



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais

ARIEL GODINHO VESPUCCI

ANÁLISE DA FRAGILIDADE AMBIENTAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO
RIO DAS ALMAS, GO

GOIÂNIA

2020



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
GERÊNCIA DE CURSOS E PROGRAMAS INTERDISCIPLINARES

**TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA) PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES
E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG**

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a [Lei 9.610/98](#), o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo das Teses e Dissertações disponibilizado na BDTD/UFG é de responsabilidade exclusiva do autor. Ao encaminhar o produto final, o autor(a) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

1. Identificação do material bibliográfico

☒ Dissertação ☐ Tese

2. Nome completo do autor

Ariel Godinho Vespucci

3. Título do trabalho

ANÁLISE DA FRAGILIDADE AMBIENTAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DAS ALMAS, GO

4. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador)

Concorda com a liberação total do documento ☒ SIM ☐ NÃO*

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante:

- a) consulta ao(a) autor(a) e ao(a) orientador(a);
 - b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo da tese ou dissertação.
- O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

Obs. Este termo deverá ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.



Documento assinado eletronicamente por Fausto Miziara, Coordenadora de Pós-Graduação, em 16/11/2020, às 16:20, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por ARIEL GODINHO VESPUCCI, Discente, em 16/11/2020, às 16:27, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador 1682077 e o código CRC 9BE5BDC3.

ARIEL GODINHO VESPUCCI

ANÁLISE DA FRAGILIDADE AMBIENTAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO
RIO DAS ALMAS, GO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, da Pró-Reitoria de Pós-Graduação da Universidade Federal de Goiás como requisito para obtenção do título de mestre em Ciências Ambientais.

Área de Concentração: Estrutura e Dinâmica Ambiental

Linha de Pesquisa: Fronteiras e Meio Ambiente

Orientador: Prof. Dr. Fausto Miziara

Coorientador: Prof. Dr. Márcio Henrique de Campos Zancopé

GOIÂNIA

2020

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Vespucci, Ariel Godinho
ANÁLISE DA FRAGILIDADE AMBIENTAL NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO DAS ALMAS, GO [manuscrito] / Ariel
Godinho Vespucci. - 2020.
LXXVIII, 88 f.

Orientador: Prof. Dr. Fausto Miziara; co-orientador Dr. Márcio
Henrique de Campos Zancopé.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, ,
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Goiânia, 2020.

1. Fragilidade Ambiental. 2. Bacia Hidrográfica. 3. Uso e Ocupação
das terras. 4. Conversão. I. Miziara, Fausto, orient. II. Título.

CDU 502/504



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

GERÊNCIA DE CURSOS E PROGRAMAS INTERDISCIPLINARES

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Ata nº 006 da sessão de Defesa de Dissertação de Ariel Godinho Vespucci, que confere o título de Mestre(a) em Ciências Ambientais, na área de concentração em Estrutura e Dinâmica Ambiental.

Ao/s nove dias do mês de outubro de 2020, a partir das 14:00h, por videoconferência, no Google Meet: <<https://meet.google.com/bzj-zukb-abx>>, realizou-se a sessão pública de Defesa de Dissertação intitulada "ANÁLISE DA FRAGILIDADE AMBIENTAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DAS ALMAS, GO". Os trabalhos foram instalados pelo Orientador, Professor Doutor Fausto Miziara - FCS/UFG com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Professor Doutor Guilherme Taitson Bueno - IESA/UFG, membro titular externo; Professor Doutor Maximiliano Bayer - IESA/UFG, membro titular interno. Durante a arguição os membros da banca não fizeram sugestão de alteração do título. A Banca Examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da Dissertação, tendo sido o candidato aprovado pelos seus membros. Proclamados os resultados pelo Professor Doutor Fausto Miziara - FCS/UFG, Presidente da Banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata que é assinada pelos Membros da Banca Examinadora, ao(s) nove dias do mês de outubro de 2020.

TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA



Documento assinado eletronicamente por Fausto Miziara, Coordenadora de Pós-Graduação, em 13/10/2020, às 14:55, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por Maximiliano Bayer, Professor do Magistério Superior, em 13/10/2020, às 20:28, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por ARIEL GODINHO VESPUCCI, Discente, em 14/10/2020, às 13:18, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por Guilherme Taitson Bueno, Professor do Magistério Superior, em 15/10/2020, às 10:26, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador 1595853 e o código CRC 1EC192D7.

AGRADECIMENTOS

A Deus por mais esta conquista.

Aos meus pais e meu irmão, pelo apoio incondicional.

À Rosane Borges de Oliveira, por compreender e me incentivar nessa caminhada.

Aos professores Fausto Miziara e Márcio Henrique de Campos Zancopé, pela orientação e confiança durante a realização deste trabalho.

Aos professores da Universidade Federal de Goiás (UFG) e do Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais (CIAMB), pela aprendizagem de qualidade a mim proporcionado.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG) pela bolsa ofertada.

A todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram pela realização dessa pesquisa.

Muito obrigado!

RESUMO

A Bacia Hidrográfica do Rio das Almas (BHRA) é uma das principais afluentes do reservatório Serra da Mesa no norte de Goiás, abrangendo a Mesorregião do Centro Goiano e parte das regiões Noroeste, Norte e Leste de Goiás, com 38 municípios atendidos por importantes vias de infraestrutura voltada para a macroeconomia nacional (Ferrovia Norte-Sul e BR-153), fundamentais para o histórico de ocupação dessa região. Com o crescente processo de transformação da vegetação nativa do Cerrado em usos antrópicos incentivados por políticas públicas de desenvolvimento agropecuário e industrial, aumentou-se a pressão sobre os recursos naturais da BHRA. Este estudo propõe uma análise da evolução da Fragilidade Ambiental (ROSS, 1994) da BHRA, cujos graus de fragilidade resultam da interação e interdependência dos componentes dos sistemas naturais e dos sistemas socioeconômicos. Nesse sentido, a evolução da fragilidade ambiental da BHRA foi analisada comparando os mapas de fragilidade dos anos de 1985, 1995, 2005 e 2018, produzidos pelo entrecruzamento dos dados cartográficos do meio físico com os do uso e ocupação das terras nos anos correspondentes. Os resultados indicam que a dinâmica dos fatores bióticos e socioeconômicos responde pelas diferentes formas de ocupação dessa região e evolução da fragilidade ambiental da BHRA, uma vez que as características morfopedológicas não se alteram na escala temporal de análise. Ao longo do período de estudo, a vegetação remanescente concentra-se nas regiões de maiores altitudes, com maior dissecação do relevo, enquanto o uso antrópico ocorre nas áreas mais planas, com solos melhores e menor dissecação. Ao longo dos anos estudados, os ganhos de áreas de fragilidade forte e média acompanharam as perdas de áreas de Cerrado e os ganhos de pastagens e agricultura nos dois primeiros decênios. Essa ligação das áreas ocupadas com Cerrado e a fragilidade ambiental na BHRA torna-se mais evidente, quando, no decênio 2005-2018, há uma recuperação (ganho de áreas) do Cerrado e de áreas de fragilidades fraca e muito fraca, simultaneamente a perda de áreas de pastagens e de fragilidade média, acompanhada por uma queda no crescimento de áreas de fragilidade forte e muito forte. A análise da fragilidade ambiental e a identificação dos sistemas ambientais são importantes subsídios ao ordenamento/planejamento ambiental com vistas ao desenvolvimento sustentável da área de estudo.

Palavras-chave: Fragilidade Ambiental; Bacia Hidrográfica; Uso e Ocupação das terras; Conversão.

ABSTRACT

The Das Almas River Basin (BHRA) is one of the main affluent from Serra da Mesa reservoir in northern Goiás, covering Central Goiano Mesoregion and part of Northwest, North and East regions in Goiás. There are 38 municipalities served by important infrastructure roads focused on national macroeconomics (Ferrovia Norte-Sul and BR-153), which are fundamental to the occupation history of this region. With growing process of transforming the Cerrado native vegetation into anthropic uses encouraged by public policies for agricultural and industrial development, the pressure on BHRA's natural resources has increased. This study proposes an analysis of BHRA's Environmental Fragility evolution (ROSS, 1994), which fragility degrees result from the interaction and interdependence of components in natural and socioeconomic systems. So, BHRA's environmental fragility evolution was analyzed by comparing the fragility maps of the years 1985, 1995, 2005 and 2018, produced by the cartographic data intersection of physical environment with those of land use and occupation in the corresponding years. The results indicate that biotic and socioeconomic factors dynamics are responsible for different forms of occupation of this region and the evolution of BHRA's environmental fragility, since the morphopedological characteristics do not change in analysis time scale. Throughout the study period, the remaining vegetation is concentrated in higher altitudes regions, with greater relief dissection, while anthropic use occurs in flatter areas, with better soils and less dissection. Over the years studied, the gains in strong and medium fragility areas followed the losses in Cerrado areas and pastures and agriculture gains in the first two decades. This link between Cerrado areas and environmental fragility in BHRA becomes more evident when, from 2005 to 2018, there is a Cerrado recovery (gain of areas) and areas of weak and very weak fragilities, simultaneously the loss pasture and medium fragility areas, accompanied by a drop in growth in strong and very strong fragility areas. The analysis of environmental fragility and the identification of environmental systems are important subsidies for environmental planning aiming sustainable development of the study area.

Keywords: Environmental Fragility; River Basin; Land Use and Occupation; Conversion.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama de apresentação da síntese dos conceitos de risco, perigo, vulnerabilidade e suscetibilidade	22
Figura 2: Localização da Bacia Hidrográfica do Rio das Almas	27
Figura 3: Proposta de classificação da dissecação (ROSS, 1994)	32
Figura 4: Triângulo textural utilizado para determinação da textura do solo	23
Figura 5: Mapa geomorfológico da BHRA	35
Figura 6: Mapa hipsométrico da BHRA	37
Figura 7: Mapa de declividade da BHRA	38
Figura 8: Mapa do Índice de Dissecação do Relevo da BHRA	40
Figura 9: Mapa de Solos da BHRA	42
Figura 10: Mapa de Textura dos Solos da BHRA	45
Figura 11: Mapa de Uso e Ocupação das Terras na BHRA em 1985	48
Figura 12: Mapa de Uso e Ocupação das Terras na BHRA em 1995	50
Figura 13: Mapa de Uso e Ocupação das Terras na BHRA em 2005	52
Figura 14: Mapa de Uso e Ocupação das Terras na BHRA em 2018	54
Figura 15: Mapa de Fragilidade Ambiental Natural, dividido por classes de fragilidade	56
Figura 16: Mapa de Fragilidade Ambiental, dividido por classes de fragilidade, 1985	60
Figura 17: Mapa de Fragilidade Ambiental, dividido por classes de fragilidade, 1995	63
Figura 18: Mapa de Fragilidade Ambiental, dividido por classes de fragilidade, 2005	65
Figura 19: Mapa de Fragilidade Ambiental, dividido por classes de fragilidade, 2018	67
Figura 20: Áreas (%) das classes de Fragilidade Ambiental da BHRA em cada um dos anos	68
Figura 21: Variação (%) decenal das áreas das classes de fragilidade ambiental em três períodos	70
Figura 22: Variação (%) decenal das áreas, separadas por classes de fragilidade ambiental em três períodos	71
Figura 23: Variação decenal da fragilidade ambiental em comparação com o uso e ocupação das terras	72
Figura 24: Variação decenal da fragilidade ambiental Vs. variação decenal do uso e ocupação das terras	74

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Sumário das categorias do modelado e suas respectivas áreas na BHRA	34
Tabela 2: Índice de Dissecção do Relevo e suas respectivas áreas na BHRA	39
Tabela 3: Classes do mapa de solos e suas respectivas áreas na BHRA	41
Tabela 4: Textura dos solos e suas respectivas áreas na BHRA	44
Tabela 5: Classes da Fragilidade Ambiental Natural e suas respectivas áreas na BHRA	57
Tabela 6: Classes da Fragilidade Ambiental e suas respectivas áreas na BHRA, 1985	59
Tabela 7: Classes da Fragilidade Ambiental e suas respectivas áreas na BHRA, 1995	62
Tabela 8: Classes da Fragilidade Ambiental e suas respectivas áreas na BHRA, 2005	64
Tabela 9: Classes da Fragilidade Ambiental e suas respectivas áreas na BHRA, 2018	66

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1: Síntese dos dados cartográficos da BHRA	30
Quadro 2: Influência dos componentes dos meios biofísicos e socioeconômicos sobre a Fragilidade Ambiental	31
Quadro 3: Graus de Fragilidade Ambiental na BHRA	34
Quadro 4: Síntese dos dados de áreas de agricultura e pastagem, em municípios representativos	49

ÍNDICE DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Af – Planície de Acumulação Fluvial

BHRA – Bacia Hidrográfica do Rio das Almas

CANG – Colônia Agrícola Nacional de Goiás

CTC – Capacidade de Troca Catiônica

CXBd – Cambissolo Háptico Distrófico

CXBe – Cambissolo Háptico Eutrófico

De – Dissecação Estrutural

Dt – Dissecação Homogênea Tabular

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

ESRI - Environmental Systems Research Institute

FFc – Plintossolo Pétrico Concrecionário

FNS – Ferrovia Norte-Sul

GILAB – Geographic Information LABoratory

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IMB – Instituto Mauro Borges

INDE - Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

LVAd – Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico

LVd – Latossolo Vermelho Distrófico

LVdf – Latossolo Vermelho Distrófico Férrico

LVw – Latossolo Vermelho Ácrico

MapBiomias – Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil

MDE – Modelo Digital de Elevação

NASA - National Aeronautics and Space Administration

Nvef – Nitossolo Vermelho Eutrófico Férrico

PALSAR - Phased Array L-band Synthetic Aperture Radar

Pgi – Pediplano Degradado Inundado

POLOCENTRO – Programa de Desenvolvimento dos Cerrados

PPA – Plano Plurianual

PROÁLCOOL – Programa Nacional do Alcool

PRODECER – Programa de Cooperação Nipo-Brasileira para Desenvolvimento dos Cerrados

Pru – Pediplano Retocado Desnudado

PVAd – Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico

PVAe – Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico

PVd – Argissolo Vermelho Distrófico

Pve – Argissolo Vermelho Eutrófico

RADAMBRASIL – Projeto Radar no Brasil

Rld – Neossolo Litólico Distrófico

SIEG - Sistema Estadual de Geoinformação

SRTM – Missão Topográfica Radar Shuttle

SU – Solos Urbanos

TOPODATA – Projeto TOPODATA Banco de Dados Geomorfológicos do Brasil

UC – Unidade de Conservação

USGS - United States Geological Survey

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	15
1. FRAGILIDADE AMBIENTAL	20
2. METODOLOGIA	26
2.1 MATERIAIS	26
Área de estudo	26
Organização e inventário	28
2.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	30
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
3.1 ENTENDIMENTO DO RELEVO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DAS ALMAS	34
3.2 COMPONENTES DOS MEIOS BIOFÍSICOS E SOCIOECONÔMICOS SOBRE A FRAGILIDADE AMBIENTAL DO RIO DA ALMAS	39
Índice de Dissecação	39
Solos	41
• Tipos de Solos	41
• Textura dos Solos	44
Uso e Ocupação das terras e sua Evolução	46
3.3 FRAGILIDADE AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DAS ALMAS	55
Variação Espaço-temporal da Fragilidade Ambiental	58
• Ano de 1985	59
• Ano de 1995	62
• Ano de 2005	64
• Ano de 2018	66
Variação Relativa da Fragilidade Ambiental	68
Dinâmica da Variação da Fragilidade Ambiental	72
CONCLUSÕES	75
REFERÊNCIAS	77
APÊNDICES	84

INTRODUÇÃO

O Cerrado está localizado predominantemente no Planalto Central brasileiro, abrangendo de forma contínua os estados de Goiás, Tocantins e o Distrito Federal, parte dos estados da Bahia, Ceará, Maranhão, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Piauí, Rondônia e São Paulo (RIBEIRO E WALTER, 2008). Segundo Klink e Machado (2005), o Cerrado destaca-se por ser o segundo maior bioma do Brasil, apresentando flora com grande diversidade e endemismo, sendo identificado como um dos *hotspots* do mundo por causa da ameaça de extinção de animais e vegetais decorrentes das altas taxas de desmatamento.

O relevo suave e com predomínio de chapadões associados ao auxílio dos altos investimentos públicos em infraestrutura viária e a programas de incentivo à expansão agropecuária no Cerrado, como por exemplo, o Programa de Desenvolvimento dos Cerrados (POLOCENTRO) e o Programa de Cooperação Nipo-Brasileira para Desenvolvimento dos Cerrados (PRODECER), favoreceu uma grande e extremamente rápida ocupação do bioma (SILVA e ANJOS, 2010). Isso ocorreu especialmente no estado de Goiás, onde suas mesorregiões receberam incentivos específicos para a dinamização do território (FERREIRA e SENA, 2018). A região central do estado, onde localiza-se grande parte da Bacia Hidrográfica do Rio das Almas, utilizou-se desses incentivos para desenvolver sua produção econômica, voltada à mineração e agropecuária, principalmente a cana-de-açúcar.

Por outro lado, o Cerrado é conhecido como o “berço das águas do Brasil”. Tal percepção popular vem pelo fato de o Cerrado conter os divisores de água das principais Bacias Hidrográficas brasileiras (SOUZA *et al.*, 2019).

O conceito de Bacia Hidrográfica é explicado, segundo Guerra (1978), como um conjunto de terras drenadas por um corpo de água principal e seus afluentes. Nas últimas décadas, direcionado à conservação dos recursos naturais por um planejador, o conceito tem sido ampliado para abranger aspectos que vão além dos hidrológicos. Preocupou-se em envolver o conhecimento das estruturas biofísicas de uma bacia hidrográfica, além de mudanças nos padrões do uso das terras e as possíveis implicações ambientais (PIRES; SANTOS; DEL PRETTE, 2002).

Existem diversos materiais, como: WMO, 1992; Porto e Porto, 2008; MMA, 2007, entre outros, que explicam a importância de uma bacia hidrográfica como objeto de estudo e/ou planejamento. CHRISTOFOLETTI (1980), por exemplo, afirma que estudos

relacionados às drenagens fluviais sempre possuem funções relevantes. Para ele, as análises da rede hidrográfica podem esclarecer inúmeras questões geomorfológicas, pois os cursos de água dominam vários processos morfogenéticos que esculpem a paisagem terrestre.

Legislações que disciplinem o uso da água e contenham instrumentos para favorecer o planejamento e os usos racionais dos recursos hídricos são de extrema importância. Com isso, em 1997, institui-se no país a Lei 9.433, conhecida como Lei das Águas, que estabelece a bacia hidrográfica como unidade territorial para a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2011). Tundisi e Matsumura-Tundisi (2011) dizem que os avanços que aconteceram na legislação promoveram novas perspectivas para o planejamento e gestão das águas e indicaram processos de descentralização na gestão, utilizando-se assim a bacia hidrográfica como unidade territorial.

Uma bacia hidrográfica pode sofrer mudanças ambientais devido a muitos fatores relacionados a perturbações antrópicas, como mudanças no uso e ocupação das terras, desenvolvimento urbano, fragmentação florestal, entre outros (CONSTANTINI, 2012). Souza (2005) avalia o que chamou de suscetibilidade morfométrica de diversas bacias de drenagem, para determinar a influência do comportamento geométrico das mesmas para o desencadeamento de inundações, erosões, deslizamentos, entre outros. Dessa forma, a utilização dos parâmetros morfométricos de bacias hidrográficas permite indicar as potencialidades e vulnerabilidades ambientais, para ordenar melhor o uso e ocupação das terras, apontando as áreas menos vulneráveis para a implantação de atividades antrópicas.

As atividades antrópicas, responsáveis por diversas modificações existentes no espaço físico natural, quando levamos em conta o seu potencial de impacto, necessitam de muito controle e atenção. Para reduzir impactos negativos à natureza, principalmente os que apresentam grande capacidade de degradação, tornam-se importantes ações com cunho de avaliação e mitigação ambiental. Girão, Rabelo e Zanella (2018) exemplificam que a degradação do ambiente é o principal pilar dos problemas ambientais da contemporaneidade, principalmente pela atual condição de transformação do espaço físico-natural, em um contexto social de desigualdades econômicas e sociais, gerando assim uma injustiça social, tal como a concentração da renda e falta de ordem na ocupação territorial.

A crescente industrialização nas cidades, a mecanização da agricultura na forma de monoculturas, a generalização das pastagens e a intensa exploração dos recursos energéticos e matérias-primas alteraram e continuam alterando de uma forma irreversível o planeta, levando com isso uma maior frequência de processos danosos ao ambiente natural (ROSS, 1994).

Retroceder a direção da degradação ambiental tem sido debatido durante décadas (POTT; ESTRELA, 2017). Nessa direção, instrumentos de ordenamento territorial propõem associar a exploração socioeconômica contínua dos recursos naturais com a conservação e recuperação dos sistemas ambientais (Desenvolvimento Sustentável). Os sistemas ambientais resultam da interação e interdependência entre componentes do ambiente natural e das sociedades humanas. Se de um lado essa interação torna recurso socioeconômico alguns aspectos do ambiente natural (potencialidade), por outro a interdependência entre os componentes demonstra que os mecanismos que mantêm o funcionamento dos sistemas naturais se rompem facilmente (fragilidade). Sistemas naturais cujos mecanismos e funcionalidade são rompidos com facilidade são considerados frágeis e vice-versa (POTT; ESTRELA, 2017).

Nessa perspectiva uma possível abordagem teórica e metodológica é o conceito de fragilidade, Ross (1994) explica que deve haver uma análise empírica da fragilidade, a qual constitui um estudo que integre os componentes e as funções dos sistemas naturais e socioeconômicos, hierarquizando seus níveis de fragilidade. Para tanto, exige-se inter-relacionar os elementos e propriedades do relevo, da geologia, dos solos, da cobertura e uso das terras e do clima. Os estudos passam pelo trabalho de campo e serviços em escritório, para gerar um mapa-síntese, no qual é possível identificar diferentes graus de fragilidade que o ambiente apresenta.

Observa-se que a avaliação da fragilidade ambiental não é uma das tarefas mais fáceis. Existem muitas variáveis a serem analisadas, visto que analisar somente o uso e cobertura das terras pode omitir alguns processos naturais com elevado grau de importância. Atentando-se na rede de drenagem, mas não só a ela, os estudos integrados de bacias exigem um esforço muito grande na obtenção e sistematização dos dados, além de grande atenção para descrever os processos que influenciam em sua fragilidade.

Segundo Ross (1994), a uniformidade entre os dados disponíveis que se recomenda para a análise empírica da fragilidade ambiental pode não ser integrada suficientemente às variações estudadas em diferentes áreas de interesse, por distinções

encontradas nas escalas, fazendo com que não haja exatidão nos graus de fragilidades que o local tende a apresentar.

Com essa percepção, a adaptação da metodologia de Ross (1994) possibilita a aplicação a outras áreas de estudo, conseguindo assim uma amplitude maior da metodologia com resultados satisfatórios.

Dessa forma, pode-se apoiar os instrumentos de ordenamento territorial na medida que apontariam áreas com diferentes graus de fragilidade ambiental, indicando áreas prioritárias para conservação e recuperação ambiental. Assim, a aplicação dessa abordagem permite compreender o processo de antropização de uma bacia específica, no nosso caso a Bacia Hidrográfica do Rio das Almas (BHRA). Dito isso, a necessidade de se realizar o mapeamento da fragilidade ambiental da BHRA vem ao encontro dos princípios da conservação dos recursos naturais e do desenvolvimento sustentável.

Existem três pontos de maior importância para se aplicar essa análise empírica da fragilidade ambiental na BHRA. O primeiro deles refere-se ao aspecto hidrológico. A BHRA é uma área de contribuição hídrica para o reservatório da Serra da Mesa em Goiás, que possui extrema importância para a região norte do estado. Por se tratar de um reservatório multiuso, sendo descrito por Costa (2002), entre os impactos positivos significativos, temos: o controle de cheias, aproveitamento turístico, geração de empregos diretos e indiretos, diminuição de poluentes na atmosfera e a criação de peixes para fim comercial. Porém, por outro lado temos os impactos negativos: a inundação de fauna, flora, sítios arqueológicos e riquezas minerais existentes para criação do lago da barragem.

Um ponto a destacar nesses estudos é a qualidade dos dados hidrológicos da bacia. Conforme citado por Vespucci, Santos e Bayer (2016), em cerca de 92 das 148 estações fluviométricas da bacia do Araguaia-Tocantins, ao qual a BHRA faz parte, estariam com dados insatisfatórios, por apresentarem ausência total ou suas séries históricas não detinham os dados suficientes para seu gerenciamento. Desse modo, a análise da fragilidade ambiental da BHRA pode indicar as estações fluviométricas que necessitam de ações prioritárias de investimento para melhorar o monitoramento hidrológico.

O segundo ponto trata-se do histórico de ocupação da BHRA. Silva e Miziara (2011), retratam que na região norte do estado de Goiás houve uma ocupação desordenada, tendo como principal motivação a “Expansão da Fronteira Agrícola”,

vivenciada pela expansão da cana-de-açúcar e influenciada pela instalação da Belém-Brasília.

O terceiro ponto é a Ferrovia Norte-sul. Ferreira e Sena (2018) descrevem que ela foi pensada para trânsito dos produtos e mercadorias frutos da lógica do capital agronegocista brasileiro, tendo o açúcar como a principal commodity a ser transportada, visando o mercado internacional. Segundo os mesmos autores, o município de Goianésia destaca-se na lógica canavieira, tendo três usinas em funcionamento. A Jalles Machado, por exemplo, corresponde a uma das usinas mais produtivas do estado de Goiás, utilizando-se do capital internacional e com vários produtos comercializados com o exterior.

Marinho e Castilho (2018) descrevem que as empresas do setor canavieiro demandam de uma fluidez intensa, principalmente para a distribuição de etanol no Brasil e a exportação do açúcar. Em geral, as cargas desses produtos, com grande volume e baixo valor agregado, se adequam bem às condições que o sistema da Ferrovia Norte-sul tem a oferecer. Com isso, a ferrovia se constitui como um novo corredor agroexportador, perpassando por locais com densidade populacional e urbana menor e com relevos menos irregulares na região centro-norte do estado de Goiás, permitindo assim uma maior velocidade média aos vagões, acionando os portos com uma maior proximidade aos mercados Asiáticos, Europeu e Americano (MARINHO e CASTILHO, 2018).

Diante disso tudo, os graus de fragilidade ambiental são resultantes da interação e interdependência entre os componentes dos sistemas naturais e socioeconômicos (ROSS, 1994). Desse modo, mudanças históricas no padrão de ocupação e uso das terras (sistema socioeconômico), como aumento do desmatamento e intensificação da agropecuária, devem ter afetado proporcionalmente as áreas com diferentes graus de fragilidade ambiental na bacia do Rio das Almas. Identificar áreas de maior fragilidade ambiental e/ou que sofreram variação no grau de fragilidade podem apontar áreas prioritárias para conservação e recuperação ambiental na bacia, além de permitir compreender o processo de antropização da região. Assim, a proposta tem por finalidade responder as questões:

- a) Quais são os setores na bacia do Rio das Almas onde predominam áreas com maior fragilidade ambiental?
- b) Em que grau as mudanças históricas da cobertura e uso das terras alteram a fragilidade ambiental da bacia do Rio das Almas?

- c) Os fatores que mais impactam sobre a fragilidade ambiental da bacia do Rio das Almas estão ligados aos componentes dos sistemas socioeconômicos, como ocupação e uso das terras? Ou há quantidade maior de áreas, onde a fragilidade ambiental depende dos componentes dos sistemas físicos-naturais?

Assim, temos os seguintes objetivos nesse trabalho:

GERAL:

Analisar a evolução da fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio das Almas (BHRA), na região centro-norte do estado de Goiás, destacando os setores que sofreram alteração no grau de fragilidade ambiental, em face às mudanças na cobertura e uso das terras.

ESPECÍFICOS:

- (1) Gerar e comparar mapas dos graus de fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio das Almas (BHRA) para os anos 1985, 1995, 2005 e 2018, permitindo distinguir a variação decenal da fragilidade ambiental.
- (2) Identificar quais os tipos (classes) de cobertura e uso das terras que mudaram, causando variação nos graus de fragilidade ambiental.

1. FRAGILIDADE AMBIENTAL

As mudanças que as sociedades humanas promovem no meio físico natural constituem grandes transformações no funcionamento e nas estruturas dos sistemas ambientais do nosso planeta. Ross (1994) relata que a relação homem-natureza tem levado ao agravamento da fragilidade ambiental dos sistemas naturais, à elevação da suscetibilidade do meio frente aos processos supérgeos e ao aumento da vulnerabilidade das comunidades humanas aos desastres naturais.

Ross (1994) descreve que é possível estabelecer um paralelo entre o avanço da exploração dos recursos naturais com uma maior complexidade do desenvolvimento tecnológico, científico e econômico das sociedades humanas. Com o desenvolvimento humano cada vez mais rápido, principalmente no último século, as sociedades humanas transformaram-se radicalmente. O aumento da natalidade e da longevidade com reduções na mortalidade possibilitaram um rápido crescimento demográfico. Assim, com o avanço tecnológico e uma grande sofisticação dos padrões de vida, juntamente com o crescimento das populações, ocorreu uma interferência cada vez maior nos ambientes naturais, mediante uma acentuada procura por recursos. Esse processo de desenvolvimento gerou

desequilíbrios regionais mais ou menos acentuados. Locais onde os modelos de desenvolvimento foram importados mostram significativo desequilíbrio social, cultural, econômico e ambiental, como a América Latina, por exemplo (HAFFNER, 2007).

Paralelamente, o rápido crescimento da população mundial, principalmente nos grandes centros, trouxe uma evolução nos casos de desastres naturais no mundo. Segundo Kobyama (2006), as causas dos desastres naturais sofrem agravamentos pela ação humana inadequada. Para ele, esta ação transforma o perigo de certo fenômeno natural em risco de desastre como um todo.

Os termos perigo e risco não são sinônimos, mas se inter-relacionam. Para Kobyama (2006), perigo é a probabilidade de um fenômeno natural ocorrer em regiões e épocas já conhecidas, e assim ocasionar vários danos nas áreas impactadas. Por outro lado, risco é a probabilidade de perdas e prejuízos em uma área determinada, pois existe uma presença iminente do perigo (UNDP, 2004). Nas palavras de Kobyama (2006):

Exemplificando tal relação, um fenômeno atmosférico extremo como um tornado, que costuma ocorrer em uma determinada região (susceptibilidade) e época conhecida, gera uma situação de **perigo**. Se este se deslocar na direção de uma determinada área povoada, com uma possibilidade real de prejuízos em um determinado período (vulnerabilidade), teremos então uma situação de **risco**. Se o tornado atingir a área povoada, provocando danos materiais e vítimas, será denominado como um **desastre natural** (KOBAYAMA, 2006, p. 17).

Assim, as ideias de suscetibilidade e vulnerabilidade possuem sentidos complementares. A suscetibilidade é o grau de possibilidade de ocorrer um fenômeno natural em determinado lugar. As áreas com o relevo montanhoso têm suscetibilidade elevada aos movimentos de massa, como deslizamentos e escorregamentos. Enquanto regiões semiáridas são suscetíveis a estiagens prolongadas, as planícies de inundação a alagamentos devido a cheias sazonais. Nessa percepção, isso pode ocorrer sem a interferência dos fatores sociais. Porém deve-se levar em questão a interferência da sociedade humana na sua aceleração ou retardamento. A ação antrópica, atuante como modificadora da dinâmica natural de determinada região, afeta a intensidade e frequência dos fenômenos naturais (GIRÃO, RABELO & ZANELLA, 2018). É consenso que o desmatamento aumenta a suscetibilidade à erosão. Enquanto a impermeabilização aumenta a suscetibilidade a alagamentos nas cidades, a construção de barragens nos rios regula a variação das vazões, reduzindo a suscetibilidade dos transbordamentos à jusante.

Por outro lado, vulnerabilidade é a probabilidade de um fenômeno natural produzir danos ou prejuízos em determinada área, quando ele ocorrer (KOBAYAMA, 2006). Assim, a vulnerabilidade será maior quanto maior for a presença da sociedade humana na área suscetível àquele fenômeno natural. Uma cidade possui uma vulnerabilidade acentuada a inundações fluviais, visto a possibilidade de elas causarem danos econômicos generalizados, mortes e disseminação de doenças. Sob essa perspectiva, uma consolidada unidade de conservação (UC) de proteção integral possui vulnerabilidade baixa para esse mesmo fenômeno.

Já a vulnerabilidade ambiental segundo Aquino *et al.* (2017) tem por definição o quanto determinado sistema natural é inapto ou suscetível de suportar os efeitos das interações externas. A vulnerabilidade ambiental pode ser resultante da pressão de atividades socioeconômicas ou de características próprias dos ambientes naturais, como sistemas mais frágeis com baixa resiliência, ou seja, com capacidade pequena para retornar ao seu estado anterior sem maiores problemas, cedendo assim à uma situação crítica. A figura 1 sintetiza esses conceitos principais, demonstrando a relação entre eles.

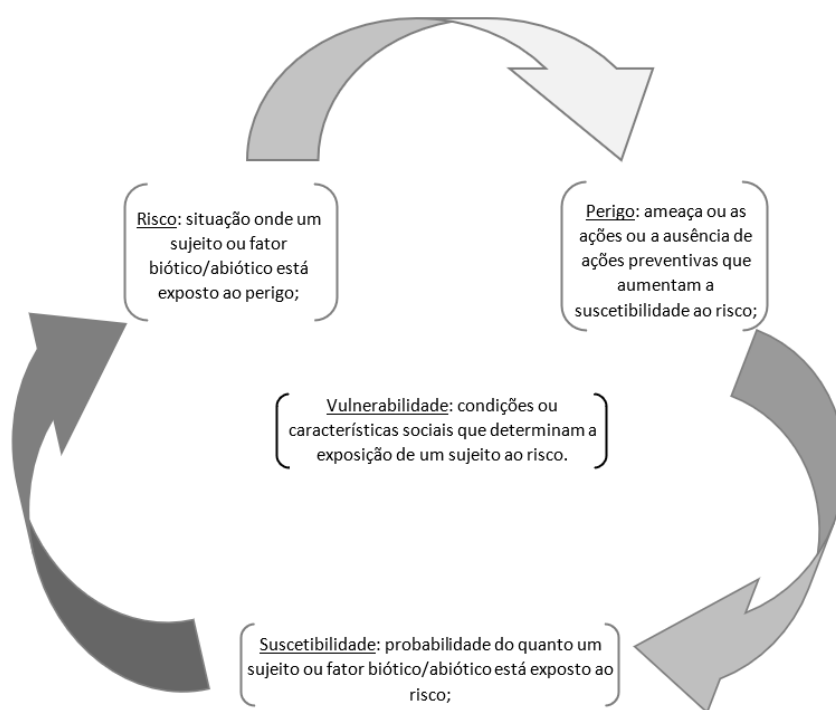


Figura 1: Diagrama de apresentação da síntese dos conceitos de risco, perigo, vulnerabilidade e suscetibilidade.

Fonte: Adaptado de (GIRÃO, RABELO & ZANELLA, 2018).

Outras distinções conceituais entre perigo, risco, suscetibilidade e vulnerabilidade podem ser observadas na literatura especializada de Monteiro (1991) e Christofolletti (1989, p. 214). Esses diversos termos com sentidos semelhantes causam confusão, a ponto

de ramos científicos desenvolverem estudos similares, porém com vocabulários que atendem a preferência de cada grupo de pesquisadores. Essa confusão, que envolve também o conceito de fragilidade ambiental, dificulta a integração interdisciplinar. Independentemente disso, a quantidade de desastres naturais aumentou consideravelmente a partir da década de 1950. Marcelino, Nunes e Kobyama (2006) atribuíram essa tendência ao crescimento populacional, à segregação socioespacial, às mudanças globais, entre outras.

Recapitulando, temos os avanços tecnológicos e socioeconômicos na segunda metade do Século XX promovendo mudanças profundas nas paisagens terrestres, através da exploração intensa das potencialidades do ambiente natural (recursos naturais). Simultaneamente, a evolução populacional, a urbanização e o progresso do acúmulo de capital elevaram a suscetibilidade dos sistemas naturais e a vulnerabilidade dos sistemas ambientais (interação entre os meios biofísicos e socioeconômicos), intensificando a ocorrência dos desastres naturais.

Diante dessa realidade, Santos (2015) descreve que a partir da segunda metade do Século XX manifestou-se uma série de propostas de investigações com cunho a entender as correlações de interdependência entre as atividades antropogênicas e os elementos físico-ambientais por meio de avaliações multitemáticas. Entre exemplos recentes e casos goianos, é possível citar: Hétu (2003), Santos e Souza (2014), Pereira Jr. *et al.* (2015), Rosa, Nunes e Cherem (2017).

Nesse contexto, se insere a fragilidade ambiental, com o objetivo principal de classificar os ambientes, para que as ações das sociedades humanas sejam realizadas em comum acordo com as limitações e potencialidades dos recursos naturais, tendo em vista minimizar os possíveis riscos e a degradação ambiental (SANTOS, 2015). Ross (1994), resgatando os princípios da Ecodinâmica de Tricart (1977), difunde o termo fragilidade ambiental. Entre diversos estudos, temos: Spörl e Ross (2004), Donha, Souza e Sugamoto (2006), Cruz, Pinese Júnior e Rodrigues (2010), Franco *et al.* (2012) e Cabral *et al.* (2011), este último, um caso goiano.

Com base em Tricart (1977), Ross (1994) admite que, as trocas de energia e matéria na natureza se processam em uma relação de equilíbrio dinâmico. Esse equilíbrio é frequentemente alterado pelas intervenções humanas, gerando estados de desequilíbrios temporários ou permanentes. Assim, os ambientes em equilíbrio dinâmico são estáveis e os em desequilíbrio são instáveis, sendo possível classificá-los primariamente em

Unidades Ecodinâmicas Estáveis e Instáveis. As Unidades Ecodinâmicas Estáveis são aquelas que se encontram em seu estado natural, sem intervenção humana; e as Unidades Ecodinâmicas Instáveis são aquelas em que as intervenções antrópicas modificaram intensamente os ambientes naturais através dos desmatamentos e práticas econômicas diversas. Ross (1990) estabeleceu as Unidades Ecodinâmicas Instáveis ou de Instabilidade Emergente em vários graus, desde muito forte a muito fraca. Fez o mesmo para Unidades Ecodinâmicas Estáveis que podem apresentar Instabilidade Potencial devido suas características naturais, mesmo estando em equilíbrio dinâmico, constituindo assim Unidades Ecodinâmicas de Instabilidade Potencial.

Ross (1994) não definiu literalmente a fragilidade ambiental, mas expõe a concepção teórica sobre o conceito. É possível inferir que sua percepção da fragilidade ambiental é a classificação dos sistemas ambientais conforme a possibilidade ou predisposição (capacidade) à degradação dos mecanismos de interação e interdependência entre os componentes do meio biofísico natural e socioeconômico, que mantém os sistemas ambientais em equilíbrio dinâmico. Portanto, a fragilidade dos ambientes naturais, frente as intervenções humanas, pode ser menor ou maior em função das suas características intrínsecas. No princípio, os ambientes naturais se mostram, ou mostravam-se, em um estado de equilíbrio dinâmico, tendo continuado assim até o momento em que as sociedades humanas passaram a intervir de uma maneira cada vez mais intensa na exploração dos recursos naturais (ROSS, 1994). Alertando para esse processo histórico, Ross (1990) afirma que o planejamento territorial não é capaz de ser formulado a partir de uma leitura inerte do ambiente, devendo estar inserido na compreensão do processo de ocupação que direciona o desenvolvimento e a apropriação do território e dos seus recursos.

É possível notar certa convergência entre os conceitos de fragilidade ambiental de Ross (1994) e vulnerabilidade ambiental de Aquino *et al.* (2017, op. cit.). Como dito anteriormente, essas interseções acabam por dificultar a interdisciplinaridade. A difusão do termo fragilidade ambiental e o desenvolvimento das técnicas de determinação causaram ajustes que aumentaram a permeabilidade da fronteira conceitual. Apesar disso, a fragilidade ambiental continuou dizendo respeito à susceptibilidade de dano que o meio ambiente pode sofrer, inclusive a poluição. A fragilidade ambiental refere-se a áreas sensíveis a impactos ambientais, especialmente aquelas de baixa capacidade de recuperação.

Segundo Tamanini (2008), o conceito de fragilidade ambiental condiz com a vulnerabilidade do ambiente em sofrer qualquer tipo de dano. Ela está relacionada com fatores de desequilíbrio de ordem tanto natural, como em situações de elevadas declividades e altas susceptibilidades erosivas dos solos, quanto antropogênica, a exemplo do mau uso do solo.

Vittae e Mello (2009) ressaltaram que a fragilidade ambiental está ligada a fatores de desequilíbrio, tanto em uma ordem natural com declividade, erodibilidade e variações climáticas, quanto tecnológicas, a exemplo do manejo inadequado do solo.

Kawakubo (2005) diz que o mapa de fragilidade ambiental constitui uma das principais ferramentas utilizadas pelos órgãos públicos na elaboração do planejamento territorial ambiental. O mapeamento permite avaliar as potencialidades do meio ambiente de uma forma integrada, compatibilizando as características naturais com as restrições socioeconômicas.

2. METODOLOGIA

2.1 MATERIAIS

Área de estudo

A Bacia Hidrográfica do Rio das Almas (BHRA) possui cerca de 18.713,44 km², inseridos em sua maioria no norte da Mesorregião do Centro Goiano, abrangendo pequenas porções das regiões Noroeste, Norte e Leste Goiano. Conforme as Regiões de Planejamento do Estado de Goiás, integrantes da Lei do PPA 2004/2007, a área da BHRA se adentra majoritariamente no Centro Goiano e em pequenas parcelas do Norte, Noroeste e Entorno do Distrito Federal, abrangendo, total ou parcialmente, o território de 38 municípios.

Juntamente com as bacias do Rio Maranhão, Rio Tocantinzinho e do Rio Paranã, a bacia do Rio das Almas integra a bacia hidrográfica do Alto Tocantins. A BHRA é uma das principais afluentes do reservatório da Serra da Mesa, no qual a construção da hidrelétrica teve os investimentos em energia vastamente justificáveis do ponto de vista do Estado. Porém, trouxe várias consequências, das quais nem ao mesmo são capazes de previsão ou controle (ANDRADE, 2002).

Outro ponto importante da BHRA é que a Ferrovia Norte-Sul transpassar em sua área, sendo constituída de uma infraestrutura fundamental voltada para a macroeconomia nacional focada em exportação dos itens primários e de baixo valor agregado, tendo ao lado o nível microeconômico dos pequenos produtores, responsáveis por geração de renda e emprego, passando por limitações e dificuldades em uma atribuição precarizada da infraestrutura logística (MARINHO e CASTILHO, 2018).

E, não deixando de destacar a rede rodoviária, composta pela BR – 153 que percorre grande parte dos municípios que fazem parte da área de estudo (Figura 2). Onde a antecessora da BR – 153 foi aberta pelo governo federal como uma rodovia pioneira em direção à CANG, tendo assim inaugurado um acesso ao médio-norte goiano, tornando-se uma fundamental via para ocupação produtiva de áreas desocupadas no estado de Goiás (ESTEVAM, 1998).

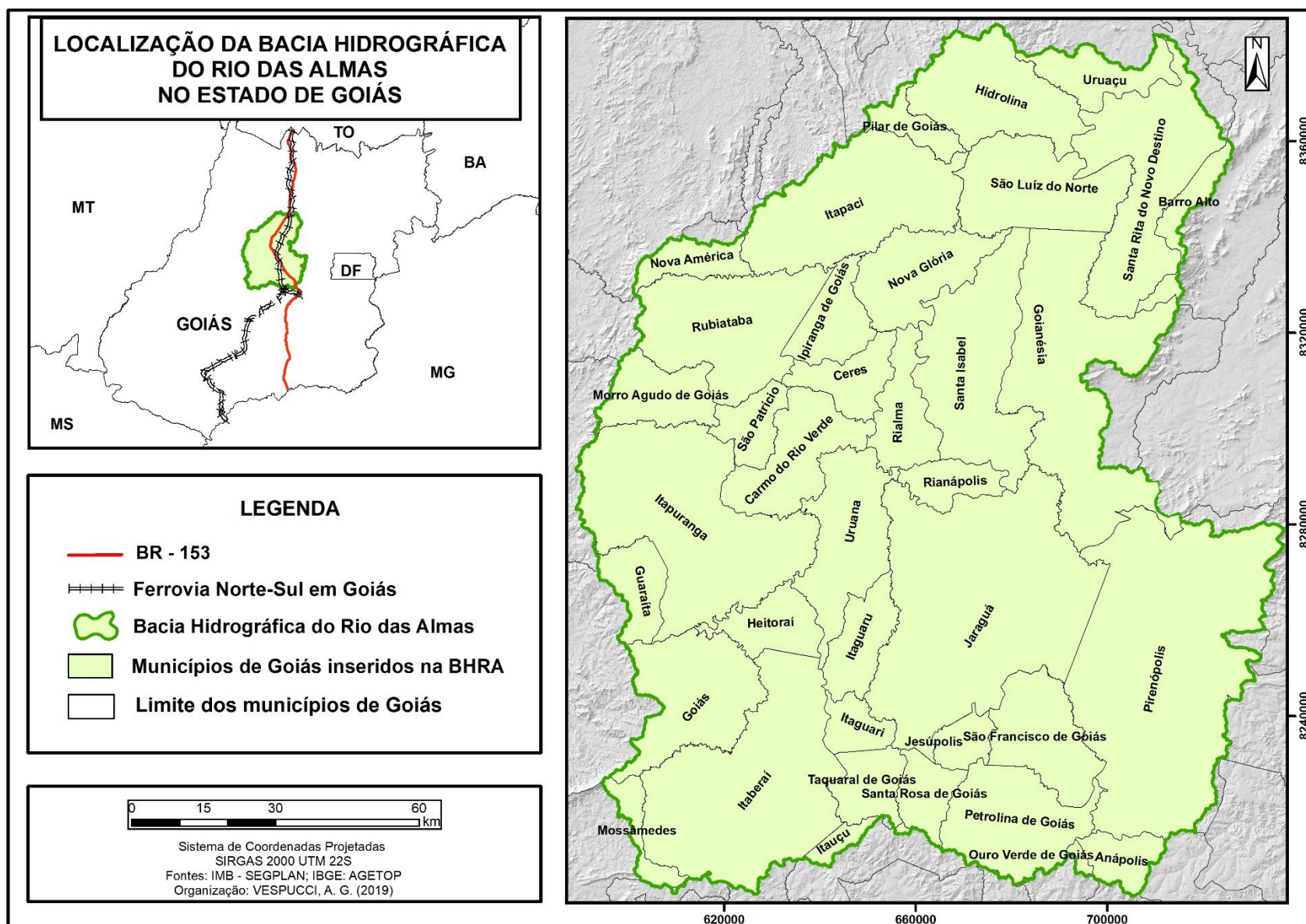


Figura 2: Localização da Bacia Hidrográfica do Rio das Almas.

Organização e inventário

Para analisar a área da bacia hidrográfica do Rio das Almas (BHRA) e a evolução da sua fragilidade ambiental foram realizados levantamentos bibliográficos e elaborados produtos cartográficos sobre o uso e ocupação das terras e dos temas do meio físico da BHRA. Enquanto os dados sobre compartimentação geomorfológica, declividade e hipsometria foram usados para o entendimento contextualizado da área; índice de dissecação, tipo e textura dos solos e uso e ocupação das terras foram geoprocessados para a obtenção de dados referentes a fragilidade ambiental. Os mapas temáticos foram organizados no *software ArcGis /ESRI*.

A compartimentação do relevo foi adaptada do Mapa Geomorfológico da Folha SD.22 de Goiás de 2009, elaborado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) na escala 1:250.000. A partir deste Mapa Geomorfológico, foram extraídos os compartimentos da área da Bacia Hidrográfica do Rio das Almas (BHRA).

Os dados altimétricos da área de estudo foram obtidos a partir do projeto TOPODATA, utilizando o Modelo Digital de Elevação (MDE) elaborados a partir do *Missão Topográfica Radar Shuttle (SRTM)*. A manipulação dos dados foi realizada no *ArcToolbox (Spatial Analyst Tools – Surface - Slope)* no *software ArcGis /ESRI*, permitindo assim a elaboração dos mapas de declividade e hipsometria do terreno.

O Índice de Dissecação para estudos de escalas pequenas e médias utiliza como referencial morfométrico a Matriz dos Índices de Dissecação, baseada na inter-relação da densidade de drenagem ou dimensão interfluvial média na dissecação no plano horizontal e, nos graus de entalhamento dos canais de drenagem para a dissecação no plano vertical (ROSS, 1992). Segundo Ross (1992 e 1994), contribui para uma melhor explicação dos parâmetros quantitativos e dos seus processos, auxiliando com isso no planejamento do espaço.

O mapa de solos da BHRA foi adaptado pelo IBGE (2007), que atualizou os mapeamentos do Projeto RADAMBRASIL de 1981, na escala de 1:250.000.

A textura do solo foi adquirida na plataforma SoilGrids (HENGL *et al.*, 2017), que constitui uma base de dados que visa fornecer estimativas para todo o globo sobre propriedades numéricas de padrões dos solos. Entre elas, encontram-se disponíveis: capacidade de troca catiônica (CTC), pH, densidade aparente, carbono orgânico, frações de textura do solo e fragmentos grossos, em sete profundidades padrão (0, 5, 15, 30, 60, 100, e 200 cm). Para os dados de textura dos solos, há uma base temática matricial “grid”,

com 250 m de resolução espacial, trazendo os teores de argila, silte e areia para os solos de todo o mundo.

A textura é uma das características do solo que se relaciona às partículas primárias, areia, silte e argila e a sensação que estas mesmas partículas oferecem ao tato (atrato, sedosidade e pegajosidade) (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2012). A textura é uma das características físicas do solo que mais tem interferência na capacidade de sustentação de atividades agropecuárias, podendo determinar o sucesso ou fracasso da ação humana nessa atividade (MOLINA JUNIOR, 2017). Visto que influencia na dinâmica da adesão e coesão entre as partículas de solo, juntamente com o manejo deles, atua assim na resistência à tração em companhia da dinâmica da água no solo.

Os dados de uso e ocupação das terras foram adquiridos do MapBiomas Coleção Versão 4.0 da série anual de cobertura e uso do solo do Brasil (<https://mapbiomas.org>), acessado em setembro de 2019, selecionando os dados para a área da BHRA.

A cobertura vegetal está rigorosamente relacionada ao grau de proteção dos solos, implicando na participação ativa da caracterização morfodinâmica da paisagem. Crepani *et al.* (2001, p.14) descrevem que a cobertura vegetal é fundamental porque:

Evita o impacto direto das gotas de chuva contra o terreno que promove a desagregação de partículas; impede a compactação do solo que diminui a capacidade de absorção de água; aumenta a capacidade de infiltração do solo pela difusão do fluxo de água da chuva; e suporta a vida silvestre que [...] aumenta a porosidade e a permeabilidade do solo.

Também foram utilizados, para um maior entendimento da área de estudo, os dados dos Censos Agropecuários de 1985, de 1995/1996, de 2005 e de 2018¹ (IBGE) e do Perfil Socioeconômico dos Municípios Goianos de 2006 (censo 2005, campo 2007) (IMB, 2018), sendo selecionados por quando foram realizados os censos e quais estão disponíveis no site do IBGE. Os dados censitários analisados foram dos municípios inseridos na BHRA.

Todos os dados descritos anteriormente estão organizados e dispostos no quadro 1, com suas respectivas escalas e fontes para obtenção dos dados, além de legenda descrevendo suas siglas.

¹ A periodicidade da pesquisa do IBGE é quinquenal, porém os levantamentos de 1990 (não realizado), 1995 (realizado em 1996 junto com a contagem da população), 2000 (não realizado), 2005 (campo 2007 junto com a contagem da população), 2010 (não realizado) e 2015 (campo 2017 e dados disponíveis em 2018) não foram levados a efeito devido a cortes orçamentários do governo.

Quadro 1: Síntese dos dados cartográficos da BHRA.

Tema		Escala	Fonte	Disponibilização
Geomorfologia	Altitude	1:250.000	TOPODATA	INPE
	Declividade	1:250.000	TOPODATA	INPE
Solos		1:250.000	RADAMBRASIL - EMBRAPA - IBGE	INDE
Textura dos solos		1:250.000	SOILGRIDS	GILAB
Índice de Dissecção		1:250.000	TOPODATA	INPE
Uso e Ocupação das Terras		1:250.000	MAPBIOMAS	MAPBIOMAS

Legenda: TOPODATA – Projeto TOPODATA Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil; INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais; RADAMBRASIL – Projeto Radar no Brasil; EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária; IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística; INDE - Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais; GILAB – Geographic Information LABORatory; MapBiomias – Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil.

Organização: O autor, 2020.

2.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Cabe lembrar que a fragilidade ambiental (ROSS, 1994) resulta da interação e interdependência dos fatores dos meios físico, biótico (sistemas naturais) e socioeconômico. Enquanto os fatores do meio físico (geomorfológicos: índice de dissecção e; pedológicos: tipos de solos e textura) não se alteram na escala temporal da análise da fragilidade ambiental (ROSS, 1994), os fatores dos meios biótico e socioeconômico são mais dinâmicos, podendo ser verificados pela sucessão temporal do uso e ocupação das terras. Desse modo, a evolução da fragilidade ambiental da BHRA foi analisada comparando os mapas de fragilidade dos anos de 1985, 1995, 2005 e 2018, produzidos pelo entrecruzamento dos dados cartográficos do meio físico com os do uso e ocupação das terras (meios biótico e socioeconômico) nos anos correspondentes.

Para o entrecruzamento dos dados cartográficos foram atribuídos pesos a cada componente dos meios biofísico e socioeconômicos (Quadro 2). Os pesos correspondem ao nível de influência que cada componente pode impor a fragilidade dos sistemas ambientais.

Quadro 2: Influência dos componentes dos meios biofísicos e socioeconômicos sobre a Fragilidade Ambiental.

Influência sobre a Fragilidade Ambiental					
Componentes:	Muito Baixa Peso 1	Baixa Peso 2	Média Peso 3	Alta Peso 4	Muito Alta Peso 5
Índice de Dissecação do Relevo	11	12, 21, 22	13, 23, 31, 32, 33	14, 24, 34, 41, 42, 43, 44	15, 25, 35, 45, 51, 52, 53, 54, 55
Solo	Tipos de Solos	LVdf; LVd; LVw	LVAd; FFc	Nvef; Pve; PVd	PVAd; PVAe; CXBd; CXBe
	Pesos	0,7	1,4	2,1	2,8
	Textura	Muito Argilosa	Argilosa	Média	Siltosa
	Pesos	0,3	0,6	0,9	1,2
Uso e Ocupação das Terras	Formação Savânica; Formação Campestre	Floresta Plantada	Pastagem	Agricultura	Área Urbana; Mineração

Organização: O autor, 2020.

Para adaptar a metodologia de Ross (1994) à BHRA, seguiu-se as orientações de Gonçalves *et al.* (2011). Para eles, quanto mais se somam novos fatores ou atributos a metodologia original de Ross (1994), mais adequados se tornam os resultados da realidade local da bacia em estudo, contando que esses novos atributos também sejam determinantes para fragilidade ambiental, refletindo dessa maneira em uma maior flexibilidade da metodologia frente aos diversos objetivos na análise da fragilidade.

A influência (pesos) do Índice de Dissecação do Relevo sobre a Fragilidade Ambiental seguiu os mesmos valores utilizados por Ross (1994), agrupando os índices conforme o nível de influência sobre a fragilidade ambiental. O índice 11 (dissecação Muito Fraca) apresenta uma influência muito baixa sobre a fragilidade. Os índices 12, 21 e 22 possuem influência baixa; - 13, 23, 31, 32, 33 influenciam mediamente a fragilidade; 14, 24, 34, 41, 42, 43, 44 apresentam uma influência alta; e os índices 15, 25, 35, 45, 51, 52, 53, 54 e 55 apresentam uma influência muito alta.

Para determinar os índices de dissecação para a área da BHRA seguiu-se o procedimento descrito por Guimarães *et al.* (2017), que apresenta uma rotina de automatização do cálculo do índice de dissecação para cada pixel fundamentado em um

modelo digital de elevação (MDE). A figura 3 demonstra a matriz de dissecação do relevo segundo a proposta reclassificada por Ross (1994).

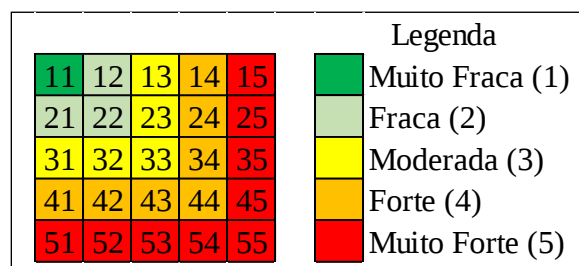


Figura 3: Proposta de classificação da dissecação (ROSS, 1994).

O componente Solo foi dividido em dois atributos classes, os tipos de solo e a textura. Foi atribuído 30% do peso do componente Solo para a textura e 70% aos grupos dos tipos de solo. Assim, os tipos de solo seguiram os critérios utilizados por Ross (1994), agrupados por ele conforme as características de textura, estrutura, plasticidade, grau de coesão das partículas e profundidade/espessura dos horizontes superficiais e subsuperficiais, diretamente interrelacionadas com as características físico/química dos solos, relevo, clima e litologia.

A textura dos solos foi extraída do processamento dos dados do *SOILGRIDS*, no qual os teores de argila, silte e areia referem-se à profundidade de 15 cm. Esta escolha baseou-se no trabalho da EMBRAPA (2014), que orienta que, sob condições de plantio convencional ou de culturas perenes, a amostragem de solo entre 0 cm e 20 cm consegue representar as propriedades texturais de áreas com até 10 ha.

Segundo Molina Junior (2017), os solos que contém textura fina têm maior capacidade de retenção de água, se comparados com os de textura mais grossa, pois quanto menor for o tamanho de suas partículas, maior será a área superficial encontrada em um mesmo volume. Sendo assim, mediante o auxílio do triângulo textural (figura 4) e seguindo as características de que é a argila que exerce uma maior influência nas propriedades físico/químicas do solo, seguida por silte e areia (LEPSCH, 2011), foram atribuídas às 5 classes texturais os seguintes níveis de influência (pesos); a textura arenosa, tendo as partículas maiores, ficou com peso de 1,5 de influência na fragilidade ambiental; a textura siltosa com 1,2; a média 0,9; a textura argilosa com peso 0,6 e; a muito argilosa com influência de 0,3 na fragilidade ambiental.

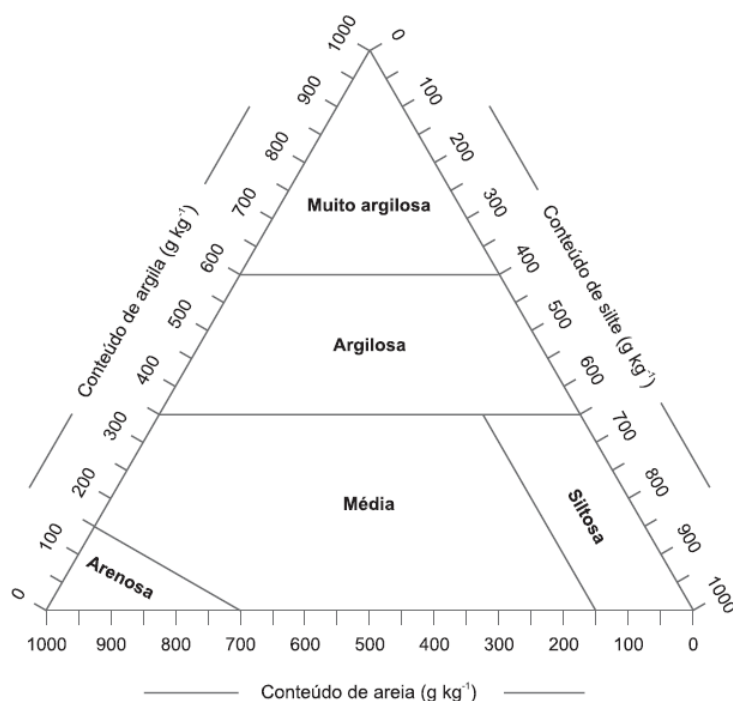


Figura 4: Triângulo textural utilizado para determinação da textura do solo.

Fonte: EMBRAPA (2018).

Quanto ao uso e ocupação das terras, buscamos os dados dos anos de 1985, 1995, 2005 e 2018 junto ao MapBiomas, gerando assim os mapas para cada ano respectivamente. Ross (1994; 2000) organiza os tipos de uso e cobertura conforme um grau crescente de proteção sobre a superfície terrestre.

Os graus de proteção são inversamente proporcionais ao peso da influência sobre a fragilidade ambiental (ROSS, 1994). Ou seja, quanto maior a proteção exercida pelo uso e cobertura, menor o peso da influência sobre a fragilidade. Desse modo a influência muito baixa é composta por florestas ou matas naturais; a influência baixa contém a floresta plantada; a média abrange a pastagem; na influência alta se compreende a agricultura, principalmente de milho na região da BHRA e; a influência muito alta entende-se como as práticas que mais agredem o solo, como as áreas urbanas e a mineração, com a impermeabilização e retirada do solo respectivamente.

Após tratamento dos dados, foram associados os pesos dos diferentes componentes (índice de dissecação, solos (tipos de solos + textura dos solos)). A metodologia de Ross (1994) foi adaptada para a área da bacia, somando os pesos de cada nível de influência da fragilidade. A soma dos pesos foi agrupada em classes, conforme a determinação automática pelo método *Algoritmo de Jenks (quebras naturais)* no

ArcGis. O quadro 3 apresenta as classes dos graus de Fragilidade Ambiental e os respectivos intervalos de valores da somatória dos pesos.

Quadro 3: Graus de Fragilidade Ambiental na BHRA.

	Grau de Fragilidade Ambiental				
	Muito Fraca	Fraca	Média	Forte	Muito Forte
Σ Pesos*	de 0,0 a 4,3	de 5,0 a 7,4	de 8,0 a 9,4	de 10,0 a 11,4	de 12,0 a 14,1

*Conforme o Quadro 2.

Organização: O autor, 2020.

Desse modo, foram gerados os mapas de Fragilidade Ambiental para os quatro anos estudados (1985, 1995, 2005 e 2018), pela soma dos pesos dos componentes Índice de dissecação, Tipos de solos, Textura e Uso e ocupação das terras nos respectivos anos, reclassificando os polígonos em função dos intervalos de classe de fragilidade, conforme o quadro 2.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 ENTENDIMENTO DO RELEVO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DAS ALMAS

A compartimentação geomorfológica da BHRA é dominada pelos modelados de dissecação e de aplanamento (Tabela 1 e Figura 5), conforme IBGE (2009). Com abrangência muito restrita, o modelado de acumulação se relaciona com áreas planas resultantes de acumulação fluvial (Af) sujeita a inundações periódicas. Correspondem às várzeas atuais do médio Rio das Almas e outros vales com preenchimento aluvial, representando apenas 0,10% da área total da bacia (IBGE, 2009). Este modelado de acumulação apresenta declives de 0 a 6% e altitudes de 428 a 662 metros.

Tabela 1: Sumário das categorias do modelado e suas respectivas áreas na BHRA.

Categorias	Área	
	km ²	%
De - Dissecação Estrutural	4827,93	25,80
Dt - Dissecação Homogênea Tabular	234,29	1,25
Pgi - Pediplano Degradado Inumado	649,91	3,47
Pru - Pediplano Retocado Desnudo	12981,90	69,37
Af - Planície de Acumulação Fluvial	19,41	0,10

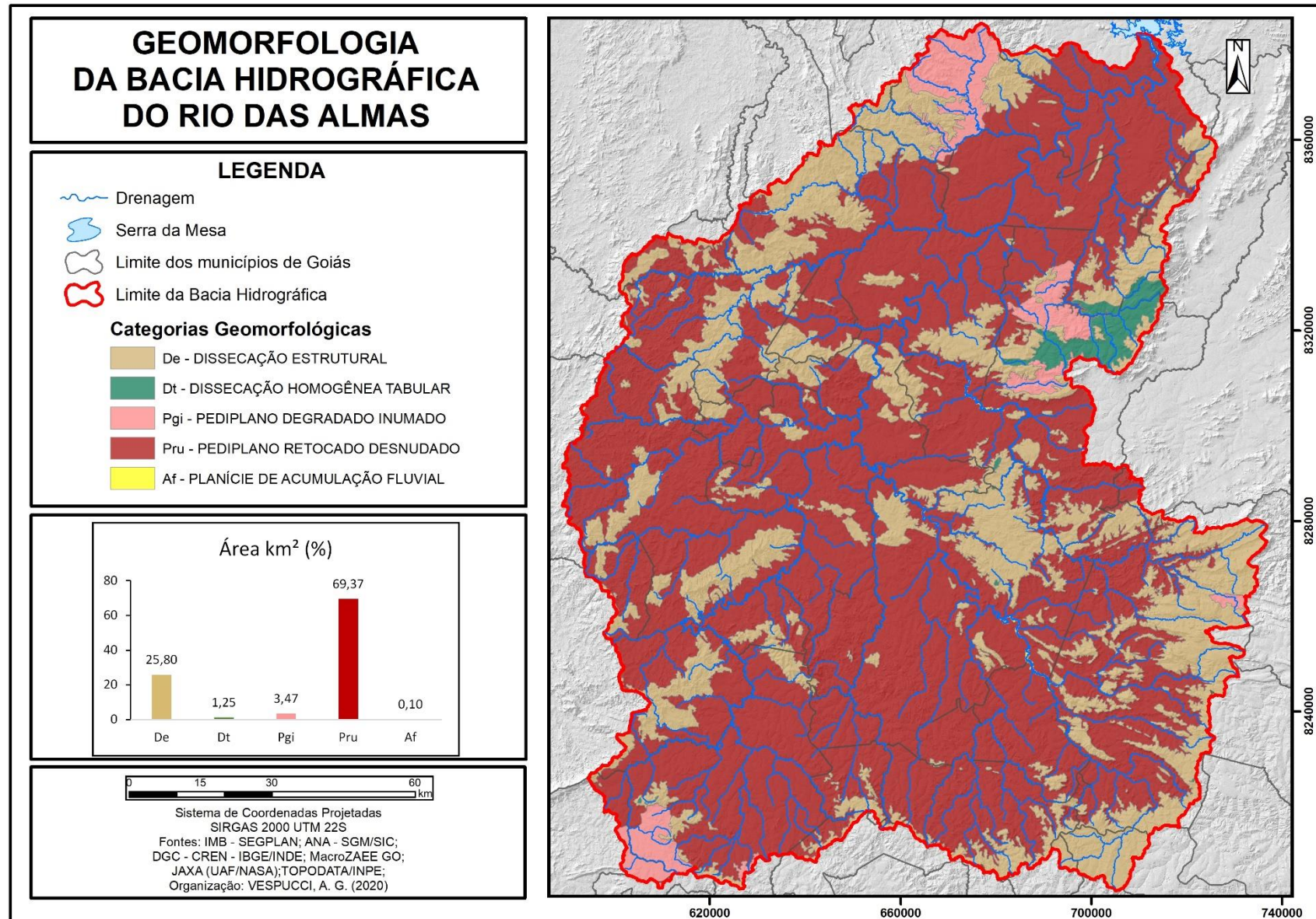


Figura 5: Mapa geomorfológico da BHRA.

Os modelados de aplanamento predominam na BHRA, correspondendo a 72,84% da área total, com declividade e altitudes variando de 0 a 12% e 428 a 842 m, respectivamente. De dois tipos (Pediaplano Degradado Inumando e Pediaplano Retocado Desnudado), eles são identificados pela sua gênese e funcionalidade, combinados com o atual estado de conservação ou de desnudação por episódios erosivos (aplainamento) que vieram posteriormente à sua elaboração (IBGE, 2009).

As áreas do Pediaplano Degradado Inumado (Pgi) representam 3,47% do total da bacia. Apresentam uma superfície de aplanamento geralmente pouco dissecada, tendo perdido a sua continuidade em consequência da mudança do sistema morfogênético. Aparecem mascaradas, com frequência, pela inumação de coberturas dentrícas e/ou de alteração, constituídas de Latossolos e/ou couraças (IBGE, 2009).

As áreas do Pediaplano Retocado Desnudado (Pru) ocorrem em 69,37% da área de estudo. Elas foram elaboradas durante sucessivas fases de retomada de erosão, sem perder as suas características de aplanamento. Estes processos geraram sistemas de planos inclinados, por vezes levemente côncavos, com rochas pouco alteradas e truncadas pelos processos de aplanamento que desnudaram o relevo (IBGE, 2009).

Abrangendo 27,05% da BHRA, as áreas de Dissecção Estrutural (De) e de Dissecção Homogênea Tabular (Dt) apresentam declividades variando entre 6 e 30% e altitudes de 663 a 473 metros. As áreas de Dissecção Estrutural (25,80% da BHRA) são marcadas por um evidente controle das estruturas geológicas, onde rochas metamórficas com grande deformação formam inúmeras cristas, vales e sulcos estruturais (IBGE, 2009). Por outro lado, as áreas de Dissecção Homogênea Tabular (1,25% da BHRA) delineiam feições em rampas levemente inclinadas, definidas por redes de drenagem de baixa densidade (IBGE, 2009).

Uma visão geral sobre a BHRA permite perceber o predomínio de relevo plano (Figura 6), pois em 76,36% da sua área ocorre declividades entre 0 e 12% (Figura 7). Ross (1994) explica que essas classes de declividade possuem uma fragilidade muito fraca (0 a 6%) e fraca (6 a 12%). Onde terrenos com declividades até 12% são pouco suscetíveis a erosões e movimentos gravitacionais, a fragilidade ambiental é pouco influenciada (GOUVEIA, 2019). Áreas com relevo ondulado (declividades de 12 a 20%) ocorrem em 16,44%, atuando mediantemente a fragilidade ambiental da BHRA. Terrenos com declividades acima de 20% de relevos ondulados e montanhosos, que influenciam fortemente a fragilidade ambiental, são encontrados em apenas 7,19% da BHRA.

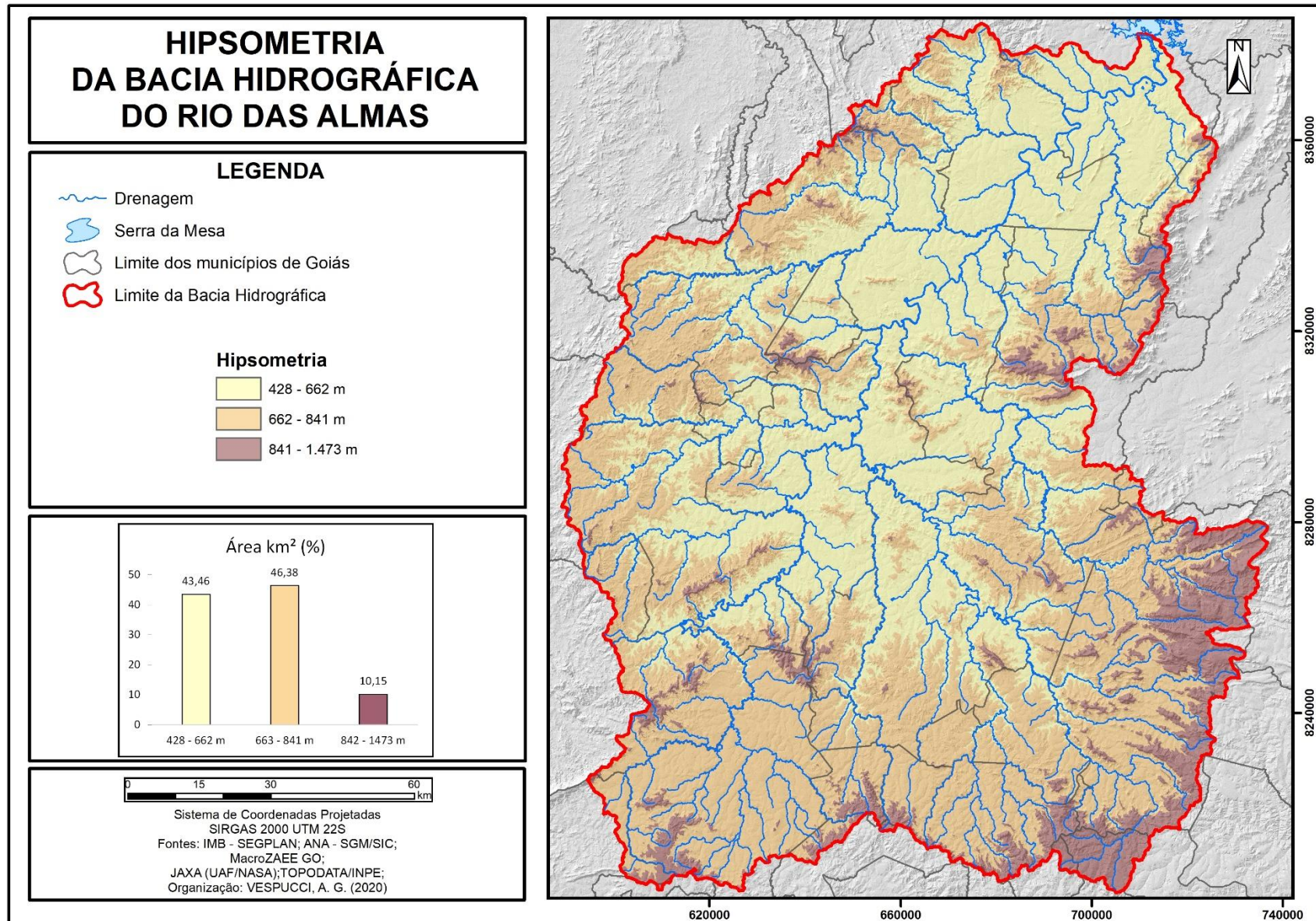


Figura 6: Mapa hipsométrico da BHRA.

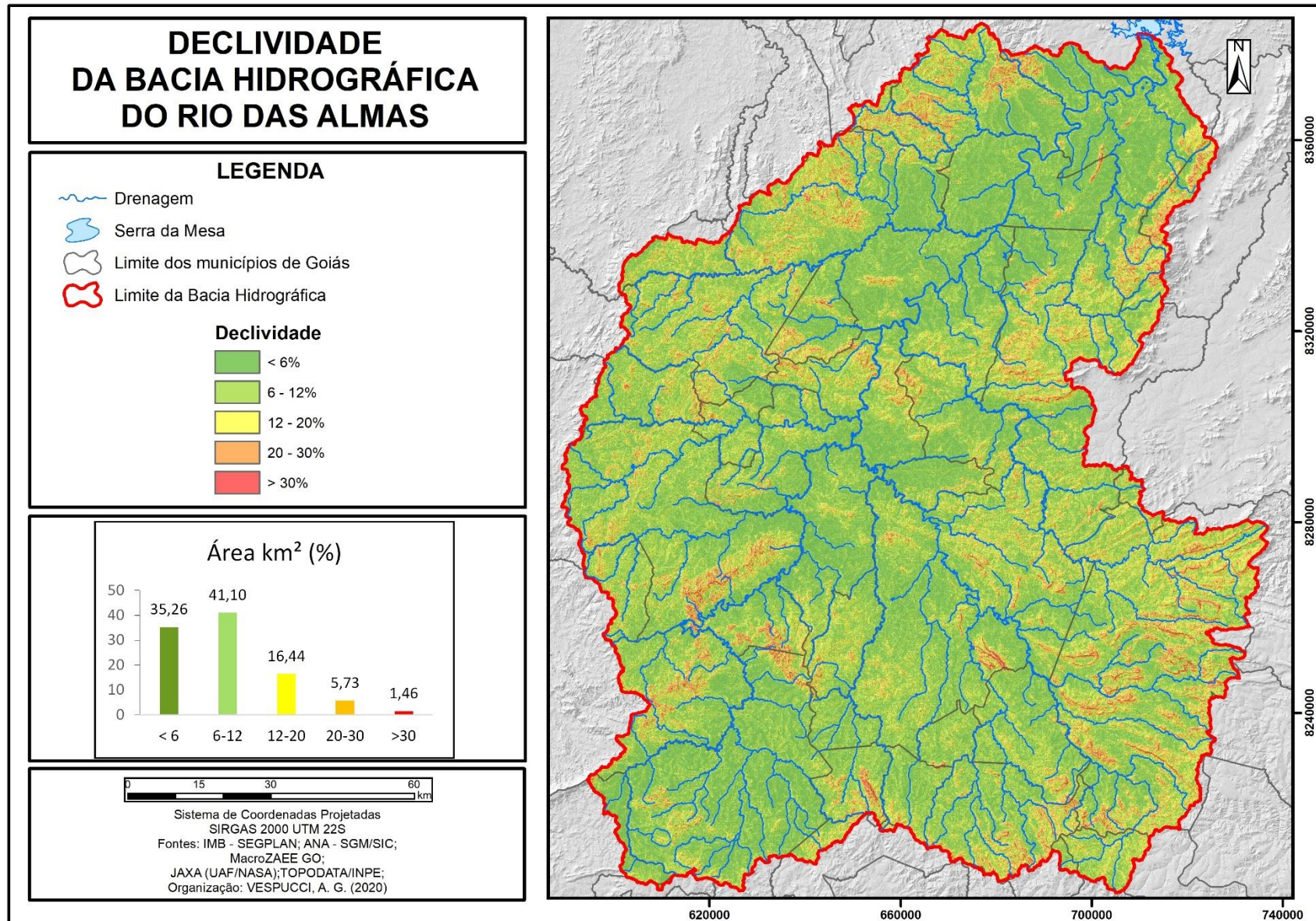


Figura 7: Mapa de declividade da BHRA.

3.2 COMPONENTES DOS MEIOS BIOFÍSICOS E SOCIOECONÔMICOS SOBRE A FRAGILIDADE AMBIENTAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DAS ALMAS

Índice de Dissecação

Aplicando a de Guimarães *et al.* (2017) para determinação dos índices de dissecação da BHRA, percebemos que em 60,65% (tabela 2) se encontra a classe média do índice de dissecação, representada pelos valores 13, 23, 32 e 33 da matriz de dissecação, tendo essa classe distribuída por toda a área da bacia.

Tabela 2: Índice de Dissecação do Relevo e suas respectivas áreas na BHRA.

Matriz	Índice de Dissecação	Área	
	Classe	km ²	%
11	Muito Baixa	0,00	0,00
12; 22	Baixa	386,67	2,07
13; 23; 32; 33	Média	11348,69	60,65
14; 24; 34; 42; 43; 44	Alta	5533,04	29,57
15; 25; 35; 45; 52; 53; 54; 55	Muito Alta	1444,22	7,72

A segunda classe com maior relevância dentro da área da bacia é a classe alta (14, 24, 34, 42, 43 e 44), que compreende cerca de 29,57% e contém 5533,04 km² distribuídos por toda a bacia. Porém, sua abrangência se torna bem mais representativa no sudeste e centro norte da bacia, deixando a sudoeste com regiões onde a abundância dessa classe é menos favorecida.

A classe muito alta (15, 25, 35, 45, 52, 53, 54, e 55) está presente nos locais onde se tem as maiores altitudes da bacia, contendo 1444,22 km² e 7,72% do total da área. Estes índices predominam na região dos Pirineus, sudeste da BHRA e da Serra de Jaraguá, no centro sul, e as regiões mais próximas das bordas da bacia, a nordeste e noroeste, sem deixar de levar em consideração as regiões de Itapuranga, Ceres e Itaberaí.

A classe de baixa dissecação, representada pelos índices 12 e 22 na matriz de dissecação, se encontram-se por toda a área da bacia, porém fragmentadas em pequenos polígonos, apresentando apenas 2,07% do total e com cerca de 386,67 km².

A classe de dissecação muito baixa (11) não ocorre na área de estudo (Figura 8).

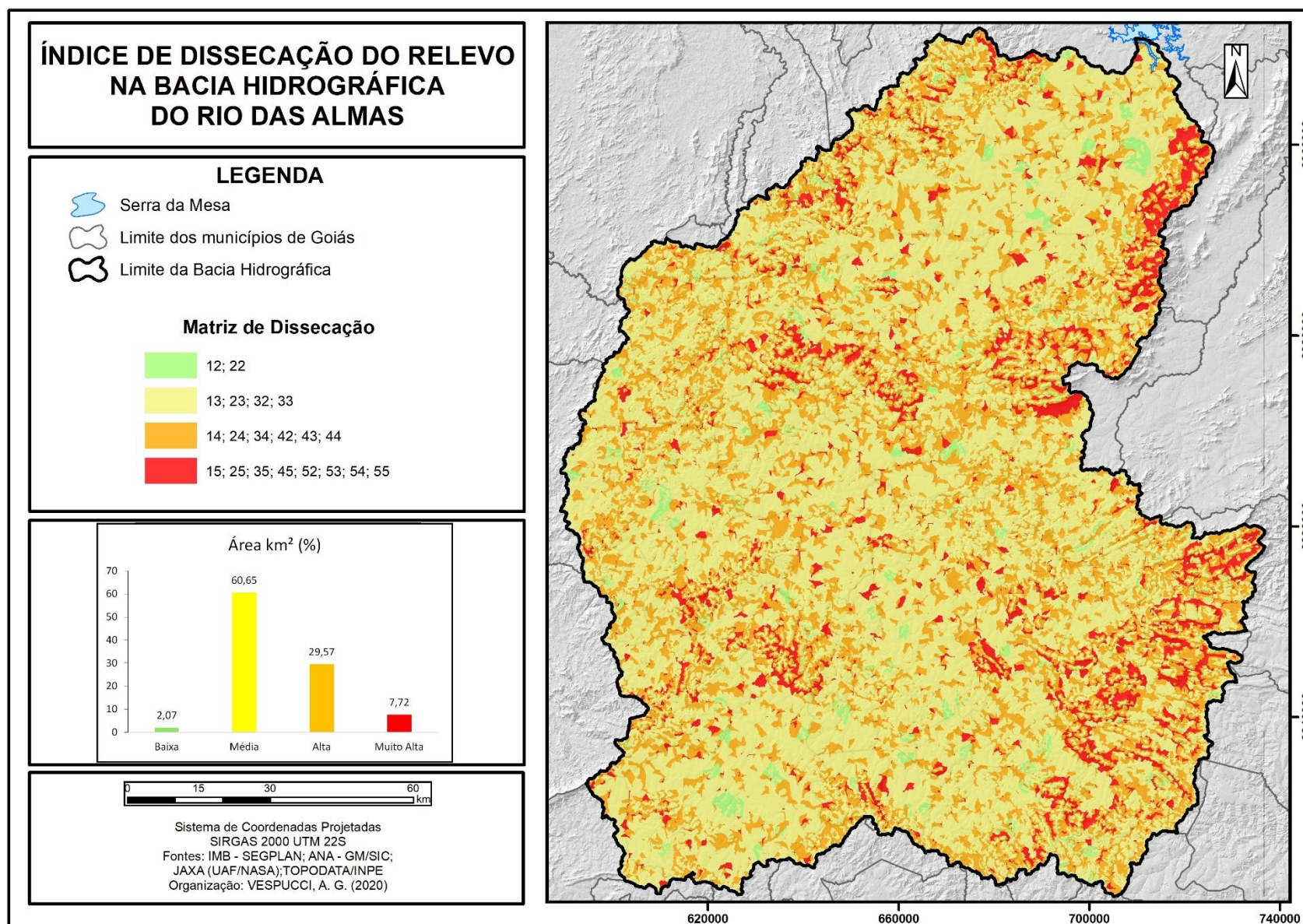


Figura 8: Mapa do Índice de Dissecação do Relevo da BHRA.

Solos

- Tipos de Solos

Foram identificadas na área de pesquisa classes de Argissolos, Cambissolos, Latossolos, Neossolos, Nitossolos e Plintossolos (Tabela 3).

Tabela 3: Classes do mapa de solos e suas respectivas áreas na BHRA.

Classes	Área	
	km ²	%
PVd - Argissolo Vermelho distrófico	1025,49	5,48
Pve - Argissolo Vermelho eutrófico	518,80	2,77
PVAd - Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico	1221,90	6,53
PVAe - Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico	1354,39	7,24
CXBd - Cambissolo Háplico distrófico	3010,81	16,09
CXBe - Cambissolo Háplico eutrófico	348,42	1,86
LVw - Latossolo Vermelho ácrico	804,62	4,30
LVd - Latossolo Vermelho distrófico	5051,63	26,99
LVdf - Latossolo Vermelho distrófico férrico	1371,48	7,33
LVAd - Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico	1174,49	6,28
Rld - Neossolo Litólico distrófico	1713,27	9,16
Nvef - Nitossolo Vermelho eutrófico férrico	1019,64	5,45
FFc - Plintossolo Pétrico concrecionário	7,48	0,04
SU - Solos Urbanos	18,70	0,10

Os Latossolos têm uma maior porcentagem na BHRA, sendo 44,90% de sua área total, abrangendo quase que na sua totalidade as áreas centrais e norte da bacia, onde predominam declives de 0 a 12% e em algumas regiões pode-se alcançar declives de até 20%, apresentando-se nas subordens Vermelho-Amarelo e Vermelho.

Segundo o IBGE (2007), Os Latossolos Vermelho-Amarelos são profundos, com boa drenagem e geralmente baixa fertilidade natural; quando de textura argilosa são usados para lavouras de grãos com algum grau de mecanização e quando textura média são exploradas basicamente por pastagens. Localizam-se em áreas com declives que variam de 0 a 20%, representadas por uma grande mancha na porção norte da bacia, próxima da represa de Serra da Mesa. Ainda ocorrem em parte considerável do centro da bacia e dois pontos menos densos no sudoeste e leste da bacia (Figura 9).

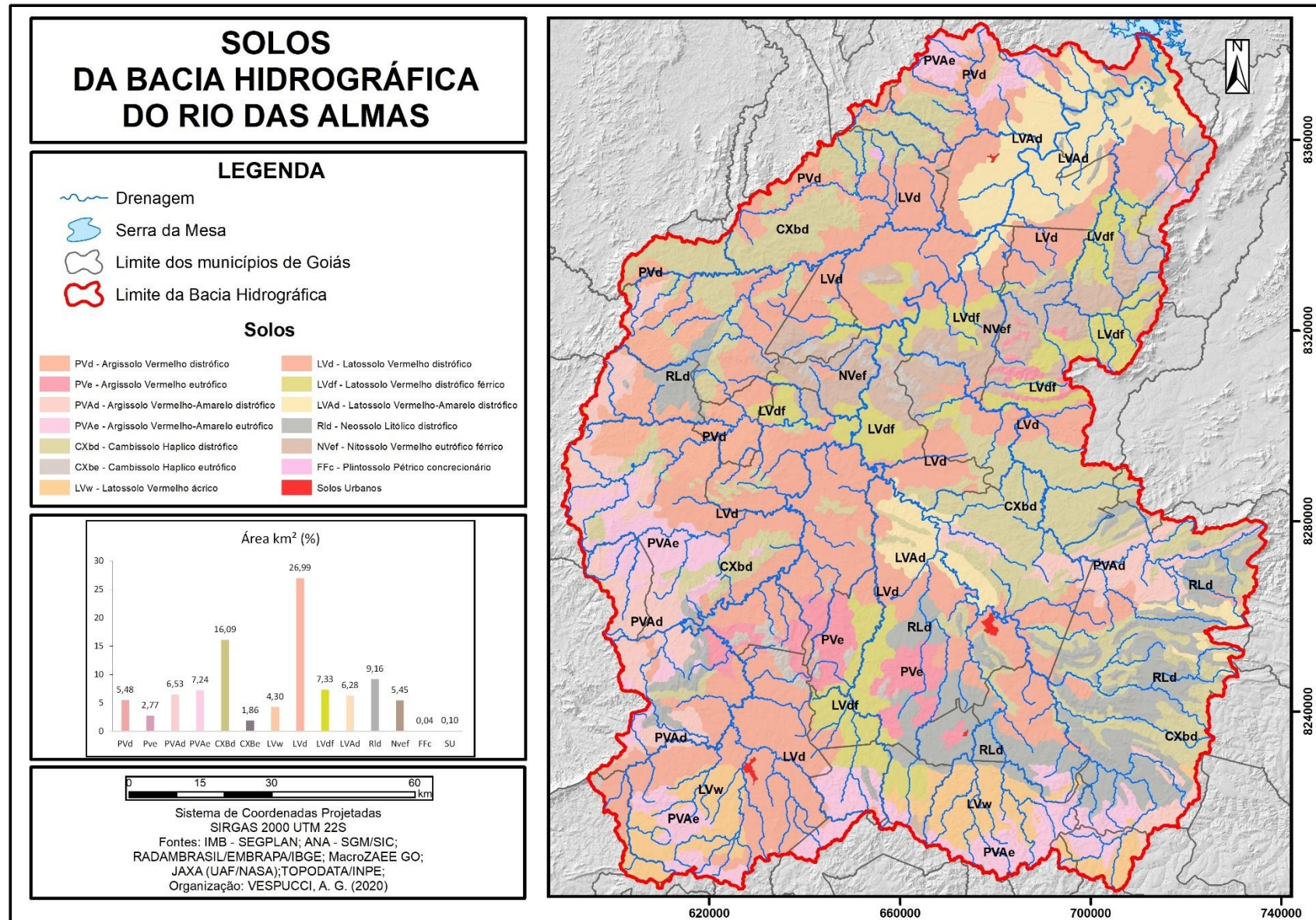


Figura 9: Mapa de Solos da BHRA.

Os Latossolos Vermelhos ocorrem no caráter distrófico e eutrófico, que apresentam textura argilosa. São de extrema importância pelo seu elevado potencial agrícola, sendo um dos grandes responsáveis por grande parte da produção agrícola nacional (IBGE, 2007). Apresentam-se de norte a sul no centro da bacia, com declives variando de 0 a 20%. Caracterizados por serem profundos, porosos e bem permeáveis, são considerados de fragilidade ou erodibilidade muito baixa (ROSS, 1994).

A segunda classe com uma maior representatividade dentro da BHRA é a de Argissolos, apresentando um total de 22,02% na área de pesquisa e divididos nas subordens Vermelho-Amarelo e Vermelho. Com profundidade variável entre pouco profundos e profundos, juntamente com os Latossolos, são os solos mais expressivos do Brasil (IBGE, 2007). Ocorrem em regiões com declives que variam de 0 a 20% na borda da BHRA, especialmente norte, oeste e sul, atentando-se para uma pequena porção próxima ao Morro dos Pireneus. Segundo Ross (1994), se caracterizam em graus de fragilidade média, pois possuem textura média/argilosa e média/arenosa.

Os Cambissolos representam 17,95% da área de estudo, em declives superiores a 12% que ocorrem na porção centro norte da BHRA. Esses solos possuem uma saturação de base inferior a 50% e apresentam textura predominantemente pedregosas, cascalhentos e mesmo rochosos (IBGE, 2007). Segundo Ross (1994), apresentam uma forte fragilidade e suscetibilidade a processos erosivos.

Neossolos Litólicos ocorrem em 9,16% da Bacia Hidrográfica do Rio das Almas. São rasos e têm uma pedregosidade frequente, aparecendo em terrenos com declives entre 12 e 20%, representados em quase toda porção leste da bacia, nas áreas dos Pireneus e em encostas no leste e norte da BHRA. Esses solos, com certa representatividade, possuem fragilidade ou erodibilidade muito forte, podendo até favorecer a ocorrência de deslizamentos nas encostas mais íngremes (ROSS, 1994).

Os Nitossolos se distribuem em 5,45% da porção centro norte da BHRA, ocorrendo em declives superiores a 12%. São solos de textura argilosa ou muito argilosa e apresentam grau de fragilidade média (ROSS, 1994).

Por último, com uma distribuição de apenas 0,04% do total da área, mas não menos importantes, encontram-se os Plintossolos Pétricos, que são solos onde temos a presença de um horizonte concrecionário (maciço e/ou granular), tendo ocorrência restrita a uma pequena região de planalto no noroeste da BHRA. São usados geralmente para pastagem extensiva sob vegetação campestre (IBGE, 2007).

Os Solos com Ambiente Urbano representam 0,10% da bacia, totalizando uma área de aproximadamente 18,70 km², ocorrem dispostos nos centros urbanos da BHRA.

- Textura dos Solos

A textura dos solos foi dividida em 5 classes (grupamento textural simplificado, Embrapa, 2018), sendo elas: arenosa, com o peso de 1,5 de influência na fragilidade ambiental; a classe siltosa com 1,2 de influência; média com 0,9; e as classes argilosa e muito argilosa com influências de 0,6 e 0,3, respectivamente. Porém, na área da bacia hidrográfica foram localizadas segundo os dados do *SoilGrids*, somente as classes média e argilosa (Tabela 4).

Tabela 4: Textura dos solos e suas respectivas áreas na BHRA.

Textura dos solos	Área	
	km ²	%
Argilosa	4348,20	23,28
Média	14328,05	76,72

Cabe notar que nas regiões com relevo mais dissecado, como nos Pireneus a sudeste, no centro sul da bacia e na região de Goianésia, a classe de argilosa foi a mais predominante, contendo 23,28% da área total, com 4348,20 km².

A classe de textura média está representada em toda a área da bacia do Rio das Almas englobando uma área de 14328,05 km² com um total de 76,72% (Figura 10).

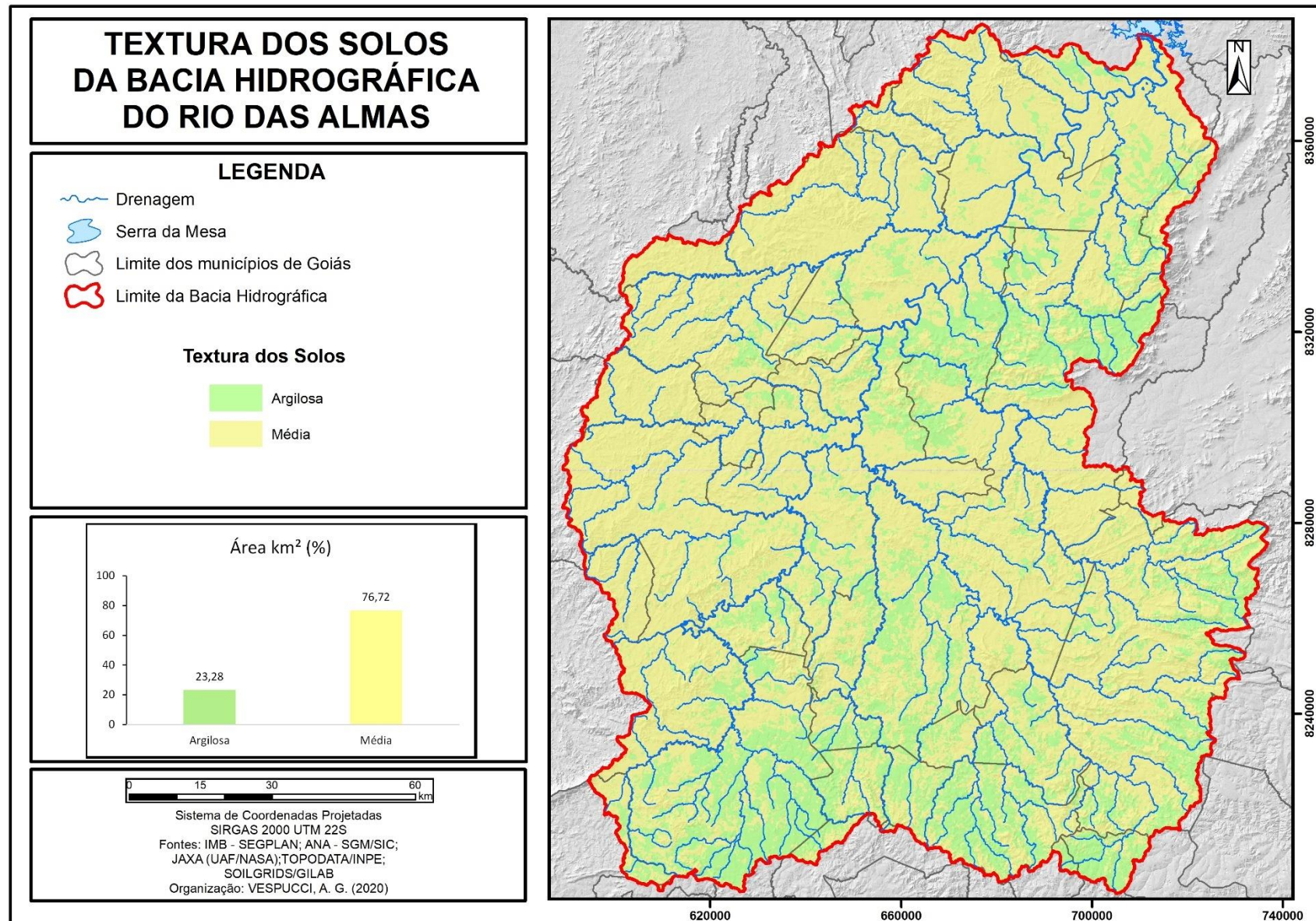


Figura 10: Mapa de Textura dos Solos da BHRA.

Uso e Ocupação das terras e sua Evolução

O uso e ocupação das terras é a parte mais dinâmica da fragilidade ambiental, pois está ligada à implementação das atividades socioeconômicas no território. Essa dinamicidade pode ser sazonal, como as sucessões das safras agrícolas, ou de periodicidade variável, como as flutuações macroeconômicas e as políticas públicas de desenvolvimento agropecuário e industrial. O levantamento do uso e ocupação das terras em anos distintos permite um entendimento da sua evolução e, por consequência, da fragilidade ambiental.

O início da ocupação e povoamento das terras no estado de Goiás se deu com as entradas e bandeiras penetrando o sertão do Brasil na procura de ouro e pedras preciosas, sendo que este processo não obedecia a um roteiro prévio, mas detinham informações fornecidas pelos indígenas (CALAÇA e DIAS, 2010). O ouro em Goiás foi responsável por grande parte de sua ocupação, pois diretamente dinamizava a economia e, indiretamente, nas rotas de passagem e pousio das comitivas.

Segundo Calaça e Dias (2010) os municípios goianos não possuem a mesma origem, visto que alguns se constituíram a partir dos arraiais do ouro no século XVIII, como a Cidade de Goiás, Pirenópolis, Traíras, Pilar e Crixás. Tendo as jazidas de ouro entrado em decadência, foi intensificado o desenvolvimento da pecuária que contribuiu para o surgimento de novos municípios, sendo que muitos resultaram da fragmentação daqueles surgidos a partir do extrativismo mineral.

A pecuária ganhou grande destaque se tornando o setor com maior dinamismo na economia estadual e possibilitou o crescimento da população, pois as boas pastagens no território e a capacidade do gado se autotransportar contribuíram para o desenvolvimento dessas atividades e influenciou no processo de ocupação (PALACIN e MORAES, 1975).

Já no século XIX, o estado de Goiás esteve voltado para si, ficando caracterizado a ruralização com a “fazenda goiana” que era autossuficiente na pecuária extensiva, agricultura de subsistência e produção têxtil artesanal. Porém no final do século esse tipo de atividade foi diminuindo (ESTEVAM, 2012).

As primeiras políticas para o desenvolvimento no bioma Cerrado aconteceram a partir de 1940 no Governo de Getúlio Vargas. Isso se deu com a criação de projetos como o Projeto de Colonização nos Cerrados, e estabelecendo as colônias agrícolas em Dourados no Mato Grosso do Sul e Ceres em Goiás, (SHIKI, 1997).

A colonização do Cerrado em Goiás foi feita pela Colônia Agrícola Nacional de Goiás (CANG) em 1940, acontecendo juntamente com a política de expansão econômica conhecida como “Marcha para o Oeste” proposta por Getúlio Vargas. A isso soma-se a criação de Goiânia e da Fundação Brasil Central, influenciando a configuração do centro de Goiás, chamado naquele período de Mato Grosso Goiano (CASTILHO, 2012). Segundo o mesmo autor, o Mato Grosso Goiano detinha a presença de grande floresta estacional decidual (floresta tropical) cobrindo originalmente a região central do estado, tendo, pela sua homogeneidade pedológica e pela grande extensão, a mais significativa placa de solos *in natura* de Goiás.

Segundo Menezes et al., (2009) as principais transformações da agricultura no Cerrado aconteceriam a partir de 1960, com o Plano de Metas desenvolvido pelo então presidente Juscelino Kubitschek, colocando o Cerrado no contexto do desenvolvimento e modernização do Brasil, voltado para a produção de grãos com ênfase no aumento do consumo de soja pela população mundial.

Silva, Leão e Pasqualetto (2015) afirmam que com o choque do petróleo ocorrido em 1973 o preço do barril começou a aumentar e assim surgiu uma nova era na economia mundial e brasileira, sendo a mesma dependente da utilização do petróleo. Com isso, encontrar fontes alternativas de energia tornou-se necessidade em 14 de novembro de 1975, pelo Decreto nº 76.593, foi criado pelo Governo Federal o Programa Nacional do Álcool - Proálcool, que tinha o objetivo da reestruturação do setor canavieiro no Brasil, impulsionado pela crise do petróleo.

Assim, a partir de meados da década de 1970 se teve início ao processo chamado de Expansão da Fronteira Agrícola, destacando a ação do Estado, na qual busca expansão da moderna tecnologia agrícola no Cerrado (OLIVEIRA, 1997). As ações buscavam uma inserção de infraestrutura econômica e incentivo para a produção agropecuária, sendo Goiás uma importante fronteira agrícola a se ocupar, pois segue os padrões de natureza privilegiada, tendo clima ameno, fertilidade natural das terras e transportes via navegação (SILVA E MIZIARA, 2011).

Tendo em vista que Goiás teve uma expansão pela procura do ouro na região central do estado e conseqüentemente a pecuária extensiva, ali foi onde se iniciou o crescimento da área de cultivo da cana-de-açúcar no estado (Figura 11).

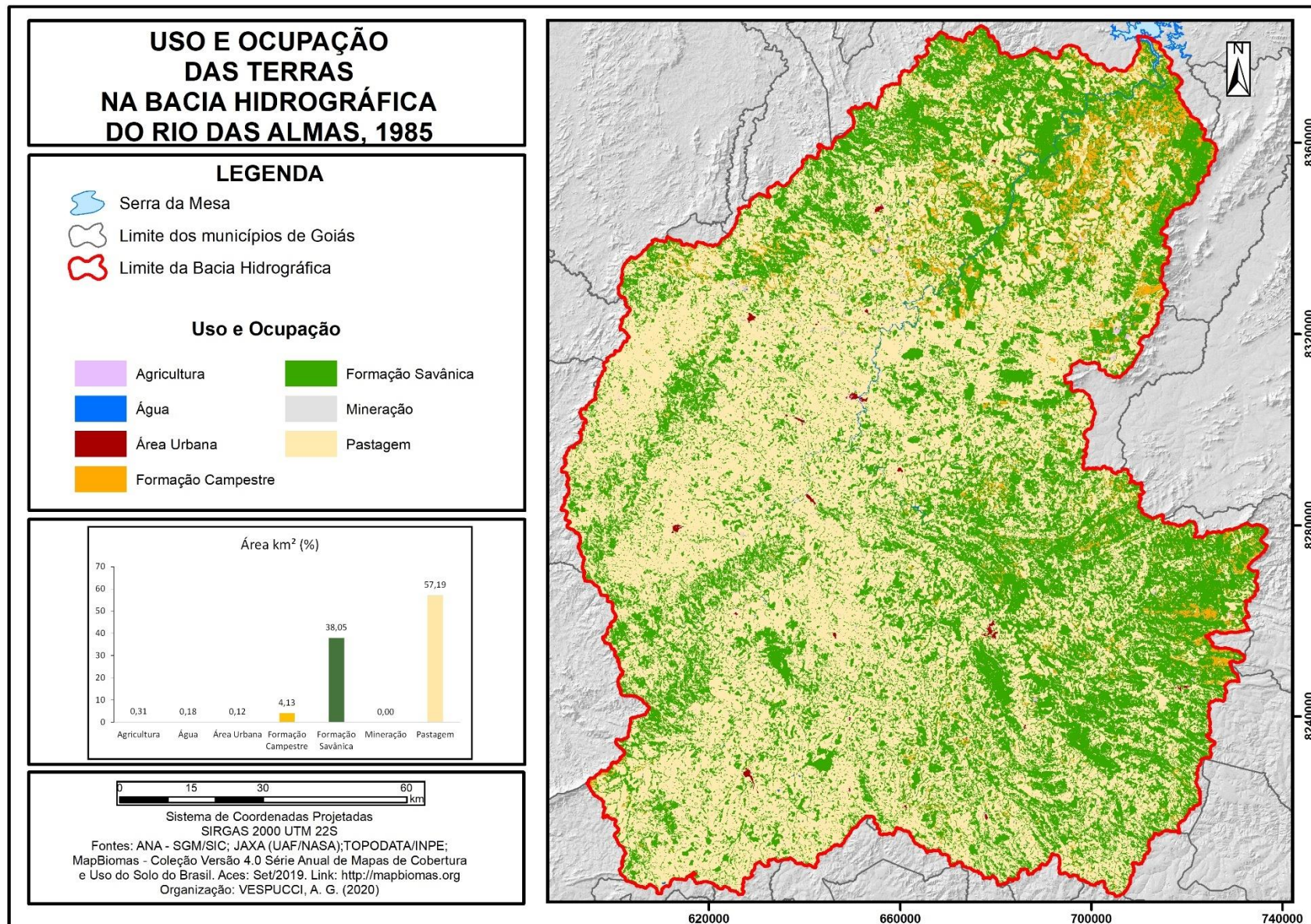


Figura 11: Mapa de Uso e Ocupação das terras na BHRA em 1985.

A Mesorregião do Centro Goiano apresentava em 1985 um crescimento da agricultura. Porém, o forte da região era a pecuária extensiva, com vastas áreas para a criação do gado. Silva e Miziara (2011) consideram que a evidência de diversos processos de expansão demonstra que a agricultura não eliminou a pecuária, mas, ao contrário, modernizou-a.

A figura 11 mostra que, em 1985, mais da metade, cerca de 57,19%, da área total da Bacia Hidrográfica do Rio das Almas (BHRA) é caracterizada pela presença da pastagem, tendo aproximadamente 10702,51 km² com uma exposição de norte a sul, exceto em algumas áreas onde o relevo se torna mais dissecado, dificultando assim a criação do gado. As formações naturais do Cerrado estão em segundo lugar na classificação do uso e ocupação das terras, com 42,18% (7892,81 km²) da área total. Verifica-se que essas regiões se encontram onde a pastagem não se instalou, sendo elas exatamente com relevos mais acidentados, ou seja, com uma dificuldade maior para a criação do gado para o pastejo. As outras classes somadas não conseguem alcançar 1% do total da área nesse período analisado.

Goiás (2010) explica que a Região Centro Goiano foi estabelecida tendo como elemento central o eixo da BR 153. Com isso, a região se torna importante para escoamento da própria produção, com eixo que liga aos portos no norte e sul do país. No quadro 4 com municípios representativos e, apêndice A com todos os municípios pertencentes à BHRA, podemos observar que as áreas de agricultura com o milho e pastagem com o gado de corte são de extrema importância para a região.

Quadro 4: Síntese dos dados de áreas de agricultura e pastagem, em municípios representativos.

Municípios	1985		1995		2005		2018	
	Agricultura (ha)	Pecuária (ha)	Agricultura (ha)	Pecuária (ha)	Agricultura (ha)	Pecuária (ha)	Agricultura (ha)	Pecuária (ha)
Goianésia	31.998	114.748	20.758	84.698	30.761	60.201	21.475	63.683
Itaberaí	52.223	75.568	20.272	69.315	11.015	46.561	31.579	39.497
Jaraguá	59.985	88.082	10.495	105.547	9.818	78.370	12.764	39.448
Pirenópolis	115.773	261.581	26.136	116.513	5.848	52.191	11.513	53.192
Uruaçu	40.479	148.898	10.740	85.929	19.636	63.626	26.785	79.132
SOMAS	253.457	688.877	88.401	462.002	77.078	378.027	38.298	274.952

Fonte: Censos Agropecuários 1985, 1995/1996 e 2015 (campo 2017) – IBGE; Perfil Socioeconômico dos Municípios Goianos 2006 (censo 2005, campo 2007) – IMB.

Conforme Leme (2004), a década de 1990 ficou marcada pelas prioridades dos governos em estabilizar a economia do país. Assim, não houve uma política energética governamental bem definida e, com isso, o uso de álcool como combustível esteve incerto devido à queda de produção da cana-de-açúcar, como pode ser observado na figura 12.

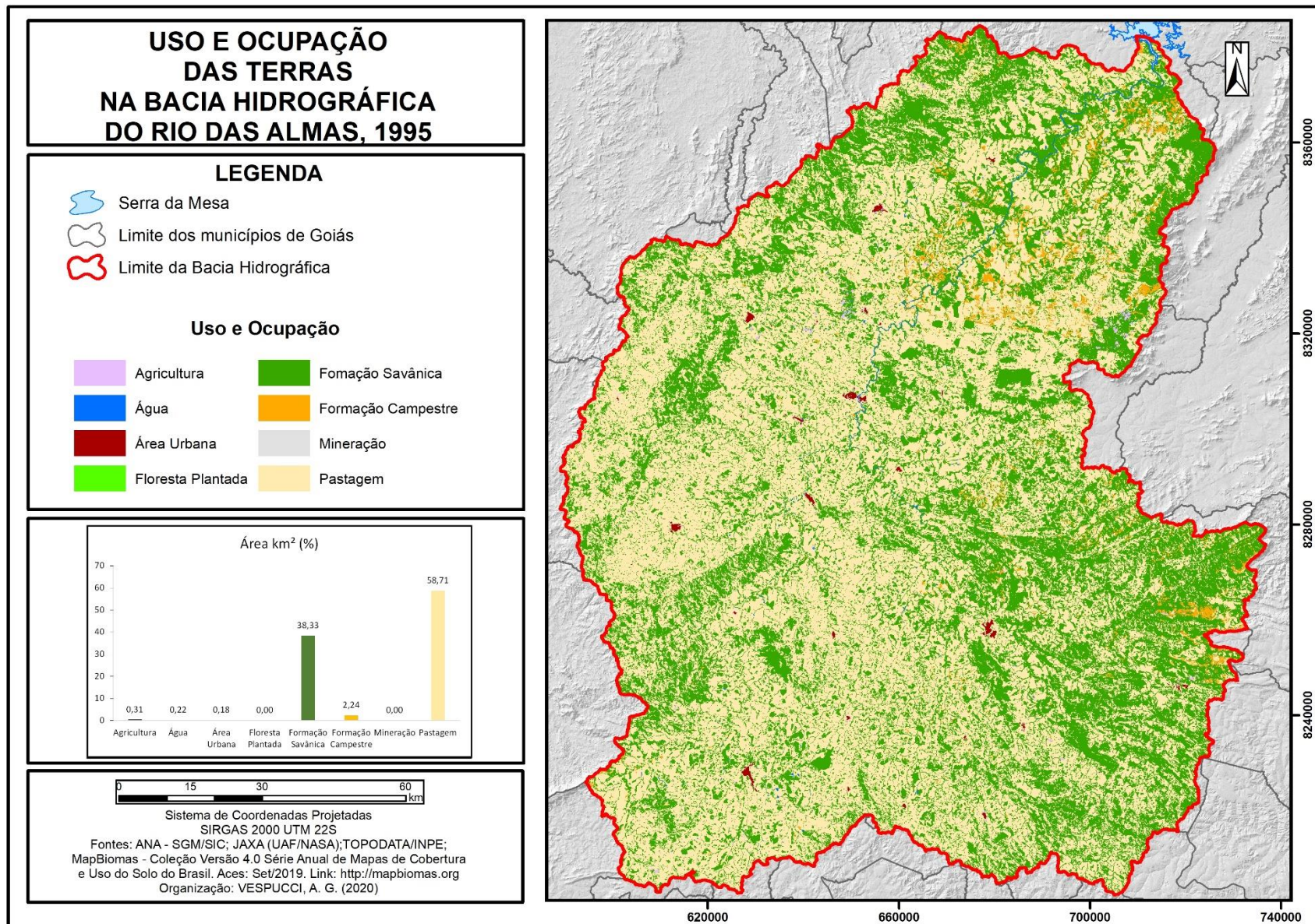


Figura 12: Mapa de Uso e Ocupação das terras na BHRA em 1995.

Na figura 12, é possível identificar que, em 1995, a área total de pastagem aumentou em relação ao período analisado anteriormente, tendo cerca de 58,71% do total da BHRA, distribuídos em 10986,62 km². Isso apresentou um incremento de quase 300 km². A pastagem está disposta em toda a bacia, ausentando-se apenas nas áreas onde o relevo se torna mais movimentado. O aumento citado foi devido ao decréscimo do total das áreas, em primeiro lugar, da formação campestre seguido pela formação savânica, agricultura, área urbana, mineração e o surgimento da floresta plantada. A formação savânica aparece como a segunda maior representação no mapa, com uma área de 7173,47 km² distribuída em 38,33% do total da bacia, em regiões onde o relevo se torna mais movimentado.

A partir do início do século XXI, as áreas do cultivo da cana-de-açúcar se mantiveram ao longo do eixo norte-sul, tendo uma expressiva expansão na porção sul do estado com incrementos de novas áreas na região sudoeste de Goiás (SILVA E MIZIARA, 2011). Segundo os mesmos autores, como a região sul do estado é utilizada em sua maioria pela agricultura, essa expansão se dá em substituição de outras culturas, pois após 2005 houve um maior registro de usinas nessas regiões. Isto foi demonstrado pelo fato da cana-de-açúcar não pode ser produzida muito distante da usina, ou mesmo sem vias de fácil acesso, pois se deteriora à medida em que aumenta o tempo entre sua colheita e a moagem, tendo que ser de rápida entrega, para evitar a perda de qualidade (SILVA, ALVES e COSTA, 2011).

Ferreira e Sena (2018) descreveram um crescimento na produção de cana-de-açúcar no Centro-Norte de Goiás, sobretudo nos municípios de Goianésia, Carmo do Rio Verde, Itapaci, Itapuranga, Santa Isabel, São Luiz do Norte, Nova Glória e Uruaçu. Neste território encontram-se dez usinas canavieiras estabelecidas, sendo elas responsáveis pela produção de etanol, açúcar, levedura, álcool em gel e outros derivados, tendendo a necessitar cada vez mais dos modais de transporte.

Com isso, o aumento nas áreas de agricultura na BHRA foi de mais de 400%, saindo de aproximadamente 58 km² em 1995, para cerca de 232,11 km² no ano de 2005, alcançando 1,24% do total, localizadas nas áreas mais centrais e planas da área de estudo (Figura 13).

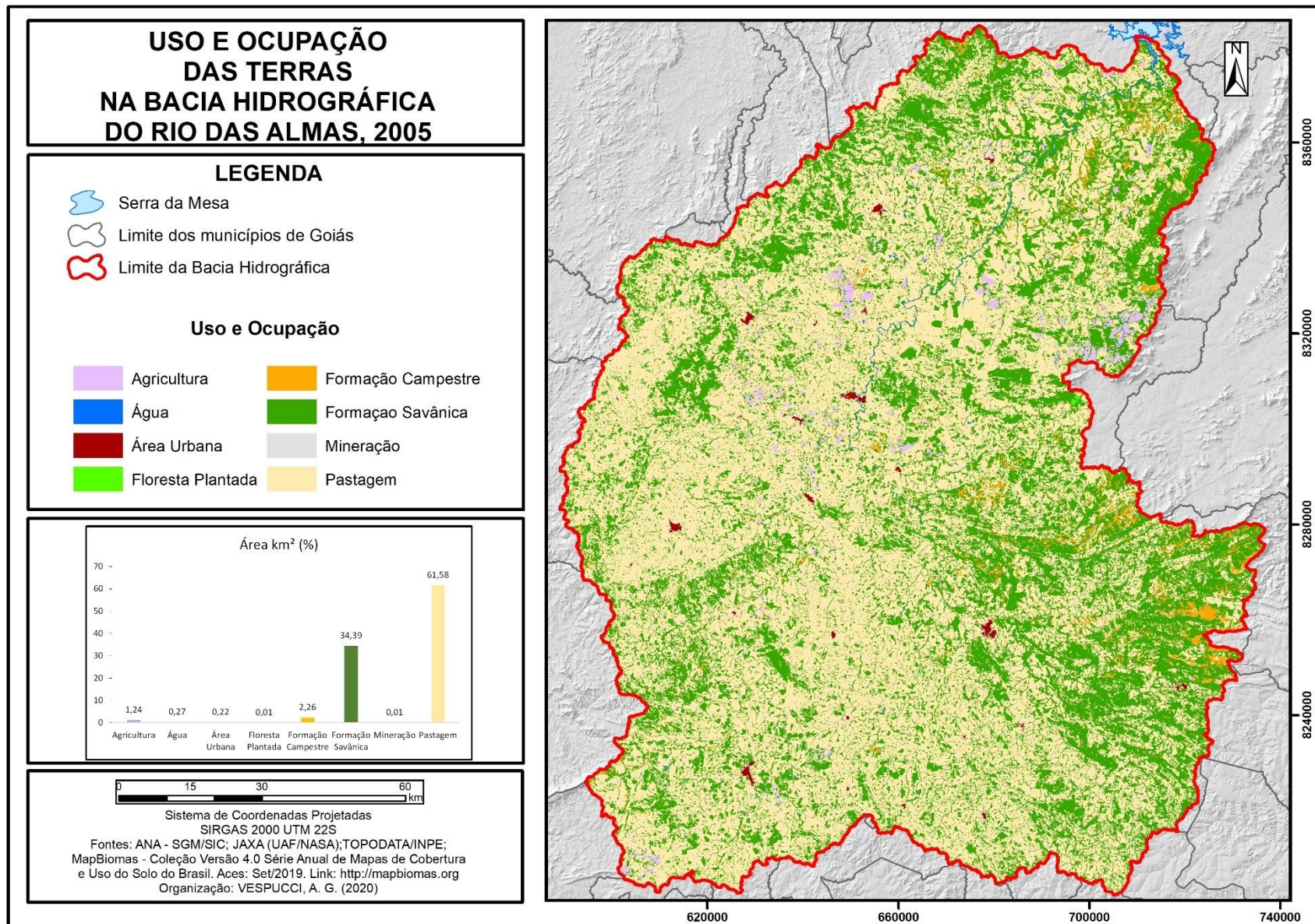


Figura 13: Mapa de Uso e Ocupação das terras na BHRA em 2005.

Porém, a pastagem ainda é a principal classe dentro da bacia, contendo 11524,32 km² e mais de 61% do total da área, representados em toda a parte central e mais plana da bacia. A segunda classe mais influente, formação savânica, apresentou mais um decréscimo em áreas totais, sendo ele por volta de 740 km² em relação ao ano de 1995 e sua representação espacial, já caracterizada por predomínio nos locais de relevos mais movimentados. A floresta plantada está representada em 2,80 km² com uma maior representatividade em Jaraguá, seguida pela mineração com 1,24 km², está pontual nos municípios de Barro Alto, Goiás e Pirenópolis.

Já em 2018, pode-se observar o crescimento da agricultura na BHRA, não só de cana-de-açúcar, mas também de milho e soja, que juntos já detinham em 2012 mais de 88% do valor da produção das lavouras temporárias no Estado de Goiás (SILVA, LEÃO E PASQUALETTO, 2015). Essa agricultura cresceu exatamente sobre as áreas de pastagem descritas no ano de 2005, contendo um aumento de aproximadamente 350%, representados espacialmente no centro-norte e sudoeste da BHRA com 793,51 km² e 4,24% do total, estando mais próximo dos cursos de água, especialmente do Rio das Almas, onde o volume de água é maior.

A pastagem continua sendo a classe com maior área representada na BHRA, em 2018. com 55,02% dispostos em 10295,36 km², sofrendo uma diminuição em área de cerca de 11% em relação ao período anterior. A formação savânica teve um aumento, passando dos 6435,56 km² (34,39%) para 7077,35km² (37,82%). Uma informação relevante é o aumento das áreas de floresta plantada, com 2018,31 km² distribuídos em vários pontos no centro-sul da BHRA.

As áreas urbanas continuaram seu crescimento gradual (Figura 14), sendo expressivo o deslocamento da população da zona rural para as cidades. O estado de Goiás apresentava, em 2015, 92% de sua população residente nas cidades (GOIÁS, 2018).

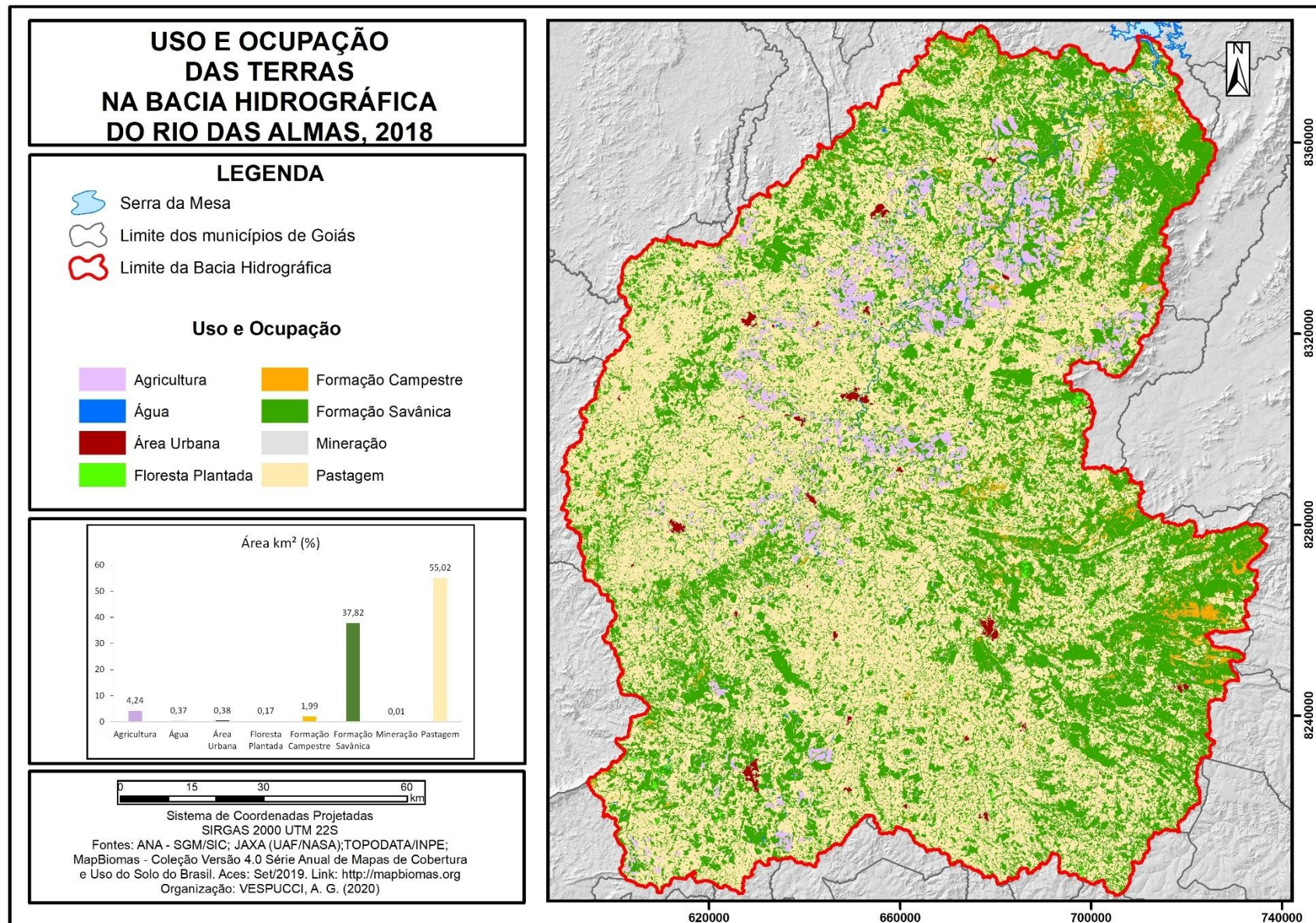


Figura 14: Mapa de Uso do Solo da BHRA em 2018.

Sendo assim, existem dois momentos de ocupação do bioma Cerrado e do estado de Goiás, que segundo Frederico (2013) demonstram a dinâmica da modernização da agricultura brasileira. Eles são: (1) de 1960 a 1980, quando se caracterizou pelo uso da tecnologia no campo (máquinas, ferramentas, fertilizantes, e irrigação) desenvolvida no contexto da Revolução Verde, tendo a instituição dos complexos agroindustriais e atuação do Estado no financiamento da modernização do campo por meio das políticas do PRODECER e POLOCENTRO; (2) no início nos anos 90, com caracterização de uma menor intervenção do Estado, tendo assim maiores participações dos grandes produtores privados e *trandings*, que são grandes empresas que controlam parte do financiamento agrícola, a comercialização do produto e o escoamento dos mesmos.

O agronegócio e a agroindústria são classificados como fases da economia que projetaram o estado de Goiás, que para chegarmos à situação atual, foi necessário um grande desenvolvimento de diversas fases, como a mineração, pecuária, agricultura, até o agronegócio e a agroindústria (CALAÇA e DIAS, 2010).

3.3 FRAGILIDADE AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DAS ALMAS

A fragilidade ambiental na presente pesquisa é considerada a partir do conceito proposto por Ross (1994) como o maior ou menor grau de probabilidade de ruptura das funcionalidades e dos mecanismos de autorregulação dos sistemas ambientais às pressões antrópicas, por meio de um uso e ocupação das terras quaisquer.

Santos *et al.* (2010) descrevem que a fragilidade potencial abrange a associação dos elementos físicos naturais, sendo eles: a geomorfologia, tipos de solo, declividade, geologia, dentre tantos outros, sendo descrita no presente estudo como fragilidade ambiental natural da área. A fragilidade emergente (fragilidade ambiental) abrange uma análise integrada da fragilidade potencial natural associada aos tipos de uso e ocupação das terras.

Como os fatores e componentes do meio físico (geomorfológicos: índice de dissecação e; pedológicos: tipos de solos e textura) não se alteram na escala temporal deste estudo, analisou-se preliminarmente a fragilidade ambiental natural da BHRA (Figura 15 e Tabela 5). Em seguida, visto que os fatores e componentes do meio socioeconômico são mais dinâmicos, analisou-se a fragilidade ambiental decorrente da sucessão temporal do uso e ocupação das terras.

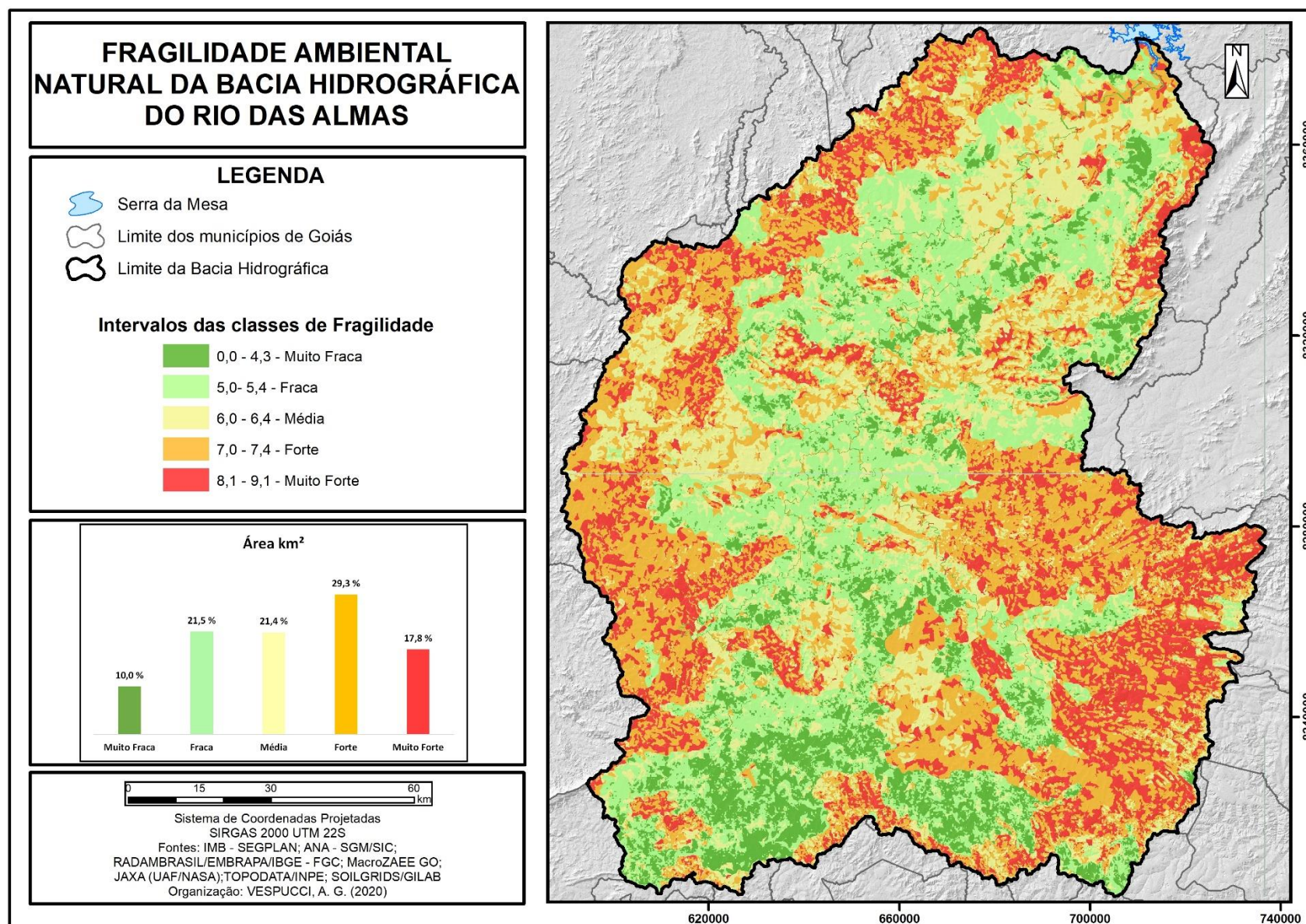


Figura 15: Mapa de Fragilidade Ambiental Natural, dividido por classes de fragilidade.

Tabela 5: Classes da Fragilidade Ambiental Natural e suas respectivas áreas na BHRA.

Classes de Fragilidade Ambiental Natural	Área	
	km²	%
Muito Fraca	1870,52	10,03
Fraca	4014,13	21,52
Média	3984,64	21,36
Forte	5466,78	29,31
Muito Forte	3317,61	17,79

Dessa forma, temos de um modo geral as áreas de fragilidade ambiental natural muito fraca situadas em áreas de dissecação baixa à média. Nesse contexto os solos se inserem em sua maioria nas categorias Latossolo Vermelho Distrófico, Latossolo Vermelho Ácrico e perpassando pelo Latossolo Vermelho Distrófico Férrico, sendo esses solos os que se encontram nas regiões mais planas do relevo. A textura encontrada é a de classe argilosa, registrada na região sul com uma maior densidade e em partes do centro-nordeste.

Na extensão das áreas de fragilidade ambiental fraca o índice de dissecação predominante é o médio, dominando em toda a região central da BHRA. Os solos dessa classe de fragilidade natural são em sua totalidade os mesmos tipos de Latossolos descritos na classe anterior da fragilidade ambiental muito fraca. Já a textura é bem diversa, tendo tanto a classe média quanto a argilosa, distribuídas de norte a sul na bacia.

As áreas de fragilidade ambiental natural média são encontradas predominantemente em áreas onde o índice de dissecação é considerado como categoria média, distribuídas mais densamente em regiões do norte, centro-oeste e centro-sul da bacia e, em algumas áreas de dissecação alta, próximas às áreas descritas anteriormente (fragilidade ambiental natural fraca). Os solos dessa fragilidade ambiental natural média são Latossolo Vermelho Distrófico a oeste da BHRA, Latossolo Vermelho Distrófico Férrico no centro-leste, Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico no norte e centro, Argissolo Vermelho Eutrófico no centro e Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico ao extremo sul da bacia. Já a textura dos solos é dominada pela classe média.

A fragilidade ambiental natural forte é encontrada em áreas de média e alta dissecação do relevo, representados principalmente nas bordas da BHRA, onde o relevo é mais elevado, tendo uma densidade maior na parte oeste e leste da BHRA. Os solos mais representativos são os Argissolo Vermelho Distrófico a nordeste da BHRA, Argissolos Vermelho-Amarelo Eutróficos e Distróficos dispostos no nordeste e centro-

sul, Cambissolos Háplicos Eutróficos e Distróficos a noroeste e centro-leste da bacia, além do Nitossolo Vermelho Eutrófico Férrico distribuídos no centro da bacia e do Neossolo Litólico Distrófico mais presente nos Pireneus. A textura está distribuída entre média e argilosa, porém com uma concentração maior na textura média, mais densamente visualizada na região oeste e lés-sudeste da bacia.

A interpretação da figura 15 indica que as áreas de fragilidade ambiental natural muito forte são encontradas nos locais de grau alto e muito alto de dissecação. Os solos encontrados nessa fragilidade ambiental natural muito forte são os mesmos da classe anterior (fragilidade forte) e distribuídos igualmente, além do Plintossolo Pétrico Concrecionário encontrados a leste da BHRA e dos Solos Urbanos, presentes nas cidades. A textura é majoritariamente média.

Tendo as características do mapa de fragilidade ambiental natural descritas, teremos os mapas de fragilidade ambiental a partir do cruzamento do mapa de fragilidade natural (indicadores) e dos mapas de uso e cobertura das terras, para os anos de 1985, 1995, 2005 e 2018.

Variação Espaço-temporal da Fragilidade Ambiental

O conhecimento da dinâmica ambiental e as suas características intrínsecas, como os solos, relevo, vegetação, a hidrografia, uso e ocupação, as questões sociais e econômicas, são de extrema relevância para o desenvolvimento sustentável (ROSS, 2009). De acordo com Ross (2009, p. 61):

Para cada ambiente natural, é possível e desejável desenvolver atividades produtivas que sejam compatíveis, de um lado com suas potencialidades e, de outro, com fragilidades ambientais.

Assim, compreender e analisar a fragilidade ambiental de deliberadas áreas propicia que decisões sejam tomadas visando o ordenamento ambiental e territorial em concordância das variáveis ambientais com o atual estágio de uso e ocupação das terras (ROCHA, 2019). Juntamente com esse pensamento Oliveira (2019) descreve que entender os aspectos físicos-naturais serve de auxílio para uma melhor compreensão da interação natureza/sociedade, sendo isso essencial para entendimento da configuração e dinâmica das paisagens do Cerrado com objetivos à conservação.

A associação e o cruzamento de dados temáticos juntamente com seus respectivos pesos, possibilitaram a geração dos mapas de fragilidade ambiental para a área de estudo

nos anos de 1985, 1995, 2005 e 2018, tendo como referência os cálculos algébricos, mencionados nos procedimentos metodológicos. A associação tende a gerar um modelo que seja mais próximo da realidade da região, possibilitando identificar os graus de fragilidade ambiental das suas variáveis naturais e analisar as áreas com maior ou menor fragilidade.

- Ano de 1985

A partir do mapa de fragilidade ambiental do ano de 1985, foram calculados os valores de áreas e os percentuais ocupados por cada classe de fragilidade estabelecidos. A tabela 6 e figura 16 comparam as áreas com as respectivas classes de fragilidade ambiental para o ano de 1985, tendo sido cada um organizado e descrito da seguinte forma: a) fragilidade muito fraca (0,49%); b) fragilidade fraca (25,03%); c) fragilidade média (48,69%); d) fragilidade forte (24,18%) e fragilidade muito forte (1,29%), distribuídos em um total de 18713,44 km², correspondentes à área completa da BHRA.

Tabela 6: Classes da Fragilidade Ambiental e suas respectivas áreas na BHRA, 1985.

Classes de Fragilidade Ambiental	Área	
	km²	%
Muito Fraca	91,39	0,49
Fraca	4683,86	25,03
Média	9112,32	48,69
Forte	4525,61	24,18
Muito Forte	240,5	1,29

A comparação da fragilidade ambiental natural com a fragilidade ambiental, acrescida do componente uso e ocupação das terras, permitiu verificar algumas alterações exercidas pelo sistema socioeconômico, vigente no ano de 1985 na BHRA. A classe de fragilidade muito fraca diminuiu de 1870 km² para apenas 91,39 km², ocorrendo predominantemente nos vales do Rio das Almas, áreas ao nordeste e sudoeste e pequenas amostras no centro-sudeste. Nessas áreas, a fragilidade é influenciada pela formação savânica, com uma dissecação baixa à média, onde se encontram predominantemente os Latossolos, que segundo o IBGE (2007) são solos muito intemperizados, profundos, argilosos e de boa drenagem (Figura 16 e Apêndice B).

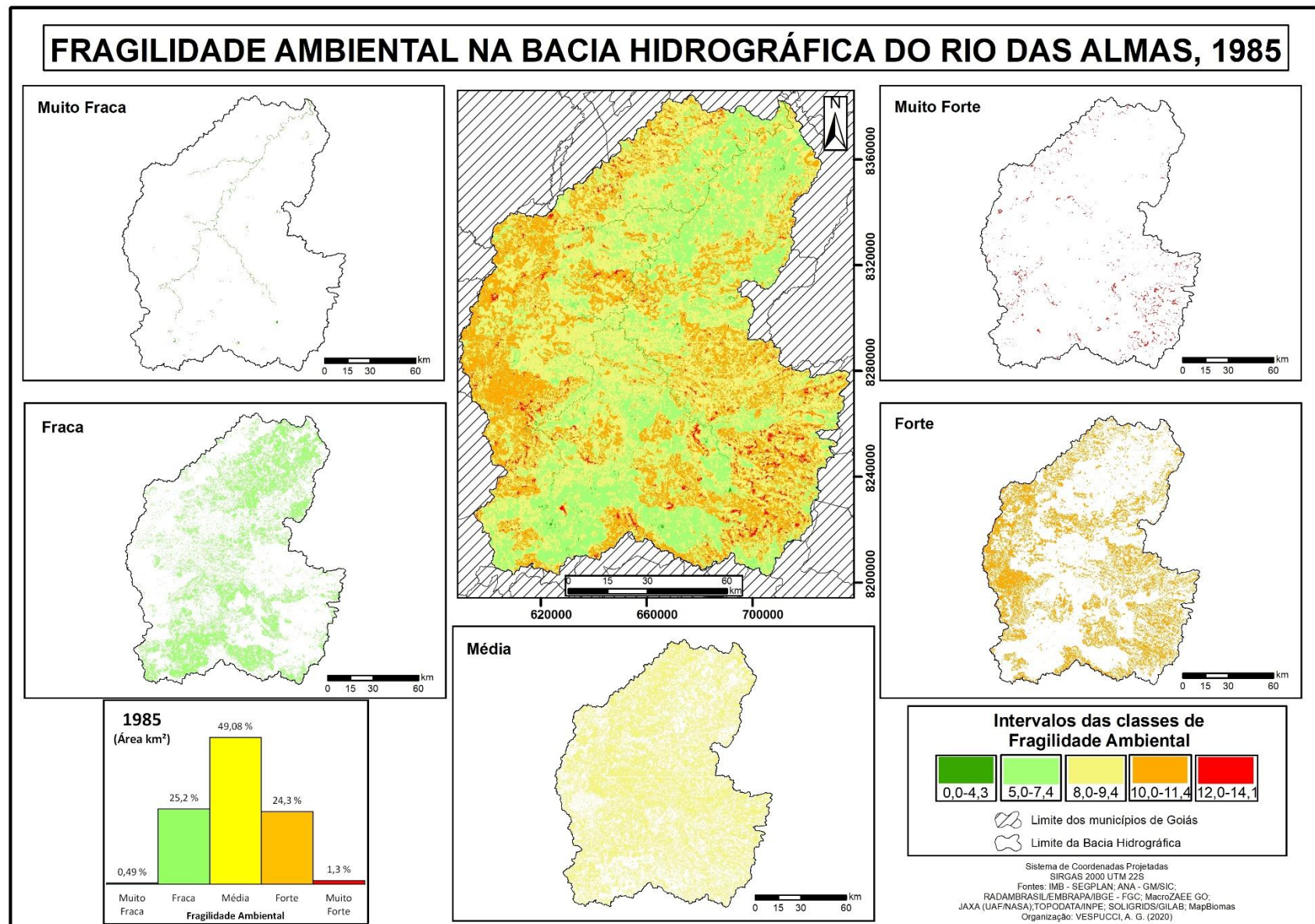


Figura 16: Mapa de Fragilidade Ambiental, dividido por classes de fragilidade, 1985.

Já a classe de fraca fragilidade ambiental é observada em toda BHRA, sendo mais densamente evidenciada ao norte e centro-sudoeste, com predomínio de dissecação média e Latossolos, tendo uma grande porção no norte com as formações savânica e campestre. Na porção centro-sudeste da BHRA, essa fragilidade fraca é dominada pela textura média e argilosa, sendo ocupada basicamente com pastagens.

As áreas de fragilidade média são encontradas por toda a bacia, sendo a classe de maior dominância, com 48,69% do total. Em comparação a fragilidade ambiental natural média ocorria em apenas 21%, nas áreas do norte e centro-sul, abrangendo a dissecação média e alta com todos tipos de solos da BHRA. Essa classe de fragilidade ambiental média não é afetada apenas pelas áreas de mineração e agricultura no nor-nordeste em Goianésia e áreas urbanas.

A fragilidade ambiental forte é encontrada nos locais mais elevados da bacia, distribuídos predominantemente em suas bordas, com dissecação entre média, alta e muito alta. Nela contem solos como Argissolo Vermelho Distrófico e Argissolos Vermelho-Amarelo Eutróficos e Distróficos dispostos no nordeste e centro-sul. Enquanto o Nitossolo Vermelho Eutrófico com textura argilosa ocorre ao centro da BHRA, Cambissolos Hápicos Eutróficos e Distróficos ocorrem ao noroeste e centro-leste e o Neossolo Litólico Distrófico está mais presente nos Pireneus. Os sistemas socioeconômicos vigentes em 1985, diminuíram o tamanho da área de fragilidade ambiental forte em relação a fragilidade natural forte, que estava presente em 5466,78 km². A fragilidade ambiental forte em 1985, encontrava-se mais amplamente distribuída, mas com área total abrangendo 4525,61 km² da BHRA, pois havia muito da formação savânica nessa classe.

A fragilidade ambiental muito forte perdeu muito em área, abrangendo apenas 240,5 km² no ano de 1985, sendo na fragilidade natural disposta em 3317,61 km². A influência sobre a fragilidade muito forte é ainda expressa pelos graus alto e muito alto de dissecação e os solos os mesmos da classe de fragilidade forte, distribuídos igualmente, com a textura sendo majoritariamente média. Muito dessa diminuição de área de fragilidade muito forte se deve pela região onde se encontram por apresentar uma formação savânica, porém áreas urbanas e de mineração surgiram, deixando mais frágil essas localidades.

- Ano de 1995

Tendo os dados extraídos do mapa de Fragilidade Ambiental de 1995, foram calculados os valores de áreas e os percentuais englobados por cada uma das classes de fragilidade (Tabela 7 e Figura 17), no qual foram encontrados: a) fragilidade muito fraca em 0,51%; fragilidade fraca em 24,04%; fragilidade média em 49,09%; fragilidade forte em 24,64% e fragilidade ambiental muito forte em 1,39% dispostos nos 18713,44 km² da área total da bacia.

Tabela 7: Classes da Fragilidade Ambiental e suas respectivas áreas na BHRA, 1995.

Classes de Fragilidade Ambiental	Área	
	km²	%
Muito Fraca	95,79	0,51
Fraca	4498,52	24,04
Média	9187,31	49,09
Forte	4611,91	24,64
Muito Forte	260,16	1,39

As áreas da classe de fragilidade muito fraca estão situadas nas mesmas regiões de 1985, com um aumento de apenas 0,03%, apresentando uma concentração um pouco maior ao sudoeste. Porém, a perda de áreas no nordeste e centro-sudeste deveu-se a conversão da formação savânica em pastagem.

A classe fraca apresentou diminuição em relação ao período de 1985. Saiu de uma área de 4683,86 km² para 4498,52 km², no qual essa perda, aproximadamente 185 km², se encontram em toda densidade de polígonos registrados na bacia, principalmente ao norte, com perda de vegetação das formações campestre e savânica, mesmo tendo um pequeno aumento de formação savânica na BHRA.

A fragilidade média se manteve praticamente estável, tendo as mesmas configurações do ano de 1985. Contudo, apresentou um crescimento quase imperceptível devido a grande abrangência espacial da classe, com 49,09%, tendo quase metade do total de área da bacia.

Áreas com a classe de fragilidade ambiental forte aumentaram de um período para o outro. De 4525,61 km² em 1985 e 4611,91 km² em 1995, aumentou aproximadamente 1,87%, sendo que essas áreas se encontram mais concentradas ao leste da BHRA, principalmente nos Pireneus, devido a diminuição de áreas contendo as formações campestre e savânica e aumento da pastagem (Figura 17 e Apêndice C).

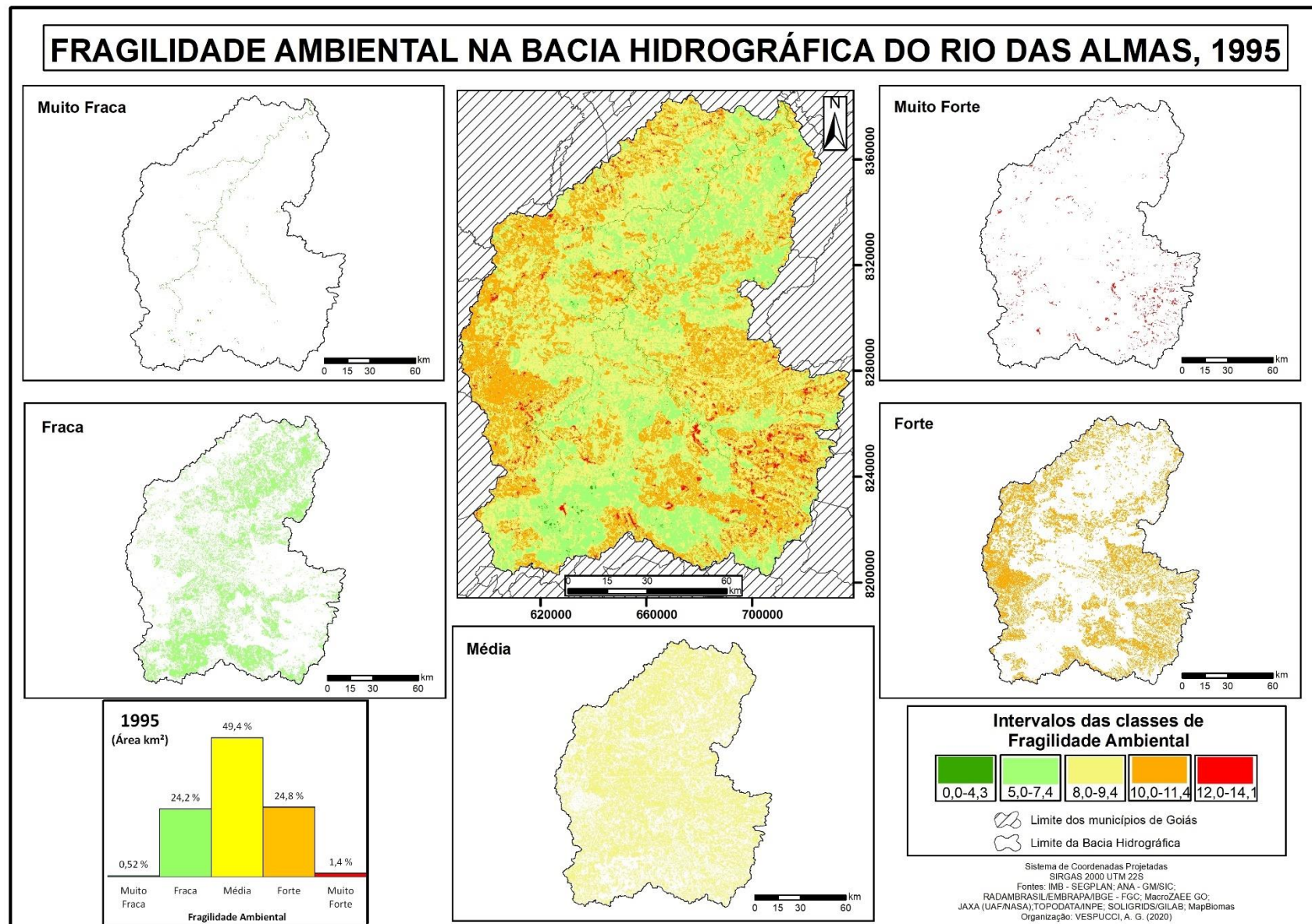


Figura 17: Mapa de Fragilidade Ambiental, dividido por classes de fragilidade, 1995.

A fragilidade ambiental muito forte ocorre principalmente nos locais com os solos mais rasos, como o Neossolo Litólico Distrófico na região dos Pireneus e nas bordas da BHRA, em regiões mais elevadas e com alto grau de dissecação. Essa classe sofreu um aumento em área de cerca de 20,10 km², o que também pode ser representado pelo crescimento das áreas urbanas da BHRA.

- Ano de 2005

A tabela 8 apresenta os graus de fragilidade ambiental e suas respectivas áreas na BHRA no ano de 2005, onde esses graus foram expostos percentualmente da seguinte maneira: a) fragilidade ambiental muito fraca (0,35%); b) fragilidade fraca (21,63%); média (49,84%); forte fragilidade (26,36%) e fragilidade muito forte (1,49%), abrangendo o total da área da bacia.

Tabela 8: Classes da Fragilidade Ambiental e suas respectivas áreas na BHRA, 2005.

Classes de Fragilidade Ambiental	Área	
	km²	%
Muito Fraca	65,67	0,35
Fraca	4047,94	21,63
Média	9327,12	49,84
Forte	4933,33	26,36
Muito Forte	279,63	1,49

O ano de 2005 apresenta uma diferença considerável em relação aos anos anteriores, pois observa-se que houve uma diminuição em área nos graus de fragilidade ambiental muito fraca e fraca e aumento nos graus média, forte e muito forte.

As áreas com fragilidade ambiental muito fraca perderam cerca de 30 km² em área, principalmente nos vales do Rio das Almas ao norte, que teve um aumento considerável da agricultura, saindo de 58,18 km² em 1995 para 232,11 km² no ano de 2005. Segundo Ferreira e Sena (2018), houve um crescimento na produção da cana-de-açúcar no Centro-Norte de Goiás nesse período (1995 a 2005), com a instalação de usinas sucroalcooleiras.

A fragilidade fraca perdeu aproximadamente 450 km², ou seja, 11,15% em áreas totais da bacia, deixando de ser tão densamente registrada em sua totalidade. Essa perda de áreas se deve à supressão das formações savânica e campestre para a incorporação de pastagens e da agricultura em regiões de Latossolos, sendo estes de grande importância, pelo seu alto potencial agrícola, onde se destaca a produção da cana-de-açúcar (IBGE, 2007) (Figura 18 e Apêndice D).

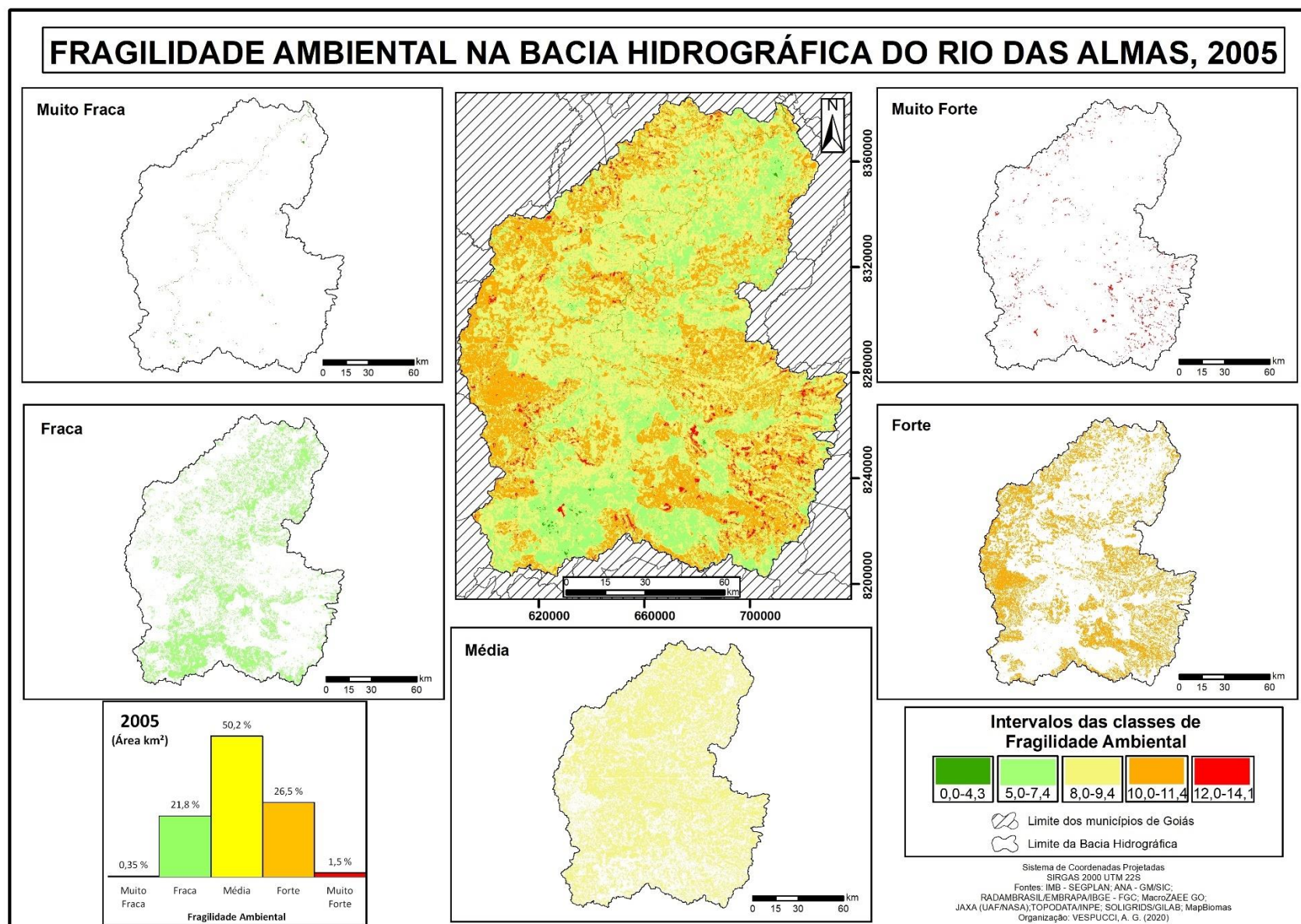


Figura 18: Mapa de Fragilidade Ambiental, dividido por classes de fragilidade, 2005.

Já a classe de fragilidade média aumentou ainda mais sua área de abrangência, quando em 1995 era de 49,09%, passou para praticamente a metade da área total em 2005, chegando aos 49,84. Isso ocorreu principalmente pelo aumento próximo de 538 km² de pastagem no período 1995-2005.

A classe de fragilidade ambiental forte foi a que teve o maior aumento. As áreas onde se tinham essa classe em 1995 ficaram mais densas em 2005, 24,64% e 26,6% respectivamente. Esse agravamento foi devido ao crescimento das áreas de agricultura nas regiões mais planas ao norte da BHRA.

Comparado ao aumento de áreas com fragilidades média e forte, a classe de fragilidade muito forte também apresentou um acréscimo, porém de menor proporção em comparação com as anteriores no mesmo período 1995-2005. Essa elevação foi de apenas 0,10%, estando principalmente ligadas ao tamanho das áreas urbanas.

- Ano de 2018

Com uma passagem de treze anos desde 2005, chegamos ao ano de 2018 (Tabela 9 e Figura 19), no qual pôde ser observado o aumento de área das classes de fragilidade ambiental muito fraca (0,63%), fraca (22,83%), forte (26,77%) e muito forte (1,55%), e um decréscimo da fragilidade ambiental média (47,90%) em relação a 2005.

Tabela 9: Classes da Fragilidade Ambiental e suas respectivas áreas na BHRA, 2018.

Graus de Fragilidade Ambiental	Área	
	km²	%
Muito Fraca	117,42	0,63
Fraca	4272,95	22,83
Média	8963,28	47,90
Forte	5009,61	26,77
Muito Forte	290,42	1,55

As áreas de fragilidade muito fraca tiveram aumento de quase 50% em relação ao ano de 2005, sendo estes devido ao aumento de densidade das áreas descritas em 1985 e 1995 (decréscimo 2005), porém, a maior elevação aconteceu em uma pequena área do nordeste da bacia, sendo ela em 2018 composta exclusivamente pela formação savânica.

A fragilidade fraca também ganhou um aumento, de 230 km², principalmente no norte da BHRA, próximo ao reservatório de Serra da Mesa. Isso ocorreu pela recuperação da formação savânica, similar ao caso da fragilidade fraca, e ao crescimento da floresta plantada, principalmente de eucalipto, na região centro-sul da BHRA (Figura 19 e Apêndice E).

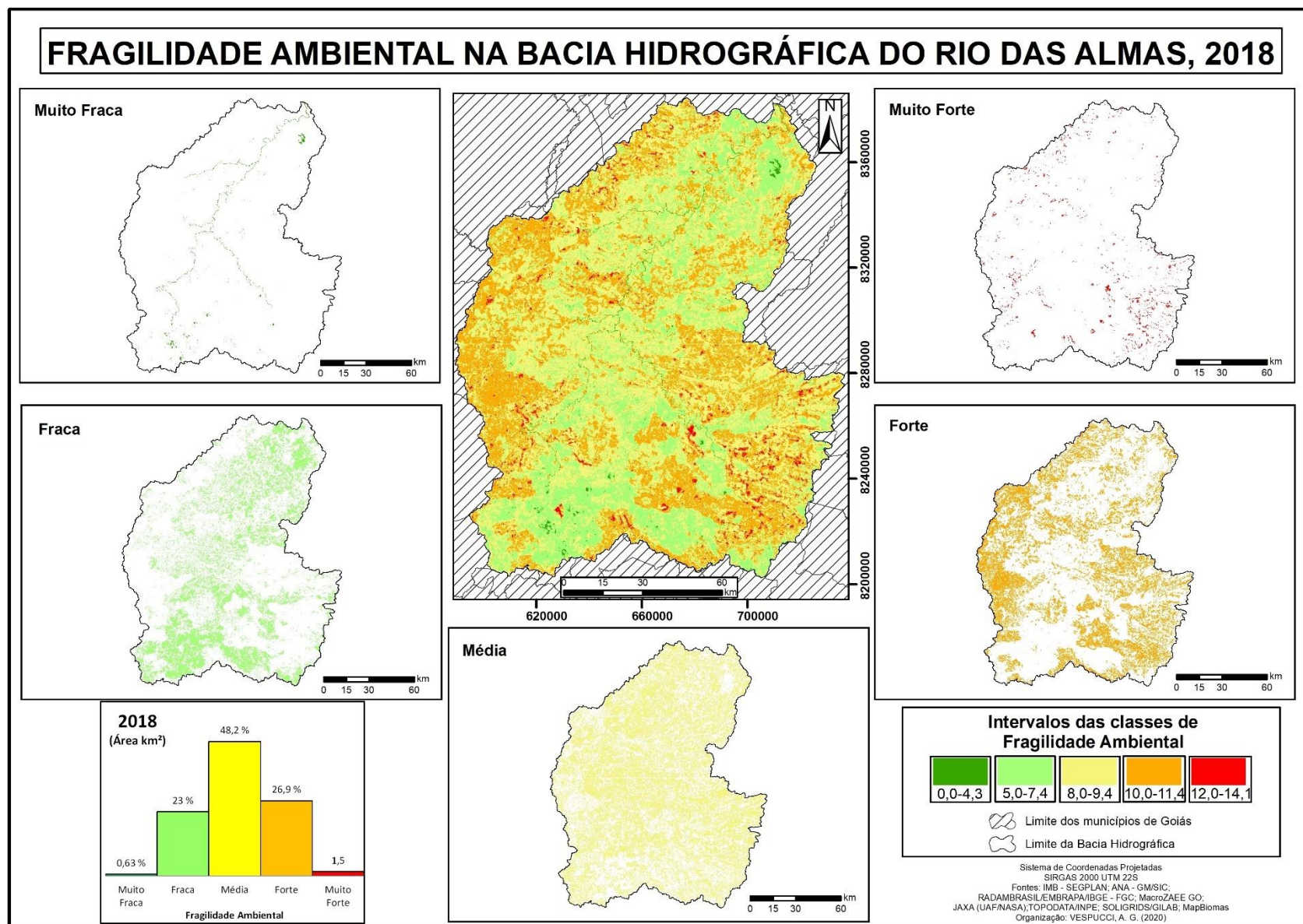


Figura 19: Mapa de Fragilidade Ambiental, dividido por classes de fragilidade, 2018.

Já na classe de fragilidade ambiental média, diferentemente do que vinha acontecendo nos últimos anos analisados, teve-se um decréscimo de áreas, sendo ele de aproximadamente 2% ou 364 km². Isto ocorreu por toda a BHRA, mas principalmente na porção norte, onde se tem uma concentração maior da agricultura, relacionada com a diminuição das áreas de pastagem.

Com o aumento das áreas de agricultura no intervalo de 2005 a 2018, a classe de fragilidade que mais temos que dar importância é a forte, tendo um aumento exatamente nas regiões onde se encontra a agricultura, pois são locais mais planos e com solos mais propícios para o plantio, com os Latossolos. Também foi verificada uma diminuição das áreas de formação campestre, próximas a Serra dos Pirineus.

A classe muito forte permaneceu nas mesmas regiões, sendo elas as áreas urbanas e onde os solos são mais frágeis (topos de morros). Porém, o maior causador do aumento, mesmo que pequeno dessa classe, foram os empreendimentos de mineração existentes nos municípios de Pirenópolis, Goiás e Barro Alto no nordeste da bacia. Esse último empreendimento foi inaugurado em 2011, gerido pela Anglo-American (RIBEIRO, 2019).

Variação Relativa da Fragilidade Ambiental

A análise dos mapas de todo o período demonstra que a área sofreu alterações, oriunda dos sistemas socioeconômicos, tendo o homem modificado o espaço da BHRA para usos de diferentes formas, sendo as de maior relevância a pastagem e a agricultura. Deste modo a fragilidade ambiental da BHRA teve mudanças no decorrer do tempo, como pode ser analisado na figura 20, que contém os gráficos de porcentagem de área total das cinco classes de fragilidade nos quatro anos descritos.

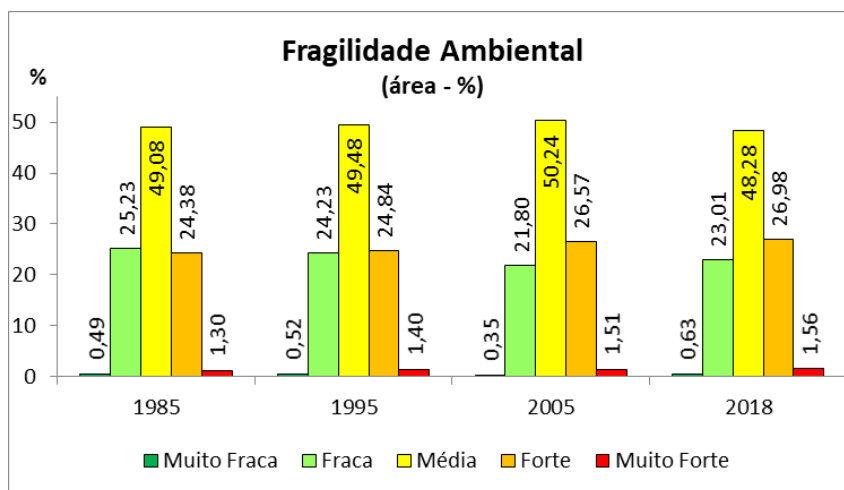


Figura 20: Áreas (%) das classes de Fragilidade Ambiental da BHRA em cada um dos anos.

A classe de Fragilidade Ambiental Muito Fraca detinha no ano de 1985 cerca de 0,49% de área total inseridos na BHRA, seguindo de um leve aumento para o ano de 1995, alcançando 0,52%. Porém, na passagem para o ano de 2005, foi observada uma diminuição nas áreas dessa classe, caindo para 0,35%, isto é, menos regiões com essa classe de fragilidade muito fraca que o primeiro ano de análise. Mas em 2018, ocorreu um aumento de quase 50% no total de área da fragilidade muito fraca, em comparação ao ano de 2005, saindo dos 0,35% para 0,63%.

Na fragilidade fraca, a situação aconteceu de uma forma diferente. Desde o primeiro ano analisado, em 1985 até o ano de 2005, houve queda com relação ao tamanho de suas áreas na BHRA. A fragilidade ambiental fraca detinha 25,23% no ano de 1985, 24,23 em 1995 e 21,80 em 2005, obtendo assim uma queda de 3,43% em áreas totais. Contudo, na passagem de 2005 para 2018 foi percebido um aumento de 1,21% dessa classe (Figura 21).

Em comparação com a fragilidade fraca, a classe da fragilidade média acompanhou a mesma tendência, porém com áreas muito mais representativas, alcançando a metade do total da BHRA. Entre 1985 e 2005, houve um aumento pouco maior do que 1%. Contudo, em 2018, essa classe decaiu 2% do total comparado ao ano anterior estudado.

Já a classe de fragilidade ambiental forte foi bem diferente das outras três classes anteriores. Ela adicionou áreas em todos os anos de estudo, aumentando de 24,38% em 1985 até 26,98% em 2018. Ao que tudo indica, o acréscimo de áreas da agricultura no norte da bacia influenciou em muito esse aumento da fragilidade ambiental forte.

A fragilidade ambiental muito forte, seguiu um desempenho similar ao da forte, verificando um de área em todos os anos. Porém, isso ocorreu numa menor escala, atuando principalmente nos solos mais frágeis, áreas urbanas e locais onde se tem alguma atividade mineradora, com acréscimo de pouco mais de 0,25% no período analisado.

Assim, entendemos que as classes onde se tem uma fragilidade menor (muito fraca e fraca) teve decréscimo na maioria dos anos estudados em comparação com a de média e as de maior fragilidade (forte e muito forte). A fragilidade média manteve a maior área em todo o período, com uma diminuição pequena em 2018 e, as mais frágeis compartilharam de crescimento em todos os anos analisados.

A Figura 21 compara a variação decenal do percentual das áreas com diferentes graus de fragilidade no período estudado, demonstrando os ganhos e perdas relativas de área em cada decênio

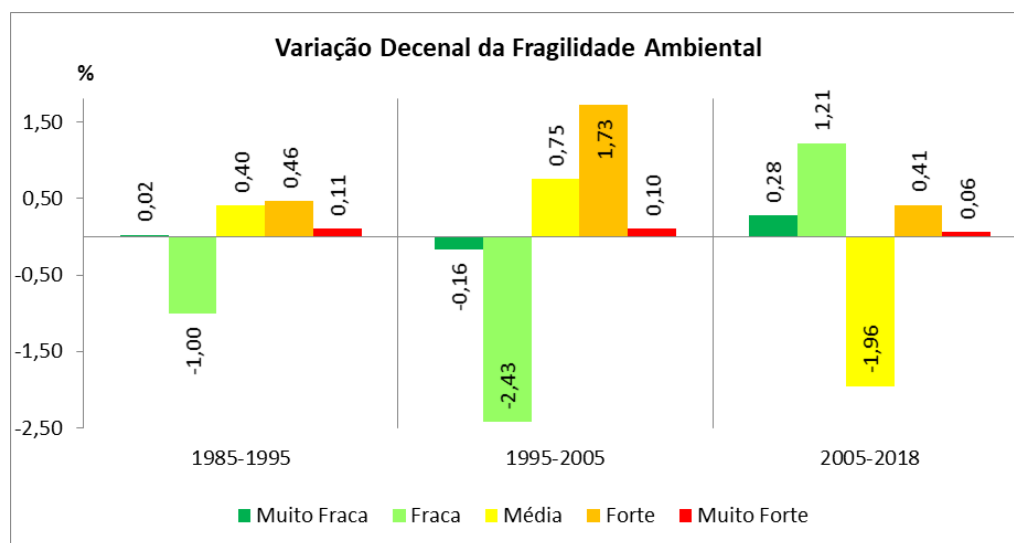


Figura 21: Variação (%) decenal das áreas das classes de fragilidade ambiental em três períodos.

O decênio 1985-1995 registrou aumento em quatro das cinco classes de fragilidade (muito fraca, média, forte e muito forte), sendo que todos foram menores do que 0,50%, e uma diminuição de 1% na fragilidade fraca. Assim, a variação desse período ficou em cerca de 1,50% na sua totalidade, demonstrando que a fragilidade ambiental da BHRA não apresentou muita diferença de um ano para o outro.

A fragilidade ambiental no decênio de 1995 a 2005 se apresentou de forma diferente do período anterior analisado. Duas classes de fragilidade sofreram declínio, justamente as classificadas como muito fraca e fraca e um incremento nas outras três classes, compostas por média, forte e muito forte. Isso se deu pelo aumento dos investimentos do cultivo da cana-de-açúcar com a instalação de dez usinas na região da BHRA, neste decênio, além das grandes áreas de pastagem.

No último decênio (13 anos) analisado, houve variação para mais em quatro classes de fragilidade ambiental, excetuando a fragilidade média. A diminuição da fragilidade média foi sentida pela diminuição das áreas de pastagem e aumento da agricultura, como dito anteriormente. O aumento nas outras classes aconteceu pela recuperação de áreas de formação savânica e crescimento de floresta plantada.

A figura 22 compara a variação decenal por classe de fragilidade ambiental. Desse modo, é possível verificar desempenho de cada classe de fragilidade na BHRA, ao longo de todo período estudado. Assim, espera-se ter uma ampla gama de referências a respeito de como a fragilidade ambiental da bacia se comportou no decorrer dos anos.

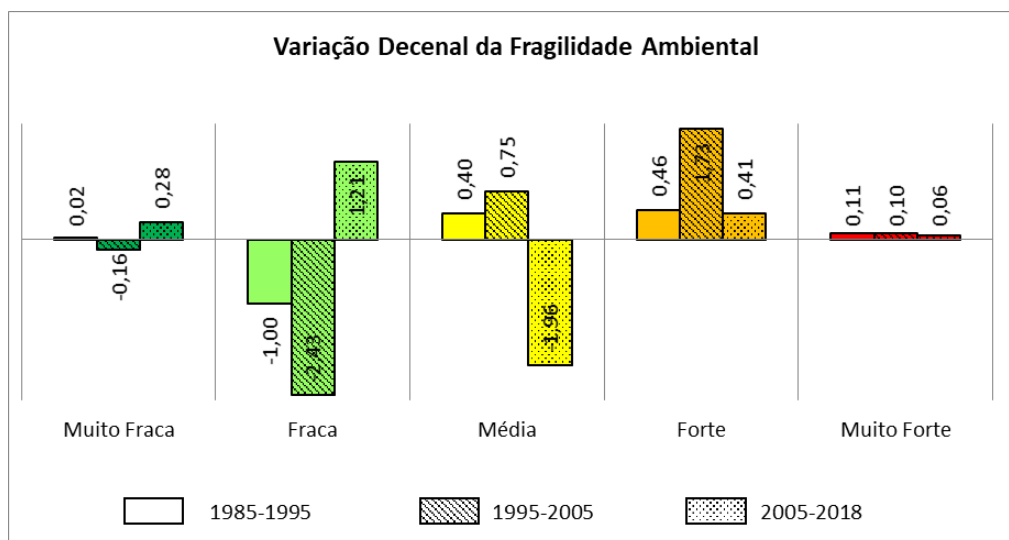


Figura 22: Variação (%) decenal das áreas, separadas por classes de fragilidade ambiental em três períodos.

Observando a figura 22, é possível constatar que a fragilidade muito fraca apresentou uma variabilidade relativa significativa, porém uma pequena variação em valores absolutos. Isto é, ora ganhou pequena quantidade de área, ora perdeu. Por outro lado, as áreas com fraca fragilidade ambiental foram as que sofreram a maior variação, concentrando as maiores perdas nos dois decênios iniciais e uma recuperação importante em 2005-2018.

A fragilidade ambiental média ganhou área nos dois primeiros períodos e obteve uma perda significativa no decênio 2005-2018. Porém, ao longo de todo período estudado, a diferença entre ganhos e perdas nas porcentagens de área resultou numa perda que chegou a -0,81%.

O mais preocupante foi o desempenho das classes de maior fragilidade ambiental (forte e muito forte). Ambas apresentaram aumento em todos os períodos, porém a fragilidade forte obteve os maiores percentuais. Cabe notar que a fragilidade muito forte ganhou pequena porcentagem em todos os decênios, mas que foi decrescente ao longo de todo período. Esse desempenho demonstrou assim que a BHRA alcançou de 1985 a 2018 um grau de fragilidade ambiental mais forte, visto ainda as perdas acumuladas nas áreas de fraca fragilidade.

Dinâmica da Variação da Fragilidade Ambiental

O mapeamento da fragilidade ambiental da BHRA permitiu avaliar a dinâmica da área, sendo ela exposta em um período de 33 anos, podendo assim refletirmos sobre as transformações antropogênicas que ocorreram no passar dos anos.

Nesse período, a mudança mais significativa apresentada é a do crescimento em área de agricultura no norte da bacia, principalmente após o ano de 1995, e a diminuição de áreas de pastagem no último decênio. Paralelamente, as áreas de Cerrado (Formação Savânica e Campestre) também sofreu mudanças significativas, acumulando perdas importantes nos dois primeiros decênios e uma notável retomada em 2005-2018. Esta retomada não significou uma recuperação, pois no balanço final acumulou uma perda de -2,37% de sua área (Figura 23).

Foi possível perceber que a fragilidade ambiental da BHRA no período estudado tem uma relação intrínseca com o tipo de uso e ocupação das terras que se tem em cada período de tempo analisado.

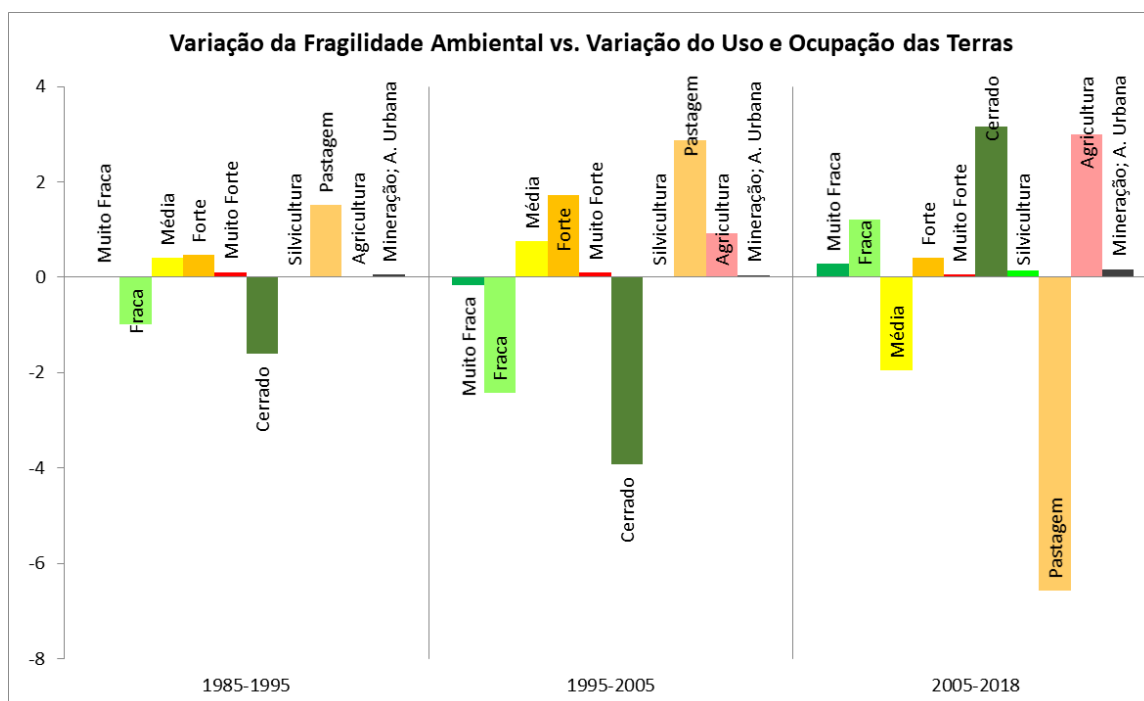


Figura 23: Variação decenal da fragilidade ambiental em comparação com o uso e ocupação das terras.

A variação apresentada na figura 23 demonstra haver uma ligação entre as formações campestre e savânica (Cerrado) com as classes de fragilidade muito fraca e fraca. A variação relativa das áreas ocupadas com Cerrado é similar às classes de menor fragilidade da BHRA. Ao mesmo tempo, os ganhos de áreas de fragilidade forte e média acompanharam as perdas de áreas de Cerrado e os ganhos de pastagens e agricultura nos dois primeiros decênios. Essa ligação das áreas ocupadas com Cerrado e a fragilidade

ambiental torna-se mais evidente, quando, no decênio 2005-2018, há uma recuperação (ganho de áreas) do Cerrado e fragilidades fraca e muito fraca ao passo da perda de áreas de pastagens e de fragilidade média, acompanhada de uma queda no crescimento de áreas de fragilidade forte muito forte.

Isto ocorre porque a ocupação dessas áreas por vegetação nativa, amenizam o grau de fragilidade nas regiões com relevo mais dissecado e solos frágeis.

Acompanhando Carvalho *et al.* (2008), fica evidenciado uma influência direta do relevo na preservação da vegetação nativa, visto que as áreas remanescentes predominaram nas regiões onde os terrenos detinham declives mais acentuados; sendo essa relação entre uso e ocupação das terras e os aspectos geoambientais identificada em todo Cerrado goiano.

Desse modo, nos dois primeiros decênios, o Cerrado dá lugar às pastagens e à agricultura, justamente em áreas de fragilidade menor (terrenos planos - dissecação menor, e solos melhores). Esse tipo de conversão agravou a fragilidade dos sistemas ambientais, transformando áreas menos frágeis em áreas mais frágeis, visto o crescimento acumulado das áreas de maior fragilidade ambiental acompanhado pela perda de áreas de menor fragilidade, no mesmo período.

No último decênio (2005-2018), muitas áreas de pastagens dão lugar à agricultura, principalmente nos melhores terrenos, percebido pela perda de áreas de fragilidade média, em favor das fragilidades fraca e muito fraca. Simultaneamente, o Cerrado retoma áreas de pastagens nos piores terrenos, visto pela queda do crescimento das áreas mais frágeis, apesar da expansão da agricultura.

Em contrapartida, o aumento das áreas menos frágeis se dá pelo fogo, por exemplo, porque ele tem extrema importância na dinâmica dos tipos de vegetação do Cerrado, que em uma frequência muito alta pode gerar paisagens onde as gramíneas dominam e sua ausência condicionaria uma substituição de uma vegetação de Cerrado aberto por uma com características florestais (DURIGAN e RATTER, 2016).

Apesar disso, a vinculação desse cenário com o fogo ou a variação do comportamento espectral da vegetação não se constata no presente estudo, visto que para essa avaliação é necessário um menor intervalo de tempo (OLIVEIRA, 2019).

Já a distribuição espacial dos usos de agricultura, mineração e as áreas urbanas variam de acordo com as classes de forte e muito forte, pois são processos em que a área natural é muito transformada em função da ação humana. O acréscimo de áreas de fragilidade mais elevadas por essa razão, serve de alerta para os anos futuros.

Essa influência das atividades humanas sobre a fragilidade ambiental pode ser observada na figura 24, na qual os dados estão separados em variação das classes de fragilidade ambiental e variação do uso e ocupação das terras ambos nos decênios.

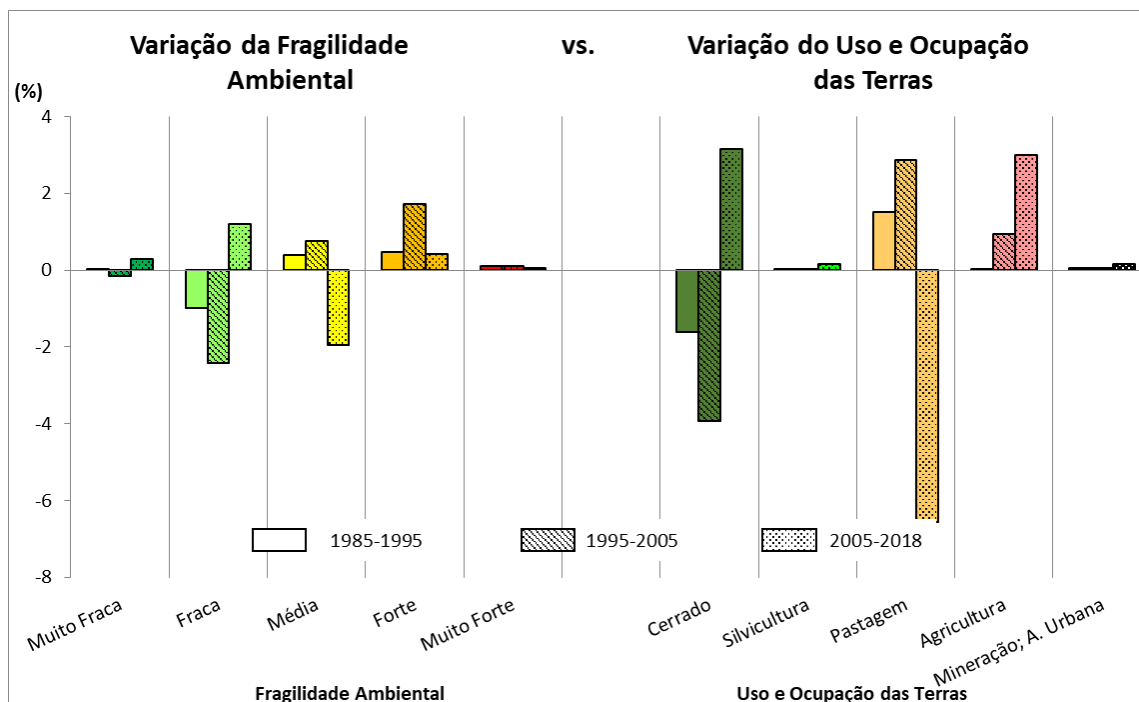


Figura 24: Variação decenal da fragilidade ambiental Vs. variação decenal do uso e ocupação das terras.

Percebe-se com uma maior clareza que o uso e ocupação das terras têm relação com o grau que cada classe de fragilidade ambiental se encontra, demonstrando que áreas onde se tem um vegetação nativa mais abundante ocorrem áreas menos frágeis e, onde encontramos mais regiões com a presença das ações do homem, como a pastagem, agricultura, mineração e as áreas urbanas as classes mais frágeis da fragilidade ambiental se tornam mais evidentes.

Contribuindo nesse assunto, Ponciano (2017) ao analisar a estrutura da paisagem na região Vão do Paranã (nordeste goiano), próximo a BHRA, verificou que a dinâmica de tal ocupação com relação às características naturais (morfo-pedológicas) assumem a atual estrutura da paisagem. Segundo ela, a vegetação nativa de Cerrado se concentra exatamente nas áreas de declives acentuados com o Cambissolos e Neossolos, e que a atividade agropecuária se encontra em regiões onde predominam Argissolos, Latossolos e Plintossolos sobre relevo plano.

Dessa forma, a análise da fragilidade ambiental permite identificar alguns padrões de uso das terras, em especial nas áreas onde temos o aumento das fragilidades forte e muito forte nos primeiros decênios com o desenvolvimento da agricultura, em contrapartida foi observada a diminuição de áreas do Cerrado na BHRA. Já no último

decênio, um aumento das fragilidades muito fraca e fraca ocorreram de acordo com o crescimento de áreas de vegetação nativa com a retirada da pastagem nas regiões com solos mais frágeis.

CONCLUSÕES

A análise da fragilidade ambiental integrada aos elementos que compõe o espaço geográfico tem importante contribuição para a estruturação territorial e ambiental, levando em consideração, a forma como o homem se apropria do espaço, extraindo e explorando os recursos e, assim impactando diretamente nas questões ambientais que estão intrínsecas à sociedade atual. Nesse cenário, onde a degradação ambiental têm cada vez mais se tornado evidente em detrimento de uma aceleração do uso dos recursos que temos, o estudo da Fragilidade Ambiental, utilizando-se da análise integrada, fornece um aporte teórico-metodológico que contribui para uma melhor utilização dos recursos naturais, bem como o planejamento do território.

A fragilidade é um tema em evidência no país, especialmente nos meios ambientais, pois estuda a relação do homem com o espaço geográfico. Porém é uma área de estudo que ainda necessita ser mais detalhada.

A operacionalização dos conceitos acerca da fragilidade apresenta-se de um modo bastante complexo, dadas as muitas variáveis que podem ser utilizadas. É notório saber que o entendimento e operacionalização desses conceitos acarreta em contribuições para as tomadas de decisão por parte da sociedade como um todo; desse modo, é pressuposto que a partir disso, sejam identificadas as áreas que estejam mais frágeis, direcionando os esforços rumo à redução dos impactos que podem ser gerados.

Os resultados, fundamentados nas bases teóricas do método da fragilidade ambiental (ROSS, 1994), propiciaram a caracterização dos sistemas ambientais, corroborando para uma compreensão das interrelações dos componentes ambientais e antrópicos da BHRA.

Além disso, destacam-se o suporte dos SIG's para a geração de dados cartográficos, sistematização e integração dos dados, facilitando o mapeamento dos sistemas ambientais e os usos e ocupações das terras (MapBiomias) de 1985, 1995, 2005 e 2018, os quais juntos, produziram os mapa de fragilidade ambiental permitindo uma análise mais apurada e detalhada dos componentes ambientais da área de estudo.

A análise da fragilidade demonstra que a BHRA em grande parte possui áreas classificadas nas categorias de fragilidade média onde é encontrada a pastagem. Porém a relação das áreas de Cerrado está totalmente ligada com as categorias muito fraca, fraca, forte e muito forte, onde as duas primeiras têm relação com o aumento da vegetação nativa e as outras duas a relação se dá com a diminuição do Cerrado.

A bacia hidrográfica destaca-se nesta pesquisa como recorte espacial por caracterizar uma unidade integradora dos elementos que compõem a paisagem. Assim, A análise da fragilidade ambiental torna-se um importante subsídio ao ordenamento/planejamento ambiental com vistas ao desenvolvimento sustentável para a área da BHRA.

Assim sendo, uma escala de pouco detalhe se tornou uma limitação no trabalho, pois com uma escala mais detalhada melhoraria e aprimoraria o estudo da fragilidade ambiental para a área da BHRA. Porém, para trabalhos futuros esse aprimoramento e aplicação de mais dados é de extrema importância, sendo que, uma caracterização com uma escala de mais detalhe, contribuiria para um melhor entendimento das peculiaridades de cada região da bacia.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, S. M de. **O Patrimônio Histórico Arqueológico de Serra da Mesa: A Construção de Uma Nova Paisagem**. 2002. 251 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Departamento da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2002.
- AQUINO, A. R.; PALETTA, F. C.; ALMEIDA, J. R. (Orgs.). **Vulnerabilidade ambiental**. São Paulo: Blucher, 2017.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 8. ed. São Paulo: Ícone, 2012. 355 p.
- CABRAL, J. B. P.; ROCHA, I. R.; MARTINS, A. P.; ASSUNÇÃO, H. F.; BECEGATO, V. A. Mapeamento da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Doce (GO), utilizando técnicas de geoprocessamento. **Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica - GeoFocus** (Artículos), nº 11, p. 51-69. ISSN: 1578-5157. 2011.
- CALAÇA, M.; DIAS, W. A. A modernização do campo no cerrado e as transformações socioespaciais em Goiás. **Campo-território: revista de geografia agrária**, v.5, n.10, p. 312-332, ago. 2010.
- CARVALHO, T. M. de, FERREIRA, M. E. BAYER, M. Análise integrada do uso da terra e geomorfologia do bioma cerrado: um estudo de caso para Goiás. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 01 n. 01, p. 62 – 72, mai./ago. 2008.
- CASTILHO, D. A Colônia Agrícola Nacional de Goiás e a formação de Ceres-GO-Brasil. **Élisée - Revista de Geografia**, v. 1, p. 117-139, 2012.
- CHRISTOFOLETTI, A. Concepções Geográficas na análise do Sistema Ambiental. **In: 2º Encontro Nacional de Estudos sobre o Meio Ambiente**. Anais. Florianópolis/SC: UFSC, Departamento de Geociências, vol.3, 1989. p. 206 – 218.
- _____. **Geomorfologia**. São Paulo, Ed. Edgard Blücher, 2ª Ed., 1980.
- CONSTANTINI, M. L.; ZACCARELLI, N.; MANDRONE, S.; ROSSI, D.; CALIZZA, E.; ROSSI, L. NDVI spatial pattern and the potential fragility of mixed forested areas in volcanic lake watersheds. **Forest Ecology and Management**, 2012. p. 133-141.
- COSTA de, M, D. A construção de barragens para aproveitamento hidrelétrico. **In: FREITAS, V. P de. (Org.). Direito Ambiental em Evolução**. N.1. Curitiba, Juruá, 2ª Ed., 2002, p. 398.
- CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: INPE. 2001, 124p.
- CRUZ, L. M.; PINESE JÚNIOR, J. F.; RODRIGUES, S. C. Abordagem cartográfica da fragilidade Ambiental na bacia hidrográfica do Glória – MG. **Revista da Sociedade**

Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto. N° 62/03, 2010.

DONHA, A. G.; SOUZA, L. C de. P.; SUGAMOSTO, M. L. Determinação da fragilidade ambiental utilizando técnicas de suporte à decisão e SIG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.** v.10, n.1, p.175–181, 2006.

DURIGAN, G.; RATTER, J.A. The need for a consistent fire policy for Cerrado conservation. **Journal of Applied Ecology**, v. 53, p. 11–15. 2016.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Embrapa Amazônia Ocidental. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. ARRUDA, M. R.; MOREIRA, A.; PEREIRA, J. C. R. **Amostragem e Cuidados na Coleta de Solo para Fins de Fertilidade.** 1ª edição. Manaus-AM, 2014.

_____. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Embrapa Solos. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** Ed. 5, revista e ampliada, 356 p. Brasília, 2018.

ESTEVAM, L. Surgimento e consolidação do agronegócio em Goiás. In: MOYSÉS, A. (Org.). **Cerrados brasileiros: desafios e perspectiva de desenvolvimento sustentável.** Goiânia: Ed. da PUC Goiás/ Ed. América, 2012. p. 63 – 92.

_____. **O Tempo da Transformação:** estrutura e dinâmica da formação econômica de Goiás. Goiânia: UCG, 1998.

FERREIRA, E. A. B.; TOKARSKI, D. J. (Org.) **Bacia Hidrográfica do Alto Tocantins:** retrato e reflexões. [S.l.]: ECODATA: WWF BRASIL, 2007. 101 p.

FERREIRA, L.; SENA, C. A configuração da Ferrovia Norte-Sul e os desdobramentos socioespaciais nas mesorregiões Centro e Norte de Goiás. **Ateliê Geográfico.** Goiânia-GO. V. 12, N. 2. 2018. p 205-227.

FRANCO, G. B.; BETIM, L. S.; MARQUES, E. A. G.; GOMES, R. L.; CHAGAS, C da. S. Relação qualidade de água e fragilidade ambiental da Bacia do Rio Almada, Bahia. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 42 (Supl 1), 2012.

FREDERICO, S. **Agricultura científica globalizada e fronteira agrícola moderna no Brasil.** *Confins*, n.17, 2013. Disponível em: <<https://journals.openedition.org/confins/8153?lang=pt>>. Acesso em 24 set. 2019.

GIRÃO, I. R. F.; RABELO, D. R.; ZANELLA, M. E. Análise teórica dos conceitos: Riscos Socioambientais, Vulnerabilidade e Suscetibilidade. **Revista de Geociências do Nordeste – REGNE.** Caicó-RN. Vol. 4, n. Especial. 2018. p. 71-83.

GOIÁS. Secretaria de Estado de Gestão e Planejamento. Superintendência de Estatísticas, Pesquisa e Informações Socioeconômicas. **Goiás em dados – 2017.** Goiânia, 2018.

GOIÁS. Superintendência de Planejamento e Desenvolvimento. YAZIGI, R. B. S; MACHADO, P. R. F.; PRADO, L. M. S.; ROCHA, M. F. M. F.; DIAS, A. S.; LÍCIO, P.

L.; SILVA, R. M. **Perfil competitivo das regiões de planejamento do Estado de Goiás**. 2010.

GONÇALVES, G. G. G.; DANIEL, O.; COMINELLO, E.; VITORINO, A. C. T.; ARAI, F. K. Determinação da fragilidade ambiental de bacias hidrográficas. **Floresta**, v.41, n.4, p.797-808, 2011.

GOUVEIA, I. C. M. C. Fragilidade ambiental das bacias hidrográficas do município de Presidente Prudente – SP. In: MAURO, C. A. D.; ARAÚJO, R. R de.; LEAL, A. C. (Orgs.). **Sustentabilidade em Bacias Hidrográficas: políticas, planejamento e governança das águas**. Tupã – São Paulo: ANAP, 1ª edição, 2019. p. 117 – 132.

GUERRA, A. T. **Dicionário Geológico e Geomorfológico**. Rio de Janeiro: IBGE, 1978.

GUIMARÃES, F. S.; CORDEIRO, C. M.; BUENO, G. T.; CARVALHO, V. L. M.; NERO, M. A. Uma proposta para automatização do índice de dissecação do relevo. **Revista Brasileira de Geomorfologia (Online)**, São Paulo, v. 18, n. 1, (Jan-Mar) p. 155-167, 2017.

HAFFNER, J. A. H. Desenvolvimento econômico na América Latina: uma análise sob a perspectiva histórica. Associação Nacional de História – ANPUH. **XXIV Simpósio Nacional de História**, 2007.

HENGL, T.; DE JESUS, J. M.; HEUVELINK, G.B.M.; GONZALEZ, M. R.; KILIBARDA, M.; BLAGOTIC, A.; SHANGGUAN, W.; WRIGHT, M. N.; GENG, X.; BAUER-MARSCHALLINGER, B.; GUEVARA, M. A.; VARGAS, R.; MAMILLAN, R. A.; BATJSE, N. H.; LEENAARS, J. G. B.; RIBEIRO, E.; WHEELER, I.; MANTEL, S.; KEMPEN, B. Soilgrids250m: global gridded soil information based on machine learning. **PLoS One** 12(2): e0169748. 2017.

HÉTU, B. Uma geomorfologia socialmente útil: Os riscos naturais em evidência. **Mercator**, Fortaleza, v. 2, n. 3, nov. 2003. ISSN 1984-2201.

IBGE. **Censo Agropecuário**. O que é. Disponível em : <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/2017-np-censo-agropecuário/9827-censo-agropecuário.html?=&t=o-que-e>>. Acesso em: 19 de set. de 2019.

_____. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual técnico de geomorfologia. **In: Manuais técnicos em Geociências**. 2ª ed. Revisada e ampliada. 2009.

_____. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual técnico de pedologia. **In: Manuais técnicos em Geociências**. 2ª ed. 2007.

KAWAKUBO, F. S.; MORATO, R. G.; CAMPOS, K. C.; LUCHUARI, A.; ROSS, J. L. S. Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento. **XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Anais... 2005 abr 16-21; Goiânia, Brasil, p..2203-2210.

KOBIYAMA, M.; MENDONÇA, M.; MORENO, D. A.; MARCELINO, I. P. V. O.; MARCELINO, E. V.; GONÇALVES, E. F.; BRAZETTI, L. L. P.; GOERL, R. F.; MOLLER, G.; RUDORFF, F. **Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos**. Curitiba: Organic Trading, 2006. 109p.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. A conservação do Cerrado brasileiro. **Megadiversidade**, Belo Horizonte, v. 1, n. 1, p. 148-155, jul. 2005.

LACERDA FILHO, J. V.; RESENDE, A.; SILVA, A. **Geologia e recursos minerais do Estado de Goiás e Distrito Federal**. CPRM, Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Goiânia, 220 P. 1999.

LEME, R. M. Alcool combustível derivado da cana-de-açúcar e o desenvolvimento sustentável. An. 5. **Encontro de Energia do Meio Rural**, 2004.

LEPSCH, I. F. **19 Lições de pedologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

MARCELINO, E. V.; NUNES, L. H.; KOBAYAMA, M. Banco de dados de desastres naturais: Análise de dados globais e regionais. **Caminhos de Geografia – revista on line**. Uberlândia. V. 6, n. 19. Out/2006. P. 130-149.

MARINHO, R. H. R.; CASTILHO, D. O sentido da Ferrovia Norte-Sul no centro-norte de Goiás. **Caderno de Geografia**, v.28, n.55, 2018.

MENEZES, B. B.; LEMOS, R. E.; SCOPEL, I.; TOMMASELLI, J. T. G.; COSTA, M. Uso e Ocupação Agropecuária No Cerrado Brasileiro; Transformações da Paisagem e Seus Impactos Ambientais no Estado de Goiás. **12º Encontro de Geógrafo da América Latina**, Montivideo, 2009.

MMA. GEO Brasil: **Recursos Hídricos**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente; Agência Nacional de águas; Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, 2007.

MOLINA JUNIOR, W. F. **Comportamento mecânico do solo em operações agrícolas**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2017. 223p.

MONTEIRO, C. A. de F. **Clima e Excepcionalismo. Conjecturas sobre o Desempenho da Atmosfera como Fenômeno Geográfico**. Florianópolis: Editora da UFSC, Universidade Federal de Santa Catarina, 1991. 241p.

OLIVEIRA, A. U. **A agricultura camponesa no Brasil**. 3. ed. São Paulo: Contexto, 1997.

OLIVEIRA, R. B de. **Geoeologia das paisagens do Cerrado: análise das relações socioambientais na bacia hidrográfica do rio Tocantinzinho – GO**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Instituto de Estudos Socioambientais (Iesa), Programa de Pós-Graduação em Geografia, Goiânia, 2019.

PALACIN, L.; MORAES, M. A. de S. **História de Goiás (1722 – 1972)**. Goiânia: Imprensa da UFGO, 1975.

PEREIRA JUNIOR, L. C.; SOARES, H. L. T.; CASTRO, S. S. Vulnerabilidade natural e risco de contaminação do Aquífero Bauru no município de Rio Verde – GO. **Revista**

águas Subterrâneas. Associação Brasileira de Águas Subterrâneas - ABAS. 2015. 29(2); 129-145.

PIRES, J. S. R.; SANTOS, J. E.; DEL PRETTE, M. E. A Utilização do Conceito de Bacia Hidrográfica para a Conservação dos Recursos Naturais. In: SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. (Eds.). **Conceitos de bacias hidrográficas:** Teses e aplicações. Ilhéus-BA: Editora da UESC, 2002. p. 17-36.

PONCIANO, A. T. **Dinâmica da estrutura da paisagem na microrregião do vão do Paranã (GO).** 2017. 69 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2017.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. L. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos Avançados** (on line), São Paulo, v. 22, n. 63, 2008. (<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142008000200004>).

POTT, C. M.; ESTRELA, C. C. Histórico ambiental: desastres ambientais e o despertar de um novo pensamento. **Estudos Avançados** (on line), São Paulo, v. 31, n. 89, 2017. (<https://doi.org/10.1590/s0103-40142017.31890021>).

RIBEIRO, de A. R. **As consequências da mineração de grande porte em Barro Alto, Goiás: desenvolvimento ou escambo contemporâneo?** 2019. 163 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Pró reitoria de Pós-graduação (PRPG), Programa de Pós-Graduação em Direitos Humanos, Goiânia, 2019.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As principais fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: SANO, S.M., ALMEIDA, S. P. & RIBEIRO, J. F. (eds.). **Cerrado:** ecologia e flora. V. 2, Brasília. Embrapa Cerrados, 2008. Pp. 151-212.

ROCHA, D. F. **Análise da vulnerabilidade ambiental do município de Galinhos, RN, Brasil.** 2019. 159 f. Dissertação (Mestrado) - Programa Regional de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente - Prodema, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.

ROSA, L. E.; NUNES, E. D.; CHEREM, L. F. S. Indicadores naturais e antrópicos da dinâmica dos movimentos de massa do município de Posse (GO). **Ateliê Geográfico.** Goiânia - GO, v. 11, n. 1, p.127-141, abr/2017.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia.** n.8, p. 63-74. 1994.

_____. **Ecogeografia do Brasil:** subsídios para planejamento ambiental. 2. Ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

_____. **Geomorfologia Ambiente e Planejamento,** Editora Contexto. São Paulo, 1990.

_____. Geomorfologia aplicada aos EIAs-RIMAs. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B da. (Orgs.) **Geomorfologia e meio ambiente.** 3ª. Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2000. p. 291-336.

_____. O Registro Cartográfico dos Fatos Geomórficos e a Questão da Taxonomia do Relevo. **Revista do Departamento de Geografia**. n. 6, p. 17-29. 1992.

SANTOS, J. de O. Relações entre fragilidade ambiental e vulnerabilidade social na susceptibilidade aos riscos. **Mercator**. Fortaleza, v. 14, n. 2, p. 75-90, mai./ago. 2015.

_____.; SOUZA, M. J de. Abordagem geoambiental aplicada à análise da vulnerabilidade e dos riscos em ambientes urbanos. **Boletim Goiano de Geografia (Online)**. Goiânia, v. 34, n. 2, p. 215-232, maio/ago. 2014.

SANTOS, R. M.; NÓBREGA, M. T.; PAIVA, R. G.; SILVEIRA, H. Análise da fragilidade ambiental do município de Tamboara – PR: aplicação e estudo comparativo de duas metodologias. **Geoambiente**, n.14, p. 94-120, 2010.

SHIKI, S. Sistema agroalimentar nos cerrados brasileiros: caminhando para o Caos? In: SHIKI, S.; GRAZIANO DA SILVA, J. e ORTEGA, A. C. (org.) **Agricultura, meio ambiente e sustentabilidade do cerrado brasileiro**. Uberlândia: EDUFU, 1997. p.135-167.

SILVA, A. A.; MIZIARA, F. Avanço do setor sucroalcooleiro e expansão da fronteira agrícola em Goiás. **Pesquisa Agropecuária Tropical (Online)**, v. 41, p. 399-407, 2011.

SILVA, E. B.; ANJOS, A. F. dos. O monitoramento do desmatamento e as ações de conservação do bioma Cerrado na primeira década do século XXI. In: PELÁ, M.; CASTILHO, D. (Org.). **Cerrados: perspectivas e olhares**. Goiânia: Editora Vieira, 2010.

SILVA, J. E. A. R.; ALVES, M. R. P. A.; COSTA, M. A. B. Planejamento de turnos de trabalho: uma abordagem no setor sucroalcooleiro com uso de simulação discreta. **Gestão de Produção**, São Carlos. v. 18, n. 1, p. 73-90. 2011.

SILVA, L. I.; LEÃO, C.; PASQUALETTO, A. Área de ocupação da cana-de-açúcar no estado de Goiás e o efeito substituição em relação a outras culturas de abastecimento alimentar (2003-2012). **Revista Brasileira de Assuntos Regionais e Urbanos**. Goiânia, v. 1, n. 1, p. 21-35, jul./dez. 2015.

SOUZA, C. L. F.; OLIVEIRA, R. B.; MUSTAFÉ, D. N.; NUNES, K. A. C.; MORAIS, E. M. B. O cerrado como o “berço das águas”: potencialidades para a educação geográfica. **Revista Cerrados**. Montes Claros-MG, v.17, n. 1, p. 86-113, jan./jun. 2019.

SOUZA, C. R. de G. Suscetibilidade morfométrica de bacias de drenagem ao desenvolvimento de inundações em áreas costeiras. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, ano 6, n. 1, p. 52. 2005.

SPÖRL, C.; ROSS, J. L. S. Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos. **GEOUSP - Espaço e Tempo**, São Paulo, Nº 15, 2004.

TAMANINI, M. S. A. **Diagnóstico Físico-Ambiental para determinação da fragilidade potencial e emergente da Bacia do Baixo Curso do Rio Passaúna em Araucária** – PR. 2008.105 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2008.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. FIBGE/SUPREN: Rio de Janeiro, 1977.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. Avanço na legislação e descentralização de ações. In: TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. (Orgs.). **Recursos Hídricos no século XXI**. São Paulo: Oficina de textos, 2011. p. 189-2017.

UNDP. PELLING, M.; MASKREY, A.; RUIZ, P.; HALL, L. **Reducing Disaster Risk: a Challenge for Development**. New York, 2004.

VESPUCCI, A. G.; SANTOS, J. G. R.; BAYER, M. Estações fluviométricas do estado de Goiás: qualificação dos dados hidrológicos disponíveis na base HIDROWEB/ANA. **Ateliê Geográfico**, Goiânia-GO, v. 10, n. 3, p. 89-108, dez. 2016.

VITTAE, A. C.; MELLO, J. P. Determinação da fragilidade ambiental na bacia do Rio Verde, região Nordeste do Estado de São Paulo, Brasil. **Territorium**, Portugal, v. 2, n. 16, 2009.

WMO. The Dublin Statement and Report of the Conference. **International Conference on Water and the Environment: Development Issues for the 21st Century**. 26-31 January 1992. Dublin, Ireland.

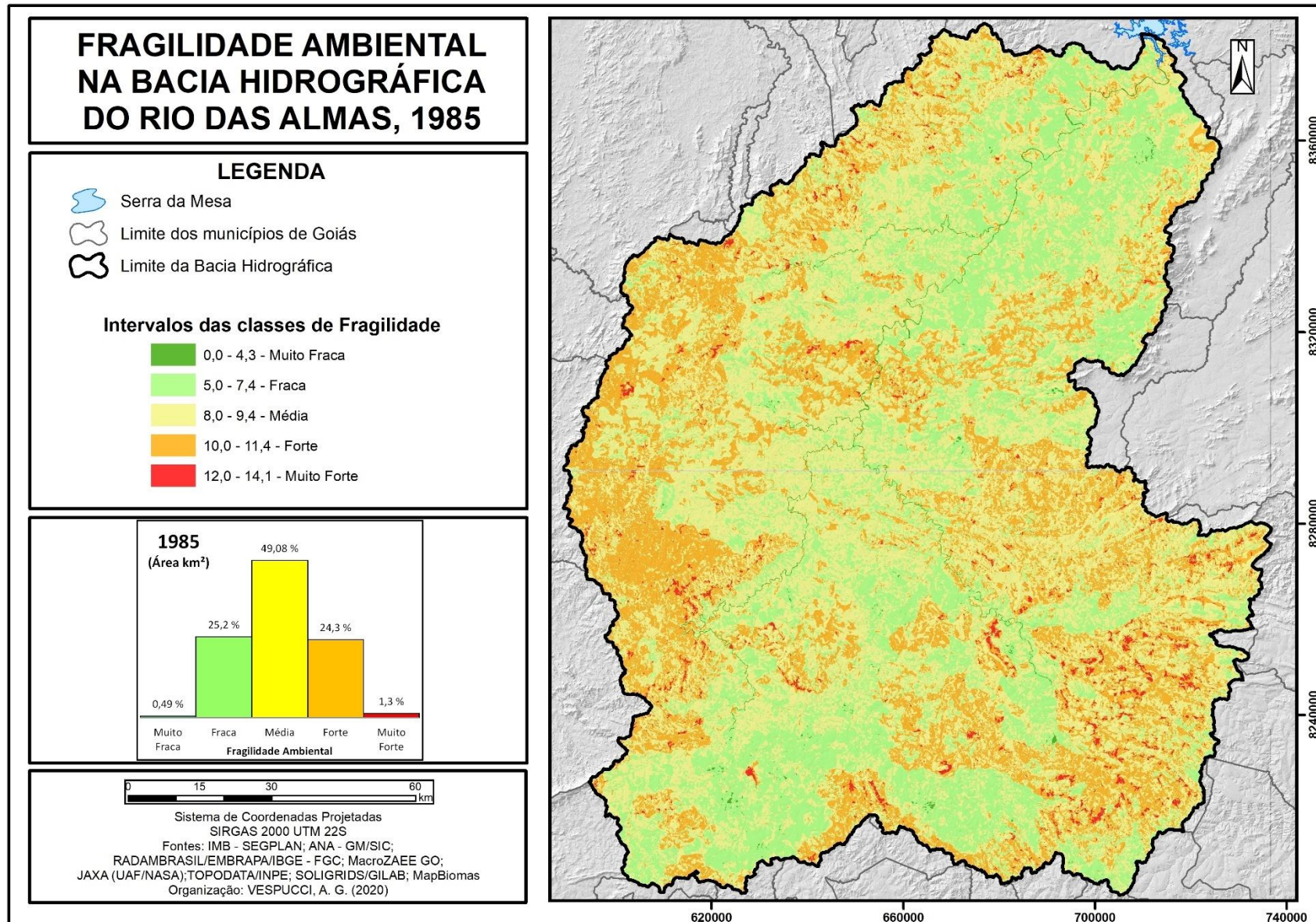
APÊNDICES

Apêndice A: Síntese dos dados de área de agricultura e pastagem na BHRA.

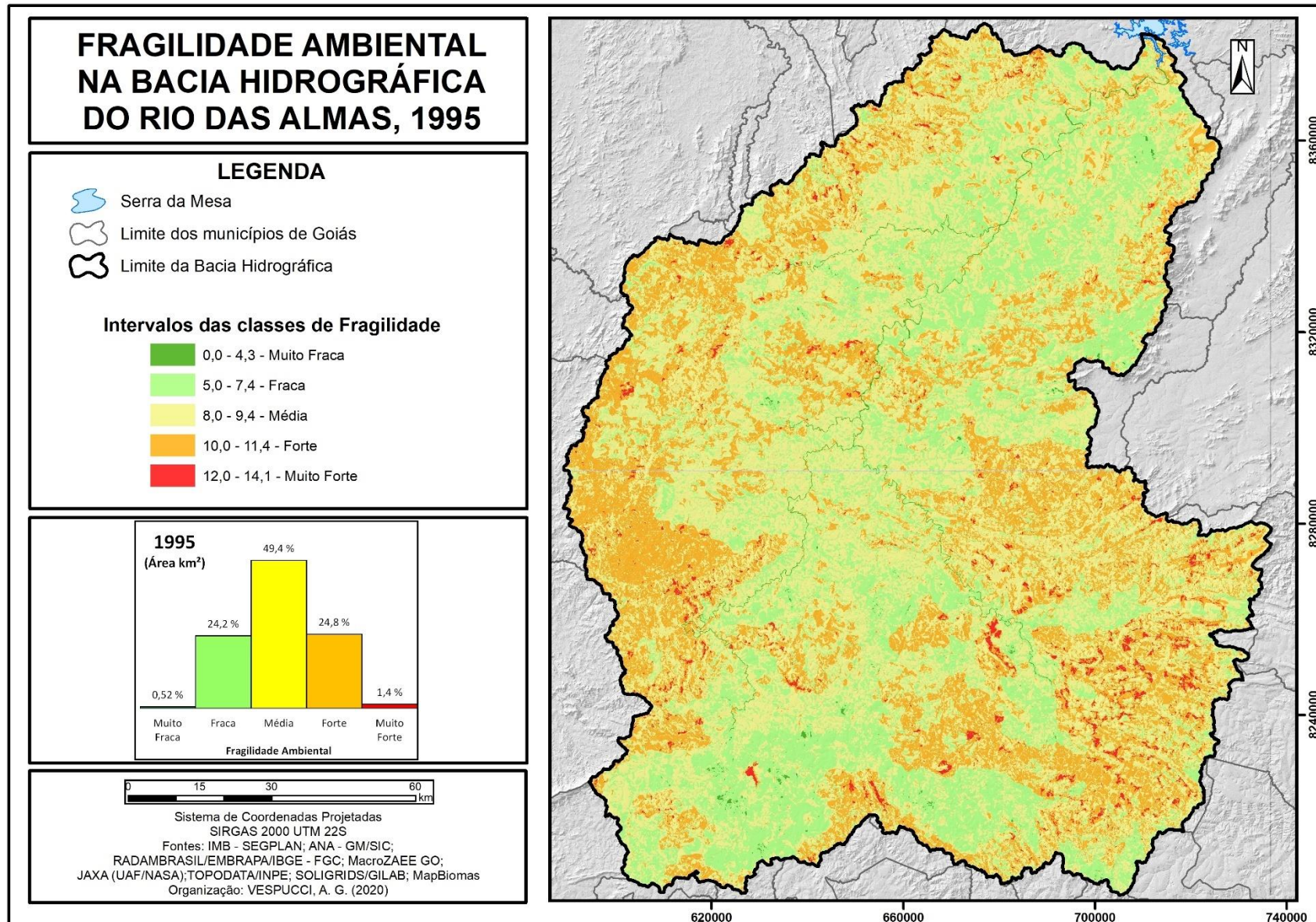
Municípios	1985		1995		2005		2018	
	Agricultura (ha)	Pecuária (ha)	Agricultura (ha)	Pecuária (ha)	Agricultura (ha)	Pecuária (ha)	Agricultura (ha)	Pecuária (ha)
Anápolis	25.650	57.258	11.101	43.520	9.664	28.767	9.248	12.841
Barro Alto	53.542	112.697	15.604	85.237	11.564	31.152	17.546	36.467
Carmo do Rio Verde	22.102	28.942	8.498	30.508	4.338	9.979	15.866	22.137
Ceres	18.057	24.339	7.038	21.967	4.610	9.263	1.828	11.918
Goianésia	31.998	114.748	20.758	84.698	30.761	60.201	21.475	63.683
Goiás	66.820	383.712	12.969	156.803	5.311	127.870	6.708	174.459
Guaraíta	-	-	1.551	11.575	598	53	581	4.656
Heitorai	3.509	17.299	2.564	14.583	2.108	6.995	1.768	2.690
Hidrolina	6.022	37.680	2.370	31.909	2.826	27.495	6.366	34.433
Ipiranga de Goiás	-	-	-	-	4.934	9.247	5.859	8.545
Itaberaí	52.223	75.568	20.272	69.315	11.015	46.561	31.579	39.497
Itaguari	-	-	1.650	10.576	852	6.129	759	0
Itaguaru	6.976	15.408	2.483	6.548	4.388	7.666	1.695	11.893
Itapaci	41.489	111.137	5.024	46.859	2.492	23.838	10.981	33.492
Itapuranga	35.197	88.759	10.498	65.780	11.129	36.364	8.768	54.035
Itauçu	5.785	28.473	2.620	19.854	11.063	3.334	2.854	12.806
Jaraguá	59.985	88.082	10.495	105.547	9.818	78.370	12.764	39.448
Jesúpolis	-	-	1.446	7.381	829	7.801	499	4.946
Morro Agudo de Goiás	-	-	1.039	1.169	449	8.369	168	10.468
Mossâmedes	32.271	57.432	5.069	39.210	5.840	31.947	4.958	42.811
Nova América	3.148	17.710	1.375	12.221	731	15.356	1.148	11.167
Nova Glória	17.954	18.880	9.724	20.508	19.083	9.184	10.867	8.726
Ouro Verde de Goiás	5.472	13.053	2.408	8.480	2.150	13.638	1.891	9.730
Petrolina de Goiás	16.830	27.010	4.984	19.554	8.180	12.128	2.796	25.603
Pilar de Goiás	34.470	100.542	3.449	35.810	1.395	39.696	274	39.362
Pirenópolis	115.773	261.581	26.136	116.513	5.848	52.191	11.513	53.192
Rialma	4.561	17.129	3.067	21.572	9.332	4.516	736	7.052
Rianópolis	2.299	15.337	1.236	13.370	400	356	2.449	2.474
Rubiataba	16.348	78.746	4.970	42.522	18.193	14.631	10.946	38.045
Santa Isabel	15.076	55.715	2.451	56.462	17.654	37.439	15.706	35.140
Santa Rita do Novo Destino	-	-	-	-	4.028	38.096	11.862	26.638
Santa Rosa de Goiás	5.608	5.632	2.105	5.658	2.452	4.245	887	4.974
São Francisco de Goiás	23.721	14.149	4.229	23.269	2.923	19.003	2.493	26.634
São Luiz do Norte	-	-	2.815	46.062	8.290	18.515	27.568	20.859
São Patrício	-	-	-	-	2.260	10.633	472	8.621
Taquaral de Goiás	18.487	13.712	2.054	14.507	1.108	11.489	1.083	0
Uruaçu	40.479	148.898	10.740	85.929	19.636	63.626	26.785	79.132
Uruana	17.051	27.140	6.202	35.210	5.121	19.931	4.059	19.275
SOMAS	798.903	2.056.768	230.994	1.410.686	263.373	946.074	295.805	1.037.849

Fonte: Censos Agropecuários 1985, 1995/1996 e 2015 (campo 2017) – IBGE; Perfil Socioeconômico dos Municípios Goianos 2006 (censo 2005, campo 2007) – IMB.

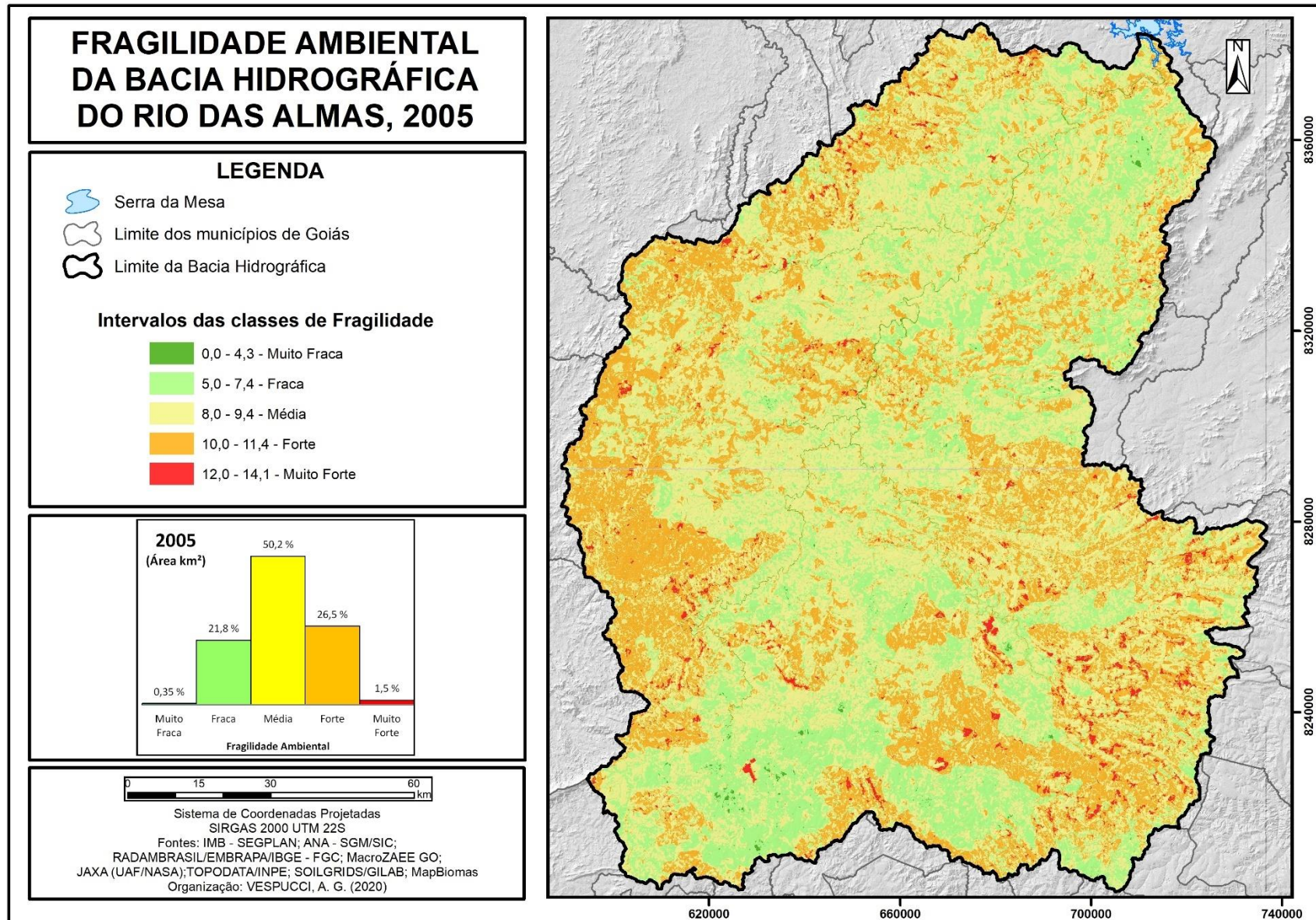
Apêndice B: Mapa de Fragilidade Ambiental na BHRA, 1985.



Apêndice C: Mapa de Fragilidade Ambiental na BHRA, 1995.



Apêndice D: Mapa de Fragilidade Ambiental na BHRA, 2005.



Apêndice E: Mapa de Fragilidade Ambiental na BHRA, 2018.

