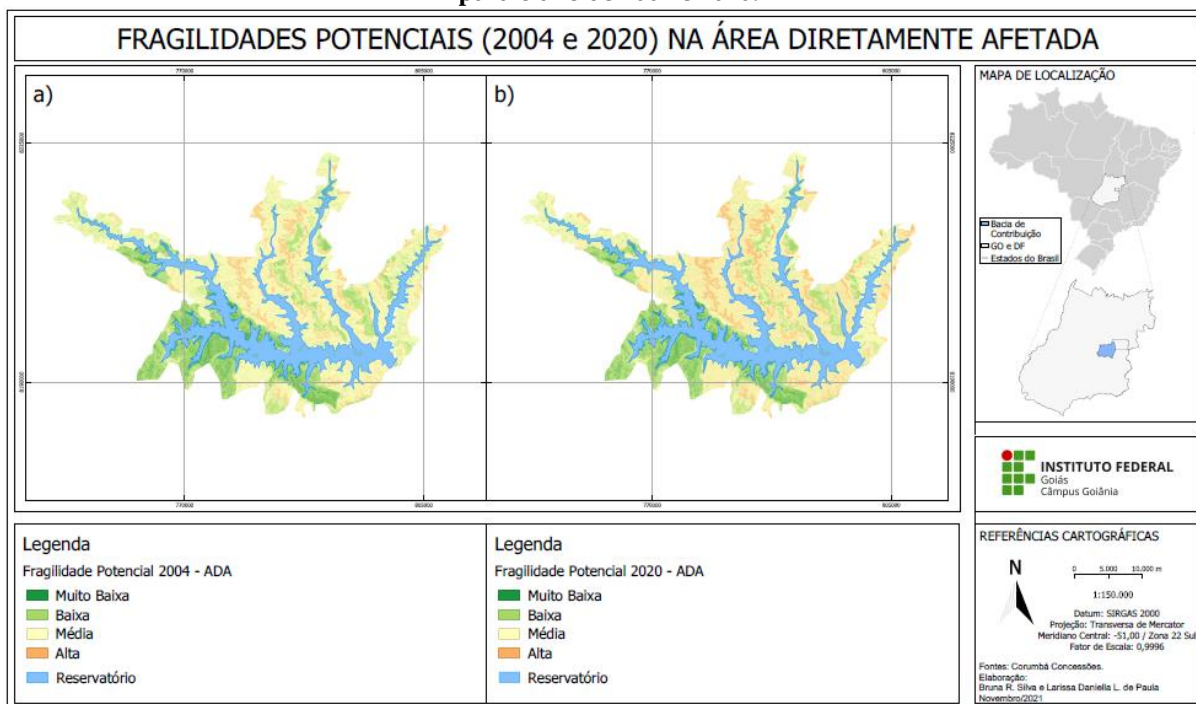
	Fragilidade Potencial 2004		Fragilidade Potencial 2020	
Grau de Fragilidade	Área (km²)	Percentual (%)	Área (km²)	Percentual (%)
Muito Baixa	91,16	1,48	92,24	1,50
Baixa	1.791,19	29,15	1.803,54	29,35
Média	3.549,13	57,76	3.672,00	59,76
Alta	712,38	11,59	576,00	9,37
Muito Alta	0,58	0,01	0,59	0,01
TOTAL	6.144,45	100,00	6.144,36	100,00

Fonte: As autoras.

5.8.1.1 Fragilidade Ambiental Potencial na Área Diretamente Afetada

Em uma análise no processo erosivo natural de forma mais direta dentro do nosso objeto de estudo, a fragilidade potencial dos dois anos apresentou 4 classes, sendo elas a muito baixa, baixa, média e alta (Figura 14).

Figura 14 – Mapa da Fragilidade Potencial do entorno (ADA) do reservatório da UHE de Corumbá IV para o ano de 2004 e 2020.



Fonte: As autoras.

Na categoria de fragilidade potencial muito baixa e fragilidade baixa com declividades abaixo de 6%, predomina a categoria Latossolos. Essas áreas somando representam 29,28% da área em 2004 e 29,36% em 2020 (Tabela 14), mostrando que os dados pluviométricos influenciaram para o aumento da vulnerabilidade em 2020 nessas áreas.

Assim como na AID, a área de fragilidade potencial média também teve sua representação expressiva (Figura 14), apresentando 66,02% para 2004 e 65,81% para 2020. Isto se dá pela presença da classe de argissolos presentes em áreas com declividade variando de 6% a 20%.

Para a fragilidade alta ocupando 4,70% para 2004 e 4,83% para 2020, estão representando as áreas com altas declividades > 20%, além de também serem influenciadas pela presença de litologias de alto risco erosivo, como por exemplo as rochas siltitos com grande presença dentro da área do entorno do reservatório.

Nesta análise, é possível perceber que a variável pluviométrica influenciou também, mesmo que pouco, na região que é afetada diretamente pela construção do reservatório, totalizando para a classe baixa o aumento de 0,68 km² para 2020, na classe média a área diminuiu 1,68 km² e a classe de fragilidade alta teve um aumento de quase 1 km².

Desse modo, a vulnerabilidade potencial forneceu uma avaliação natural do ambiente, sabendo que estas são condições apresentadas em termos naturais de vulnerabilidade e que a atividade humana é ignorada como fator para afetar esse ambiente.

Tabela 14 – Quantitativo da Fragilidade Potencial dos anos de 2004 e 2020 do entorno (ADA) do reservatório da UHE de Corumbá IV.

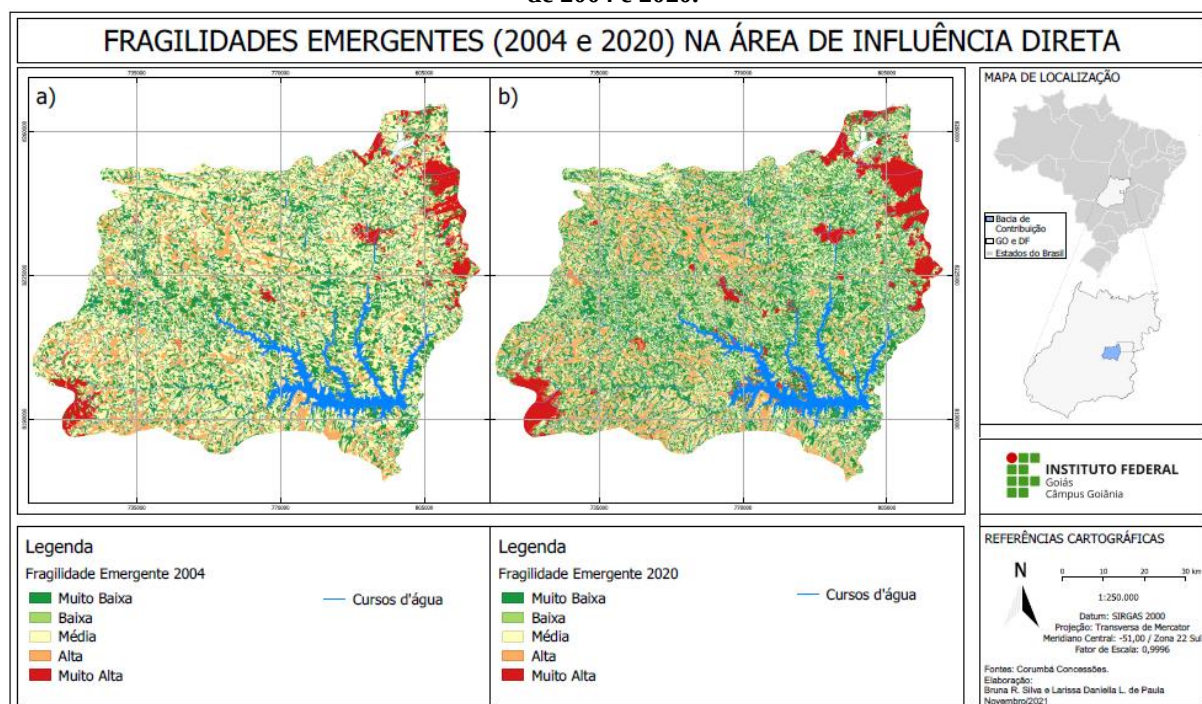
Grau de Fragilidade	Fragilidade Potencial 2004		Fragilidade Potencial 2020	
	Área (km²)	Percentual (%)	Área (km²)	Percentual (%)
Muito Baixa	0,75	0,10	0,75	0,10
Baixa	226,49	29,18	227,17	29,26
Média	512,51	66,02	510,84	65,81
Alta	36,52	4,70	37,51	4,83
TOTAL	776,27	100,00	776,27	100,00

Fonte: As autoras.

5.8.2 Fragilidade Ambiental Emergente

Com os resultados do mapeamento da fragilidade potencial e do uso do solo e cobertura vegetal para os anos de 2004 e 2020, foram estabelecidas as combinações entre esses dois mapas, gerando os mapas de fragilidade ambiental emergente da AID, apresentados na Figura 15. O mapa de fragilidade potencial associado aos graus de fragilidade do uso do solo e cobertura vegetal podem alterar o equilíbrio natural do ambiente, atingindo o diagnóstico de fragilidade emergente.

Figura 15 – Mapa da Fragilidade Emergente da AID do reservatório da UHE de Corumbá IV para o ano de 2004 e 2020.



Fonte: As autoras.

As classes de Fragilidade Emergente foram classificadas em cinco diferentes graus de vulnerabilidade: muito baixa, baixa, média, alta e muito alta. A Tabela 15 apresenta o quantitativo da distribuição das classes de fragilidade ambiental emergente expressa em quilômetros quadrados e em porcentagem.

Tabela 15 – Quantitativo da Fragilidade Emergente dos anos de 2004 e 2020 da AID do reservatório da UHE de Corumbá IV.

	Fragilidade Emergente 2004		Fragilidade Emergente 2020	
Grau de Fragilidade	Área (km²)	Percentual (%)	Área (km²)	Percentual (%)
Muito Baixa	1.680,81	27,35	2.261,16	36,86
Baixa	23,30	0,38	22,05	0,36
Média	3.063,79	49,86	2.308,82	37,64
Alta	1.101,67	17,93	1.138,89	18,57
Muito Alta	274,88	4,47	402,99	6,57
TOTAL	6.144,45	100,00	6.133,91	100,00

Fonte: As autoras.

As áreas classificadas como muito baixa fragilidade emergente em 2004 ocupavam 27,35% da área da bacia, e em 2020 ocupavam 36,86% da área, tendo um aumento de 580,35 km². Uma justificativa relevante para o aumento dessa área é a associação as mudanças

recorrentes do uso da terra, visto que as áreas no qual ficaram submersas com a criação do reservatório que foram classificadas como alta fragilidade em 2004, passou para muito baixa fragilidade em 2020, sendo representada pela presença do reservatório. Resultados semelhantes são encontrados em Braga *et al.*, (2017) em um estudo na UHE de Caçu, cuja área de estudo também apresentou aumento na área de classe muito baixa devido ao alagamento para a formação do reservatório.

Os graus de fragilidade emergente classificadas como baixa dentro da AID, correspondem em 2004 uma área de 0,38% e em 2020 passaram a representar 0,36%, estão localizadas em áreas de declividade variando de 2% a 6% além de representarem o índice de dissecação do relevo em forma de topos planos com drenagem de fraco entalhamento e altitudes variando de 875 a 988 metros.

As áreas de fragilidade média emergente são as que mais predominaram em 2004, sendo representada por 49,86% e em 2020 passaram a representar 37,64% da área de estudo. Isso se deu principalmente em razão da área de pastagem que em 2004 ocupava quase a metade da área da bacia. Braga *et al.*, (2017) afirmou que a presença de pastagens está associada a áreas de argissolo, que também possui grau de fragilidade média. Resultado similar foi encontrado por Pinese *et al.*, (2012) onde destacou que maiores vulnerabilidades ao solo em relação a erosão são favorecidas pelas áreas de pastagens por elas propiciarem o escoamento no solo. Além disso, estão situadas em locais no qual a morfometria é caracterizada em formas de topos convexos de pequena dimensão interfluvial e canais pouco entalhados.

As áreas de fragilidade emergente alta, em 2004, ocuparam 17,93% da AID, e em 2020 aumentou para 18,57%, representando o aumento de uma área de 18,77 km². Isso se justifica devido a área de agricultura ter aumentado no ano de 2020, onde houve uma grande perda da área da classe de pastagem, e o que onde foi classificado como média em 2004, passou a ser grau de fragilidade alta em 2020. Em Costa (2020) foram encontrados resultados semelhantes no qual ela salienta que a agricultura foi classificada como alto grau de vulnerabilidade do solo pelo uso de agrotóxicos e fertilizantes que potencializam a contaminação do solo, gerando possíveis riscos de erosões.

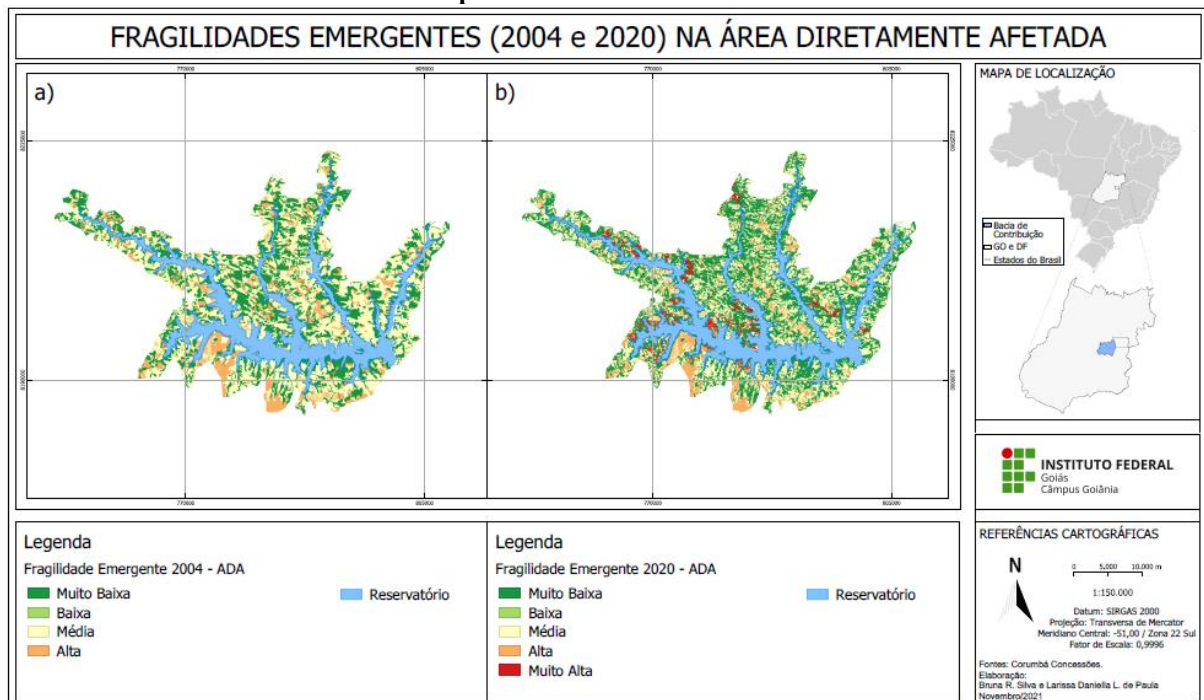
As áreas classificadas como muito alta fragilidade emergente foram classificadas devido ao alto grau de vulnerabilidade encontrada principalmente nas áreas urbanizadas em geral, que são pequenas áreas isoladas ao entorno do reservatório e espalhadas dentro da AID, sendo também bem expressiva em suas extremidades. Essa classe se associa a presença de áreas com declividades muito altas, o que Segundo Cabral *et al.*, (2011) são áreas que devem ser restritas

a nenhum tipo de uso pois são susceptíveis a causar danos em relação a erosão. Além disso, a presença do solo do tipo Cambissolo e a litologia da rocha Sericita influência para a classificação dessa área como muito alta. Estes resultados também foram encontrados em Vasconcellos (2013), onde a classe de alta fragilidade emergente está associada as variáveis da área urbana e a presença de solos com alto risco de erosão.

5.8.2.1 Fragilidade Ambiental Emergente na Área Diretamente Afetada

Analisando a fragilidade emergente na área que é diretamente afetada, nela apresentou para os dois anos quatro classes de fragilidade, muito baixa, baixa, média e alta. Na Figura 16 é possível visualizar a espacialização dessas áreas dentro da área de estudo.

Figura 16 – Mapa da Fragilidade Emergente do entorno (ADA) do reservatório da UHE de Corumbá IV para o ano de 2004 e 2020.



Fonte: As autoras.

No ano de 2004, a fragilidade emergente média apresentou a maior área dentro da ADA com 48,30% da área total tendo sua diminuição em 2020 com 37,13% (Tabela 16). Esse resultado se deu principalmente pelas áreas que em 2004 teve sua classificação como média na fragilidade potencial, e em 2020 passaram a ser de fragilidade muito baixa sendo representadas

pelo uso do solo ‘água’ que representa o reservatório. Isso também explica o aumento expressivo da área de grau muito baixa de 36,75% em 2004 e 48,03% em 2020.

A representação da classe baixa ocupou apenas 0,03% em ambas as áreas, ocupando uma área menor com presença de latossolos, e tendo relação com a declividade de 0% a 2% no qual influência no controle dos processos erosivos.

As áreas de grau de fragilidade emergente alta em 2004 esteve presente em 14,93% da área enquanto em 2020 essa área caiu para 11,74%, essas áreas estão localizadas onde é representada por rochas de vulnerabilidade muito alta como a presença do metargilito, além da presença das áreas urbanizadas em cambissolos que apresentam características de permeabilidade muito baixa, com pouca profundidade, sendo submetidos ao risco de degradação à erosão. Analisando em relação a AID, percebe-se então que a área de fragilidade alta está mais situada dentro da área diretamente afetada.

Tabela 16 – Quantitativo da Fragilidade Emergente dos anos de 2004 e 2020 do entorno (ADA) do reservatório da UHE de Corumbá IV.

	Fragilidade Emergente 2004		Fragilidade Emergente 2020	
Grau de Fragilidade	Área (km²)	Percentual (%)	Área (km²)	Percentual (%)
Muito Baixa	285,27	36,75	371,05	48,03
Baixa	0,23	0,03	0,23	0,03
Média	374,90	48,30	286,81	37,13
Alta	115,87	14,93	90,71	11,74
Muito Alta	-	-	23,67	3,06
TOTAL	776,27	100,00	772,48	100,00

Fonte: As autoras.

6. CONCLUSÕES

Após fazer um levantamento dos aspectos físicos aliado as ferramentas de geoprocessamento e os dados de sensoriamento remoto, foi possível analisar e entender as mudanças ocorridas dentro da área de estudo. Elas contribuíram na obtenção e manuseio de todas as variáveis físicas analisadas e foram eficientes em gerar resultados qualitativos e quantitativos expressos visualmente em forma de mapas temáticos e tabelas. O resultado obtido mostra a potencialidade dessas ferramentas de auxílio na geração de produtos a partir de banco de dados espaciais, com informações representando o espaço geográfico.

O mapeamento a partir da interpretação das classes de uso do solo e cobertura vegetal foram essenciais para o entendimento do modelo de organização espacial da área de estudo, principalmente em um contexto temporal ao analisar às alterações ocorridas dentro do lugar podendo, a partir disso, ter uma melhor gestão de uso desse solo, além de permitir monitorar as mudanças ocorridas e garantir o uso racional para gerações futuras.

No intervalo de 16 anos, a Área de Influência Direta do reservatório da Usina Hidrelétrica de Corumbá IV apresentou mudanças nas formas de uso do solo e cobertura vegetal, o que aponta o aumento das ações humanas, principalmente com o avanço da agricultura e a urbanização ao redor do reservatório. O estudo para os dois períodos, 2004 e 2020, resultou na compreensão do modelo de ocupação dessa área antes e após a construção da UHE, podendo evidenciar dentro dessa análise temporal que a AID está exposta a um cenário no qual a pecuária está aos poucos sendo substituída por agricultura.

Em relação a fragilidade potencial, a área de estudo apontou para os anos de 2004 e 2020 o mesmo grau médio de vulnerabilidade. Sendo que, tendo em 2020 essa área aumentada devido à influência dos dados de pluviometria que, para esse ano, apresentou maiores valores de intensidade pluviométrica média em todas as estações. Além disso, influenciado pelas declividades oscilando entre 6% a 20% representando morfometrias de topos convexos e canais com entalhamento médio com altitudes variando entre 988 a 1.100 metros.

Os resultados obtidos para a fragilidade ambiental emergente mostraram que a implantação do reservatório não induziu de forma agressiva e intensa a AID. O que influenciou a expressiva área de fragilidade emergente média, seguido das áreas de alta e muito alta vulnerabilidade da AID do reservatório da UHE de Corumbá IV foram as classes de pastagem, agricultura e as áreas urbanas, principalmente aquelas localizadas no entorno do reservatório, que aumentou de 2004 para 2020. Assim, tendo uma maior preocupação em relação a

fragilidade dessa área, principalmente se o crescimento das áreas urbanizadas continuar dentro da ADA, pois são áreas compostas por cambissolos e argissolos, que conforme já foi citado, são solos sujeitos a processos de erosão.

Partindo da hipótese de que a construção da UHE afetaria uma área representada pela bacia de contribuição do reservatório, a AID e, a partir das análises das fragilidades ambientais no recorte da área de estudo representando a área diretamente afetada desse reservatório, foi observado que as áreas de altos e médios riscos de erodibilidade, que estão mais distantes do reservatório, possuem essas características provindo de sua própria fragilidade natural de erosão, o que justifica que em termos de potencialidade natural, a implantação da usina não interferiu em áreas que estão distante do reservatório, no entanto, essas áreas devem estar sempre sendo submetidas a monitoramentos e fiscalizações a fim de evitar o uso intenso desse solo, principalmente para fins de agricultura.

No mais, o que representou grande risco à erosão dentro da área de estudo foi a expansão urbana, principalmente dessas áreas que estão no entorno do reservatório e consequentemente mais próximas dele. Essas áreas devem ser extremamente monitoradas, pois se encontram em áreas que tem um potencial de erosão muito alta devido a sua própria vulnerabilidade natural.

Por fim, o estudo das fragilidades ambientais em áreas de bacias hidrográficas é de suma importância no auxílio para o desenvolvimento sustentável e do ordenamento territorial, dessa maneira, a metodologia utilizada combinando os elementos naturais do meio físico e o mapeando do uso do solo e cobertura vegetal atendeu as necessidades do estudo para a área, permitiu compreender suas áreas de fragilidades natural e suas fragilidades submetidas as ações antrópicas, antes e após a construção do reservatório.

REFERÊNCIAS

ABRÃO, Cleiton Messias Rodrigues. **Diagnóstico da Fragilidade Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Santo Antônio, MS como subsídio ao Planejamento Ambiental**. 2016. 100 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Aquidauana, 2016.

AID (ed.). **Brasil termina 2021 com maior acréscimo em potência instalada desde 2016**. 2022. Publicada no site da Aneel. Disponível em: <https://bit.ly/3HGOFyi>. Acesso em: 18 fev. 2022.

ALBUQUERQUE FILHO, José Luiz; SAAD, Antonio Roberto; ALVARENGA, Marissa Chiareli de. **Considerações acerca dos Impactos Ambientais decorrentes da Implantação de Reservatórios Hidrelétricos com Ênfase nos efeitos ocorrentes em Aquíferos Livres e suas Consequências**. Geociências, São Paulo, v. 29, n. 3, p. 355-367, 2010.

ARAÚJO, Francisco de Assis da Silva. **Geomorfologia Aplicada à Fragilidade e ao Zoneamento Ambiental de Caxias - MA**. 2012. 187 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2012.

ARCÁDIO, Joaquim Roberto. **Extração de Informação Geográfica a partir de Fotografias Aéreas obtidas com VANTs para apoio a um SIG Municipal**. 2013. 108 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Geográfica, Universidade do Porto, 2013.

AQUINO, Cláudia Maria Sabóia de; VALLADARES, Gustavo Souza. **Geografia, geotecnologias e planejamento ambiental**. Geografia, v. 22, n.1, p. 117-138, 2013.

BADE, Maicol Rafael; ROCHA, Anderson Sandro da; CUNHA, José Edézio da. Anderson Sandro. **Mapeamento da Fragilidade Ambiental na Bacia Hidrográfica do Córrego Matilde Cuê, Marechal Cândido Rondon - PR**. Geografar, Curitiba, v. 9, n. 2, p. 63-83, dez. 2014.

BERTONI, J.; Lombardi NETO, F. **Conservação do Solo**. Piracicaba: Ed: Livroceres, 1985. 392p.

BIRRO, S. O. G. **Análise da Paisagem na Bacia do Rio Corrente: Estudo de Fragilidade Ambiental na Área de Influência Direta da UHE de Espora**. Tese (Programa de Pós-Graduação) - Faculdade de Geografia/PPGGEO- Stricto Sensu), Universidade Federal de Goiás. Jataí. 2019.

BOGGIONE, G. A.; COSTA, D. D. **Reamostragem Em Imagens De Sensoriamento Remoto: Uma Abordagem Sob O Ponto De Vista Do Maup**. IV Simpósio Brasileiro de Geomática – SBG. 2017.

BLASCHKE, T.; HAY, G. J.; KELLY, M.; LANG, S.; HOFMANN, P.; ADDINK, E.; FEITOSA, R. Q.; MEER, F. V.; WERFF, H. J.; COILLIE, F. V.; TIEDE, D. **Geographic**

Object-Based Image Analysis – Towards a new paradigm. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, v. 87, p. 180-191, 2014.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Resolução Conama nº 001 (20/01/1986), Resolução n. 237/97, art, 1º, nº 303 (20/03/2002) e nº 341, (25/09/2003).** Publicado em 26 mai 2007. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/conama>>. Acesso: 03 jul 2021.

BRIGANTE, J. & ESPÍNDOLA, E. L. G. Limnologia Fluvial: **Um Estudo no Rio Mogi-Guaçu.** São Carlos: Editora RiMa. 278p. 2003.

CABRAL, J. B. P., QUEIROZ JUNIOR, V. S., da ROCHA, I. R., BARCELOS, A. A. N. (2014): **Uso de geotecnologias na caracterização da fragilidade ambiental da Bacia da UHE Foz do Rio Claro (GO),** GeoFocus, nº 15, p. 193-212. ISSN: 1578-5157

CANTER, L.W. Environmental impact assessments for water resources projects. In: **Advanced Course On Water Resources Management**, 7, 1990, Perugia, Italy. Trabalho Completo. Perugia: Stranieri University, 1990, 38 p.

CARVALHO, D. N.; BONIOLO, M. R. SANTOS, R. G. **Critérios Usados na Definição de Áreas de Influências, Impactos e Programas Ambientais em Estudos de Impacto Ambiental de Usinas Hidrelétricas Brasileiras.** Revista Geociências, v. 37, n 3. P.639-653, 2018.

CASSETI, Valter. (1994). **O relevo no contexto ideológico da natureza: uma nota.** In: Boletim Goiano de Geografia, Departamento de Geografia – Instituto de Química e Geociências. Universidade Federal de Goiás – vol. 14, nº 1 – Goiás: Editora UFG, 1994, p.103-115.

COELHO, David Succi Quintella Camara. **Sensoriamento Remoto e suas Aplicações na Topografia.** 2015. Trabalho apresentado à Turma de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá. Disponível em: <<http://www.academia.edu>>. Acesso em: 08 jul. 2021.

COHEN, J. A. **Coefficient of Agreement for Nominal Scales.** Educational and Psychological Measurement, v. 20, n. 01, p. 37-46, 1960.

CORUMBÁ CONCESSÕES S. A.; WALM ENGENHARIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL LTDA. (org.). **Plano Ambiental de Conservação e Uso do Entorno do Reservatório da UHE Corumbá IV.** Goiás, julho/2011. 3 v. Disponível em: <<https://www.corumbaconcessoes.com.br/>>. Acesso em: 09 jun. 2021

COSTA, Hetiany Ferreira da. **Análise Temporal Da Fragilidade Ambiental Na Bacia Hidrográfica Do Rio Sorocabaçu,** IBIÚNA, SP. 2020. 84 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Ambientais, Unesp, Sorocaba, 2020.

CREPANI, Edison; MEDEIROS, José Simeão; FILHO, Pedro Hernandez; FLORENZANO, Teresa Gallotti, DUARTE, Valdete; BARBOSA, Cláudio Clemente Faria. **Sensoriamento**

remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial. São José dos Campos: INPE, 2001. 124p.

CRISPIM, Andrea Bezerra. **Sistemas ambientais e vulnerabilidades ao uso da terra no vale do rio Pacoti – CE: subsídios ao ordenamento territorial.** Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2011.

CHRISTOFOLETTI, A. A. J. T. e CUNHA, S. B. **Aplicabilidade do Conhecimento Geomorfológico nos Projetos de Planejamento.** In GUERRA, da org. Geomorfologia uma Atualização de Bases e Conceitos. Editora Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 2 ed.:415-441, 2001.

CRÓSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto.** 1992, 173P. Tese (Doutorado Geociências) - Universidade de Campinas, Campinas, 1992.

BRAGA, C. de C.; CABRAL, J. B. P.; LOPES, S. M. F.; BATISTA, D. F.; **Mapeamento da fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do reservatório da UHE Caçu–Goiás.** Ciência e Natura, vol. 39, 2017, pp. 81-98. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, Brasil.

DE JORGE, F.N. **Mecanismos dos escorregamentos em encostas marginais de reservatórios.** São Carlos, 1984. 146 p. Tese (Dissertação de Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

FITZ, P. R. Geografia Tecnológica. In: FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação.** São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

FLORENZANO, T. G. **Geotecnologias na geografia aplicada.** difusão e acesso. Rev. do Depto. de Geografia, 17 (2005) 24-29.

INATOMI, T. A. H. **Análise dos impactos ambientais na produção de energia dentro do planejamento integrado de recursos.** Tese: Programa de Pós Graduação em Geografia da Universidade Federal de Santa Catarina; Florianópolis, 2013.

IBGE. **Manual Técnico de Geomorfologia.** 2a ed. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2009. 175 p.

KAWAKUBO, Fernando Shinj; MORATO, Rúbia Gomes; CAMPOS, Kleber Cavaça; LUCHIARI, Ailton; ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. **Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12, 2005, Goiânia. Anais eletrônicos XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. Goiânia, 2005.

LANDIS, J.R. e KOCH, G.G. **The measurement of observer agreement for categorical data.** *Biometrics*, v.33, n.1, p. 159-174, 1977.

MEDEIROS, José Simeão; CÂMARA, Gilberto. **Geoprocessamento para projetos Ambientais.** 2017. Disponível em: <https://www.academia.edu/510120/Geoprocessamento_para_projetos_ambientais>. Acesso em: 11 jul. 2021.

MEYER, M.A.A. **Educação Ambiental: Uma proposta pedagógica**. Brasília, v.10, 1991.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 3ª ed 1ª reimp. Ed. da UFV, 2007. 320p.

MÜLLER, A. C. **Hidrelétricas, meio ambiente e desenvolvimento**. São Paulo: Makron Books, 1995.

PINESE JÚNIOR, José Fernando; RODRIGUES, Silvio Carlos. **O MÉTODO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA – AHP – COMO AUXÍLIO NA DETERMINAÇÃO DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIEDADE (MG)**. Revista do Departamento de Geografia – Usp, São Paulo, v. 23, n. 2, p. 4-26, fev. 2012.

PRATT, W. K. **Digital Image Processing: piks scientific inside**. 4 ed. New Jersey: Wiley, 2007

RIBEIRO, Karoline Veloso. **Análise da Fragilidade Ambiental na Bacia Hidrográfica do Rio Mulato, Estado do Piauí**. 2019. 98 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Geografia, Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2019.

ROSS, J. L. S. **O registro cartográfico dos fatos Geomórficos e a questão da taxonomia do relevo**. Revista do Departamento de Geografia, no 6. p. 16 – 30, 1992.

_____, J. L. S. **Análise Empírica da Fragilidade dos ambientes Naturais e Antropizados**. Revista do Departamento de Geografia, São Paulo, n. 8, p. 63 -74, 1994.

_____, J. L. S. FIERZ, M. S. M. **Geomorfologia Aplicada ao Planejamento Ambiental Territorial: Potencialidades e Fragilidades**. P. 58-77. In: Redução do risco de desastres e a resiliência no meio rural e urbano. Org. Lourenço Magnoni Junior *et al*. São Paulo:Centro Paula Souza, 214p. 2017.

_____, J. L. S. **Geomorfologia: ambiente e planejamento**. São Paulo: Contexto, 2007.

_____, J.L.S. **Geomorfologia aplicada aos EIAS e RIMAS. Geomorfologia e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, p. 291-336. 1996.

RUDORFF, Bernardo Friedrich Theodor; SUGAWARA, Luciana Miura. **Mapeamento da cana-de-açúcar na Região Centro-Sul via imagens de satélites. Informe Agropecuário**. Belo Horizonte, v. 28, n. 241, p. 79-86, nov. 2007.

SANTOS, P. A. F.; CANALI, N. E.; OKA FIORI, C. **Fragilidade Ambiental da bacia do Rio Ipiranga – PR**. VI Simpósio Nacional de Geomorfologia/Regional Conference on Geomorphology. Goiânia, 2006.

SANTOS, R. F. dos. 2004. **Planejamento ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004. 184 p.

SANTOS, Rafael Marques dos; NÓBREGA, Maria Teresa de; PAIVA, Raniere Garcia; SILVEIRA, Hélio. **Análise da Fragilidade Ambiental no Município de Tamboara-PR: aplicação e estudo comparativo de duas metodologias.** *Geoambiente*, Jataí, v. 14, n. 14, p. 93-120, jun. 2010.

SILVA, A. M. **Princípios Básicos de Hidrologia.** Departamento de Engenharia. UFLA. LavrasMG. 1995.

SILVA, H.V.O. **Auditoria de estudo de impacto ambiental.** Rio de Janeiro, 1996. 250 p. Tese (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) – Coordenação dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

SIQUEIRA, Jaime Elias de; HENKES, Jairo Afonso. **Impactos gerados por represas de Usinas Hidrelétricas: o caso da usina hidrelétrica de manso.** *Gestão e Sustentabilidade Ambiental*, Florianópolis, v. 3, n. 1, p. 359-372, 2014.

SOUZA, D. S.L.; Dellargine. F. L.; Mira, Í. R. C.; Silva, G. T. G; Silva, M. L. **Análise e Mapeamento da Fragilidade Ambiental no Município de Inconfidentes - MG.** *Revista Brasileira de Geografia Física*. Outubro, 2020.

SPORL, C. **Análise da Fragilidade Ambiental Relevo-Solo com Aplicação de Três Modelos Alternativos nas Altas Bacias do Rio Jaguari-Mirim, Ribeirão do Quartel e Ribeirão da Prata.** Dissertação de Mestrado FFLCH – USP, São Paulo, 2001.

SPÖRL, Christiane; ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. **Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos.** *Revista GeoUSP*, São Paulo, n. 15, p. 39-49, 2004.

SPÖRL, Christiane. **Metodologia para a elaboração de modelos de fragilidade ambiental utilizando redes neurais.** 2007. 185 folhas. Tese (Doutorado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

SILVA, Jaqueline de Carvalho; MONTEIRO, Gabriella Oliveira; PAMBOUKIAN, Sergio Vicente Denser. **Introdução ao Geoprocessamento.** Alice Brasil: ANAIS - BIÊNIO, São Paulo, v. 3, n. 1, p. 155-164, 2014.

TEDESCO, Andrea. **DELIMITAÇÃO DE VOÇOROCA COM IMAGENS DE ALTA RESOLUÇÃO E ALS POR MEIO DE ÁRVORE DE DECISÃO E GEOBIA.** 2015. 188 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós- Graduação em Ciências Geodésicas, Departamento de Geomática, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

TRICART, J. **Ecodinâmica.** Rio de Janeiro: IBGE/ SUPREN (Recursos Naturais e Meio Ambiente), 1977. 91 p.

VASCONCELLOS, Bruna Nascimento. **Geoprocessamento Aplicado na Análise da Fragilidade Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo - RS.** 2013. 48 f. Monografia (Especialização) - Curso de Geomática, Programa de Pós-Graduação em Geomática, Área de Concentração Tecnologia da Geoinformação, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

VAINER, C. B.; ARAÚJO, Frederico G. B. **Grandes Projetos Hidrelétricos Desenvolvimento Regional**. CEDI: Rio de Janeiro, 1992.

VIGNATTI, M. A. P. **Modificações territoriais induzidas pelas usinas hidrelétricas do Rio Uruguai, no oeste catarinense (2013)**. Tese de Doutorado (Programa de pós Graduação em Geografia). Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis/SC, 262p.