

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA DE SUSCETIBILIDADE A  
PROCESSOS GEOLÓGICOS E HIDROLÓGICOS: AVALIAÇÃO DA  
QUALIDADE DE MODELOS NUMÉRICOS DE TERRENO**

**ANNA CLARA BRANDÃO LIMA NASCIMENTO**

**ORIENTADOR: NEWTON MOREIRA DE SOUZA**

**COORIENTADOR: BRUNO RODRIGUES DE OLIVEIRA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM GEOTECNIA**

**PUBLICAÇÃO: G.DM-415/2024**

**BRASÍLIA / DF: JULHO / 2024**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA DE SUSCETIBILIDADE A  
PROCESSOS GEOLÓGICOS E HIDROLÓGICOS: AVALIAÇÃO DA  
QUALIDADE DE MODELOS NUMÉRICOS DE TERRENO**

**ANNA CLARA BRANDÃO LIMA NASCIMENTO**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE  
ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO  
PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE  
MESTRE.**

**APROVADA POR:**

---

**NEWTON MOREIRA DE SOUZA, DSc. (ENC/UnB)**  
**(ORIENTADOR)**

---

**BRUNO RODRIGUES DE OLIVEIRA, DSc. (UFMT)**  
**(COORIENTADOR)**

---

**RAFAEL CERQUEIRA DA SILVA, DSc. (ENC/UnB)**  
**(EXAMINADOR INTERNO)**

---

**GEORGE FERNANDES AZEVEDO, DSc. (UFMA)**  
**(EXAMINADOR EXTERNO)**

**DATA: BRASÍLIA/DF, 31 de JULHO de 2024.**

## FICHA CATALOGRÁFICA

NASCIMENTO, ANNA CLARA BRANDÃO LIMA

Cartografia Geotécnica de Suscetibilidade a Processos Geológicos e Hidrológicos:  
Avaliação da Qualidade de Modelos Numéricos de Terreno [Distrito  
Federal] 2024

xvi, 134 p., 297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Geotecnia, 202)

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia.  
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental

- |                    |                                       |
|--------------------|---------------------------------------|
| 1. Suscetibilidade | 2. Movimentos Gravitacionais de Massa |
| 3. Inundação       | 4. Compartimentação Fisiográfica      |
| I. ENC/FT/UnB      | II. Mestre                            |

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

NASCIMENTO, A.C.B.L. (2024). Cartografia Geotécnica de Suscetibilidade a Processos Geológicos e Hidrológicos: Avaliação da Qualidade de Modelos Numéricos de Terreno. Dissertação de Mestrado, Publicação G.DM-415/2024. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, DF, 134 p.

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Anna Clara Brandão Lima Nascimento

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO: Cartografia Geotécnica de Suscetibilidade a Processos Geológicos e Hidrológicos: Avaliação da Qualidade de Modelos Numéricos de Terreno.

GRAU / ANO: Mestre / 2024

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

---

Anna Clara Brandão Lima Nascimento  
Rua Lindolfo Nunes, 137, Vila Nova  
46430-000 – Guanambi/BA – Brasil

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pela concretização deste objetivo e à Nossa Senhora pela proteção ao longo desta jornada.

Aos meus pais, José Maria e Rosângela, pelo apoio e suporte incondicionais, pelas orações, pelos ensinamentos valiosos e esforços despendidos para que eu pudesse cursar a pós-graduação. Ao meu irmão, João Pedro, pelas palavras de motivação, ânimo e força, e pela torcida pelo meu sucesso. Obrigada por sonharem junto comigo, vocês são o que há de mais importante na minha vida. Aos meus avós, Idalina e Virgílio, Diva (*in memoriam*) e Alvino e demais familiares que se fizeram presentes e torceram por mim.

Às minhas amigas de longa data, Islaine e Eloisa, e àqueles que me acolheram em Brasília, em especial Camila, Rodrigo, João e Bruno. À minha prima Carol, pelo apoio emocional e psicológico à distância e pelos momentos de descontração. À Raul, pela companhia e apoio em todos os momentos.

Meu agradecimento e admiração aos professores que me acompanharam ao longo dessa jornada, meu orientador Newton e coorientador Bruno, sempre solícitos e disponíveis. Obrigada pelos conhecimentos transferidos a mim, pela atenção, orientação e empenho para que este trabalho se concretizasse.

À Universidade de Brasília e à CAPES pelo apoio financeiro.

# **CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA DE SUSCETIBILIDADE A PROCESSOS GEOLÓGICOS E HIDROLÓGICOS: AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE MODELOS NUMÉRICOS DE TERRENO**

## **RESUMO**

Eventos geológicos, como movimentos gravitacionais de massa, e de natureza hidrológica, como inundações e alagamentos, são considerados naturais tendo em vista a dinâmica de alteração do relevo e eventos pluviométricos extremos. Esses fenômenos são observados anualmente em muitas cidades brasileiras, com consequências sociais, econômicas e ambientais. Neste sentido, a cartografia geotécnica se insere como instrumento a ser utilizado para diagnósticos do meio físico. O mapeamento de suscetibilidade é previsto na legislação e consiste em avaliar a predisposição intrínseca dos terrenos em desenvolver determinado processo ou fenômeno geológico. Assim, esta pesquisa visa avaliar a influência da resolução espacial e altimétrica de dois Modelos Numéricos de Terreno na qualidade de cartas de suscetibilidade a fenômenos hidrológicos e geodinâmicos. Foram avaliados o MNT proveniente da missão SRTM, condizente com a escala 1:50.000 e o MNT elaborado pela interpolação de curvas de nível disponíveis na base cartográfica digital do Distrito Federal, na escala 1:10.000. A metodologia de elaboração das cartas baseou-se em procedimentos já conhecidos na cartografia geotécnica, utilizando álgebra de mapas. Como resultados, foram obtidas diversas cartas analíticas derivadas dos MNT, a compartimentação fisiográfica da área de estudo e os zoneamentos de suscetibilidade aos fenômenos de inundação e movimentos gravitacionais de massa, nas escalas 1:50.000 e 1:25.000. A metodologia utilizada mostrou-se satisfatória e concluiu-se que a diferença de resolução entre os MNT acarreta uma perda importante de informação nos produtos derivados, diminuindo a qualidade das cartas de suscetibilidade elaboradas.

# **GEOTECHNICAL CARTOGRAPHY OF SUSCEPTIBILITY TO GEOLOGICAL AND HYDROLOGICAL PROCESSES: EVALUATION OF THE QUALITY OF DIGITAL TERRAIN MODELS**

## **ABSTRACT**

Geological events, such as mass gravitational movements, and hydrological events, such as floods and inundations, are considered natural in light of the dynamic alteration of the relief and extreme rainfall events. These phenomena are observed annually in many Brazilian cities, with social, economic, and environmental consequences. In this context, geotechnical cartography serves as a tool for diagnosing the physical environment. Susceptibility mapping is provided for in legislation and involves evaluating the intrinsic predisposition of the terrain to develop certain geological processes or phenomena. Thus, this research aims to evaluate the influence of spatial and altimetric resolution of two Digital Terrain Models on the quality of susceptibility maps to hydrological and geodynamic phenomena. The DTM derived from the SRTM mission, consistent with a 1:50,000 scale, and the DTM created by interpolating contour lines available in the digital cartographic base of the Federal District, at a 1:10,000 scale, were evaluated. The methodology for creating the maps was based on established procedures in geotechnical cartography, using map algebra. The results included various analytical maps derived from the DTMs, the physiographic compartmentalization of the study area, and the susceptibility zoning to flooding and mass gravitational movements at scales of 1:50,000 and 1:25,000. The methodology used proved satisfactory, and it was concluded that the difference in resolution between the DTMs results in a significant loss of information in the derived products, reducing the quality of the susceptibility maps produced.

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO .....	1
1.1.	JUSTIFICATIVA.....	2
1.2.	OBJETIVOS .....	2
1.3.	ESCOPO DA DISSERTAÇÃO .....	3
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1.	DESASTRES .....	4
2.1.1.	BREVE HISTÓRICO NO BRASIL .....	7
2.1.2.	ESTUDOS REALIZADOS E REGISTROS NO DISTRITO FEDERAL E NO ESTADO DE GOIÁS .....	11
2.2.	PRINCÍPIOS DA CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA .....	14
2.2.1.	PRODUTOS DA CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA E APLICAÇÕES AO PLANEJAMENTO URBANO .....	15
2.3.	METODOLOGIAS DE MAPEAMENTO .....	18
2.4.	NORMATIVAS JURÍDICAS.....	20
2.5.	FOTOINTERPRETAÇÃO .....	22
2.5.1.	MAPEAMENTO DE CICATRIZES DE ESCORREGAMENTOS.....	22
2.5.2.	MAPEAMENTO DE LINEAMENTOS ESTRUTURAIS.....	26
2.5.3.	DELIMITAÇÃO DE ZONAS HOMÓLOGAS.....	27
3.	MATERIAIS E MÉTODOS .....	29
3.1.	MATERIAIS .....	29
3.2.	PROGRAMAS COMPUTACIONAIS UTILIZADOS .....	29
3.3.	DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	30
3.4.	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	31
3.4.1.	ETAPA 1: ELABORAÇÃO DO MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO E DE CARTAS ANALÍTICAS .....	31
3.4.2.	ETAPA 2: ELABORAÇÃO DOS PRODUTOS DE SUSCETIBILIDADE À INUNDAÇÃO.....	34
3.4.3.	ETAPA 3: ELABORAÇÃO DOS PRODUTOS DE SUSCETIBILIDADE A FENÔMENOS GEODINÂMICOS .....	40
3.4.4.	ETAPA 4: DELIMITAÇÃO DE ZONAS HOMÓLOGAS.....	45
4.	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	46
4.1.	TOPOGRAFIA .....	46

4.2. GEOLOGIA .....	46
4.3. GEOMORFOLOGIA .....	53
4.4. PEDOLOGIA .....	57
4.5. ÁGUAS SUPERFICIAIS E ÁREAS DE PRESERVAÇÃO .....	60
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	64
5.1. CARTAS ANALÍTICAS .....	64
5.2. SUSCETIBILIDADE À INUNDAÇÃO .....	75
5.3. SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA .....	89
5.4. COMPARTIMENTAÇÃO FISIAGRÁFICA .....	109
6. CONCLUSÕES .....	121
6.1. CONCLUSÕES .....	121
6.2. SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS .....	122



## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Produtos da cartografia geotécnica, escalas de mapeamento e processos geodinâmicos identificáveis. Fonte: Sobreira e Souza (2012). .....	16
Tabela 2.2: Feições morfológicas, de vegetação e de drenagem características de processos de instabilidade de talude e suas características fotográficas. Fonte: Traduzida de Soeters e van Westen (1996). .....	24
Tabela 3.1: Parâmetros e índices morfométricos selecionados, contendo referência, modo de cálculo e influência possível acerca da suscetibilidade a inundações. Fonte: Adaptado de Bitar <i>et al.</i> (2014). .....	36
Tabela 3.2: Matriz de correlação entre as suscetibilidades obtidas pelos índices morfométricos e modelo HAND. Fonte: Adaptado de Bitar <i>et al.</i> (2014). .....	40
Tabela 5.1: Carta de hipsometria: Área das classes. ....	67
Tabela 5.2: Carta de declividade: Área das classes. ....	71
Tabela 5.3: Carta de curvatura: Área das classes. ....	75
Tabela 5.4: Parâmetros morfométricos das sub-bacias e bacias hidrográficas na escala 1:50.000. ....	79
Tabela 5.5: Parâmetros morfométricos das sub-bacias e bacias hidrográficas na escala 1:25.000. ....	80
Tabela 5.6: Área das classes de suscetibilidade à inundações nas escalas 1:50.000 e 1:25.000 (km <sup>2</sup> ). ....	86
Tabela 5.7: Cálculo do Índice de Suscetibilidade a Deslizamentos para o fator condicionante declividade na área piloto, na escala 1:50.000. ....	89
Tabela 5.8: Cálculo do Índice de Suscetibilidade a Deslizamentos para o fator condicionante declividade na área piloto, na escala 1:10.000. ....	92
Tabela 5.9: Cálculo do Índice de Suscetibilidade a Deslizamentos para o fator condicionante forma das vertentes na área piloto, na escala 1:50.000. ....	96
Tabela 5.10: Cálculo do Índice de Suscetibilidade a Deslizamentos para o fator condicionante forma das vertentes na área piloto, na escala 1:10.000. ....	96
Tabela 5.11: Comparação entre a área das formas de terreno na área piloto nas escalas 1:10.000 e 1:50.000. ....	98
Tabela 5.12: Cálculo do ISD para as classes de densidade de lineamentos estruturais na área piloto, na escala 1:50.000. ....	103

Tabela 5.13: Cálculo do ISD para as classes de densidade de lineamentos estruturais na área piloto, na escala 1:25.000.....	103
Tabela 5.14: Área de cada classe de suscetibilidade nas escalas 1:50.000 e 1:25.000. ....	108
Tabela 5.15: Área coincidente para cada classe de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa. ....	108
Tabela 5.16: Área das unidades fisiográficas.....	111
Tabela 5.17: Síntese das características das unidades homólogas. ....	117

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Perfil esquemático de deslizamento a) rotacional, b) translacional, e c) em cunha.	5
Figura 2.2: Perfil esquemático do processo de enchente e inundação. ....	7
Figura 2.3: Desastre no Vale do Itajaí em 2008. ....	9
Figura 2.4: Desastre na região serrana do Rio de Janeiro em 2011. a) Deslizamentos em Nova Friburgo. b) Deslizamentos na região do Brejal, cidade de Petrópolis. ....	10
Figura 2.5: Enchente em Encantado, cidade do Rio Grande do Sul. ....	11
Figura 2.6: Alagamentos no Distrito Federal. a) Região administrativa de Santa Maria, em 2022. b) No plano piloto, em 2024. ....	13
Figura 2.7: Propriedades da rede de drenagem. ....	27
Figura 2.8: Formas de relevo e padrões de estrutura geológica e materiais diversos. ....	28
Figura 3.1: Mapa de localização da área de estudo. ....	32
Figura 3.2: Formas de terreno obtidas com o cruzamento das curvaturas plana e de perfil. ...	34
Figura 3.3: Fatiamento do modelo HAND em planícies e terraços fluviais. ....	38
Figura 3.4: Perfil de elevação em seção do curso do rio Ponte Alta com destaque das zonas que abrangem as elevações de 2m, 5m e 10m. ....	39
Figura 3.5: Localização da área piloto. ....	41
Figura 3.6: Cicatrizes em encostas de alta declividade na área de estudo, nas regiões administrativas Recanto das Emas e Gama. ....	42
Figura 5.1: Carta hipsométrica da área de estudo, elaborada com dados SRTM na escala 1:50.000. ....	65
Figura 5.2: Carta hipsométrica da área de estudo contida no Distrito Federal, na escala 1:10.000. ....	66
Figura 5.3: Relação entre a diferença de altimetria a orientação de vertentes na área de estudo. ....	68
Figura 5.4: Carta de declividade da área de estudo, elaborada com dados SRTM na escala 1:50.000. ....	69
Figura 5.5: Carta de declividade da área de estudo contida no Distrito Federal, na escala 1:10.000. ....	70
Figura 5.6: Diferença de declividade entre os produtos de diferentes escalas e relevo sombreado. ....	72
Figura 5.7: Carta de curvatura (formas de terreno) da área de estudo, elaborada com dados SRTM na escala 1:50.000. ....	73

Figura 5.8: Carta de curvatura (formas de terreno) da área de estudo contida no Distrito Federal, na escala 1:10.000. ....	74
Figura 5.9: Suscetibilidade morfométrica das sub-bacias e bacias hidrográficas elaborada com dados SRTM, na escala 1:50.000. ....	77
Figura 5.10: Suscetibilidade morfométrica das sub-bacias e bacias hidrográficas contidas no Distrito Federal, na escala 1:25.000. ....	78
Figura 5.11: Curvas de nível acompanhando estruturas construídas na área de estudo. ....	82
Figura 5.12: Modelo HAND da área de estudo elaborado com dados SRTM, na escala 1:50.000. ....	83
Figura 5.13: Modelo HAND da área de estudo contida no Distrito Federal, na escala 1:10.000. ....	84
Figura 5.14: Zoneamento de suscetibilidade à inundação na escala 1:50.000. ....	87
Figura 5.15: Zoneamento de suscetibilidade à inundação na escala 1:25.000. ....	88
Figura 5.16: Cicatrizes e limite da área piloto sobrepostos ao fator condicionante declividade, na escala 1:50.000. ....	90
Figura 5.17: Cicatrizes e limite da área piloto sobrepostos ao fator condicionante declividade, na escala 1:10.000. ....	91
Figura 5.18: Índice de suscetibilidade a deslizamentos para cada classe de declividade nas escalas 1:10.000 e 1:50.000. ....	92
Figura 5.19: Cicatrizes e limite da área piloto sobrepostos ao fator condicionante curvatura (forma de terreno), na escala 1:50.000. ....	94
Figura 5.20: Cicatrizes e limite da área piloto sobrepostos ao fator condicionante curvatura (forma de terreno), na escala 1:10.000. ....	95
Figura 5.21: Índice de suscetibilidade a deslizamentos para cada forma de terreno nas escalas 1:25.000 e 1:50.000. ....	97
Figura 5.22: Lineamentos estruturais mapeados na escala 1:50.000. ....	99
Figura 5.23: Densidade de lineamentos estruturais, na escala 1:50.000. ....	100
Figura 5.24: Lineamentos estruturais mapeados na escala 1:25.000. ....	101
Figura 5.25: Densidade de lineamentos estruturais, na escala 1:25.000. ....	102
Figura 5.26: Índice de suscetibilidade a deslizamentos para cada classe de densidade de lineamentos estruturais nas escalas 1:25.000 e 1:50.000. ....	104
Figura 5.27: Zoneamento de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa na escala 1:50.000. ....	106

Figura 5.28: Zoneamento de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa na escala 1:25.000.....	107
Figura 5.29: Compartimentação fisiográfica da área de estudo, na escala 1:25.000. ....	110

## LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS, NOMENCLATURA E ABREVIACÕES

$\Delta a$	Amplitude altimétrica
A	Área
Ac	Área de Contribuição
ac	Área de um círculo de mesmo perímetro
Ad	Área afetada por deslizamentos na classe
APM	Áreas de Proteção de Manancial
APP	Áreas de Preservação Permanente
At	Área total da classe
C	Comprimento total da drenagem da sub-bacia
CBMGO	Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Goiás
cm	Centímetro (s)
COBRADE	Classificação e Codificação Brasileira de Desastres
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
D	Densidade de cicatrizes em cada classe de fator predisponente
D8	Algoritmo determinístico 8
Dd	Densidade de drenagem
DF	Distrito Federal
Dn	Densidade normalizada
DPI	Divisão de Processamento de Imagens
Dt	Densidade média de deslizamentos
dv	Distância vetorial entre os extremos do curso d'água
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
GS	Grau de suscetibilidade
GSf	Grau de suscetibilidade final
HAND	<i>Height Above Nearest Drainage</i>
IAEG	<i>International Association for Engineering Geology and the Environment</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBRAM	Instituto Brasília Ambiental
Ic	Índice de Circularidade

INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo
Is	Índice de Sinuosidade
ISD	Índice de Suscetibilidade a Deslizamentos
km	Quilômetro (s)
km <sup>2</sup>	Quilômetro (s) quadrado (s)
L	Comprimento do rio principal da sub-bacia
LEGAL	Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico
m	Metro (s)
mm	Milímetro (s)
MNPpacs	Córrego do Sansão
MNPparc	Ribeirão Contagem
MNPpasmn	Serra da Meia Noite
MNT	Modelo Numérico de Terreno
MNTHC	Modelo Numérico de Terreno Hidrológicamente Consistente
MPcp	Chapada dos Pilões
MPp	Formações Paracatu
MPpa2	Unidade Síltico-Ardosiana
MPpa3	Unidade Rítmica Quartzítica Intermediária
MPpa4	Unidade Rítmica Pelito-Carbonatada
O	Oeste
ONU	Organização das Nações Unidas
P.U.C.E.	<i>Pattern, Unit, Component, Evaluation</i>
PI	Plano de informação
PNPDEC	Política Nacional de Proteção e Defesa Civil
Rr	Relação de Relevo
S	Sul
S2iD	Sistema Integrado de Informações sobre Desastres
SGB	Serviço Geológico do Brasil
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SINDEC	Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
TIN	<i>Triangulated Irregular Network</i>

UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UnB	Universidade de Brasília
USGS	United States Geological Survey
X	Valor do parâmetro/índice morfométrico a ser avaliado para cada sub-bacia
X <sub>máx</sub>	Valores máximos dos parâmetros/índices morfométricos entre todas as sub-bacias
X <sub>mín</sub>	Valores mínimos dos parâmetros/índices morfométricos entre todas as sub-bacias
Y	Valor do parâmetro/índice em cada sub-bacia
Y <sub>máx</sub>	Valores máximos dos parâmetros/índices entre todas as sub-bacias
Y <sub>mín</sub>	Valores mínimos dos parâmetros/índices entre todas as sub-bacias
ZEE-DF	Zoneamento Ecológico-Econômico do Distrito Federal



## 1. INTRODUÇÃO

A expansão desordenada das cidades, consequência do processo de ocupação urbana acelerado, geralmente é acompanhada do desenvolvimento de atividades antrópicas inadequadas que favorecem a degradação ambiental. A intervenção antrópica sobre o meio físico repetidamente gera problemas imediatos ou a médio prazo, que podem decorrer, dentre outras causas, da ocupação de áreas inaptas à urbanização (Souza, 2021).

Eventos geológicos, como movimentos gravitacionais de massa, e de natureza hidrológica, como inundações e alagamentos, são considerados naturais tendo em vista a dinâmica de alteração do relevo e eventos pluviométricos extremos (Lima, 2016). Esses fenômenos são observados anualmente em muitas cidades brasileiras, com consequências sociais, econômicas e ambientais. Além dos condicionantes naturais, a forma de ocupação do meio físico é um agente que induz ou potencializa esses desastres e os impactos decorrentes. Desta forma, quando o planejamento urbano não abrange o estudo do meio físico pode-se dizer que ele está relacionado a ocorrência dos desastres (Sobreira e Souza, 2012).

De acordo com o Atlas Digital de Desastres no Brasil (Brasil, 2023a), que reúne os dados provenientes dos registros feitos pelos municípios no Sistema Integrado de Informações sobre Desastres – S2iD, entre 1995 e 2023, 3.278 pessoas perderam suas vidas e 57,5 milhões de pessoas foram afetadas em decorrência de eventos geológicos e hidrológicos no Brasil, como deslizamentos, enxurradas, inundações e alagamentos. Neste período, os prejuízos públicos relativos a estes desastres somaram R\$ 82,51 bilhões de reais e os prejuízos privados, R\$ 87,47. É necessário considerar ainda a subnotificação dos eventos.

No contexto dos desastres naturais, a cartografia geotécnica se insere como instrumento a ser utilizado pelos municípios para diagnósticos do meio físico e, portanto, para fins de planejamento urbano e gestão territorial. O mapeamento de suscetibilidade é definido por Bressani e Costa (2013) como a capacidade ou disposição dos terrenos em desenvolver determinado processo ou fenômeno geológico. A elaboração das cartas de suscetibilidade é prevista na legislação federal e, por ser um produto de abrangência geral, tem caráter orientativo. As cartas podem ser utilizadas no planejamento regional ou municipal, gestão territorial e de bacias hidrográficas e subsidiam a elaboração de cartas de maior escala e a elaboração de planos diretores municipais.

Com frequência, a elaboração das cartas geotécnicas esbarra na falta de informações com detalhamento adequado, o que compromete a qualidade final do produto. Assim, tendo em vista a importância destes produtos no âmbito do planejamento urbano, faz-se necessário avaliar

o efeito da escala de análise e da resolução de Modelos Numéricos de Terreno - MNT para a elaboração de cartas de suscetibilidade.

## **1.1. JUSTIFICATIVA**

A Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC, instituída pela Lei nº 12.608/2012 (Brasil, 2012a), tem como uma de suas diretrizes o direcionamento de esforços para ações preventivas no âmbito das políticas de minimização de desastres. Além disso, estabelece como objetivos a redução do risco de desastres e a identificação de suscetibilidades, vulnerabilidades e ameaça a desastres (Brasil, 2012). Neste sentido, esta legislação estabelece a obrigatoriedade do mapeamento de suscetibilidade a deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos.

No âmbito da cartografia geotécnica, a qualidade na elaboração dos produtos previstos nesta legislação é diretamente dependente das informações sobre o meio físico disponíveis, principalmente da resolução do Modelo Numérico de Terreno utilizado para a geração dos produtos. Neste aspecto, Sobreira e Souza (2012) destacam que produtos em escala igual ou inferior a 1:50.000 não são adequados para a elaboração de cartas geotécnicas, pois os dados derivados, como declividade e curvatura das vertentes, não possuem qualidade suficiente e, além disso, não possibilitam a identificação de alguns processos geodinâmicos.

Assim, esta pesquisa almeja comparar produtos elaborados a partir de Modelos Numéricos de Terreno com diferentes resoluções e verificar a perda de informação e o efeito da resolução da fonte principal dos dados nos produtos de suscetibilidade a inundações e movimentos gravitacionais de massa.

A elaboração desta dissertação apoia-se na PNPDEC e, além disso, na perspectiva social este estudo justifica-se pela sua natureza aplicada, tendo em vista o fornecimento de subsídios técnico-científico passíveis de serem utilizados no âmbito do planejamento urbano. Na perspectiva do Programa de Pós-Graduação em Geotecnia da Universidade de Brasília, justifica-se pela aplicação do conhecimento científico dentro da área de Cartografia Geotécnica e Geoprocessamento aplicada a Geotecnia, somando-se a outras pesquisas realizadas neste mesmo viés, como Arcaya (2007), Batista (2014), Oliveira (2018), Ahualli (2019), Silva Júnior (2019), Almeida (2022) e outros.

## **1.2. OBJETIVOS**

Esta pesquisa tem como objetivo avaliar a influência da resolução espacial e altimétrica de dois Modelos Numéricos de Terreno na precisão de cartas de suscetibilidade a fenômenos

hidrológicos e geodinâmicos. O primeiro MNT foi elaborado com os dados topográficos disponíveis na base cartográfica do Distrito Federal e possui resolução espacial de 5 metros, compatível com a escala 1:10.000. Também se utilizou o MNT proveniente do *Shuttle Radar Topography Mission* – SRTM, que possui resolução espacial de aproximadamente 30 metros.

Os objetivos específicos são:

- Elaborar revisão bibliográfica sobre cartografia geotécnica como instrumento para o planejamento urbano;
- Elaborar cartas de suscetibilidade a inundações e movimentos gravitacionais de massa, nas escalas 1:25.000 e 1:50.000, para as bacias hidrográficas do rio Ponte Alta e do rio Alagado;
- Elaborar uma compartimentação fisiográfica da área estudada, na escala 1:25.000.

### **1.3. ESCOPO DA DISSERTAÇÃO**

Esta dissertação está dividida em seis seções, descritas a seguir.

O capítulo 1 contém a introdução, o objetivo geral, os objetivos específicos e o escopo da dissertação.

O capítulo 2 compreende a revisão de literatura, abordando os tipos de desastres e eventos adversos, histórico de ocorrências no Brasil com informações sobre os prejuízos econômicos associados, os princípios da cartografia geotécnica e a aplicação dos produtos para fins de planejamento urbano, as metodologias de mapeamento, as normativas jurídicas que embasam a elaboração dos produtos cartográficos e, por fim, os princípios de fotointerpretação aplicados aos mapeamentos realizados nesta pesquisa.

O capítulo 3 contém os materiais, os programas computacionais e os procedimentos metodológicos utilizados em cada etapa para a aquisição dos produtos pretendidos, apresentados nos objetivos específicos.

O capítulo 4 apresenta a caracterização do meio físico no qual está inserida a área de estudo, abordando os aspectos geológicos, pedológicos, geomorfológicos e as áreas de preservação e unidades de conservação.

No capítulo 5 tem-se os resultados obtidos: cartas analíticas derivadas dos Modelos Numéricos de Terreno, cartas de suscetibilidade a processos geodinâmicos nas escalas de trabalho e a compartimentação fisiográfica.

O capítulo 6 apresenta as conclusões obtidas com a realização do estudo e sugestões para pesquisas futuras. Por fim, são apresentadas as referências bibliográficas consultadas para a realização da pesquisa.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Nesta seção está apresentada a revisão dos conceitos e princípios da literatura que embasaram a construção desta pesquisa. São abordados os desastres, os princípios e produtos da cartografia geotécnica aplicados ao planejamento urbano, metodologias de elaboração de cartas geotécnicas, as normativas jurídicas que regem a elaboração dos estudos e produtos, e os princípios de fotointerpretação.

### **2.1. DESASTRES**

O termo desastre é definido pela Política Nacional de Defesa Civil como o resultado de eventos adversos, naturais ou provocados pelo homem, sobre um ecossistema (vulnerável), causando danos humanos, materiais e/ou ambientais e consequentes prejuízos econômicos e sociais (Brasil, 2007). Esta mesma definição é utilizada na Lei nº 14.750/2023 (Brasil, 2023b). A Política Nacional de Defesa Civil classifica os desastres de acordo com a evolução, a intensidade e a origem.

Quanto à evolução, os desastres podem ser súbitos ou de evolução aguda, causados por eventos adversos violentos e intensos, caracterizados pela velocidade de evolução do processo; graduais ou de evolução crônica, que se agravam de maneira progressiva; ou por somação de efeitos parciais, caracterizados pela soma de numerosas ocorrências (Brasil, 2007).

A intensidade do desastre depende da magnitude do evento adverso e da vulnerabilidade da área afetada. Nesse aspecto, a classificação é dividida em acidentes, quando o evento gera consequências de pouca importância para a coletividade como um todo; desastres de médio porte, quando a área afetada tem capacidade para se recuperar com recursos próprios; desastres de grande porte, quando há necessidade de intervenção e de recursos regionais, estaduais ou mesmo federais; e desastres de muito grande porte, quando a recuperação da área exige a intervenção das três esferas do Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil – SINDEC (Brasil, 2007).

Quanto à causa primária, os desastres são divididos em naturais, decorrentes de desequilíbrios da natureza e independentes da ação humana; antropogênicos, resultado da ação ou omissão humana; e mistos, quando a intervenção humana intensifica ou agrava os fenômenos naturais. Ainda, os desastres naturais classificam-se de acordo com sua natureza em: desastres naturais de origem sideral; desastres naturais relacionados com a geodinâmica terrestre externa; desastres naturais relacionados com a geodinâmica terrestre interna e desastres naturais relacionados com desequilíbrios na biocenose (Brasil, 2007).

É de interesse desta pesquisa se debruçar sobre o estudo dos desastres naturais relacionados aos processos da geodinâmica externa: os deslizamentos (Classificação e Codificação Brasileira de Desastres - COBRADE 1.1.3.2.1) e corridas de detritos (classificação COBRADE 1.1.3.3.2), e os eventos hidrogeológicos, inundações (classificação COBRADE 1.2.1.0.0) e alagamentos (classificação COBRADE 1.2.3.0.0).

Os movimentos de massa podem ser classificados de acordo com muitos sistemas encontrados na literatura. No âmbito internacional destaca-se a proposta de Varnes (1978), que divide os movimentos de massa em quedas, tombamentos, deslizamentos, espalhamento lateral, fluxos e movimentos complexos. O trabalho de Varnes (1978) foi revisado por Cruden e Varnes (1996). Em âmbito nacional, tem-se a classificação elaborada por Guidicini e Nieble (1984), composta por quatro classes: escoamentos, escorregamentos, subsidências e movimentos complexos. Também é muito utilizada a classificação de Augusto Filho (1992).

Neste sentido, os deslizamentos são um dos vários tipos de movimentos de massa. Estes consistem na movimentação superficial e descendente, por ação gravitacional, de materiais diversos, solo e rochas. São caracterizados pela alta velocidade de movimentação e por possuírem uma superfície de ruptura e volume bem definidos. A geometria apresentada pelo deslizamento depende da existência de planos de fraqueza no maciço. Podem ocorrer a partir de diferentes mecanismos de ruptura e, quando presentes, lixo e entulho também constituem o material mobilizado (Brasil/IPT, 2007).

Varnes (1978) e Cruden e Varnes (1996) classificam os deslizamentos em rotacionais ou translacionais (Figura 2.1a e Figura 2.1b, respectivamente). No primeiro tipo, o material mobilizado pode se mover com pouca deformação interna sobre uma superfície de ruptura curva e côncava. Esse tipo de deslizamento é mais frequente em encostas de material espesso e homogêneo originados pelo intemperismo de rochas argilosas, mas podem ocorrer em materiais heterogêneos ou ao longo de descontinuidades (Cruden e Varnes, 1996; Tominaga, 2015).

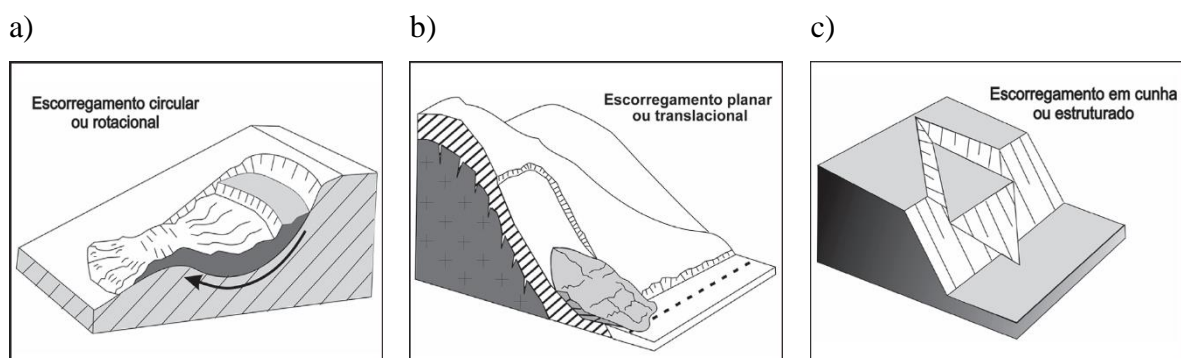


Figura 2.1: Perfil esquemático de deslizamento a) rotacional, b) translacional, e c) em cunha.

Fonte: Brasil/IPT (2007).

Por sua vez, os deslizamentos translacionais caracterizam-se por uma superfície de ruptura plana ou ondulada, que se desenvolve ao longo de uma descontinuidade mecânica ou hidrológica, entre camadas de solo ou no contato solo-rocha. Geralmente são mais rasos quando comparados aos deslizamentos rotacionais, mas podem atingir centenas ou milhares de metros, o que confere a este tipo de movimento um grande potencial de destruição. É comum que os deslizamentos translacionais aconteçam devido a ação de chuvas intensas. São predominantes em encostas de altas declividades com solos pouco desenvolvidos (Cruden e Varnes, 1993; Tominaga, 2015; Riffel *et al.*, 2016).

Tominaga (2015) ainda considera um terceiro tipo de escorregamento, os deslizamentos em cunha (Figura 2.1c), que são fortemente relacionados ao substrato geológico e ocorrem em maciços rochosos em diferentes condições de alteração. Este tipo de deslizamento ocorre ao longo da interseção de duas estruturas planares, que levam à movimentação do material em formato de prisma.

Os deslizamentos ocorrem sob a influência de condicionantes naturais, antrópicos ou ambos. Os condicionantes naturais dividem-se em agentes predisponentes, que correspondem às características intrínsecas ao meio físico, abrangendo propriedades como resistência das rochas e dos solos e os processos de intemperismo, espessura das camadas de solo e cobertura vegetal; e agentes efetivos, aqueles que atuam de maneira direta na deflagração do movimento, estes dividem-se ainda em preparatórios e imediatos (Guidicini e Nieble, 1984; Brasil/IPT, 2007).

Neste aspecto, Guidicini e Nieble (1984) afirmam que a precipitação é o fator mais importante na ocorrência dos deslizamentos e que grande parte, se não todos, os episódios de escorregamentos em nosso meio fisiográfico estão relacionados a eventos de precipitação. A relação entre a duração e intensidade dos eventos de chuva e o início dos escorregamentos é objetivo de muitos estudos, como Tatizana *et al.* (1987), Santoro *et al.* (2010), Molina *et al.* (2015), Vieira *et al.* (2020) e Tachini *et al.* (2021).

A instabilização das encostas pode ocorrer a partir da atuação de diversos mecanismos. Pode-se citar o aumento da pressão neutra no interior dos maciços, reduzindo o fator de segurança e a redução da coesão aparente conferida ao solo pela sucção em solos coesivos. Neste último caso, o avanço da frente de infiltração ocasionada pelas chuvas conduz à redução da resistência ao cisalhamento nas encostas de solo não saturado, provocando a movimentação sem que ocorra, necessariamente, a saturação do solo (Fernandes *et al.*, 2001). Também deve-se atentar para a influência dos condicionantes antrópicos, intervenções como a retirada de

vegetação, execução de cortes e aterros sem critérios técnicos e alterações no padrão de drenagem natural dos taludes podem desencadear o movimento (Brasil/IPT, 2007).

Por sua vez, as inundações correspondem ao extravasamento das águas fluviais para além da calha do rio, atingindo o leito maior e as planícies de inundação, áreas não ocupadas habitualmente pela água (Figura 2.2). Ainda, os alagamentos referem-se ao acúmulo de água temporário em alguns locais devido a deficiências no sistema de drenagem (Brasil/IPT, 2007; Brasil, 2021b). Os eventos hidrogeológicos são deflagrados por chuvas intensas e acentuados pela ação antrópica. No caso das inundações, Tucci (2003) explica que as áreas ribeirinhas são naturalmente propensas à ocorrência destes eventos, que ocorrem geralmente a cada 1,5 e 2 anos, devido às condições naturais impostas pelo ciclo hidrológico.

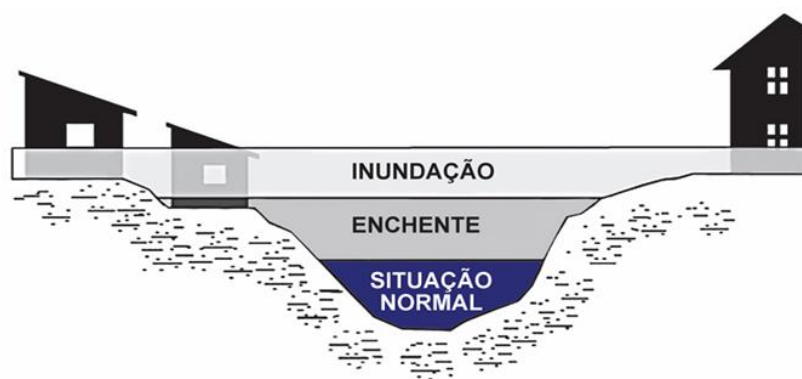


Figura 2.2: Perfil esquemático do processo de enchente e inundação.

Fonte: Brasil/IPT (2007).

Nas áreas urbanas o processo é favorecido devido a impermeabilização do solo e a canalização de redes fluviais, que aumenta o volume do escoamento superficial e das vazões máximas, além de outros fatores como a retirada da vegetação nas margens dos rios (Tucci, 1999; Campos *et al.*, 2015). Nestas áreas, as inundações e alagamentos causam perdas humanas e materiais, prejuízos econômicos pela paralisação das atividades e o acometimento da população por doenças de veiculação hídrica (Tucci, 2003).

### 2.1.1. BREVE HISTÓRICO NO BRASIL

De acordo com Macedo e Sandre (2022), os processos geológicos responsáveis pelo maior número de mortes no Brasil são os movimentos de massa. Em 2023, a Defesa Civil Nacional publicou o Atlas de Desastres no Brasil (Brasil, 2023a), elaborado em parceria com a Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. A plataforma possui dados atualizados até 2023. Os dados disponibilizados na plataforma são provenientes dos registros feitos pelos

municípios no Sistema Integrado de Informações sobre Desastres – S2iD. Entretanto, nem todos os municípios fazem os registros dos desastres, o que faz com que haja subnotificação dos eventos. Não há, por exemplo, registro dos deslizamentos ocorridos na região serrana do Rio de Janeiro em 2011.

Para o intervalo temporal analisado, 1995 a 2023, foram contabilizadas 1.562 ocorrências de movimentos de massa no Brasil, com 629 óbitos, 234,43 mil pessoas desabrigadas e desalojadas e um prejuízo financeiro total de 6,72 bilhões de reais incluindo os setores público e privado. O ano de 2010 possui o maior número de mortes registradas em decorrência deste fenômeno, 198 óbitos (Brasil, 2023a).

Os registros de inundações contidos na plataforma englobam o período de 1991 a 2023. Foram registradas 6.183 ocorrências, com 644 óbitos, 3,88 milhões de desabrigados e desalojados e prejuízos totais nos setores público e privado de 45,25 bilhões. O ano de 2009 é o que possui mais registros de óbitos devido às inundações, com 102 mortes. Por sua vez, foram registradas 1.873 ocorrências de alagamentos entre os anos 1992 e 2023, com 128 óbitos decorrentes, 479,66 mil pessoas desabrigadas e desalojadas e prejuízos totais da ordem de 3,7 bilhões. O maior número de óbitos, 26, foi registrado em 2009 (Brasil, 2023a).

Macedo e Sandre (2022) apresentaram dados de óbitos ocorridos por deslizamentos no Brasil no período compreendido entre 1988 e 2022. A catalogação destes dados foi uma iniciativa do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, com o intuito de ter um panorama da realidade brasileira e reunir informações para auxiliar na gestão de riscos de desastres. O banco de dados considera apenas movimentos de massa ocorridos por causas naturais. Para o período analisado, foram contabilizadas 4.146 vítimas. O ano de 2011 apresentou o maior número de óbitos devido a tragédia ocorrida na região serrana do Rio de Janeiro, seguido do ano de 2022, em que fortes chuvas atingiram a mesma região, provocando deslizamentos. O Estado do Rio de Janeiro é o que possui maior número de óbitos, com 2.143 vítimas, seguido do Estado de São Paulo, com 567 mortes.

No Brasil, um episódio importante foi o ocorrido no Vale do Itajaí, em Santa Catarina (Figura 2.3). O desastre, iniciado no dia 22 de novembro de 2008, foi antecedido por chuvas acima da média mensal nos meses de setembro, outubro e novembro, que mantiveram o solo com elevada umidade, ocasionando uma baixa capacidade de infiltração (Tachini, 2009). Em novembro, a precipitação total foi superior a 1000 mm, número nunca registrado. A maior concentração de chuvas ocorreu entre os dias 22 e 24 de novembro, com isso, ocorreram milhares de movimentos de massa e a enchente devido à elevação do nível do rio Itajaí-Açu, que alcançou a cota de 11,52 metros (Joner *et al.*, 2021; Tachini *et al.*, 2018).





Figura 2.3: Desastre no Vale do Itajaí em 2008.

Foto: Marcelo Martins/Prefeitura de Blumenau. Fonte: O município Blumenau, 2021.

A Defesa Civil de Santa Catarina registrou 135 mortes decorrentes desse evento, 97% por soterramento devido aos deslizamentos ocorridos. O número de pessoas diretamente atingidas pelo desastre foi maior que 1,5 milhão, 80.000 pessoas ficaram desabrigadas ou desalojadas (Queiroz, 2009). Na região, 14 municípios decretaram estado de calamidade pública e 63, situação de emergência. A tragédia destruiu residências, escolas, hospitais e estradas. De acordo com Alves (2009), entre 22 de novembro e 31 de dezembro, o Estado de Santa Catarina perdeu R\$ 105 milhões na arrecadação devido ao desastre.

De acordo com Herrmann (2014), no ano de 2008 os prejuízos provocados pelas inundações no Estado de Santa Catarina somam R\$ 1,98 bilhão, os prejuízos associados a outros eventos, como escorregamentos de terra, somam R\$ 3,40 bilhões. No município de Blumenau, em decorrência do evento do mês de novembro, os prejuízos chegaram a R\$ 1,13 bilhão, e em Itajaí, R\$ 975,77 milhões.

Quando se trata sobre a ocorrência de movimentos de massa no Brasil, inevitavelmente recorda-se o desastre ocorrido na região serrana do Rio de Janeiro em 11 e 12 de janeiro de 2011. O evento foi considerado a maior catástrofe geotécnica ocorrida no Brasil e foi classificado pela Organização das Nações Unidas – ONU como o 8º maior deslizamento

ocorrido no mundo. O episódio foi marcado por chuvas intensas, o volume precipitado foi equivalente à metade do esperado para o mês de janeiro. As principais cidades atingidas foram Nova Friburgo (Figura 2.4a), Petrópolis (Figura 2.4b) e Teresópolis, mas também Bom Jardim, São José do Vale do Rio Preto, Sumidouro e Areal (Busch e Amorim, 2011).

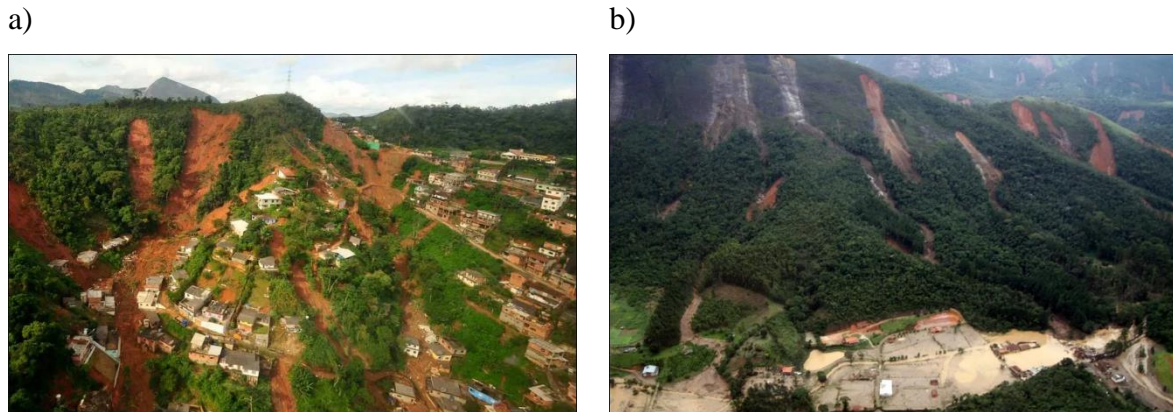


Figura 2.4: Desastre na região serrana do Rio de Janeiro em 2011. a) Deslizamentos em Nova Friburgo. b) Deslizamentos na região do Brejal, cidade de Petrópolis.

Fonte: G1 (2022).

As chuvas ocasionaram cinco tipos de movimentos de massa nos trechos altos das bacias hidrográficas, já nas regiões mais baixas as perdas humanas e materiais ocorreram predominantemente por enchentes e alagamentos (Dourado *et al.*, 2012). Somente em Nova Friburgo ocorreram cerca de 3.000 deslizamentos. Neste município foram contabilizadas 429 mortes, em Teresópolis, 382, e em Petrópolis, 74 (Busch e Amorim, 2011; Macedo e Sandre, 2022). De acordo com Dourado *et al.* (2012), as informações oficiais apontam para 947 mortos, 300 desaparecidos e mais de 50.000 desabrigados.

Para o ano de 2011, o Banco Mundial estimou, em todos os municípios atingidos, perdas e danos no valor de R\$ 4,78 bilhões, sendo R\$ 3,15 bilhões referentes ao setor público e 1,62 bilhões ao setor privado. Os setores sociais registraram perdas de R\$ 2,69 bilhões, seguido do setor de infraestrutura, cerca de R\$ 1 bilhão. Os custos relativos aos setores produtivos foram estimados em R\$ 896 milhões, e os impactos ambientais, em R\$ 71,4 milhões. O setor de habitação teve perdas de quase R\$ 2 bilhões, considerando os elevados custos das obras de contenção de encostas (Banco Mundial, 2020; Blaudt *et al.*, 2023).

Em 2022 um novo desastre aconteceu na cidade de Petrópolis, no Rio de Janeiro. No dia 15 de fevereiro foram registradas três horas de precipitação intensa que provocaram 269 deslizamentos e a morte de cerca de 235 pessoas. Em 20 de março, 35 dias depois, foi registrada uma precipitação de 534 mm em 24 horas, o maior volume diário na história do município,

ocasionando cerca de 100 incidentes de deslizamentos e inundações, provocando a morte de sete pessoas (Blaudt *et al.*, 2023; Alcântara *et al.*, 2023).

Outro importante desastre foi o ocorrido no litoral norte de São Paulo, em fevereiro de 2023, que atingiu principalmente a cidade de São Sebastião. A região foi atingida por fortes chuvas, iniciadas no dia 18 de fevereiro. O volume precipitado em 24 horas foi de 682 mm, o maior já registrado no Brasil (Kobiyama *et al.*, 2023). Foram contabilizadas 65 mortes em decorrência dos deslizamentos, 64 em São Sebastião e uma no município de Ubatuba, os movimentos de massa também destruíram casas e interditaram estradas (G1, 2023).

Mais recentemente, no final do ano de 2023 episódios de chuvas intensas atingiram a região sul do Brasil (Figura 2.5). No mês de setembro, 51 pessoas morreram em decorrência de eventos hidrológicos somente no Vale do rio Taquari. Em novembro, temporais voltaram a provocar enchentes no Vale do rio Taquari e no Vale do rio Uruguai, deixando quatro pessoas mortas, 63 feridos, 2.653 desabrigados e pelo menos 7.527 pessoas desalojadas (O Globo, 2023).



Figura 2.5: Enchente em Encantado, cidade do Rio Grande do Sul.

Foto: Silvio Avila/AFP. Fonte: O Globo, 2023.

## **2.1.2. ESTUDOS REALIZADOS E REGISTROS NO DISTRITO FEDERAL E NO ESTADO DE GOIÁS**

No contexto do Distrito Federal, o Serviço Geológico do Brasil (SGB/CPRM) elaborou as cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação, e de aptidão à

urbanização, bem como a setorização de risco geológico. A carta de suscetibilidade supracitada (SGB, 2023) foi elaborada na escala 1:50.000, em conformidade com as diretrizes apresentadas no manual para zoneamento de suscetibilidade, perigo e risco (Fell *et al.*, 2008), e apresenta um zoneamento em nível básico baseado nos fatores naturais predisponentes do terreno ao desenvolvimento dos processos analisados. O produto é de caráter informativo e pode ser utilizado para planejamento e gestão territorial.

A carta de aptidão à urbanização (SGB, 2022a) foi elaborada na escala 1:10.000 e apresenta um zoneamento do terreno indicando áreas mais ou menos propensas ao processo de urbanização, frente a ocorrência de desastres naturais. O produto é orientativo e pode ser utilizado no âmbito do planejamento do uso e ocupação do território.

Por sua vez, a setorização de risco geológico (SGB, 2022b) apresenta a caracterização de áreas urbanas sujeitas à ocorrência de eventos geológicos, acarretando perdas ou danos. É um trabalho realizado em escala de detalhe, variando entre 1:1.000 e 1:2.000, com aplicações mais específicas como o direcionamento nas ações de prevenção dos desastres e de ações da Defesa Civil. O estudo identificou 22 áreas de risco alto a muito alto no DF, passíveis de ocorrência de deslizamentos, processos erosivos, enxurradas, enchentes, inundação e queda de blocos. Outras 76 áreas de risco médio a baixo identificadas no estudo estão em monitoramento.

Além destes produtos, alguns estudos voltados para a determinação de suscetibilidades e riscos dentro da cartografia geotécnica foram realizados no âmbito do Programa de Pós-graduação em Geotecnia da Universidade de Brasília – UnB, tanto para áreas específicas no Distrito Federal quanto analisando sua área total. Pode-se citar os trabalhos de Arcaya (2007), Batista (2014), Oliveira (2018) e Araújo (2019).

Destes, destaca-se aqui o trabalho de Arcaya (2007), que produziu um cadastro georreferenciado de erosões e elaborou o mapa de suscetibilidade à erosão linear para todo o Distrito Federal. Para isso, foram considerados como fatores condicionantes a geologia, geomorfologia e pedologia, e as formas de uso e ocupação do solo. A metodologia consistiu em uma análise ponderada, com a atribuição de pesos para cada atributo analisado. Foram identificadas 1.582 feições erosivas, das quais 124 estão no Gama, 58 no Recanto das Emas, 53 em Samambaia e 34 em Santa Maria, regiões administrativas que contêm a área de estudo desta pesquisa.

Outro estudo sobre os processos erosivos no Distrito Federal foi realizado no contexto do Zoneamento Ecológico Econômico – ZEE-DF, com a produção do mapa de Risco de Perda de Solos por Erosão, cuja metodologia de elaboração e apresentação do produto estão contidas no caderno técnico da matriz ecológica do ZEE-DF (GDF, 2017). A produção deste mapa de

risco se baseou no mapa de solos do Distrito Federal (EMBRAPA, 1978), considerando as características de erodibilidade e tolerância à erosão dos diferentes tipos de solo, bem como a declividade das vertentes.

Os resultados evidenciaram que 62,7% da área total do DF apresenta risco baixo ou muito baixo aos processos erosivos. Essas áreas caracterizam-se pelo relevo aplainado, constituindo áreas de predomínio da infiltração da água precipitada, em vez do escoamento, e por compreender a maior parte dos centros urbanos e as atividades agropecuárias desenvolvidas. Em contrapartida, 31,2% da área, pouco menos de um terço, apresenta risco muito alto de perda de solo por erosão (GDF, 2017).

No Distrito Federal um registro recente referente a eventos hidrogeológicos foi a inundação ocorrida na Vila Cauhy, Núcleo Bandeirante, em janeiro de 2024. Em decorrência das fortes chuvas, o córrego Riacho Fundo transbordou e a água invadiu casas. Na ocasião, também foram registrados alagamentos nas cidades satélites de Taguatinga, Arniqueira e Sol Nascente. Costa (2022) afirma que a caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do córrego Riacho Fundo indica uma suscetibilidade média/baixa a inundações, e que a ocorrência destes eventos está relacionada à ocupação e às alterações hidrodinâmicas decorrentes da intervenção antrópica na bacia. Segundo a mesma autora, apesar de ser um evento recorrente, poucos trabalhos abordam a questão das inundações na Vila Cauhy.

Ainda, em episódios de chuvas volumosas são percebidos diversos pontos de alagamentos no Distrito Federal com divulgação nos veículos de comunicação locais. Um destes foi a forte chuva ocorrida no dia 09/02/2024, os alagamentos decorrentes causaram transtornos em vários locais, sobretudo no Plano Piloto. A Figura 2.6a e 2.6b apresenta alagamentos ocorridos no Distrito Federal.

a)



b)



Figura 2.6: Alagamentos no Distrito Federal. a) Região administrativa de Santa Maria, em 2022. b) No plano piloto, em 2024.

Fonte: G1, 2022.

Quanto ao Estado de Goiás, considerando movimentos de massa, inundações e alagamentos, o Atlas Digital de Desastres no Brasil (Brasil, 2023a) contém 58 registros entre os anos 1991 e 2023 para todo o Estado, dos quais cinco se referem a movimentos de massa, 31 referem-se a inundações e 22, a alagamentos. Ao todo, estes eventos causaram 2 óbitos e afetaram 29 mil pessoas, deixando 4.115 desabrigadas ou desalojadas.

Para os municípios de interesse deste estudo, Novo Gama e Santo Antônio do Descoberto, tem-se a setorização de áreas de risco geológico elaborada pelo SGB, em 2022, para o município de Novo Gama. Um levantamento do ano de 2013 identificou duas áreas de risco alto e muito alto acometidas por processos erosivos, uma delas com possibilidade de ocorrência de deslizamento planar. De acordo com o relatório mais recente (SGB, 2022c), o município possui nove áreas de risco alto no total, todas estão sujeitas ao desenvolvimento de deslizamentos planares, algumas ainda apresentam risco relacionado a processos erosivos e enxurradas. Outras 30 áreas no município foram mapeadas e classificadas como de risco baixo ou médio.

Ainda quanto ao município de Novo Gama, dados disponibilizados pelo Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Goiás - CBMGO indicam a existência de quatro áreas de risco sujeitas à ocorrência de enxurradas, das quais duas também constituem área de risco com relação à presença de voçorocas. Quanto ao município de Santo Antônio do Descoberto, os dados do CBMGO indicam duas áreas de risco sujeitas à inundação e mais 10 áreas passíveis de ocorrência de enxurrada e erosão fluvial (CBMGO, 2023).

Em relação aos processos erosivos, tem-se os mapeamentos de suscetibilidade EMBRAPA (2024a) e vulnerabilidade à erosão hídrica EMBRAPA (2024b) elaborados em escala 1:250.000 pela EMBRAPA, disponibilizados para todo território nacional e, portanto, para toda a área analisada neste estudo. Para a análise de suscetibilidade, foi realizada a integração dos mapas de Erodibilidade dos Solos do Brasil, Erosividade das Chuvas do Brasil e do Modelo Numérico de Terreno *Shuttle Radar Topography Mission* - SRTM. A análise de vulnerabilidade, por sua vez, considerou também o Uso e Cobertura da Terra do projeto MapBiomias.

## **2.2. PRINCÍPIOS DA CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA**

De acordo com Prandini *et al.* (1992), a cartografia geotécnica é um instrumento para a representação objetiva das características do meio físico relevantes no que tange ao uso do solo para fins urbanos. Para Prandini *et al.* (1995), as cartas geotécnicas buscam aplicar o conhecimento geológico na resolução de problemas decorrentes das práticas de uso e ocupação

do solo, fornecendo orientações para ações de prevenção e correção, visando a redução de riscos nas atividades.

Diniz (1998) citada em Diniz (2012) define a cartografia geotécnica como a técnica de integração, síntese e representação de informações temáticas da área de geologia de engenharia voltada para o planejamento e gestão ambiental urbana e territorial; e permite a formulação de modelos de previsibilidade do comportamento dos terrenos e o estudo de soluções para problemas decorrentes da intervenção antrópica sobre o meio físico.

Sobreira e Souza (2012) afirmam que as cartas geotécnicas são produtos cartográficos que apresentam os solos e rochas com base em parâmetros mecânicos e hidráulicos em relação ao meio físico circundante, descrevendo as características que favorecem ou limitam a consolidação para uso urbano ou rural, bem como as necessidades de intervenção. Para Santos (2014), a carta geotécnica consiste em um documento cartográfico com informações sobre os compartimentos geológicos e geomorfológicos homogêneos em função uma solicitação específica e indica a soluções técnicas a fim de garantir uma intervenção adequada.

Definição semelhante às supracitadas é apresentada pela *International Association for Engineering Geology and the Environment* – IAEG (1976) para mapeamento de geologia de engenharia, que consiste em um tipo de mapeamento geológico que apresenta de maneira generalizada as características do ambiente geológico relevantes para análises voltadas ao planejamento do uso do solo e de projetos de engenharia. Para esta finalidade, IAEG (1976) destaca a caracterização dos solos e das rochas, as condições hidrogeológicas e geomorfológicas e a ocorrência de fenômenos geodinâmicos. Na mesma perspectiva, Dearman (1991) afirma que o mapeamento de geologia de engenharia tem por finalidade embasar o planejamento de uso do solo e projetos de engenharia, possibilitando o entendimento da relação entre o ambiente e as intervenções futuras de engenharia.

### **2.2.1. PRODUTOS DA CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA E APLICAÇÕES AO PLANEJAMENTO URBANO**

As cartas geotécnicas são encontradas sob diversas denominações a depender do objetivo e da escala de realização do estudo. Prandini *et al.* (1995) as dividem em Cartas Geotécnicas propriamente ditas, que evidenciam as potencialidades e limitações dos terrenos frente às formas de uso e ocupação; Cartas de Risco Geológico, que avalia possíveis danos à ocupação, tendo em vista um ou mais tipos de desastres; Cartas de Suscetibilidade, as quais destacam um ou mais tipos de fenômenos geodinâmicos considerando um tipo de uso e

ocupação do solo e, Cartas de Atributos ou Parâmetros, cujo objetivo é apresentar a distribuição espacial de uma característica ou parâmetro de interesse.

Sobreira e Souza (2012) descrevem as cartas geotécnicas com base na denominação de Cerri *et al.* (1996), que dividem estes produtos cartográficos em três tipos conforme a escala e aplicabilidade para fins de planejamento e gestão urbana: carta geotécnica de suscetibilidade, carta de aptidão à urbanização e carta de risco a processos geológicos.

Quanto à escala, Dearman (1991) e Fell *et al.* (2008) ressaltam que esta é definida com base no objetivo do mapeamento e define o que será apresentado, bem como as informações que devem ser coletadas. A escala também pode ser determinada pela escala das bases topográficas disponíveis para a realização do estudo. A Tabela 2.1 apresenta os produtos da cartografia geotécnica com as respectivas escalas de trabalho e os processos passíveis de serem analisados.

Tabela 2.1: Produtos da cartografia geotécnica, escalas de mapeamento e processos geodinâmicos identificáveis. Fonte: Sobreira e Souza (2012).

Produto	Escalas de Mapeamento	Processos Geodinâmicos passíveis de identificação
Cartas de Suscetibilidade	1:25.000 ou maiores	Movimentos gravitacionais de massa, inundações, enchentes, corridas, erosões, assoreamento, processos costeiros, sismos induzidos.
Carta de Aptidão à Urbanização	1:10.000, 1:5.000 ou maiores	Movimentos gravitacionais de massa translacionais, inundações, enchentes, alagamentos, corridas, erosões lineares de grande porte (ravinas), assoreamento, subsidências e colapsos, queda e rolamento de blocos rochosos, processos costeiros.
Cartas de Riscos Geológicos	1:2.000 ou maiores	Movimentos gravitacionais de massa – translacionais, rotacionais, em cunha, inundações, enchentes, alagamentos, corridas de lama e detritos, rastejos, erosões lineares (sulcos, ravinas e voçorocas), solapamentos de margem, assoreamento, subsidências e colapsos, expansão de terrenos, queda e rolamento de blocos rochosos, processos costeiros.

Os estudos de suscetibilidade apresentam informações gerais sobre o terreno, destacando fenômenos geodinâmicos de provável ocorrência devido às próprias condições do meio físico, que podem ser potencializadas pela intervenção antrópica (Sobreira e Souza, 2012). Neste sentido, o mapeamento de suscetibilidade considera apenas as características intrínsecas do meio físico que o tornam predisponente ao desenvolvimento de fenômenos geodinâmicos,



independente da forma de uso e ocupação do solo na área, sem contemplar aspectos como frequência ou tempo de retorno do evento e os impactos decorrentes (Fell *et al.*, 2008; Bitar *et al.*, 2014).

A intervenção humana sobre o meio físico altera a suscetibilidade natural, sobretudo no processo de urbanização, entretanto, a escala utilizada para a realização de estudos suscetibilidade só permite avaliar essa alteração se ela for de grande porte. O processo de urbanização bem orientado, ao contrário do que se vê com as ocupações irregulares, pode ter um papel estabilizante para alguns processos (Bressani e Costa, 2015).

De acordo com Bressani e Costa (2015), “a suscetibilidade reflete o potencial de ocorrência de um fenômeno geológico em certa área, sendo determinada a partir de evidências e similaridades com outras regiões ou a partir de inventário de ocorrências”. Ainda, os autores enfatizam que a definição de terreno ou área suscetível está essencialmente relacionada ao processo em análise e implica a predisposição a pelo menos um tipo de evento.

Conforme Sobreira e Souza (2012), os estudos de suscetibilidade devem ser feitos em escala 1:25.000 ou maior, escalas menores não são adequadas pois não permitem a representação de processos pontuais e a precisão gráfica não permite a construção de modelos consistentes. Neste sentido, os autores ressaltam que a elaboração de cartas geotécnicas com base em imagens de radar, como o *Shuttle Radar Topography Mission – SRTM*, é um campo que precisa avançar para a obtenção de produtos cartográficos mais confiáveis. Estes dados, no entanto, constituem uma base planialtimétrica econômica e de fácil acesso.

Quanto a suscetibilidade a deslizamentos, Fell *et al.* (2008) ressaltam que o zoneamento deve apresentar a classificação, a magnitude e a distribuição espacial dos processos já ocorridos e das áreas potenciais para o desenvolvimento de novas movimentações. Isso envolve a elaboração de um inventário dos processos já ocorridos e a estimativa das áreas passíveis de ocorrência.

O zoneamento de suscetibilidade a deslizamentos é recomendado por Fell *et al.* (2008) em locais onde há histórico de ocorrências, sejam escorregamentos profundos ou rasos, quedas de rochas e outros tipos de movimentos de massa, como fluxo de detritos e deslizamentos lentos. Também onde as condições topográficas, geológicas e geomorfológicas favorecem a ocorrência deste tipo de evento, mesmo que não haja histórico, como em encostas com declividades acima de 20° (36%), sobretudo aquelas que apresentam declividades superiores a 35° (70%), em que os movimentos provavelmente apresentarão alta velocidade, caso ocorram. Este tipo de estudo também é útil no caso de implantação de novas áreas urbanas e para o

desenvolvimento de infraestruturas importantes, como rodovias, ferrovias, infraestruturas de meios de comunicação (Fell *et al.*, 2008).

No que diz respeito às cartas geotécnicas de aptidão à urbanização, estas devem apresentar a compartimentação do solo considerando as características geológico-geotécnicas em áreas aptas à ocupação, áreas passíveis de ocupação desde que seguidos critérios técnicos específicos e áreas não apropriadas devido condições físicas e legais. Estas cartas servem como instrumento de subsídio a projetos de urbanização e para a consolidação urbana do município, também podem contribuir para a elaboração de legislação relacionada ao uso e ocupação do solo e os planos diretores de ordenamento territorial municipais (Sobreira e Souza, 2012).

O mapeamento de risco, por sua vez, envolve a identificação da probabilidade de ocorrência de um evento danoso à população, aos bens públicos e privados e à infraestrutura, resultado de processos sócio naturais, envolvendo o meio físico e as intervenções antrópicas. Os estudos de risco também englobam a análise de vulnerabilidade, que consiste no grau de perda dos elementos na área sujeita a um determinado processo (Brasil/IPT, 2007; Fell *et al.*, 2008). Ainda, de acordo com Sobreira e Souza (2012), o estudo da vulnerabilidade considera as possibilidades de prevenir ou mitigar os impactos do fenômeno, nos aspectos técnico e socioeconômico. Assim, as cartas de risco avaliam os danos à ocupação tendo em vista a ocorrência de desastres e tem como objetivo propor medidas para corrigir ou eliminar as situações de risco (Sobreira e Souza, 2012).

### **2.3. METODOLOGIAS DE MAPEAMENTO**

Muitas metodologias podem ser utilizadas no meio técnico e acadêmico para a elaboração de mapeamentos e cartas geotécnicas. A metodologia P.U.C.E. (*Pattern, Unit, Component, Evaluation*) foi desenvolvida por Grant (1965), na Austrália. Consiste na divisão de terrenos em classes hierárquicas com base na fisiografia da paisagem, levando em consideração a geomorfologia, os tipos de rochas, solos e a vegetação. As propriedades devem ser homogêneas em cada classe de terreno (Zuquette e Gandolfi, 2004; Lima, 2016).

As classes são: (1) Província, unidade mais abrangente, definida por meio de rochas geologicamente uniformes a nível de grupo. (2) Padrão do terreno, sua definição leva em conta critérios geomorfológicos, o padrão de drenagem e a associação de solos e vegetação. (3) Unidade de terreno, caracterizada por uma única forma de relevo e uma determinada associação de solos e vegetação. (4) Componente de terreno, unidade indivisível, definida com base nos tipos de taludes, litologias do substrato rochoso, solo e associação de vegetação (Zuquette, 1987; Zuquette e Gandolfi, 2004).

A metodologia proposta pela IAEG, em 1976, tem como objetivo reunir técnicas e procedimentos aplicáveis para o mapeamento na maioria dos países e viáveis do ponto de vista técnico e econômico. O zoneamento leva em consideração as rochas e solos, seu arranjo estrutural e composição, condições geomorfológicas, hidrogeológicas e os fenômenos hidrodinâmicos (Zuquette e Gandolfi, 2004).

Em um mapa, as seguintes unidades podem ser definidas: (1) Região, com base na uniformidade de estruturas geotectônicas. (2) Área, definida a partir das unidades geomorfológicas. (3) Zonas, baseada na uniformidade de feições litológicas e no arranjo estrutural de complexos litológicos de rochas e solos. (4) Distritos, que apresentam condições hidrogeológicas e fenômenos geodinâmicos uniformes (IAEG, 1976).

A metodologia proposta por Zuquette (1987) pode ser dividida em três etapas: (1) Inventário das informações disponíveis sobre o meio físico, biótico e antrópico. (2) Zoneamento, considerando vulnerabilidade, adequabilidade, possibilidade de ocorrência de fenômenos geodinâmicos e potencialidades de uso do solo. (3) Prognóstico e ações, avaliando impactos decorrentes do uso do solo, risco de ocorrência de eventos perigosos, e elaboração de orientações para a ocupação (Silva Júnior, 2019).

Nesta metodologia, a elaboração do mapeamento geotécnico é baseada em documentos e informações pré-existentes que formam quatro grupos: Mapas básicos fundamentais, que reúnem informações sobre os componentes do meio físico, tais como topografia, geologia, hidrologia e hidrogeologia. Mapas básicos opcionais, que correspondem a todas as outras informações sobre o meio físico disponíveis, pedologia, clima, geomorfologia, uso e ocupação do solo. Mapas auxiliares, dos quais o mais conhecido e utilizado é o mapa de documentação e de dados, no qual são registrados locais e informações da área de estudo, localização de feições observadas em campo, sondagens, afloramentos, entre outras informações. Cartas derivadas ou interpretativas, resultado da análise e interpretação dos documentos e mapas das outras classes (Zuquette, 1987).

A metodologia do mapeamento progressivo, proposta por Cerri *et al.* (1996) pode ser dividida em três etapas. A etapa geral é realizada em escala 1:50.000 a 1:25.000 e tem como objetivo a caracterização do meio físico por meio de produtos cartográficos em diversas escalas, identificando as potencialidades e limitações frente ao uso urbano. Na etapa intermediária, em escala variando entre 1:25.000 e 1:10.000, é realizado o detalhamento da caracterização do meio físico feita na etapa anterior e a identificação de problemas de natureza geológico-geotécnica. Os produtos podem ser utilizados para subsidiar ações de planejamento e gestão do uso do solo. A etapa de detalhe é elaborada em escala maior que 1:5.000 e é realizada em casos

de estudos mais específicos sobre o meio físico, com o objetivo de implantar projetos de engenharia (Zaine, 2000; Oliveira, 2018).

## **2.4. NORMATIVAS JURÍDICAS**

As normativas jurídicas que versam sobre o parcelamento do solo urbano e que norteiam a realização deste trabalho são: Lei nº 6.766/1979, que dispõe sobre o parcelamento do solo urbano (Brasil, 1979); Lei nº 10.257/2001, Estatuto da cidade, que estabelece as diretrizes da política urbana (Brasil, 2001); Lei nº 12.608/2012, que institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (Brasil, 2012), aprimorada pela Lei nº 14.750/2023 (Brasil, 2023b), e Decreto nº 10.692/2021, que institui o Cadastro Nacional de Municípios com áreas suscetíveis a processos geológicos e hidrogeológicos (Brasil, 2021).

A Lei 6.766 de 19 de dezembro de 1979 (Brasil, 1979) dispõe sobre o parcelamento do solo urbano e dá outras providências. O Artigo 3º desta legislação estabelece que o parcelamento do solo urbano deve ocorrer por loteamento ou desmembramento em áreas urbanas, de expansão urbana ou de urbanização específica. Além disso, proíbe o parcelamento do solo em terrenos alagadiços e sujeitos a inundações, antes de tomadas as providências para assegurar o escoamento das águas; em terrenos que tenham sido aterrados com material nocivo à saúde pública, sem que sejam previamente saneados; em terrenos com declividade igual ou superior a 30% (trinta por cento), salvo se atendidas exigências específicas das autoridades competentes; em terrenos onde as condições geológicas não aconselham a edificação e; em áreas de preservação ecológica ou naquelas onde a poluição impeça condições sanitárias suportáveis, até a sua correção (Brasil, 1979).

Também estabelece, no Artigo 12º, que em municípios que possuem áreas sujeitas a ocorrência de processos geológicos e/ou hidrológicos, a aprovação de novos projetos de parcelamento fica condicionada ao atendimento das condições estabelecidas na carta de aptidão à urbanização. Áreas consideradas de risco ou não edificáveis não devem conter projetos de parcelamento do solo urbano (Brasil, 1979).

O Estatuto da Cidade, Lei nº 10.257 de 10 de julho de 2001, regulamenta a Política Urbana (art. 182 e 183 da Constituição) e estabelece normas para o uso da propriedade urbana prevendo como prioridades o bem coletivo e o equilíbrio ambiental (Brasil, 2001). O Artigo 182 define como objetivo da política de desenvolvimento urbano o desenvolvimento de forma plena das funções sociais da cidade e a garantia de bem-estar dos cidadãos, definindo o plano diretor como o instrumento básico da política de desenvolvimento e expansão urbana. O Artigo 183 garante o domínio por usucapião ao ocupante do imóvel urbano que o utiliza para fins de

moradia, por tempo igual ou maior que cinco anos e de maneira ininterrupta e sem oposição, desde que não seja proprietário de outro imóvel urbano ou rural (Brasil, 2001).

Dentre as diretrizes da política urbana, estabelecidas no Artigo 2º desta legislação, destaca-se que o planejamento do desenvolvimento das cidades deve evitar e corrigir as distorções provenientes do crescimento urbano e os impactos sobre o meio ambiente e que o uso do solo deve ocorrer evitando a degradação do meio ambiente e a exposição da população a riscos de desastres (Brasil, 2001).

Além disso, fica determinado em seu Artigo 42º que para os municípios incluídos no cadastro nacional de municípios com áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos, o plano diretor deve conter o mapeamento das áreas suscetíveis aos desastres supracitados, considerando as cartas geotécnicas, bem como o planejamento de ações preventivas e de realocação da população que ocupam as áreas de risco, e medidas de drenagem urbana para prevenção e mitigação de desastres. A ampliação do perímetro urbano dos municípios também fica sujeita ao estudo da ameaça de desastres, com a delimitação de áreas que apresentam restrições à urbanização (Brasil, 2001).

A Lei nº 12.608 de 10 de abril de 2012 institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDEC, que abrange ações de prevenção e mitigação de proteção e defesa civil e deve estar integrada a políticas de ordenamento territorial, desenvolvimento urbano e meio ambiente. Ainda, a legislação atribui como responsabilidade dos estados e municípios a identificação e mapeamento de áreas vulneráveis à ocorrência de desastres, definindo, portanto, a obrigatoriedade da elaboração de produtos cartográficos indicativos da suscetibilidade a fenômenos geodinâmicos (Brasil, 2012a).

Dentre os objetivos da PNPDEC, definidos no Artigo 5º, destacam-se a redução do risco de desastres e a incorporação das ações de proteção e defesa civil entre os elementos da gestão territorial; promover a identificação e avaliação das ameaças, suscetibilidades e vulnerabilidades a desastres, de modo a evitar ou reduzir sua ocorrência; estimular um processo de urbanização sustentável e combater a ocupação em áreas suscetíveis à ocorrência de eventos danosos e áreas de risco (Brasil, 2012a).

O Decreto nº 10.692 de 3 de maio de 2021 (Brasil, 2021) institui o Cadastro Nacional de Municípios com Áreas Suscetíveis à Ocorrência de Deslizamentos de Grande impacto, Inundações Bruscas ou Processos Geológicos ou Hidrológicos Correlatos e tem por finalidade “dar publicidade às informações relativas aos Municípios inscritos sobre a evolução das ocupações em áreas suscetíveis à ocorrência” dos processos geológicos ou hidrológicos. Fica

determinado no Artigo 3º que a inscrição do município no Cadastro Nacional é condicionada pela comprovação de áreas de risco, por meio de inventário ou outro documento elaborado por órgãos ou agentes públicos ou privados (Brasil, 2021a).

O Artigo 5º deste decreto estabelece como obrigação dos municípios incluídos no Cadastro a elaboração de mapeamento das áreas suscetíveis à ocorrência de desastres de natureza geológica ou hidrológica, com georreferenciamento dos limites dessas áreas; a elaboração da carta geotécnica de aptidão à urbanização com o objetivo de assegurar que novas ocupações ocorram em áreas apropriadas; elaboração de plano de implementação e de obras para a redução dos riscos; e a criação de mecanismos de controle e fiscalização de modo a evitar a ocupação em áreas suscetíveis (Brasil, 2021a).

## **2.5. FOTOINTERPRETAÇÃO**

Nesta subseção são apresentados os conceitos de fotointerpretação utilizados para o mapeamento das cicatrizes de escorregamento, dos lineamentos estruturais e para a compartimentação fisiográfica.

### **2.5.1. MAPEAMENTO DE CICATRIZES DE ESCORREGAMENTOS**

Os mapas de inventário de cicatrizes são informações de entrada importantes para a realização de estudos de suscetibilidade a deslizamentos, principalmente quando se opta pela utilização de metodologias estatísticas (Barella, 2016). Nestas, o registro de deslizamentos passados é importante pois pressupõe-se que novas movimentações podem ocorrer sob as mesmas condições em que ocorreram movimentações antigas (Fell *et al.*, 2008).

O registro das feições de deslizamentos consiste na identificação de traços ou marcas provenientes de processos passados que se revelam por uma assinatura morfológica, deixando mudanças na paisagem, como alterações na forma das encostas, acompanhadas de variações tonais devido à retirada de vegetação e aparecimento de solo exposto na encosta. Com o passar do tempo, os sinais deixados pelo movimento de massa são encobertos, seja pela incidência de novas movimentações ou de outros processos morfogenéticos, alterações antrópicas ou crescimento de vegetação sobre a área afetada (Barella, 2016). Assim, a elaboração do inventário depende, de acordo com Oliveira (2012), da persistência da assinatura morfológica do evento, da complexidade do ambiente geomorfológico e geológico, do uso do solo, dentre outros fatores.

De acordo com Barella (2016), o mapeamento de cicatrizes é um procedimento complexo e subjetivo, e que pode ser realizado de diversas maneiras, tais como o levantamento

em registros e arquivos históricos, fotointerpretação de imagens, análise de levantamentos topográficos e mapeamentos de campo. A técnica utilizada varia com as necessidades do estudo e os dados e equipamentos disponíveis, como a escala empregada, e a área total a ser mapeada, a resolução das imagens disponíveis, o conhecimento técnico de quem realiza o estudo (Guzzetti *et al.*, 2012).

A elaboração de um inventário de cicatrizes pode ser destinada à identificação e mapeamento de um tipo específico de movimento de massa ou de todos os tipos de processos que ocorrem na área analisada. Além disso, pode ser feito para mapear as cicatrizes decorrentes de um único evento ou que ocorreram ao longo do tempo (Oliveira, 2012).

Muitas informações podem ser extraídas com a elaboração dos mapas de inventário, a depender da técnica utilizada para sua elaboração. Pasek (1977) divide os dados sobre os deslizamentos em três tipos: dados numéricos, como coordenadas, data de ocorrência, dimensões da forma, entre outras; dados descritivos para fins de classificação, como tipo, forma e grau de atividade; e dados descritivos que não se relacionam com a classificação, como a forma da escarpa onde ocorreu o deslizamento.

Diversas técnicas podem ser empregadas para a elaboração de um inventário de cicatrizes, como interpretação de produtos de sensoriamento remoto, análise da expressão topográfica após a movimentação e mapeamento de campo. Dentre as técnicas de sensoriamento remoto empregadas para o mapeamento de cicatrizes de deslizamentos tem-se a fotointerpretação de imagens de satélites e de aerolevantamentos, que é amplamente utilizada devido a vários fatores, sobretudo pela facilidade de acesso a fotografias e pelo baixo custo. Neste sentido Guzzetti *et al.* (2012) mencionam sobre o potencial de utilização da plataforma *Google Earth* para esta finalidade, principalmente pela disponibilização de fotografias multitemporais.

Barella (2016) ressalta que a identificação das cicatrizes perpassa por “análises combinadas entre textura, conformação, localização, padrão, tonalidade e cor, correlacionadas intimamente com alterações morfológicas e mudanças nos padrões de vegetação e nas condições de drenagem”. A Tabela 2.2 apresenta as características fotográficas de feições indicativas de processos de instabilidade de taludes.

Tabela 2.2: Feições morfológicas, de vegetação e de drenagem características de processos de instabilidade de talude e suas características fotográficas. Fonte: Traduzida de Soeters e van Westen (1996).

Feições do terreno	Relação com a instabilidade de encostas	Características fotográficas
Morfologia		
Encosta com formas côncavas/convexas	Feição de deslizamento e depósito associado	Anomalias côncavas/convexas em modelo estereoscópico
Morfologia escalonada	Deslizamento retrogressivo	Aparência escalonada da encosta
Escarpa semicircular e degraus	Parte principal do deslizamento com afloramento do plano de falha	Escarpa em tons claros, associada a pequenos lineamentos levemente curvados
Facetas do talude inclinadas para trás	Movimento rotacional de deslizamento de blocos	Depressões ovais ou alongadas com condições de drenagem imperfeitas
Talude com morfologia acidentada e irregular	Microrrelevo associado a movimentos superficiais ou pequenos blocos de deslizamentos retrogressivos	Superfície com textura grossa, contrastando com ambientes suaves
Vales preenchidos com fundo ligeiramente convexo, onde os formatos em V são normais	Depósito de movimento de massa em forma de fluxo	Anomalia na morfologia do vale, frequentemente com forma lobada e padrão de fluxo no corpo
Vegetação		
Ausência de vegetação em escarpas íngremes, coincidindo com degraus morfológicos	Ausência de vegetação na escarpa ou nos degraus do corpo do escorregamento	Áreas alongadas em tons claros na crista do movimento de massa ou no corpo
Remoções lineares irregulares ao longo do talude	Superfície de deslizamentos translacionais e trilha de fluxos e avalanches	Áreas desnudas mostrando tons claros muitas vezes com padrão linear na direção do movimento
Vegetação perturbada, desordenada e parcialmente morta	Deslizamento em blocos e movimentos diferenciais no corpo do talude	Tons cinzas irregulares, às vezes manchados



Diferentes tipos de vegetação associadas com mudanças nas condições de drenagem	Drenagem estagnada em blocos inclinados para trás, infiltração no lobo frontal e condições diferenciais no corpo	Diferenças tonais exibidas em padrões associados com anomalias morfológicas no modelo estereoscópico
Drenagem		
Áreas com drenagem estagnada	Feição de deslizamento de terra, blocos de deslizamento inclinados para trás e relevo interno irregular no corpo do deslizamento	Diferenças tonais com tons mais escuros associados a áreas mais úmidas
Áreas excessivamente drenadas	Corpo saliente do deslizamento de terra (com vegetação diferencial e alguma erosão do solo)	Zonas de tons claros em associação com formas de relevo convexas
Infiltração e afloramento d'água	Nascentes ao longo do lobo frontal e em locais onde o plano de falha aflora	Manchas escuras, as vezes em padrões ligeiramente curvados e realçadas por diferenças na vegetação
Linhas de interrupção de drenagem	Drenagem anômala causada por rupturas na encosta	Linha de drenagem interrompida abruptamente em encosta por relevo mais acentuado
Padrões anômalos de drenagem	Linhas de fluxo curvando-se ao redor do lobo frontal ou em ambos os lados do corpo	Padrão de drenagem curvo à montante com sedimentação ou meandros em vale (assimétrico)

## 2.5.2. MAPEAMENTO DE LINEAMENTOS ESTRUTURAIS

Os lineamentos são definidos por O’Leary *et al.* (1976), como uma feição linear mapeável, simples ou composta, de uma superfície, cujas partes estão alinhadas em uma relação retilínea ou ligeiramente curvilínea e que difere nitidamente dos padrões de feições adjacentes e presumivelmente reflete um fenômeno subsuperficial. Os lineamentos podem ser expressos pela fisiografia da paisagem, quando apresentadas pelas formas de relevo por quebras, como os cursos d’água; ou por variações tonais expressas pela vegetação ou variações de umidade no solo (O’Leary *et al.*, 1976; Chiang, 1984).

De acordo com Chiang (1984), a identificação e mapeamento de lineamentos estruturais baseia-se na expressão retilínea dos elementos topográficos, como escarpas e cristas alinhadas, vales e trechos de rios retilíneos e depressões (dolinhas) alongadas. Em relação às imagens de radar, como é o caso dos produtos SRTM utilizados neste trabalho, o autor afirma que o realce por sombreado fornece uma ótima visão das feições do terreno, fazendo com que se tornem uma boa fonte de informações geológicas e geomorfológicas.

Roldan *et al.* (2010) analisaram os lineamentos extraídos a partir de imagens Landsat, de resolução espacial de 30 metros, e de imagens de relevo sombreado, utilizando produtos SRTM, com resolução de 90 metros, reamostradas para 30 metros, na região do Domo de Lages, em Santa Catarina. Também estabeleceram um quadro de evolução cronológica dos lineamentos e os relacionaram com outras estruturas geológicas no contexto regional. Os resultados demonstraram que a utilização das imagens de relevo sombreado para o mapeamento foi mais adequada em comparação à imagem Landsat, mesmo possuindo uma menor resolução. Os autores destacaram a ausência de feições que atrapalham a interpretação das imagens, como vegetação e construções, e o contraste favorecido pela possibilidade de diversas posições de iluminação.

Andrades Filho e Fonseca (2009) avaliaram a eficiência de imagens Landsat 5 e de subprodutos SRTM do projeto TOPODATA, com resolução de 30 metros, para a extração de lineamentos nos estados da Paraíba e Pernambuco, região Nordeste do Brasil. Como conclusão, os autores afirmaram que ambas as imagens utilizadas se mostraram adequadas para a extração dos lineamentos, mas a imagem de relevo sombreado proveniente dos dados SRTM, possibilitou um melhor detalhamento. Ainda, ressaltaram a importância do conhecimento especialista sobre as técnicas de processamento de imagens e da necessidade de análise dos parâmetros de obtenção da imagem.

### 2.5.3. DELIMITAÇÃO DE ZONAS HOMÓLOGAS

Soares e Fiori (1978) sistematizaram o conhecimento sobre o método lógico para a fotointerpretação voltada para as ciências da Terra, desenvolvido por Guy (1966). Os autores dividem o processo de análise de imagens em três fases, sendo o primeiro a fotoleitura, que consiste em reconhecer e identificar os elementos presentes nas imagens, assim como associá-los aos objetos correspondentes e distribuí-los de forma adequada; a segunda fase é a fotoanálise, que envolve o estudo das relações entre as diferentes partes das imagens e sua organização, e, por fim, tem-se a fotointerpretação, que refere-se ao estudo das fotografias para descobrir e avaliar, utilizando métodos indutivos, dedutivos e comparativos, o significado, a função e a relação dos objetos representados nas imagens (Soares e Fiori, 1978).

Para análise dos elementos contidos na imagem no processo de fotoleitura, os autores apresentam os conceitos de textura e estrutura. Os elementos texturais são definidos como a menor superfície contínua e homogênea distinguível na imagem, têm forma e dimensão bem definidas e possuem a propriedade de repetição. Esses elementos se dispõem na superfície de acordo com um determinado padrão, que é a textura. A estrutura, por sua vez, é definida pela lei que define a organização dos elementos texturais. Os critérios apresentados por Soares e Fiori (1978) para a análise da rede de drenagem estão apresentados na Figura 2.7, e para a análise do relevo, na Figura 2.8.

A - DENSIDADE	B - SINUOSIDADE	C - ANGULARIDADE	D - TROPIA	E - ASSIMETRIA	F - FORMAS ANÔMALAS
			UNIDIRECIONAL 	FRACA 	
			BIDIRECIONAL 		
			TRIDIRECIONAL 	FORTE 	
			MULTIDIRECIONAL DESORDENADA 		
			ORDENADA 		

Figura 2.7: Propriedades da rede de drenagem.

Fonte: Soares e Fiori (1978).

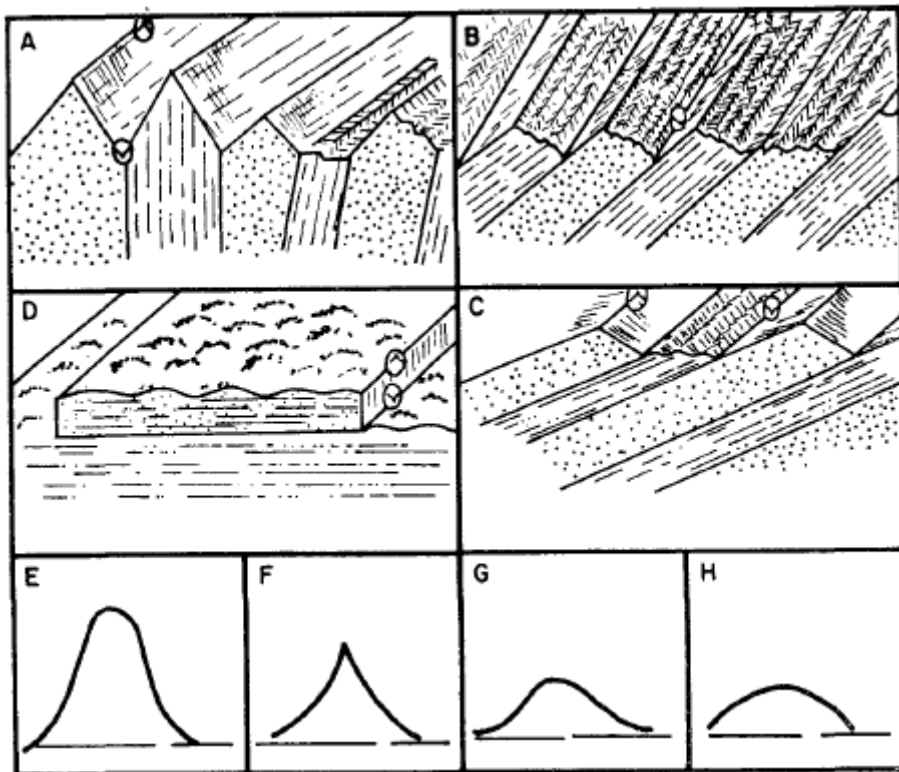


Figura 2.8: Formas de relevo e padrões de estrutura geológica e materiais diversos.

A) Densidade de textura de relevo alta e B) Baixa; Quebras positivas (^) e negativas (V);  
 Assimetria do relevo: A) Simétrico, B) Fracamente assimétrico, C) Moderadamente  
 assimétrico, D) Fortemente assimétrico; Tipo de encosta: (E) Côncavo-retilíneo-  
 convexa, (F) Côncava, (G) Côncavo-convexa e (H) Convexa.

Fonte: Soares e Fiori (1978).

Zaine (2000), utilizando o método do detalhamento progressivo elaborou cartas geotécnicas para a área urbana e de expansão urbana do Município de Rio Claro – SP. Oliveira (2018) afirma que Zaine (2000) e Zaine (2011) propuseram uma metodologia para a elaboração de mapeamentos geológico-geotécnicos utilizando técnicas de fotointerpretação, com base nos estudos de Soares e Fiori (1976). Zaine (2011) apresenta critérios para a análise da textura e do relevo.

### **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

Esta seção apresenta os materiais, os programas computacionais e o procedimento metodológico utilizado para a obtenção dos resultados apresentados nesta pesquisa.

#### **3.1. MATERIAIS**

Para a elaboração dos produtos apresentados nesta pesquisa foi utilizada a base cartográfica do Distrito Federal, na escala 1:10.000, disponibilizada no GeoPortal (IDE/DF, 2024). Dentre outros arquivos, a base cartográfica contém as curvas de nível espaçadas a cada 5 metros, utilizadas para a elaboração do Modelo Numérico de Terreno (MNT) de resolução espacial de 5 metros. Também se utilizou o MNT proveniente do *Shuttle Radar Topography Mission* – SRTM, que possui resolução espacial de aproximadamente 30 metros.

Além destes, foram utilizadas cartas temáticas da área de estudo: Geologia do Distrito Federal (Freitas-Silva e Campos, 1998), Geomorfologia do Distrito Federal (Campos, 2011) e Pedologia do Distrito Federal (Reatto *et al.*, 2004), todos estes na escala 1:100.000; e Geologia (IBGE, 2023a), Geomorfologia (IBGE, 2023b) e Pedologia (IBGE, 2023c), contemplando toda a área de estudo na escala 1:250.000. Também foi utilizada a série histórica de imagens do Google Earth Pro, bem como a ortofoto de alta resolução do ano de 2015, disponível no GeoPortal (IDE/DF, 2024).

#### **3.2. PROGRAMAS COMPUTACIONAIS UTILIZADOS**

O programa SPRING (Câmara *et al.*, 1996), versão 5.5.6, desenvolvido e disponibilizado pelo Instituto de Pesquisas Espaciais – INPE, foi utilizado para a elaboração do MNT do Distrito Federal e dos produtos derivados de ambos os MNT: hipsometria, declividade, curvatura das vertentes, relevo sombreado e orientação de vertentes.

O programa ArcGIS Pro versão 3.2.2, desenvolvido pela ESRI, foi utilizado para a visualização, geração, análise e integração de dados vetoriais e matriciais, sobretudo nas etapas de elaboração dos produtos de suscetibilidade a inundação e deslizamentos, bem como para a elaboração dos layouts apresentados nesta dissertação.

Também se utilizou a extensão TerraHidro, que permite o desenvolvimento de modelagens hidrológicas dentro do sistema TerraView versão 4.2.2. O programa foi desenvolvido pela Divisão de Processamento de Imagens (DPI) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e é disponibilizado gratuitamente. O TerraHidro foi utilizado para

a elaboração do modelo HAND, do inglês *Height Above Nearest Drainage*, produto necessário para o estudo de suscetibilidade à inundação.

Outro programa utilizado foi o Google Earth Pro, útil para a análise de séries históricas de imagens de satélite de alta resolução da área estudada. Sua utilização possibilitou o mapeamento de feições de interesse, cicatrizes de deslizamento presentes na área e feições associadas a processos erosivos, realizado para a elaboração do produto de suscetibilidade a deslizamentos. Também foi utilizado para a identificação de zonas homólogas, na compartimentação fisiográfica.

A elaboração de planilhas para geração e análise de informações, bem como organização de dados para a inserção em ambiente de Sistema de Informação Geográfica – SIG foi feita no programa Excel, da Microsoft.

### **3.3. DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

A área de estudo está contida na Unidade de Planejamento Territorial VII – Sul, prevista no Plano Diretor de Ordenamento Territorial do DF, envolvendo Regiões Administrativas situadas ao longo de um importante vetor de crescimento. Contém áreas destinadas à expansão urbana; zonas de contenção urbana e áreas de uso rural controlado, nas quais ocorrem elevadas declividades, presença de mananciais importantes e outras áreas de fragilidade ambiental, necessitando de controle no uso e ocupação do solo (GDF, 2009).

Diante das características da área, sobretudo por conter encostas de elevada declividade, faz-se importante a realização de estudos de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa, conforme as recomendações de Fell *et al.* (2008). Concomitante à presença de áreas declivosas, a área de estudo também possui regiões aplainadas que favorecem a ocorrência de alagamentos e inundações, justificando a elaboração de estudos de cunho hidrológico.

Além disso, por estar situada no limite entre o Distrito Federal e o Estado de Goiás, há uma disparidade entre os dados cartográficos existentes para a área, principalmente quando se trata sobre informações topográficas, as quais constituem a base para a elaboração dos produtos pretendidos neste estudo, possibilitando avaliar a influência da resolução dos MNT na confecção das cartas de suscetibilidade.

Dessa forma, a partir dos MNT, foram realizados os seguintes procedimentos: preenchimento de depressões, definição da grade de direção de fluxo e de fluxo acumulado, definição dos pontos de exutório dos rios Ponte Alta e Alagado e delimitação das suas respectivas bacias hidrográficas. Com a área de estudo definida, seguiu-se com o procedimento descrito a seguir.

A área de estudo sobre a qual se debruça esta pesquisa consiste na bacia hidrográfica do rio Ponte Alta, até o seu encontro com o Córrego Barriguda, e a bacia hidrográfica do rio Alagado, englobando a área de contribuição limitada pela confluência com o rio Ponte Alta. A área de 320,8 km<sup>2</sup> está localizada no limite entre o Distrito Federal - DF, onde as nascentes de ambos os rios se localizam, e o Estado de Goiás, compreendendo parcialmente as regiões administrativas Gama, Park Way, Recanto das Emas, Riacho Fundo 2, Samambaia e Santa Maria, e os municípios Novo Gama e Santo Antônio do Descoberto.

A área é limitada pelo retângulo envolvente de coordenada sudeste 48° 11' 54,567" O 16°06'34,770" S e coordenada nordeste 47° 59' 35,800" O 15° 52' 18,401" S. A Figura 3.1 apresenta a localização da área de estudo.

### **3.4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

Nesta subseção apresentam-se os procedimentos metodológicos seguidos para a elaboração dos produtos derivados dos Modelos Numéricos de Terreno e das cartas de suscetibilidade.

#### **3.4.1. ETAPA 1: ELABORAÇÃO DO MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO E DE CARTAS ANALÍTICAS**

Foram utilizados dois Modelos Numéricos de Terreno na elaboração desta pesquisa. Para cobrir toda a área de estudo, especialmente a porção localizada no Estado de Goiás, utilizou-se o MNT proveniente do *Shuttle Radar Topography Mission* – SRTM, que possui resolução espacial de aproximadamente 30 metros, correspondente à escala 1:50.000, com acurácia vertical de 16 metros (USGS, 2018).

Para a porção localizada no Distrito Federal, elaborou-se o MNT com resolução espacial de 5 metros, correspondente à escala 1:10.000, com acurácia vertical de 2,5 metros. As curvas de nível, disponibilizadas no GeoPortal, foram importadas para o programa SPRING e interpoladas utilizando a triangulação de Delaunay para formar uma Rede Triangular Irregular (TIN), sem linhas de quebra. A partir do TIN gerou-se a grade retangular, que foi suavizada com três iterações do filtro passa baixa, com matriz 5x5, a fim de remover as angulosidades provenientes da triangulação.

O mesmo procedimento foi empregado para elaborar o Modelo Numérico de Terreno Hidrológicamente Consistente (MNTHC), utilizando a hidrografia disponível na base cartográfica como linhas de quebra e, posteriormente, realizando o preenchimento das depressões no programa ArcGIS Pro.

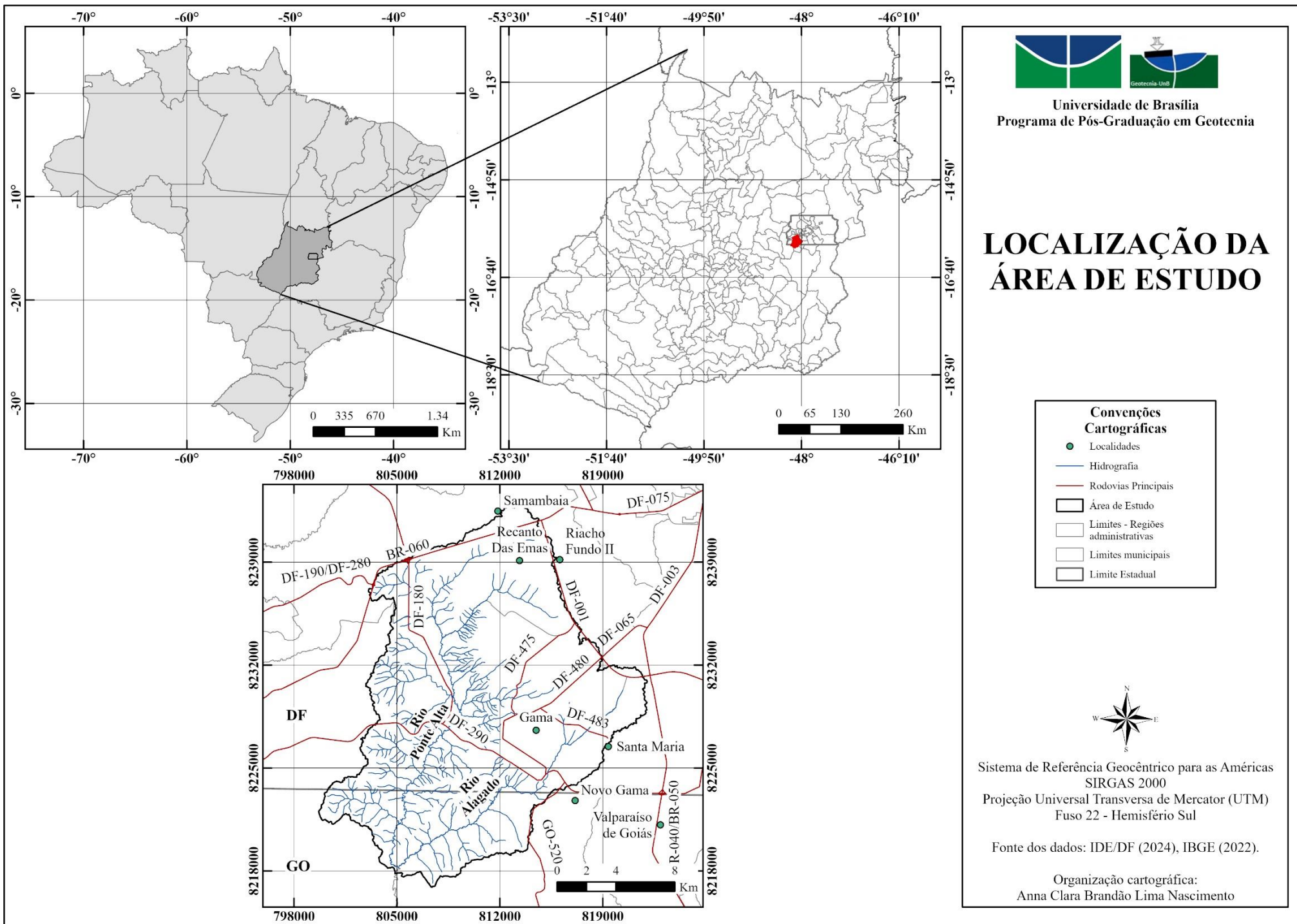


Figura 3.1: Mapa de localização da área de estudo.



#### **3.4.1.1. HIPSOMETRIA**

A hipsometria é a técnica de representação gráfica da altimetria do terreno em classes com cores variando em uma escala. A elaboração das cartas hipsométricas consistiu no fatiamento dos MNT em classes de 20 metros.

#### **3.4.1.2. DECLIVIDADE**

A declividade é a taxa de mudança de elevação do terreno em relação ao plano horizontal, consiste na primeira derivada do MNT na direção de maior inclinação. A declividade é um parâmetro relacionado a geomorfologia que se destaca como fator predisponente ao desenvolvimento de movimentos gravitacionais de massa e, portanto, deve ser considerado na análise de suscetibilidade a deslizamentos (Bitar *et al.*, 2014). Também é importante na identificação de áreas planas, sujeitas ao acúmulo de água e em estudos para ocupação do território, tendo em vista que o parcelamento do solo é proibido em áreas de declividade superior a 30% (Brasil, 1979).

As grades de declividade foram elaboradas no programa SPRING, a partir dos MNT, em porcentagem, e posteriormente fatiadas nos intervalos 0 a 2%, 2 a 5%, 5 a 8%, 8 a 15%, 15 a 30% e superior a 30%. A divisão de classes baseou-se no proposto por Silva e Carvalho (2006) e Oliveira (2018), com adaptações para a área estudada. Também foram elaboradas grades de declividade em graus, as quais foram fatiadas a cada 3 graus, para a realização das análises de suscetibilidade a deslizamentos.

#### **3.4.1.3. CURVATURA DAS VERTENTES**

As curvaturas plana e de perfil foram calculadas utilizando a plataforma “Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico” (LEGAL) do SPRING, de acordo com o método proposto por Zevenberg e Thorne (1987). Os planos de informação – PI foram fatiados utilizando as seguintes faixas: valores inferiores a -0,002 para curvaturas convergentes e côncavas, valores entre -0,002 e 0,002 para curvaturas planares ou retilíneas, e valores superiores a 0,002 para curvaturas divergentes e convexas. Após o fatiamento, foi feito o cruzamento entre os planos de informação, utilizando também o PI de declividade, conferindo a áreas de declividade inferior à 2% a classe horizontalizada. As formas de terreno obtidas com o cruzamento entre as curvaturas plana e de perfil são apresentadas na Figura 3.2.

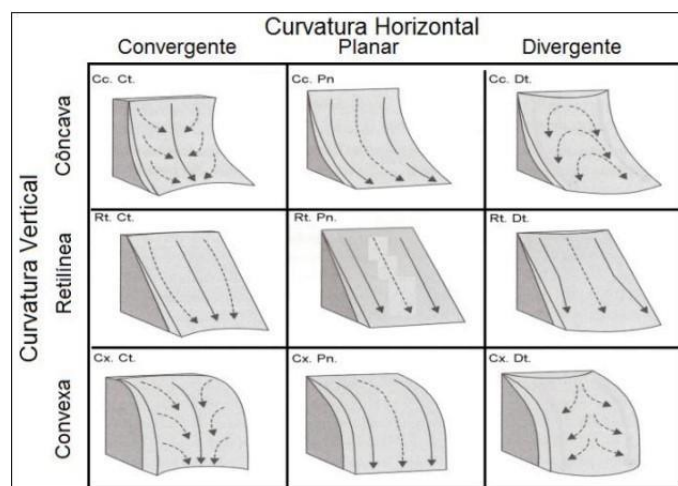


Figura 3.2: Formas de terreno obtidas com o cruzamento das curvaturas plana e de perfil.

Fonte: Nascimento *et al.* (2016).

#### 3.4.1.4. RELEVO SOMBREADO

Foram elaboradas três imagens de relevo sombreado no programa SPRING, a posição de iluminação foi definida pelos azimutes 135, 180, 225, elevação de 45 graus e exagero de relevo de 5 vezes. Uma composição colorida foi realizada com as três imagens, permitindo visualizar com clareza as quebras de relevo do terreno, possibilitando o mapeamento dos lineamentos estruturais e facilitando a identificação de zonas homólogas.

#### 3.4.1.5. EXPOSIÇÃO DE VERTENTES

A partir dos Modelos Numéricos de Terreno foram elaboradas as grades de orientação de vertentes, que representam a direção, ou o ângulo azimutal relacionado à variação da declividade. As grades foram fatiadas em oito classes temáticas nos seguintes intervalos: 337,5° a 22,5°, norte; 22,5° a 67,5°, nordeste; 67,5° a 112,5°, leste; 112,5° a 157,5°, sudeste; 157,5° a 202,5°, sul; 202,5° a 247,5°, sudoeste; 247,5° a 292,5°, oeste; 292,5° a 337,5°, noroeste.

### 3.4.2. ETAPA 2: ELABORAÇÃO DOS PRODUTOS DE SUSCETIBILIDADE À INUNDAÇÃO

O mapeamento de suscetibilidade à inundação baseia-se na proposta elaborada pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB – CPRM) em parceria com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) (Bitar *et al.*, 2014). A suscetibilidade à inundação associa-se às condições naturais do terreno que o tornam predisponente à elevação do nível d'água nos rios e córregos, que transbordam e inundam as planícies aluviais e os terraços fluviais. Os fatores naturais e

permanentes correspondem à geologia, topografia e morfologia das bacias hidrográficas. Outros fatores podem ser citados, sendo estes transitórios, como a taxa de precipitação e a saturação do solo, e mistos, relacionados ao tipo de ocupação do solo na área estudada.

O procedimento metodológico é dividido em três etapas, consiste na caracterização morfométrica das sub-bacias hidrográficas, elaboração do modelo HAND e integração das informações por meio de álgebra de mapas.

A primeira etapa consiste na extração da rede de drenagem, delimitação das sub-bacias de contribuição e caracterização morfométrica. No programa ArcGIS Pro, extraiu-se a rede de drenagem a partir dos MNT, conforme o procedimento proposto por O'Callaghan e Mark (1984). O processo foi precedido pelo preenchimento de depressões espúrias dos MNT. As depressões, ou *sinks*, correspondem a áreas rodeadas por valores de altimetria superiores e impedem a geração correta da grade de direção de fluxo. Assim, procedeu-se com a definição da direção de fluxo utilizando o algoritmo D8, que direciona o fluxo de cada célula para a célula vizinha, mais baixa e mais íngreme, e geração da grade de fluxo acumulado, que define o valor de cada célula a partir da soma da área das células contribuintes à montante, baseando-se na grade de direção de fluxo.

Com isso, foi feita a extração da rede de drenagem utilizando uma ferramenta condicional, em que se define um limiar de fluxo acumulado. Devido às diferentes características da rede de drenagem impostas pelas condições geológicas e geomorfológicas, a definição de um único limiar adequado para toda a área estudada é impraticável. Assim, optou-se por definir um valor que fosse representativo das áreas de maior densidade de drenagem, procedendo com ajustes e refinamento manual da hidrografia, concordante com a escala 1:25.000 para os dados contidos no Distrito Federal, e 1:50.000, proveniente do MNT SRTM. O refinamento consiste em ajustar a rede de drenagem extraída de maneira automática à hidrografia efetivamente existente, com base na de fotointerpretação de imagens. Assim, utilizou-se para isto as imagens disponíveis no Google Earth Pro e a ortofoto de alta resolução do ano de 2015, disponível no GeoPortal (IDE/DF, 2024).

Com a rede de drenagem extraída e segmentada, procedeu-se com a delimitação das sub-bacias de contribuição e extração dos parâmetros necessários para a caracterização morfométrica. De acordo com Bitar *et al.* (2014), os termos bacia e sub-bacia hidrográfica podem ser relativizados e dependem do ponto definido como exutório. Assim, os autores definem como critério a delimitação das sub-bacias tomando como base a ordem dos cursos d'água de acordo com Strahler (1957), a fim de se ter uma hierarquia e um mesmo contexto de referência para a análise das sub-bacias. Deve-se, inicialmente, adotar a delimitação para a

ordem n-2, sendo n a ordem do canal principal e, caso os resultados indiquem sub-bacias muito grandes, adotar a delimitação para a ordem n-3.

Apesar do critério estabelecido, decidiu-se por delimitar as sub-bacias dos tributários principais dos rios Ponte Alta e Alagado, apoiando-se nos estudos realizados por Pinto *et al.* (2016) e Bortolini *et al.* (2021) e com base na análise heurística da área de estudo. Dessa forma, os exutórios definidos são os mesmos em ambas as escalas de análise e não dependem da ordem dos cursos d'água. A adoção do critério estabelecido por Bitar *et al.* (2014) resultaria em sub-bacias diferentes em consequência do nível de detalhamento da rede de drenagem inerente à cada escala analisada, impossibilitando a comparação dos resultados.

Os parâmetros morfométricos calculados para as bacias hidrográficas são apresentados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Parâmetros e índices morfométricos selecionados, contendo referência, modo de cálculo e influência possível acerca da suscetibilidade a inundações. Fonte: Adaptado de Bitar *et al.* (2014).

Parâmetro / Índice	Cálculo	Influência
Área de Contribuição (Ac)	Extração automática em SIG.	Associa-se ao volume de água que atinge o rio principal. Quanto maior a Ac, maior tende a ser a suscetibilidade.
Relação de Relevo (Rr) (SCHUMM, 1956)	Relação entre a amplitude ( $\Delta a$ ) e comprimento do rio principal da sub-bacia (L). $Rr = \frac{\Delta a}{L}$	Indica a velocidade de escoamento. Quanto maior a Rr, mais rápido tende a ser o fluxo, reduzindo o acúmulo de água na sub-bacia.
Densidade de drenagem (Dd) HORTON (1945)	Relação entre o comprimento da drenagem (C) com a área da sub-bacia (A). $Dd = \frac{C}{A}$	Quanto maior a Dd, menor é a infiltração de água no solo e maior tende a ser a velocidade com que a água atinge o rio.
Índice de Circularidade (Ic) (MÜLLER, 1953)	Relação entre a área da sub-bacia (A) e a de um círculo de mesmo perímetro (ac). $Ic = \frac{A}{ac}$	Quanto maior é o Ic, maior tende a ser a retenção de água na sub-bacia, reduzindo a velocidade de chegada da água no rio.
Índice de Sinuosidade (Is) (SCHUMM, 1963)	Relação entre o comprimento do canal principal (L) com a distância vetorial entre os extremos do canal (dv). $Is = \frac{L}{dv}$	Quanto maior o Is, menor tende a ser a velocidade de escoamento e chegada da água no rio.

Após o cálculo dos índices supracitados, a Equação 3.1 é aplicada para a ponderação dos índices diretamente relacionados ao processo de inundação (Área de contribuição, Densidade de drenagem, Índice de circularidade e Índice de sinuosidade). O parâmetro Relação de relevo possui relação inversamente proporcional ao processo analisado, portanto, para a ponderação deste aplica-se a Equação 3.2. Em ambas, GS é o grau de suscetibilidade, X é o valor do parâmetro/índice morfométrico a ser avaliado para cada sub-bacia, X<sub>mín</sub> e X<sub>máx</sub> são os valores mínimos e máximo dos parâmetros/índices morfométricos entre todas as sub-bacias, respectivamente.

$$GS = \frac{4(X - X_{mín})}{(X_{máx} - X_{mín})} + 1 \quad \text{Equação 3.1}$$

$$GS = \frac{4(X - X_{mín})}{(X_{min} - X_{max})} + 1 \quad \text{Equação 3.2}$$

A partir disto, realiza-se a soma dos índices padronizados para cada sub-bacia e aplica-se a Equação 3.3, que fornece o grau de suscetibilidade final (GS<sub>f</sub>) de cada sub-bacia relativo à análise morfométrica. O GS<sub>f</sub> varia de 1 a 3, sendo 1 = baixa suscetibilidade, 2 = média suscetibilidade e 3 = alta suscetibilidade. Na equação, Y é o valor da soma dos parâmetros/índices em cada sub-bacia, Y<sub>mín</sub> e Y<sub>máx</sub> são os valores mínimo e máximo da soma dos parâmetros/índices entre todas as sub-bacias, respectivamente.

$$GS_f = \frac{2(Y - Y_{mín})}{(Y_{máx} - X_{mín})} + 1 \quad \text{Equação 3.3}$$

O GS<sub>f</sub> trata-se de um valor relativo entre as sub-bacias analisadas, desta forma, a aplicação das equações foi feita considerando as sub-bacias de contribuição dos cursos d'água de mesma ordem.

A segunda etapa consiste na elaboração do modelo *Height Above Nearest Drainage* (HAND), ou altura vertical acima da drenagem mais próxima. O modelo HAND foi idealizado por Nobre *et al.* (2011), consiste em uma versão de um MNT que normaliza a topografia pela rede de drenagem, possibilitando inferências sobre processos de fluxo e acumulação de água no solo. O algoritmo HAND define como referência à altura relativa da rede de drenagem mais próxima, possibilitando a classificação de áreas suscetíveis à inundação (Momo *et al.*, 2016). O procedimento de elaboração do modelo é descrito detalhadamente em Nobre *et al.* (2011).

A geração do modelo HAND também implica na definição de um limiar para a extração da rede de drenagem e, assim como na etapa anterior, não foi possível definir um único limiar representativo para toda a área analisada. Como a geração do modelo acontece de forma automatizada com base na direção do fluxo e da rede de drenagem extraída pelo programa, diferentemente da solução adotada na etapa anterior, foi definido um valor de fluxo acumulado adequado para a representação dos cursos d'água principais, uma vez que a adoção de um valor representativo das áreas de maior densidade de drenagem acarreta a geração de canais de drenagem inexistentes nas áreas de relevo plano, conduzindo a uma análise equivocada. Assim, o modelo HAND foi gerado na extensão de modelagem hidrológica TerraViewHidro, versão 0.4.4, utilizando o MNTHC.

De acordo com Bitar *et al.* (2014), o modelo HAND deve ser fatiado em três classes de suscetibilidade com base nas condições geomorfológicas e pedológicas, conforme se apresenta na Figura 3.3. A classe de alta suscetibilidade deve englobar o leito do rio e a planície aluvial atual até o início do baixo terraço, para a área entre o início do baixo terraço e o início do alto terraço atribui-se a classe de média suscetibilidade e a partir do alto terraço tem-se a classe de baixa suscetibilidade.

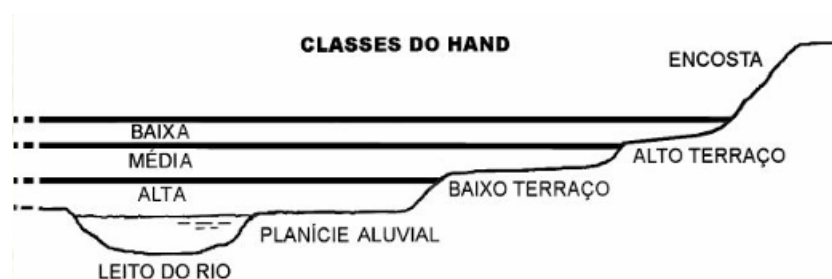


Figura 3.3: Fatiamento do modelo HAND em planícies e terraços fluviais.

Fonte: Bitar *et al.* (2014).

Nesse sentido, os intervalos para a delimitação das classes de fatiamento foram definidos pela análise de perfis de elevação ao longo de trechos dos cursos d'água principais no Google Earth Pro, a exemplo da Figura 3.4. Nesta pesquisa, o produto foi reclassificado para quatro classes de suscetibilidade ao invés de apenas três. Para o intervalo de 0 a 2 metros de altura vertical atribuiu-se a classe alta suscetibilidade; de 2 a 5 metros foi atribuída a classe média suscetibilidade, e de 5 a 10 metros, baixa suscetibilidade. Ainda, foi acrescentada a classe de suscetibilidade nula, não prevista por Bitar *et al.* (2014), para alturas verticais superiores a

10 metros. Os intervalos adotados para as classes de alta e média suscetibilidade concordam com a carta de suscetibilidade elaborada para o Distrito Federal por SGB/CPRM (2023).

A última etapa consistiu na integração do grau de suscetibilidade relativo à avaliação morfométrica das sub-bacias de contribuição e do grau de suscetibilidade resultante do fatiamento do modelo HAND, por meio de álgebra de mapas com operação de lógica booleana. A recomendação de Bitar *et al.* (2014) é que a integração seja feita entre as classes de suscetibilidade e se proceda com o recorte para as áreas definidas como planícies e terraços fluviais. Nesta pesquisa, em vez de delimitar os padrões de relevo<sup>1</sup>, a integração foi feita dentro das classes de suscetibilidade definidas para o modelo HAND, conforme a Tabela 3.2.

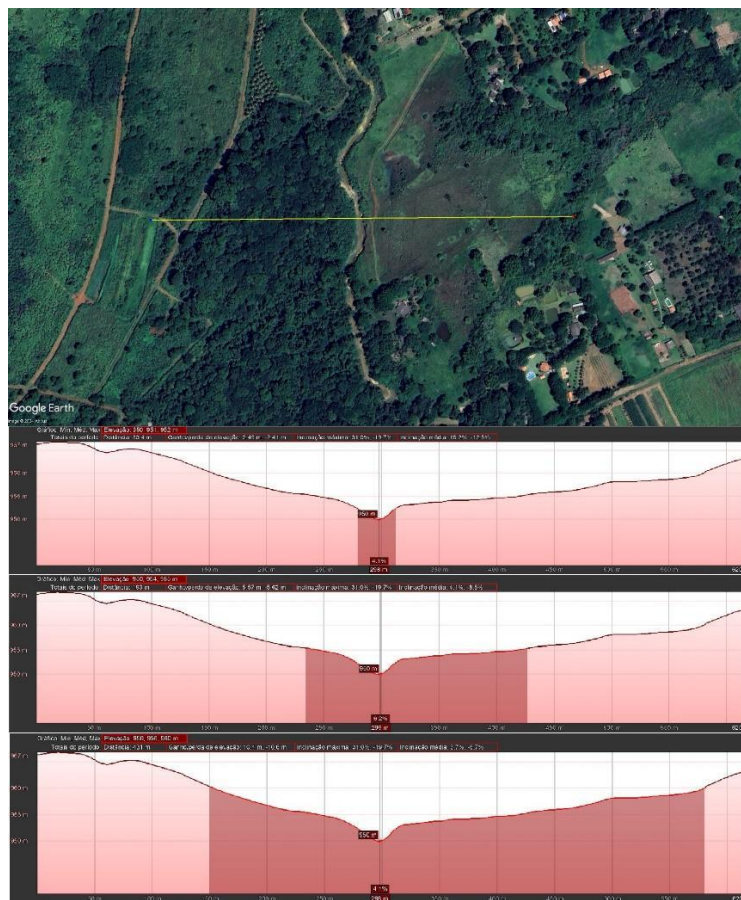


Figura 3.4: Perfil de elevação em seção do curso do rio Ponte Alta com destaque das zonas que abrangem as elevações de 2m, 5m e 10m.

<sup>1</sup> Os mapeamentos de suscetibilidade feitos pelo SGB/CPRM incluem a elaboração de uma carta de padrões de relevo, cuja confecção baseia-se em fotointerpretação e em subprodutos derivados de Modelos Numéricos de Terreno. Dentre os diferentes padrões tem-se as Planícies de Inundação (várzeas), que correspondem a áreas planas, de amplitude de relevo igual a zero e declividade entre 0 e 3 graus, e os Terraços Fluviais, com amplitude entre 2 e 20 metros e declividade também entre 0 e 3 graus. A biblioteca de padrões de relevo pode ser consultada em DANTAS (2010).

Tabela 3.2: Matriz de correlação entre as suscetibilidades obtidas pelos índices morfométricos e modelo HAND. Fonte: Adaptado de Bitar *et al.* (2014).

		Modelo HAND			
		Alta	Média	Baixa	Nula
Índices Morfométricos	Alta	Alta	Alta	Média	Nula
	Média	Alta	Média	Baixa	Nula
	Baixa	Média	Baixa	Baixa	Nula

### 3.4.3. ETAPA 3: ELABORAÇÃO DOS PRODUTOS DE SUSCETIBILIDADE A FENÔMENOS GEODINÂMICOS

Assim como o mapeamento de suscetibilidade à inundação, a elaboração das cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa baseou-se no procedimento descrito na nota técnica elaborada pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB – CPRM) em parceria com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) (Bitar *et al.*, 2014). Também foi utilizado como referência o trabalho de Stabile *et al.* (2013).

A metodologia é de cunho estatístico e está apoiada no pressuposto de que áreas já afetadas por deslizamentos são propensas a novas ocorrências. Do mesmo modo, áreas com características geológicas e geomorfológicas semelhantes são igualmente suscetíveis (Fell *et al.*, 2008). De acordo com Guzzetti *et al.* (1999), esse tipo de abordagem metodológica se estabelece a partir das relações observadas entre a distribuição espacial dos deslizamentos e os fatores condicionantes.

O procedimento é composto por cinco etapas e envolve a definição de uma área piloto, o mapeamento de cicatrizes de deslizamento, dos fatores condicionantes, o cálculo da correlação entre a disposição espacial das cicatrizes e dos fatores condicionantes e a espacialização dos resultados.

A primeira etapa consiste na seleção da área piloto. De acordo com Stabile *et al.* (2013) e Bitar *et al.* (2014), a seleção da área piloto deve considerar a presença de grande número de cicatrizes mapeáveis e a semelhança das unidades morfoesculturais para fins de representatividade do mapeamento e possibilidade de extrapolar o resultado para as áreas situadas dentro do mesmo contexto. Neste trabalho, o limite da área piloto foi definido com base na unidade geomorfológica Rampa Íngreme (Martins *et al.*, 2004), contida no Distrito Federal, considerando também as características de declividade e de curvatura da área. A área definida como área piloto está apresentada na Figura 3.5.



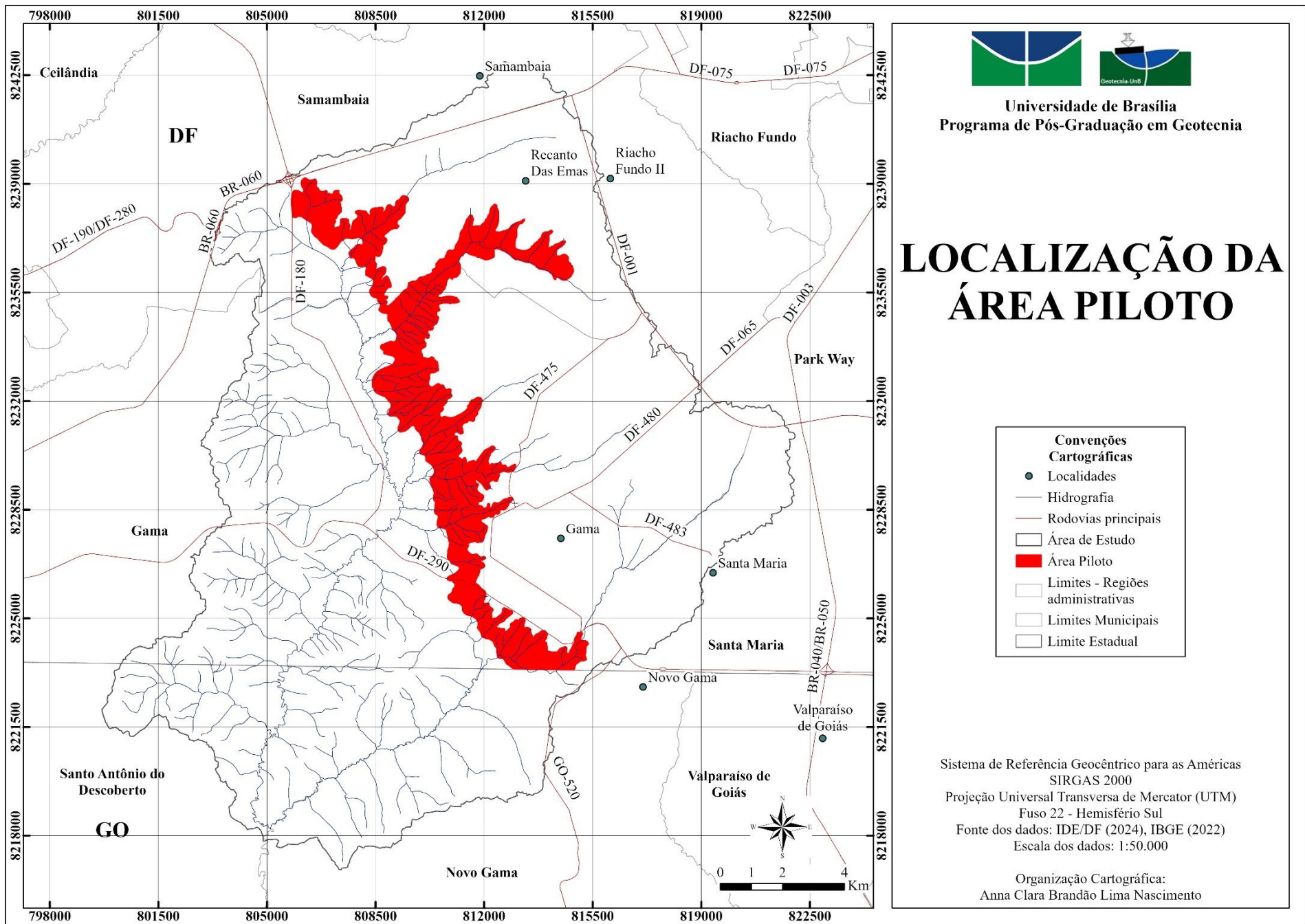


Figura 3.5: Localização da área piloto.

Em seguida procedeu-se com o mapeamento das cicatrizes de deslizamento. Esta etapa consistiu em vetorizar manualmente as cicatrizes de deslizamentos, analisando não somente a área piloto, mas toda a área estudada. Para isso, utilizou-se da série histórica de imagens disponíveis no Google Earth Pro, no intervalo temporal compreendido entre os anos de 2003 e 2024. A análise das imagens para a identificação e vetorização das feições características baseou-se principalmente nas diferenças tonais apresentadas pelas encostas antes e após a deflagração do movimento de massa. A Figura 3.6 apresenta algumas das cicatrizes mapeadas na área piloto.

Barella (2016) explica que a identificação de cicatrizes perpassa pela análise combinada de fatores como textura, padrão, tonalidade e cor, relacionadas com mudanças na morfologia das encostas, no padrão de vegetação e condições de drenagem. Além disso, ressalta que as alterações de textura e tonalidade decorrentes das variações dos padrões de drenagem e de vegetação são identificadas facilmente.

Destaca-se que o mapeamento das cicatrizes foi realizado com polígonos, os quais foram vetorizados de modo a cobrir preferencialmente a área da ruptura, mas podendo englobar a área de arraste e deposição do material quando as imagens utilizadas não permitiram a identificação dos limites entre essas áreas.

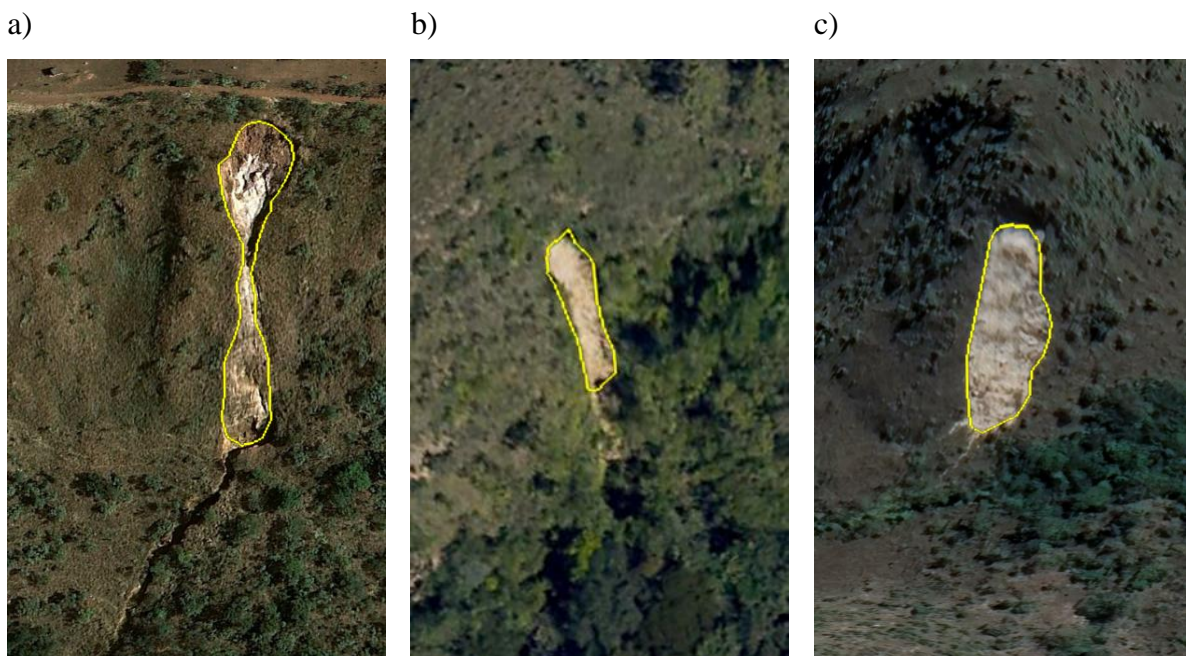


Figura 3.6: Cicatrizes em encostas de alta declividade na área de estudo, nas regiões administrativas Recanto das Emas e Gama.

Na terceira etapa foi feito o mapeamento dos fatores condicionantes. Os fatores condicionantes considerados por Bitar *et al.* (2014) e Stabile *et al.*, (2013) são a declividade, a curvatura das vertentes e a densidade de lineamentos estruturais.

A declividade é o parâmetro de maior importância nos estudos de suscetibilidade e elaboração de modelos de previsão a deslizamentos (van Westen *et al.*, 2009). É um produto derivado diretamente do MNT, que reflete características geomorfológicas do terreno (Stabile *et al.*, 2013). De acordo com Bitar *et al.* (2014), os parâmetros analisados devem ser divididos na maior quantidade de classes possível, com representatividade espacial e significado geológico-geomorfológico na área estudada. Desta forma, no programa SPRING foi elaborada a grade de declividade em graus e decidiu-se por realizar o fatiamento com passo fixo a cada 3 graus.

O PI de formas de terreno utilizado também foi elaborado no SPRING, conforme procedimento descrito anteriormente. A combinação das curvaturas plana e de perfil, e do PI de declividade, resultou em um plano de informação composto por 10 classes. As curvaturas côncavas do relevo, também conhecidas como *hollows*, constituem áreas de convergência de fluxo na superfície e em subsuperfície. Por esse motivo, estão relacionadas às condições de saturação do solo e aumento dos níveis de poropressão, conseqüentemente, influenciam fortemente o desenvolvimento de movimentos de massa (Fernandes *et al.*, 2001).

Os lineamentos estruturais, por sua vez, foram mapeados manualmente, com auxílio das imagens de relevo sombreado e da ortofoto de alta resolução do ano de 2015, disponível no GeoPortal (IDE/DF, 2024). O mapeamento foi feito nas escalas fixas de 1:25.000, para o MNT do Distrito Federal, e 1:50.000, para os MNT SRTM, no programa ArcGIS Pro. O mapeamento baseou-se nos conceitos de fotointerpretação apresentados em Soares e Fiori (1978) e nos critérios e métodos visuais para a extração de lineamentos apresentados em Liu (1984).

Os critérios apresentados por Liu (1984) referem-se as expressões topográficas retilíneas do relevo, como cristas alinhadas, vales e trechos de rios retilíneos e linhas de escarpas. Dentre os métodos visuais, o autor destaca o realce por sombreado de imagens de radar, utilizando diferentes direções de iluminação, o que permite a extração de informações geomorfológicas e geológicas.

Para a obtenção da densidade de lineamentos utilizou-se a ferramenta Densidade de Kernel, utilizando um raio de influência de 500 metros, definido como mais representativo para a área estudada. A densidade de lineamentos, em km/km<sup>2</sup>, foi reclassificada em cinco classes; 0, 0-2, 2-4, 4-8 e >8.

A quarta etapa consiste no cálculo da correlação entre os deslizamentos e os fatores condicionantes para avaliar a relação entre a disposição das cicatrizes e os fatores avaliados dentro da área piloto. Inicialmente, calcula-se a densidade de cicatrizes contida em cada classe de cada um dos fatores predisponentes, utilizando a Equação 3.4, em que  $D$  é a densidade de cicatrizes em cada classe,  $A_d$  é a área afetada por deslizamentos na classe e  $A_t$  é a área total da classe. O índice  $i$  relaciona-se a cada classe do fator predisponente  $j$  analisado.

$$D_{ij} = \frac{A_{d_{ij}}}{A_{t_{ij}}} \quad \text{Equação 3.4}$$

Em seguida, foi calculada a densidade normalizada, dividindo as densidades obtidas pela equação anterior pela densidade média de deslizamentos contida na área piloto, conforme a Equação 3.5, em que  $D_n$  é a densidade normalizada e  $D_t$  é a densidade média de deslizamentos contida na área piloto. Novamente, o índice  $i$  relaciona-se a cada classe do fator predisponente  $j$  analisado.

$$D_{n_{ij}} = \frac{D_{ij}}{D_t} \quad \text{Equação 3.5}$$

O Índice de Suscetibilidade a Deslizamentos (ISD) é definido pelo logaritmo da Densidade Normalizada (Yin e Yan, 1988, citado por Zêzere, 2002), conforme a Equação 3.6. Valores negativos de ISD representam classes que não são importantes para o desenvolvimento de deslizamentos. O índice  $i$  relaciona-se a cada classe do fator predisponente  $j$  analisado.

$$ISD_{ij} = \log (D_{n_{ij}}) \quad \text{Equação 3.6}$$

Assim é feita a espacialização dos resultados. Após o cálculo do ISD, o valor correspondente a cada classe foi utilizado para a reclassificação dos fatores predisponentes considerados, ou seja, cada classe dos produtos de declividade, curvatura e densidade de lineamentos assume o valor correspondente ao ISD calculado. Com isso, procedeu-se com a álgebra de mapas mediante a soma dos planos de informação e a definição do zoneamento de suscetibilidade. Conforme Bitar *et al.* (2014), a classe de alta suscetibilidade deve ser delimitada englobando aproximadamente 90% da área que contém deslizamentos, a classe de média suscetibilidade deve englobar os 10% restantes e a classe de baixa suscetibilidade deve

representar as áreas nas quais a suscetibilidade é desprezível, ou seja, nula. Após a espacialização, foram eliminados os polígonos de área desprezível, sem relevância para o zoneamento de suscetibilidade.

#### **3.4.4. ETAPA 4: DELIMITAÇÃO DE ZONAS HOMÓLOGAS**

A compartimentação fisiográfica da área de estudo baseou-se nos princípios de fotointerpretação propostos por Soares e Fiori (1976). Para a delimitação das unidades homólogas na escala 1:25.000 foram analisadas imagens de sensoriamento remoto do Google Earth disponíveis para a área de estudo. Também foram considerados os planos de informação de hipsometria, declividade, formas de terreno e relevo sombreado para a definição dos limites.

A partir da fotointerpretação das imagens de relevo sombreado e das imagens do Google Earth Pro, foram identificadas as quebras positivas e negativas do relevo, bem como os padrões exibidos pelo relevo (Figura 2.8) e pela rede de drenagem (Figura 2.7). Nas regiões acidentadas, sobretudo nas áreas de relevo escarpado, as quebras de relevo foram suficientes para a definição dos limites das unidades homólogas. Em contrapartida, nas regiões de relevo ondulado e plano onde não há quebras de relevo ou estas não estão bem definidas, como nas proximidades de alguns cursos d'água, onde a declividade varia suavemente das margens até o leito do rio, foram analisados os planos de informação de hipsometria, declividade e formas de relevo a fim de definir os limites das unidades.

## **4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

Esta seção se destina a caracterizar o meio físico no qual a área de estudo está inserida. Para isso, descrevem-se os aspectos relacionados à geologia, geomorfologia, pedologia e áreas de preservação.

### **4.1. TOPOGRAFIA**

A elaboração dos produtos cartográficos apresentados neste estudo baseou-se fundamentalmente em dados derivados dos Modelos Numéricos de Terreno. Assim, apresenta-se inicialmente a topografia da área de estudo, utilizando para isso as curvas de nível. A Figura 4.1 apresenta as curvas de nível (25 metros) e as curvas de nível mestras (125 metros) derivadas dos dados SRTM (USGS, 2014), em escala 1:50.000. A Figura 4.2 refere-se às curvas de nível mestras (25 metros) contidas na base cartográfica do Distrito Federal (IDE/DF, 2024), em escala 1:10.000.

A topografia tem seus padrões refletidos nas unidades geomorfológicas apresentadas na seção 3.3. Embora possuam resoluções diferentes, o distanciamento entre as curvas de nível em ambas as figuras evidencia o relevo aplainado na porção leste e no extremo oeste da área de estudo, e ao longo das margens do rio Ponte Alta e Alagado. Em contrapartida, a proximidade das curvas revela uma área de elevada declividade na porção central, posicionada no sentido noroeste-sudeste e ao longo de toda a extensão oeste da bacia hidrográfica.

### **4.2. GEOLOGIA**

O conhecimento a respeito do substrato geológico é a base para os estudos sobre o meio físico. A geologia condiciona a evolução das formas de relevo, as características e a composição dos solos e a natureza dos processos erosivos, bem como aspectos relacionados à distribuição das águas superficiais e subterrâneas (Freitas-Silva e Campos, 1998).

As unidades geológicas sobre as quais situa-se a área de estudo são identificadas por IBGE (2023a), conforme apresentado na Figura 4.3. A unidade denominada Cobertura Detrito-Laterítica Paleogênica corresponde a um depósito inconsolidado, que apresenta superficialmente solo classificado como latossolo, sua espessura pode chegar a 30 metros (IBGE, 1990). Pertencente ao Grupo Paranoá, tem-se a Unidade Siltico-Ardosiana (MPpa2), que possui metassiltitos argilosos, por vezes carbonosos. Apresentam-se em intercalações em litofácies siltica e ardosiana, quartzito fino, metassiltito, filito, ardósia e mármore. Deste mesmo Grupo, a Unidade Rítmica Quartzítica Intermediária (MPpa3) apresenta quartzito fino a muito

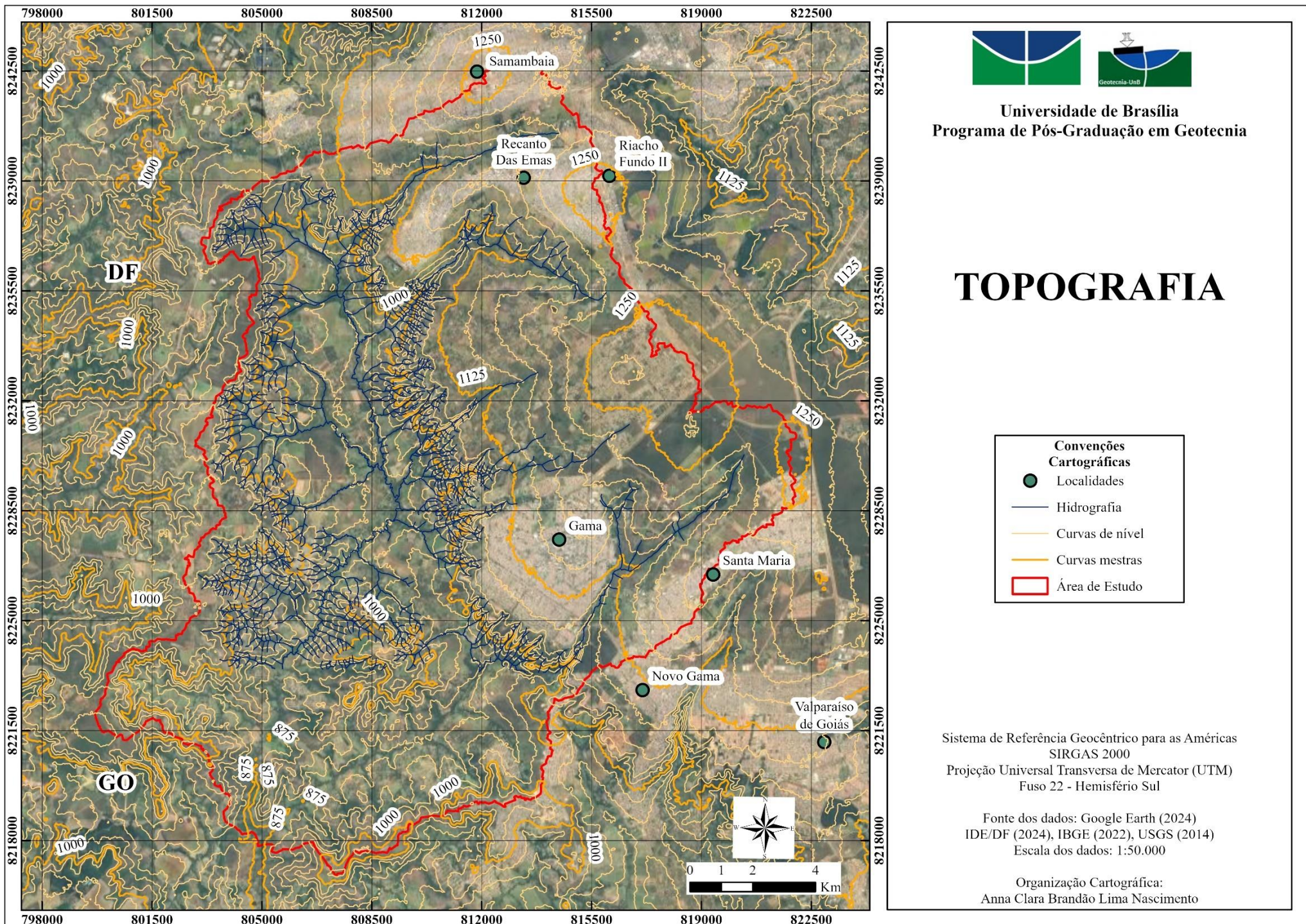


Figura 4.1: Topografia da área de estudo derivada dos dados SRTM, curvas de nível (25m) e curvas mestras (125m) em escala 1:50.000.

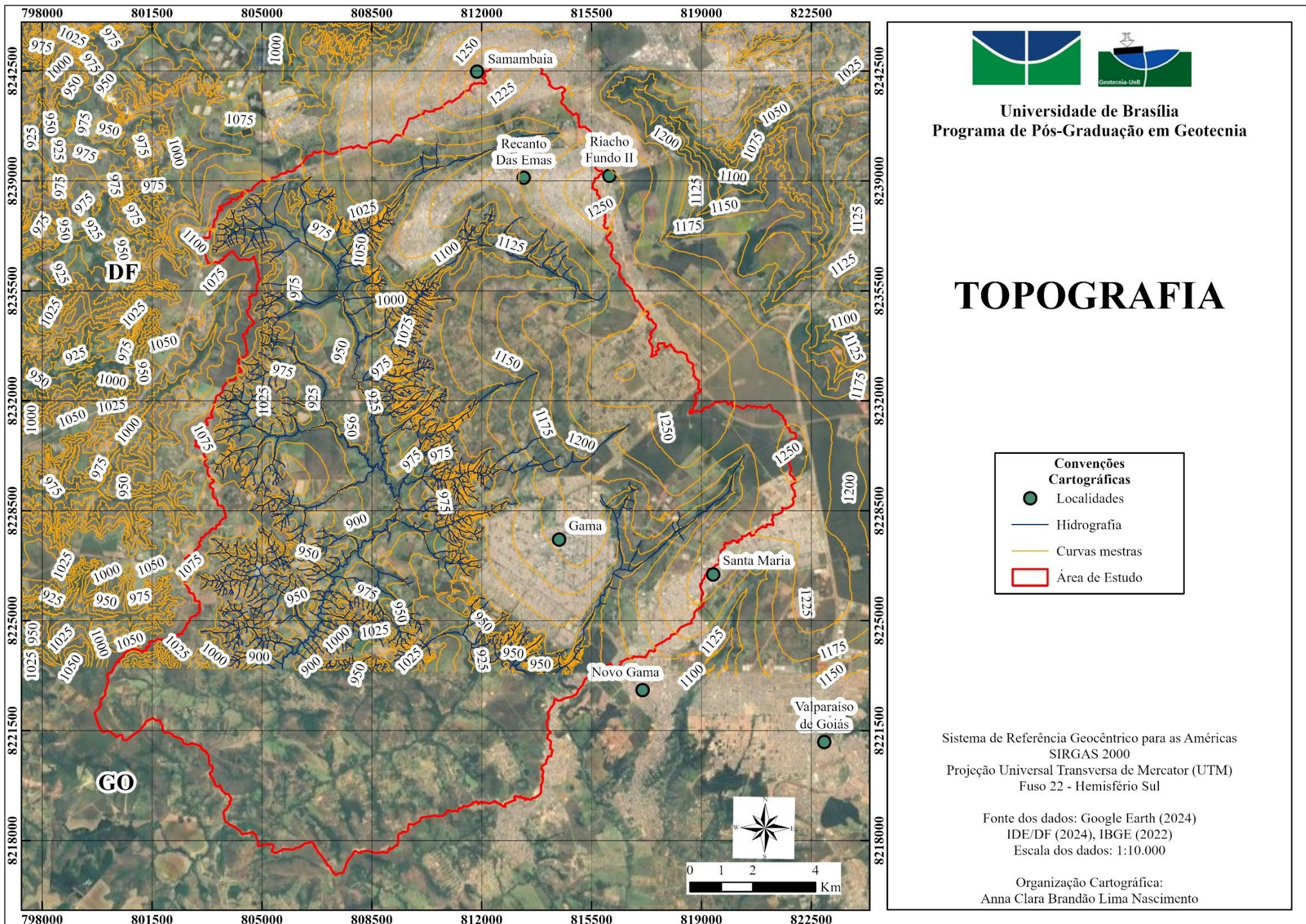


Figura 4.2: Topografia da área de estudo contida no Distrito Federal, curvas de nível mestras (25m) em escala 1:10.000.



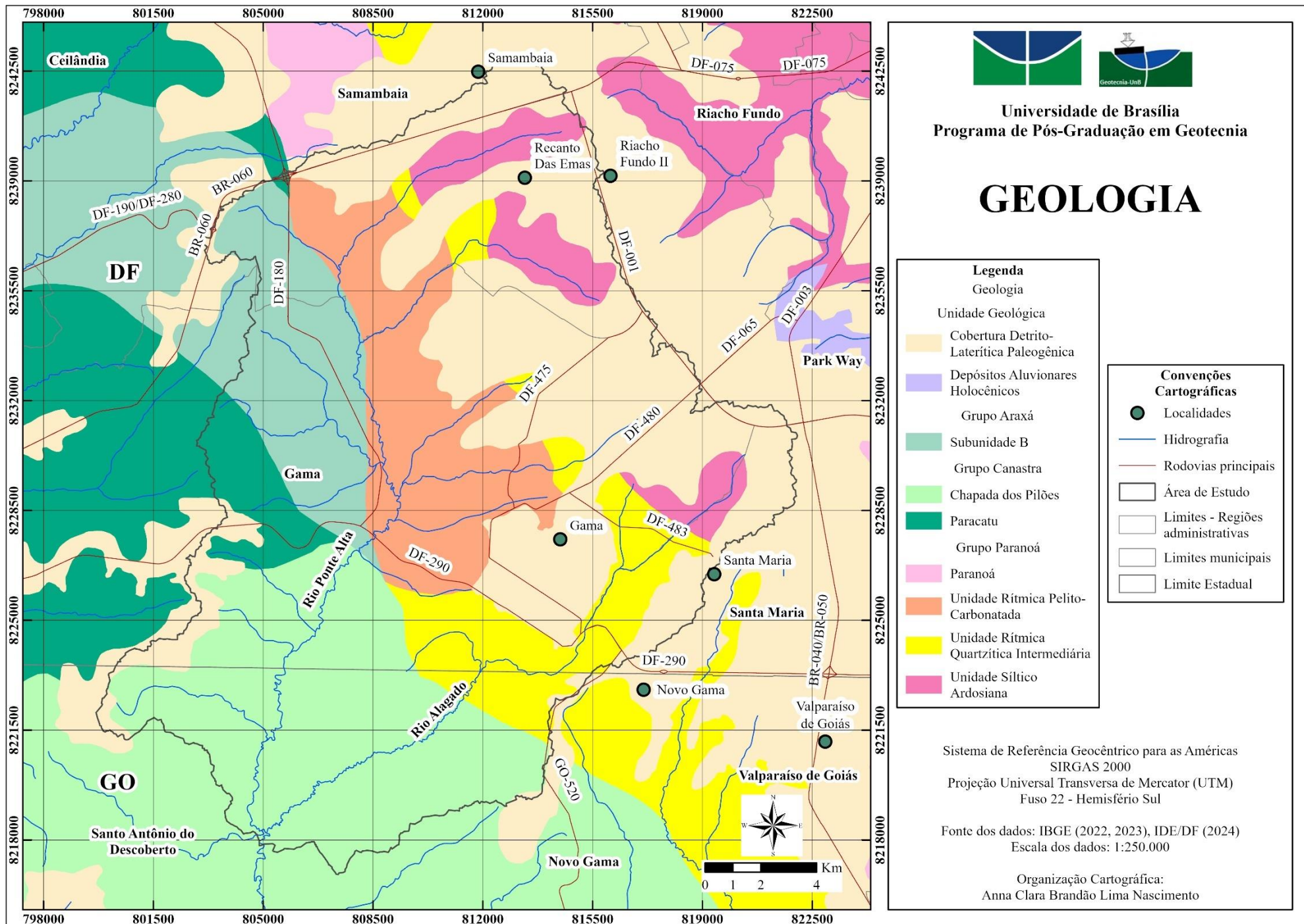


Figura 4.3: Mapa geológico da área de estudo, na escala 1:250.000.  
Fonte: IBGE (2023).

fino em sua base e evolui para filito carbonoso, argilitos amarelos ou vermelhos e metassiltitos alternados. Também a Unidade Rítmica Pelito-Carbonatada (MPpa4), que compreende “metargilitos, ardósias, metassiltitos vermelhos, brancos e amarelados, filitos carbonosos rítmicos, calcixistos e quartzitos feldpáticos finos a médios” (CPRM/SIC, 2008).

Dentro do Grupo Canastra, estão presentes na área de estudo as Formações Paracatu (MPp) e Chapada dos Pilões (MPcp). A Formação Paracatu é composta por quartzo-sericita-clorita xistos, que podem ser carbonosos, apresentam lentes e níveis variando entre centímetros e metros de ortoquartzito branco. A Formação Chapada dos Pilões apresenta duas litofácies, uma constituída de quartzo-sericita-clorita xistos com quartzitos micáceos e lentes de mármore em intercalações estreitas, e calcixisto. Na segunda litofácie predominam ortoquartzitos com intercalações de quartzo-sericita-clorita xistos e lentes de quartzito (CPRM/SIC, 2008).

Também se apresenta na área de estudo a Subunidade B do Grupo Araxá, a qual compõem-se “de quartzitos e granada-muscovita-biotita xistos, granada-clorita-muscovita xistos localmente piritosos, calci-clorita-biotita xistos por vezes feldpáticos, calci-granada-clorita xistos e intercalações de hornblenda-granada-xisto feldspático, grafita xisto e lentes de calcário e quartzitos micáceos” (CPRM/SIC, 2008).

Um mapeamento geológico em escala 1:100.000 foi realizado para o Distrito Federal por Freitas-Silva e Campos (1998). Em sua área ocorrem quatro conjuntos litológicos, os grupos Canastra (15% da área do DF), Paranoá (65%), Araxá (5%) e Bambuí (15%). Em um contexto regional, o Distrito Federal está inserido na Zona Externa da Faixa Brasília. A Faixa de dobramentos Brasília compõe a Província Estrutural do Tocantins, junto com as faixas Paraguai e Araguaia (Kumaira, 2016). A porção da área de estudo contida no território do Distrito Federal está situada sobre unidades que compõem os grupos Paranoá e Araxá, conforme apresentado na Figura 4.4.

De acordo com Freitas Silva e Campos (1998), o Grupo Paranoá é a unidade geológica mais importante no âmbito do Distrito Federal, devido a sua extensão e por concentrar muitas áreas urbanizadas. Esse Grupo corresponde a uma sequência psamo-pelito-carbonatada depositada em condições plataformais, com idade Meso-Neoproterozóica, entre 950 e 1350 milhões de anos (Freitas-Silva e Campos, 1998; Campos *et.al.*, 2013).

A estratigrafia do Grupo Paranoá foi inicialmente proposta por Faria (1995), que utilizou letras-código para denominar as 11 unidades do Grupo, partindo da base em direção ao topo. Campos *et al.* (2013) formalizaram as unidades e atribuíram outra denominação às formações. A área de estudo contém as formações Córrego do Sansão (MNPpacs), Ribeirão Contagem (MNPparc) e Serra da Meia Noite (MNPpasmn). A Formação Córrego do Sansão (MNPpacs),

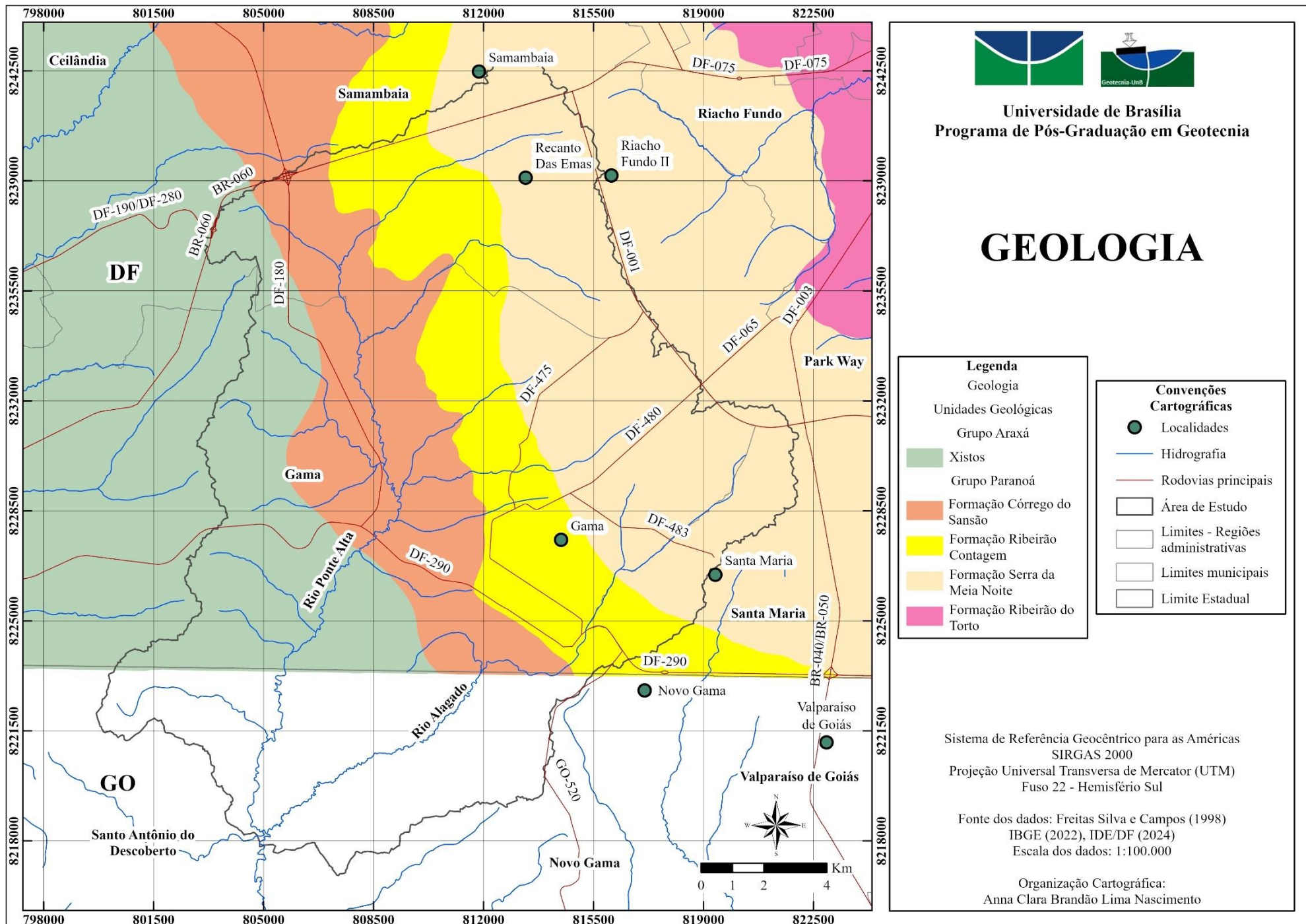


Figura 4.4: Mapa geológico da área de estudo contida no Distrito Federal, na escala 1:100.000.  
Fonte: Freitas-Silva e Campos (1998).

anteriormente denominada unidade R<sub>4</sub>, é representada por metarritmitos argilosos homogêneos, com camadas intercaladas regulares de metassiltitos, metalamitos e quartzitos finos rosados a avermelhados. Essa unidade tem espessura de 100 a 150 m (Campos *et al.*, 2013).

A Formação Ribeirão Contagem (MNPparc), anteriormente denominada unidade Q3, sustenta as áreas de chapadas elevadas do DF e caracteriza-se pela presença de quartzitos finos a médios, de coloração variando entre branco e cinza claro. A unidade apresenta intensa silicificação o que lhe atribui o aspecto maciço. Nas proximidades da base e do topo ocorrem lentes de metarritmitos com espessuras variando entre decímetros e 10 metros (Campos *et al.*, 2013).

A Formação Serra da Meia Noite (MNPpsmn), antiga unidade R3, corresponde a alternâncias de estratos centimétricos a métricos de quartzitos finos à médios com níveis geralmente mais delgados de metassiltitos argilosos, metalamitos siltosos e metalamitos micáceos. Próximo à base e ao topo desta formação observa-se a presença de duas camadas de quartzito com coloração branca/ocre, granulação fina à média e espessura entre 8 e 20 m (Campos *et al.*, 2013). A Figura 4.5 apresenta o trecho da coluna estratigráfica com as formações contidas na área de estudo.

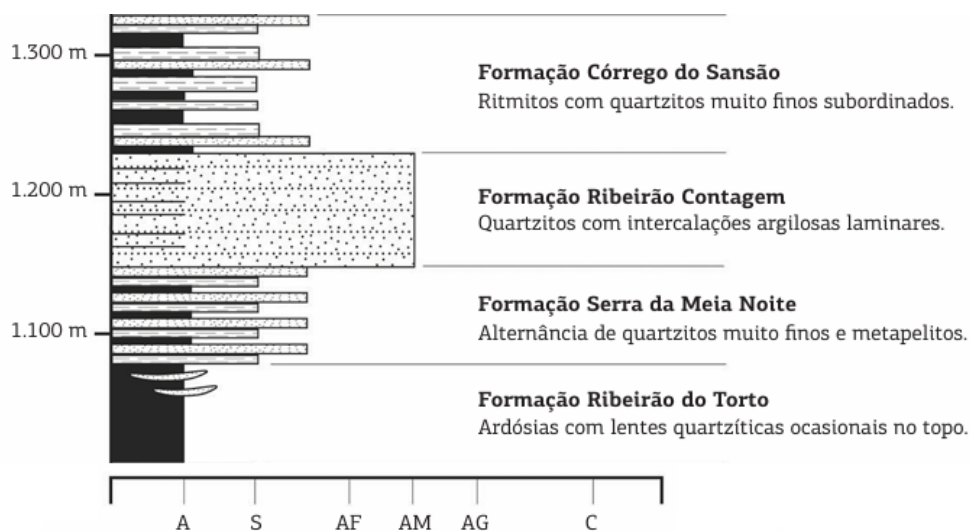


Figura 4.5: Trecho da coluna estratigráfica do Grupo Paranoá na área tipo de Alto Paraíso de Goiás/Distrito Federal com as formações apresentadas na Figura 3.4.

(A: Argila, S: Silte, AF: Areia Fina, AM: Areia Média, AG: Areia Grossa, C: Cascalho).

(Modificada de Campos *et al.*, 2013).

Por sua vez, o Grupo Araxá ocorre no extremo sudoeste do DF, é composto por um conjunto de xistos verdes, micaxistos e subordinadamente de quartzitos, de idade

Neoproterozóica (Freitas-Silva e Campos, 1998; Martins *et al.*, 2004). Sua coluna estratigráfica inicia-se por uma sequência de gnaisses orto- e para- derivados, sobrepostos por uma sequência imatura de muscovita e/ou biotita xistos, geralmente feldspáticos e granadíferos podendo conter cianita e/ou estaurolita, gnaisses, xistos carbonosos, calcixistos e mármore. O Grupo Araxá é representado por conjuntos litológicos que apresentam maior grau metamórfico. Em toda a unidade registra-se a presença de anfibólitos derivados de basaltos, gabros e metaultrabásicas (Freitas-Silva e Campos, 1998).

### 4.3. GEOMORFOLOGIA

De acordo com o levantamento geomorfológico realizado por IBGE (2023b), as unidades geomorfológicas que integram a área de estudo são: Chapadas do Distrito Federal, Borda do Planalto do Distrito Federal, Planalto Dissecado das Altas Bacias do Paranaíba e Chapadões Residuais do Alto Tocantins-Paranaíba. O mapa geomorfológico da área de estudo está apresentado na Figura 4.6.

A unidade Chapadas do Distrito Federal corresponde às áreas mais elevadas situadas a leste. Correspondente a esta unidade, Mamede *et al.* (1981), no levantamento geomorfológico realizado no projeto Radambrasil, identificou nesta área a unidade denominada Planalto do Distrito Federal, e a descreveu como uma superfície tabular de altitude superior a 1.200 metros, com intensa dissecação nas bordas escarpadas. Esta dissecação é característica da unidade Borda do Planalto do Distrito Federal, que possui elevadas declividades e amplitude altimétrica de aproximadamente 150 metros, está disposta no sentido noroeste-sudeste, separando as unidades Chapada do Distrito Federal e Planalto Dissecado das Altas Bacias do Paranaíba, a qual possui feições diversificadas. A unidade Chapadões Residuais do Alto Tocantins-Paranaíba, por sua vez, situa-se na porção oeste da área de estudo e refere-se a chapadas de topo plano a suave ondulado, em altitudes superiores a 1.000 metros.

Com base nos trabalhos anteriores de Novaes Pinto (1994) e Martins e Baptista (1998), Campos (2011) elaborou o mapa geomorfológico do Distrito Federal, em escala 1:100.000. O relevo apresenta como característica principal o padrão plano a suave ondulado, com aumento da declividade nas bases de chapadas e morros em direção aos vales, e algumas áreas dissecadas (CODEPLAN, 2020). Em sua área são identificados cinco compartimentos geomorfológicos: Plano Elevado, Plano Intermediário, Vale Dissecado, Rebordo e Rampa Íngreme.

Na área de estudo contida no Distrito Federal estão presentes três dos cinco compartimentos geomorfológicos. A Figura 4.7 apresenta a compartimentação geomorfológica

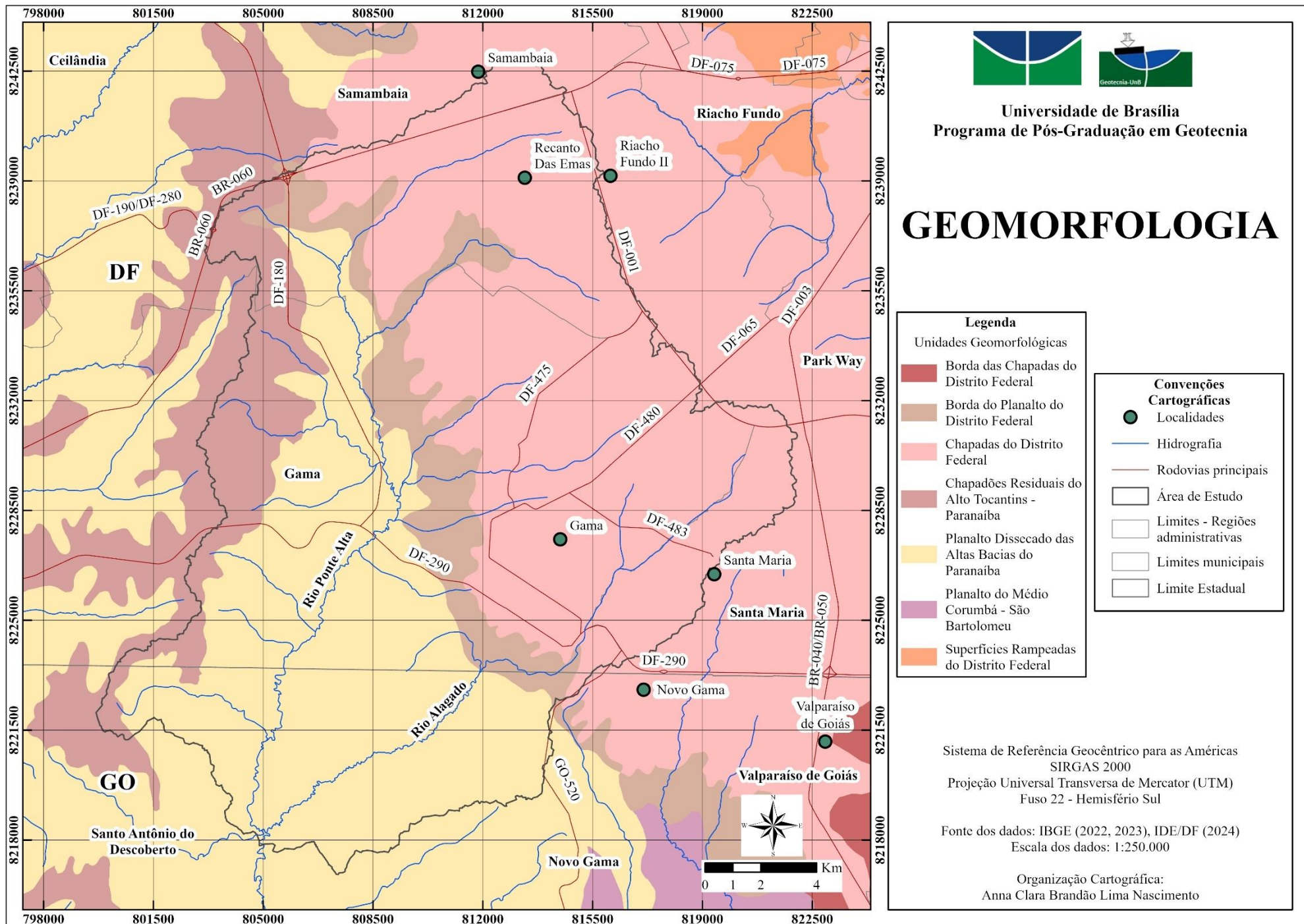


Figura 4.6: Mapa geomorfológico da área de estudo, na escala 1:250.000.

Fonte: IBGE (2023).

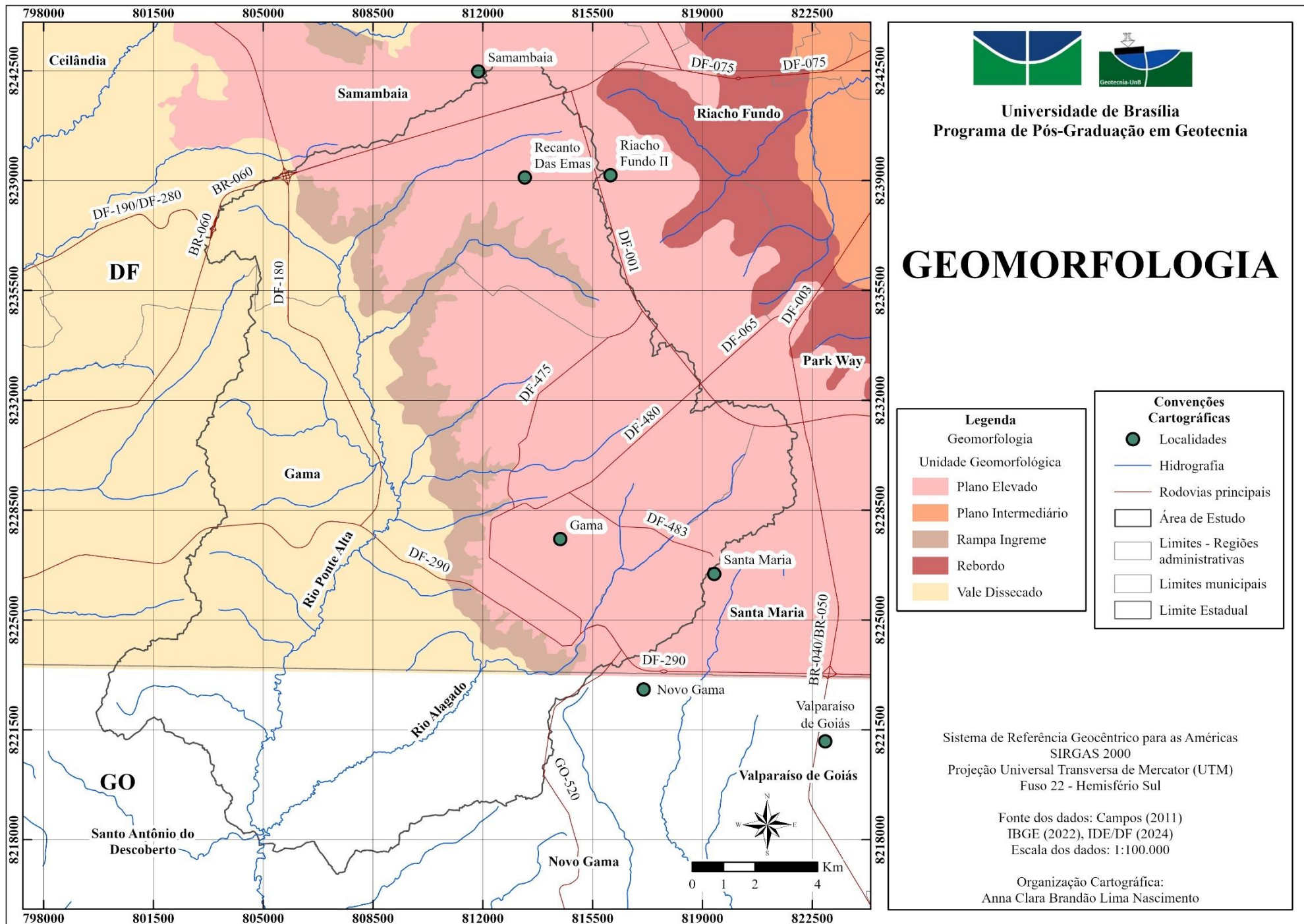


Figura 4.7: Mapa geomorfológico da área de estudo contida no Distrito Federal, na escala 1:100.000.

Fonte: Campos (2011), adaptado de Novaes Pinto (1994) e Martins e Baptista (1998).

da área de estudo contida no Distrito Federal proposta por Campos (2011), com base nos trabalhos anteriores de Novaes Pinto (1994) e Martins e Baptista (1998).

A unidade Plano Elevado é caracterizada por altitudes superiores a 1.100 metros e baixas declividades, esta unidade ocupa a porção norte e leste da bacia do rio Ponte Alta e quase a totalidade da bacia do rio Alagado. A unidade Vale Dissecado tem cotas altimétricas inferiores a 800 metros e declividades superiores a 20%, ocupa a porção oeste da bacia hidrográfica do rio Ponte Alta e a porção sul da bacia do rio Alagado. Entre os dois compartimentos supracitados apresenta-se a unidade Rampa Íngreme, na direção noroeste-sudeste, com altitudes entre 800 e 1.100 metros e declividades maiores que 25%, apresentando relevo forte ondulado a escarpado (CODEPLAN, 2020).

É possível observar a diferença apresentada pelos padrões de drenagem em cada compartimento geomorfológico. Na área de Vale Dissecado a rede de drenagem apresenta densidade variável, sendo maior em relevos mais ondulados e menor em relevos mais aplainados. Na área da unidade Plano Elevado, a rede de drenagem possui baixa densidade e o arranjo dos cursos d'água é linear. O compartimento de relevo escarpado é o que apresenta maior densidade de drenagem, o arranjo é multidirecional.

Novaes Pinto (1985) citada por Novaes Pinto (1986), identificou 12 unidades geomorfológicas no Distrito Federal, divididas em três tipos de paisagem de cerrados. As unidades que integram a área de estudo, de acordo com Novaes Pinto (1986), são: Chapada da Contagem, Chapada divisora do Descoberto-Alagado e Alto curso do rio Alagado. A unidade Chapada da Contagem ocupa as porções norte e leste da área de estudo. Conforme a descrição de Novaes Pinto (1986), é a unidade mais elevada do Distrito Federal, apresentando altitude em torno de 1.200 metros. Assim como as demais regiões de chapada contidas no Distrito Federal, apresenta relevo plano e plano ondulado com encostas retilíneas, com declividade inferior a 5%. O substrato geológico são as rochas do Grupo Paranoá, sobrepostos por laterita e Latossolos Vermelho e Vermelho Amarelo.

A unidade Chapada divisora do Descoberto-Alagado, ocupa pequenas áreas no extremo oeste da bacia do rio Ponte Alta. Possui altitudes entre 1.000 e 1.100 metros, topo plano a suave ondulado e declividades inferiores a 5%. Os tipos de solo que recobrem esta unidade são cambissolo, latossolo vermelho escuro, latossolo vermelho amarelo e laterita, sobrepondo os xistos do Grupo Araxá (Novaes Pinto, 1986).

Por sua vez, a unidade Alto Curso do Rio Alagado contém as nascentes do ribeirão Ponte Alta e do ribeirão Alagado, onde são observados campos de murundus. Sua área está limitada a norte e a leste pela unidade Chapada da Contagem, e a oeste pela chapada divisora



Descoberto-Alagado. A geologia é composta pelos quartzitos e ardósias do Grupo Paranoá, com os micaxistos do Grupo Araxá. Na área de contato entre os dois grupos apresenta-se um relevo escarpado, com declividades acentuadas. Os solos predominantes na unidade são o latossolo vermelho-escuro e o cambissolo (Novaes Pinto, 1986).

#### **4.4. PEDOLOGIA**

Na área de estudo apresentam-se os Latossolos, cobrindo as áreas de relevo plano a suave ondulado, e os Cambissolos, em áreas de relevo forte ondulado a escarpado. As classes de solos presentes na área de estudo são apresentadas na Figura 4.8, conforme IBGE (2023).

Os Latossolos são solos minerais, não hidromórficos, que se caracterizam pelo elevado grau de intemperismo e pela elevada profundidade dos perfis, geralmente superior a 2 metros. São bem drenados e possuem grande homogeneidade das propriedades. Na área de estudo, recobrem as superfícies das chapadas e, nas áreas de relevo aplainado geralmente são mais espessos (EMBRAPA, 2018).

Em geral, os Cambissolos apresentam horizonte B em formação, com alterações físicas e químicas mínimas, porém o bastante para que haja variação de cor e estrutura, com horizonte superficial de qualquer tipo, com exceção de horizonte hístico de espessura superior a 40 cm, ou horizonte A chernozêmico, desde que o B apresente argila de alta atividade e saturação por bases alta. A profundidade desses solos varia de rasos a profundos, também há variação das demais características. De acordo com Reatto *et al.* (2004), no Distrito Federal, os Cambissolos apresentam baixo grau de intemperização, têm espessura variando entre 0,2 e 1 m e associam-se a relevos ondulados ou fortemente ondulados e, por isso, deveriam ser considerados áreas de proteção permanente.

Para o Distrito Federal, tem-se um mapeamento pedológico mais detalhado, em escala 1:100.000, realizado pela EMBRAPA (1978). As principais classes de solos presentes são os Latossolos, divididos em Latossolo Vermelho, que recobre 38,92% da área do Distrito Federal, e Latossolo Vermelho-Amarelo, em 15,58% da área. Também predominam os Cambissolos, em 30,98% da área. Além destes, na área de estudo ocorrem ainda as classes Neossolo Quartzarênico, Nitossolo Vermelho e Gleissolo Háptico. A distribuição espacial das classes de solo na área de estudo contida no Distrito Federal é apresentada no mapa da Figura 4.9, conforme Embrapa (1978) e Reatto *et al.* (2004).

A classe Neossolo Quartzarênico corresponde a solos arenosos porosos e profundos, muito propensos ao desenvolvimento de processos erosivos. Ocorrem em poucas áreas no Distrito Federal, geralmente em relevo plano ou suave ondulado. Os Nitossolos Vermelhos,

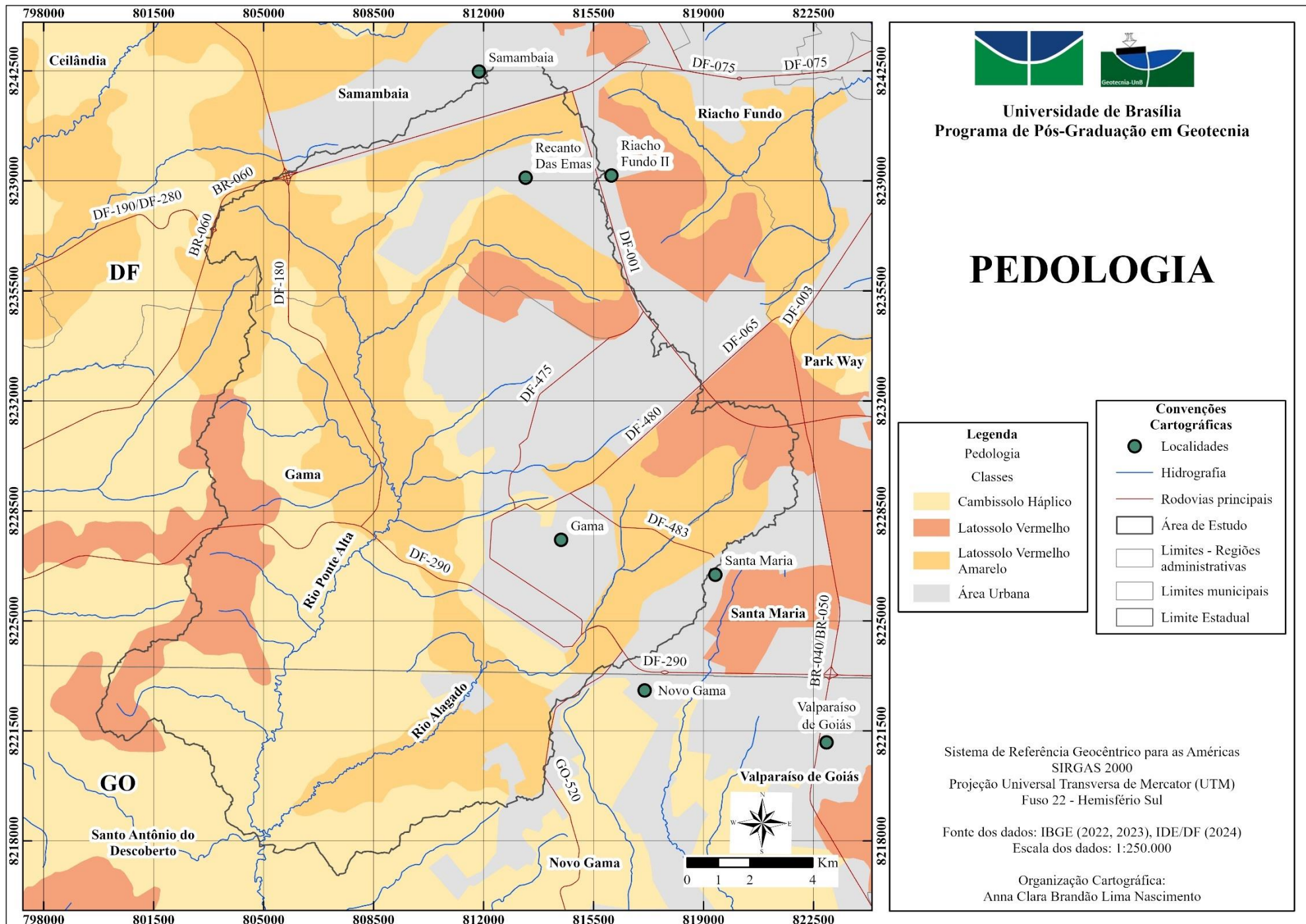


Figura 4.8: Mapa pedológico da área de estudo, na escala 1:250.000.  
Fonte: IBGE (2023).

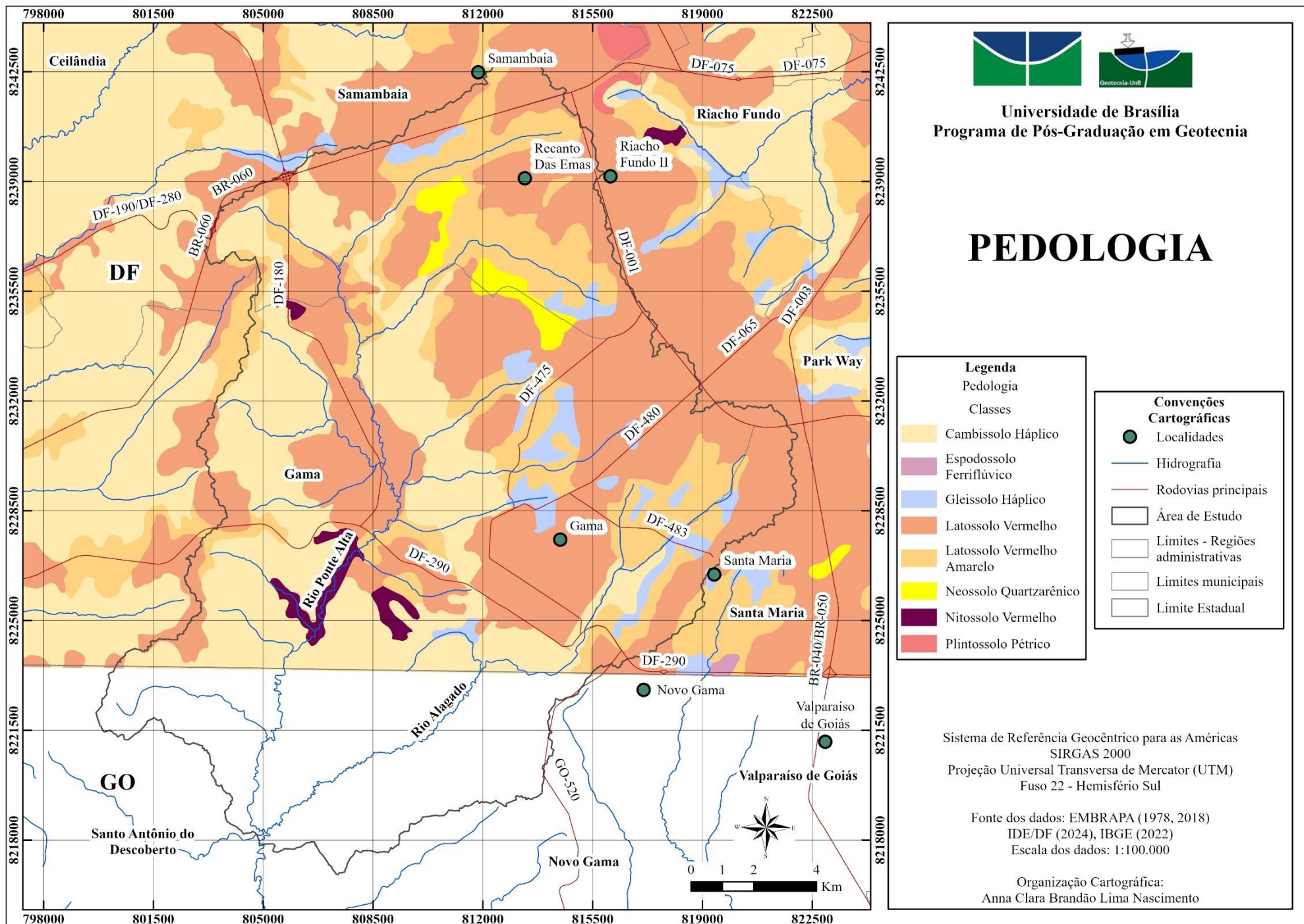


Figura 4.9: Mapa pedológico da área de estudo contida no Distrito Federal, na escala 1:100.000.

Fonte: EMBRAPA (1978), Reatto et al. (2004).

também presentes na área de estudo, são solos com elevado teor de argila, porosos e bem drenados, geralmente se apresentam em áreas de relevo ondulado ou fortemente ondulado. Por sua vez, o Gleissolo Háptico é um solo hidromórfico que ocupa as áreas de depressão, onde predomina formas aplainadas de relevo, permitindo o acúmulo de água durante boa parte do ano. Na área de estudo, correspondem às áreas de várzea, nas cabeceiras dos cursos d'água e ao longo destes. Esse tipo de solo associa-se à presença de campos de murundus na paisagem.

#### **4.5. ÁGUAS SUPERFICIAIS E ÁREAS DE PRESERVAÇÃO**

As áreas protegidas dentro da área de estudo constituem Áreas de Proteção de Manancial – APM, Parques, e Áreas de Preservação Permanente – APP. Para o Distrito Federal, estes dados estão disponíveis no GeoPortal (IDE/DF, 2024).

O Artigo 95 da Lei Complementar nº 803, de 25 de abril de 2009 define as Áreas de Proteção de Manancial como porções do território que apresentam situações diversas de proteção em função da captação de água destinada ao abastecimento público, e se destinam à recuperação ambiental e à promoção do uso sustentável nas bacias hidrográficas a montante dos pontos de captação de água destinada ao abastecimento público, sem prejuízo das atividades da concessionária responsável pelo abastecimento de água para a população (Distrito Federal, 2009).

Dentre as diretrizes para as APMs destacam-se a recuperação de áreas degradadas em APP, incentivo à ampliação da área de vegetação nativa, favorecendo a preservação do solo e dos corpos hídricos, ações relacionadas ao saneamento para mitigar os impactos da urbanização e proibição de atividades poluidoras. A Lei complementar nº 854, de 15 de outubro de 2012, estabelece que a gestão e o monitoramento das APMs competem ao órgão gestor do desenvolvimento territorial e urbano e ao órgão gestor da política ambiental do Distrito Federal (Distrito Federal, 2012). Na área de estudo estão presentes as Áreas de Preservação de Manancial Olho d'água, Ponte de Terra, Crispim e Alagado.

Por sua vez, os parques contidos na área de estudo são:

(1) Reserva Biológica do Gama – Macrozona de Proteção Integral: Inicialmente definida pelo Decreto 11.261, de 16 de setembro de 1988, como Reserva Ecológica do Gama, com a finalidade de preservar a Mata Ciliar do Córrego Alagado, a fauna e a flora e proteger as encostas ao sul do Gama dos processos erosivos. Em 17 de novembro de 2008, o Decreto nº 29.704 transformou a unidade em Reserva Biológica e define o Instituto Brasília Ambiental - IBRAM como órgão responsável pela administração;

(2) Parque Recreativo do Gama – Prainha: A área, inicialmente chamada de Parque Municipal do Gama, foi delimitada pelo Decreto nº 108, de 06 de setembro de 1961. Posteriormente, o Decreto nº 6.953, de 23 de agosto de 1982, extinguiu o Parque Municipal e criou o Parque Recreativo do Gama, que teve sua área definida no Decreto nº 25.867, de 23 de maio de 2005. Em 25 de maio de 2022, o Decreto nº 43.358 recategorizou o Parque Recreativo, denominando-o Parque Distrital do Gama, e definindo como objetivos a preservação de áreas remanescentes do Bioma Cerrado e de áreas de fragilidade ambiental, a despoluição do Córrego Alagado e recuperação de áreas degradadas. Atualmente, a área está sob a gestão do IBRAM - Brasília Ambiental;

(3) Parque Ecológico e Vivencial da Ponte Alta do Gama: O Parque Ecológico e Vivencial da Ponte Alta do Gama foi criado pela Lei nº 1.202, de 20 de setembro de 1996, com o objetivo de proporcionar um espaço de recreação e lazer e preservar o ecossistema. Sua gestão é feita pela participação tripartida do governo, usuários e entidades de proteção ambiental do Distrito Federal;

(4) Parque Ecológico do Gama: O Parque Ecológico do Gama foi criado pelo Decreto nº 40.316, de 16 de setembro de 2019, dentre os objetivos da criação do Parque, destaca-se a conservação dos recursos naturais, a proteção de recursos naturais, a recuperação de áreas degradadas e o uso pela comunidade como espaço para lazer. A legislação estabelece que o Parque deve ser administrado pelo órgão executor da Política Ambiental do Distrito Federal;

(5) Parque Distrital Recanto das Emas: O Parque Distrital Recanto das Emas foi criado pela Lei nº 1.188, de 13 de setembro de 1996, sob a denominação Parque Ecológico e Vivencial do Recanto das Emas, sua criação também tinha como um dos objetivos o uso pela comunidade para lazer e recreação. Em 03 de dezembro de 2019, por meio da Lei nº 6.414, o parque foi recategorizado, recebendo a atual denominação. Sua gestão é semelhante à do Parque Ecológico e Vivencial da Ponte Alta do Gama, com a participação do governo, usuários e entidades de proteção ambiental do Distrito Federal.

As áreas de preservação permanente (APP) foram definidas dentro da área de estudo conforme Brasília (2009) e Brasil (2012b). Assim, são consideradas APP as faixas marginais dos cursos d'água perenes e intermitentes desde a borda da calha do leito regular, em largura mínima de 30 (trinta) metros, para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura, as áreas no entorno das nascentes e dos olhos d'água perenes, qualquer que seja sua situação topográfica, no raio mínimo de 50 (cinquenta) metros, as encostas ou partes destas com declividade superior a 45°, equivalente a 100% (cem por cento) na linha de maior declive e as bordas de chapadas, definidas por uma faixa de 100 metros a partir da linha de ruptura do relevo.

Também são considerados APP os campos de murundus, que são microrrelevos presentes em áreas planas de elevada altitude e em depressões do bioma Cerrado (Figura 4.10). Geralmente se desenvolvem nas cabeceiras e nas margens de cursos d'água, em regiões associadas à presença de água no solo e com predomínio de solos hidromórficos. Os murundus possuem formato circular ou elíptico, com altura variando de poucos centímetros a 6 metros, alcançando até 20 metros de diâmetro, podem apresentar-se cobertos por vegetação típica do Cerrado (Baptista *et al.*, 2013).

Não há consenso na literatura sobre a formação dos campos de murundus. Oliveira-Filho (1992) associa a origem desses campos à atividade de térmitas, também chamados de cupinzeiros, enquanto Silva *et al.* (2010) consideram que esses campos se formaram devido à erosão diferencial. A maioria dos autores acredita que a gênese desse microrrelevo ocorreu pela associação de agentes biológicos e de processos erosivos.

Os campos de murundus têm funções ambientais importantes, dentre as quais destacam-se a composição de zonas de recarga e descarga de aquíferos, garantindo o fluxo superficial em direção aos corpos d'água, e a constituição de ecossistemas especiais, com fauna e flora singulares (Malheiro *et al.*, 2023; Baptista *et al.*, 2013). Devido à sua importância e à necessidade de conservação desta fitofisionomia, os campos de murundus foram considerados Áreas de Proteção Permanente pelo IBRAM, na Instrução Normativa n° 39/2014, também na Lei n° 6.520/2020, que dispõe sobre utilização e a proteção da vegetação nativa do Bioma Cerrado no Distrito Federal e dá outras providências.



Figura 4.10: Campos de Murundus na região administrativa Gama, Distrito Federal.

Fonte: Carvalho (2017).

As áreas protegidas contidas na área de estudo são apresentas na Figura 4.11.

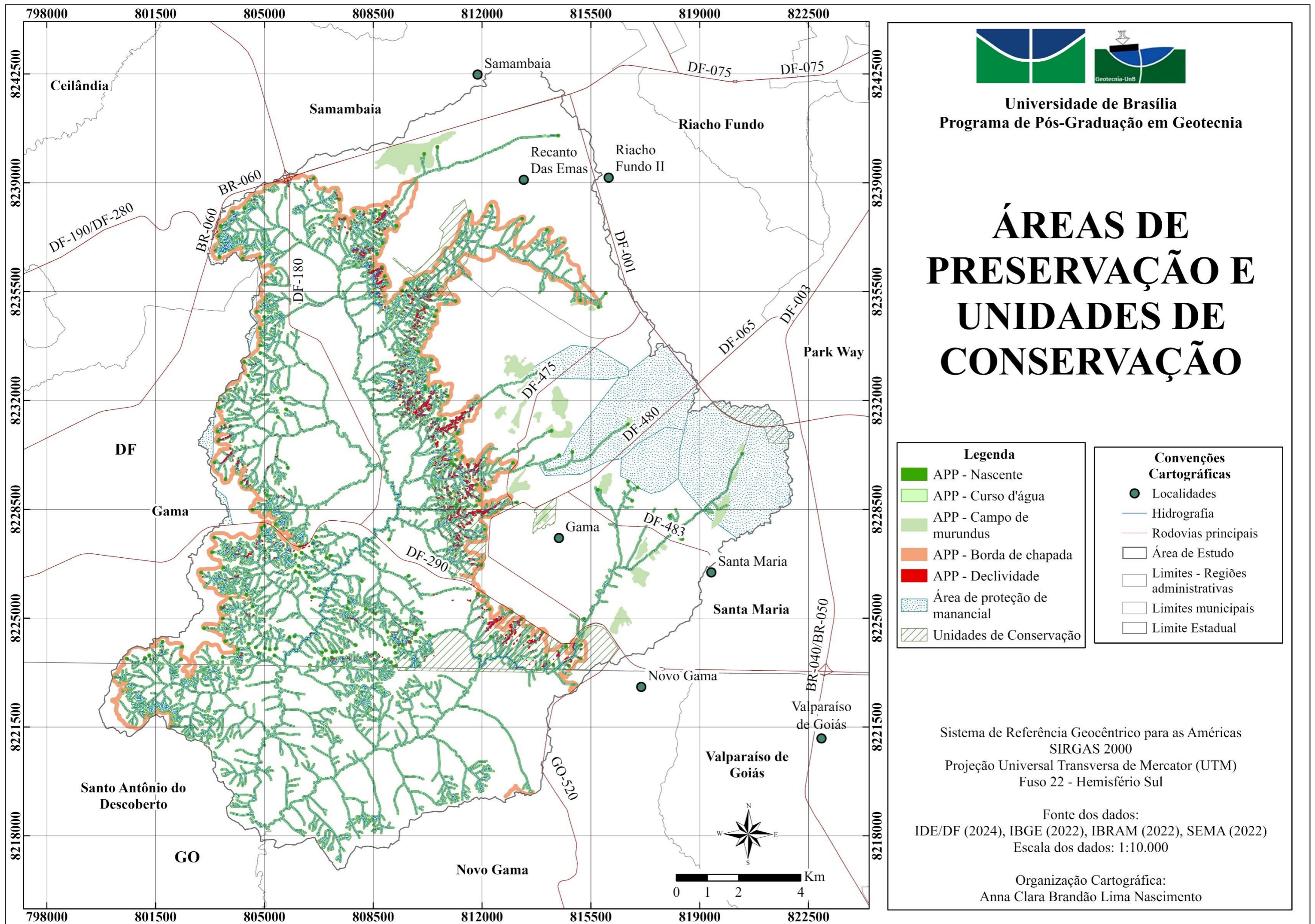


Figura 4.11: Carta de áreas de preservação e unidades de conservação na área de estudo. Fonte: IDE/DF (2024).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção apresenta os resultados obtidos nesta pesquisa e os discute com ênfase na comparação dos produtos cartográficos elaborados em diferentes escalas.

### 5.1. CARTAS ANALÍTICAS

O Modelo Numérico de Terreno é fundamental para a elaboração das cartas analíticas. A partir dos MNT, sendo o primeiro proveniente da missão SRTM na escala 1:50.000, e o segundo elaborado a partir dos dados topográficos disponíveis na Base Cartográfica Digital do Distrito Federal (IDE/DF), na escala 1:10.000, foram elaboradas as cartas de hipsometria, declividade, curvatura das vertentes, relevo sombreado, exposição de vertentes e o modelo HAND.

A carta hipsométrica derivada dos dados SRTM, apresentada na Figura 5.1, mostra que a amplitude altimétrica da área de estudo é de 417 metros. As menores cotas partem de 863 metros, no exutório da área de contribuição do rio Alagado, região sul da área analisada. Em contrapartida, os maiores valores de altitude estão localizados na porção nordeste da área. A Figura 5.2 contém a carta hipsométrica derivada dos dados topográficos disponíveis na base cartográfica digital do Distrito Federal. Para a área contida no Distrito Federal, a amplitude altimétrica é de 397 metros, sendo que as menores cotas se concentram no curso do rio Ponte Alta.

Ambas as cartas apresentam classes de altitude variando a cada 20 metros. A Tabela 5.1 apresenta a área correspondente a cada classe altimétrica. De maneira geral, houve pouca variação ao se comparar a área apresentada por cada classe das cartas de hipsometria provenientes de cada MNT, principalmente para as classes intermediárias. As maiores diferenças foram verificadas na classe de 900 a 920 metros, em que o MNT de maior resolução apresenta área 1,16 km<sup>2</sup> maior em comparação aos dados obtidos do SRTM, e na classe de 1260 a 1280 metros, com o MNT de menor resolução apresentando área 1,62 km<sup>2</sup> maior.

Para averiguar onde se encontram as maiores diferenças de altimetria foi realizada uma operação de subtração entre os Modelos Numéricos de Terreno. O resultado indica discrepâncias de até 40 metros dos dados SRTM em relação ao MNT de maior resolução. Nas áreas de relevo plano, os dados SRTM tendem a apresentar valores de altimetria até 5 metros acima do MNT de maior resolução. Nas áreas de elevadas declividades as diferenças são maiores. Esta observação concorda com Orlando e Bias (2020), que afirmam que a qualidade do modelo SRTM é menor em áreas acidentadas.



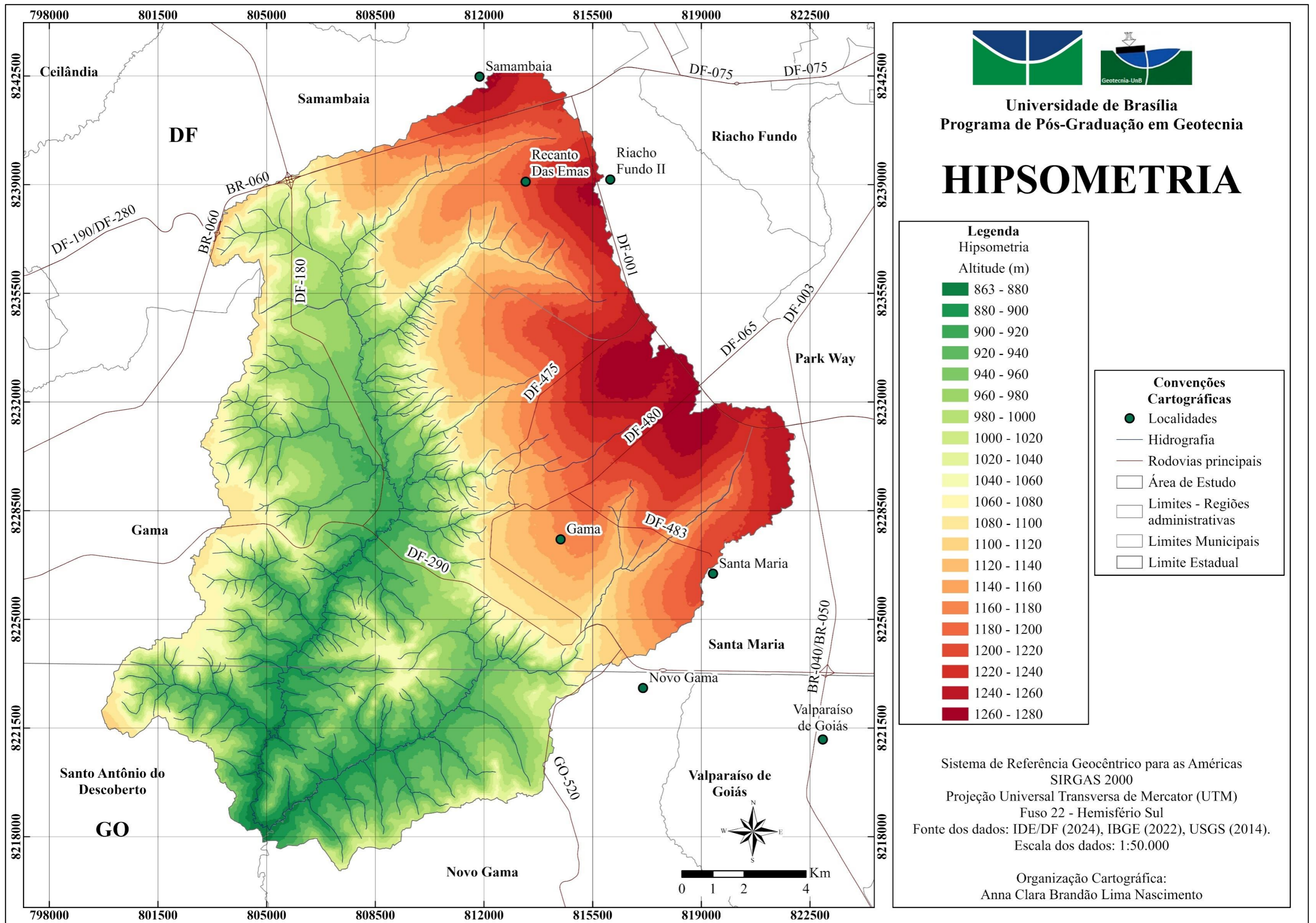


Figura 5.1: Carta hipsométrica da área de estudo, elaborada com dados SRTM na escala 1:50.000.

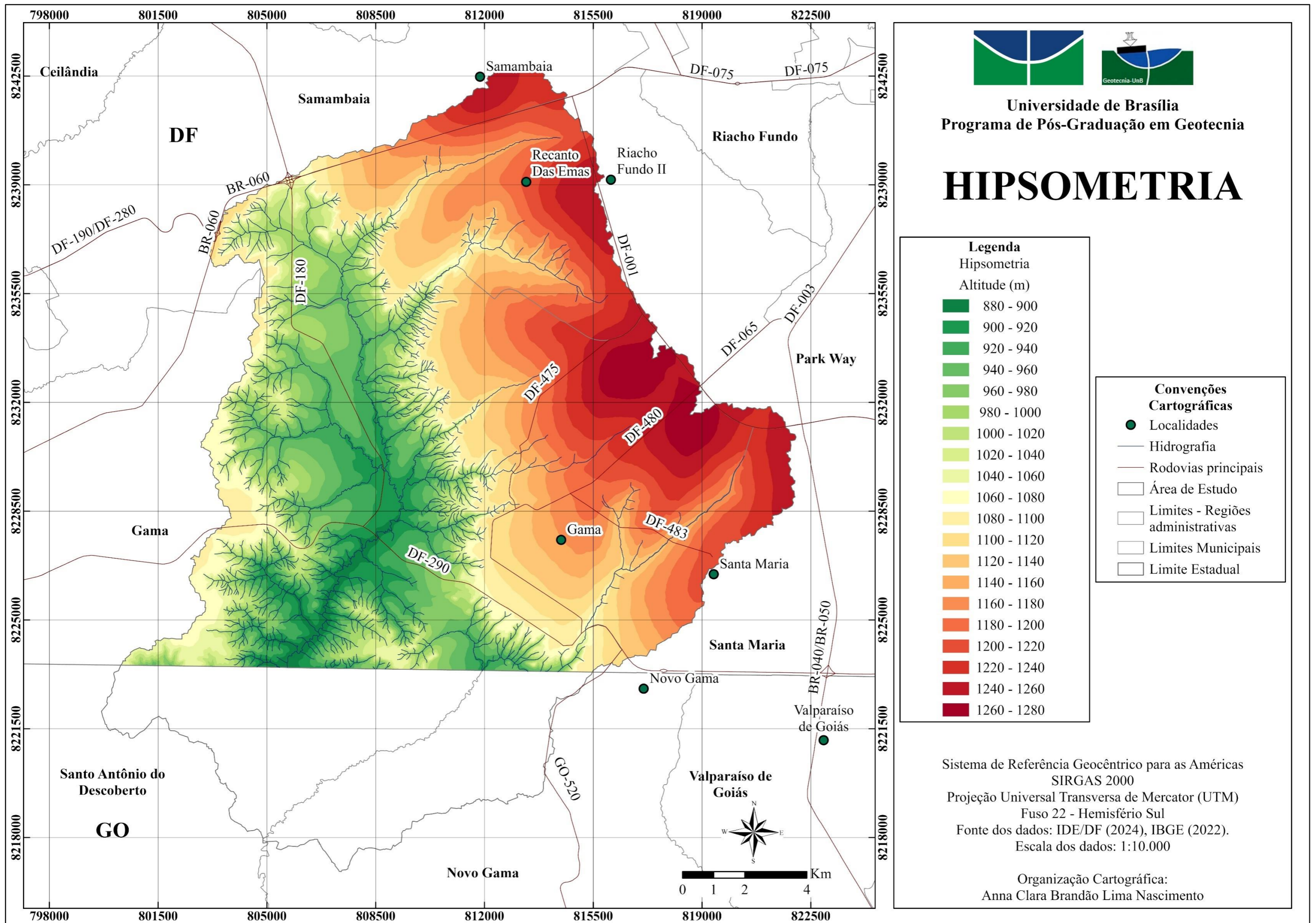


Figura 5.2: Carta hipsométrica da área de estudo contida no Distrito Federal, na escala 1:10.000.

Tabela 5.1: Carta de hipsometria: Área das classes.

Altitude (m)	Área (km <sup>2</sup> )					
	SRTM		SRTM (DF)		GeoPortal (DF)	
		%		%		%
859-880	1,69	0,53				
880-900	9,71	3,03	2,23	0,86	2,94	1,14
900-920	19,84	6,18	7,93	3,07	9,09	3,51
920-940	26,39	8,23	13,88	5,37	14,35	5,55
940-960	27,24	8,49	18,04	6,97	17,85	6,90
960-980	23,71	7,39	17,28	6,68	16,97	6,56
980-1000	19,26	6,00	14,52	5,62	13,98	5,41
1000-1020	14,45	4,50	11,05	4,27	10,66	4,12
1020-1040	10,96	3,42	8,99	3,48	8,64	3,34
1040-1060	9,89	3,08	8,49	3,28	8,47	3,27
1060-1080	11,36	3,54	10,65	4,12	10,94	4,23
1080-1100	12,81	3,99	12,24	4,73	12,19	4,71
1100-1120	14,12	4,40	13,93	5,39	14,31	5,53
1120-1140	17,73	5,53	17,73	6,86	18,00	6,96
1140-1160	17,05	5,32	17,05	6,59	16,78	6,49
1160-1180	16,61	5,18	16,61	6,42	16,59	6,42
1180-1200	14,59	4,55	14,59	5,64	14,51	5,61
1200-1220	14,99	4,67	14,99	5,80	15,06	5,82
1220-1240	16,16	5,04	16,16	6,25	16,03	6,20
1240-1260	14,46	4,51	14,46	5,59	15,14	5,85
1260-1280	7,77	2,42	7,77	3,01	6,15	2,38
Área Total	320,8	100,0	258,6	100,0	258,7	100,0

Além disso, foi verificado um padrão relacionado à orientação das vertentes. De maneira geral, as vertentes orientadas para sudeste e sul apresentam diferenças negativas nos valores de altimetria, indicando que os dados SRTM apresentam valores menores quando comparado ao MNT de maior resolução, essa discrepância pode chegar a 30 metros. O contrário é observado para as vertentes apontadas para as direções noroeste e norte, conforme se apresenta na Figura 5.3.

É possível que a causa deste padrão observado esteja relacionada à forma de obtenção dos dados SRTM<sup>2</sup>, os quais apresentam algumas limitações. O efeito de ruídos devido à presença de corpos d'água e problemas de retorno do sinal prejudicam a aquisição dos dados

<sup>2</sup> Os dados SRTM são obtidos pelo processo de interferometria por radar de abertura sintética. Alves *et al.* (2009) explicam que essa técnica consiste em analisar a fase dos sinais de radar que são recebidos por duas antenas posicionadas em locais diferentes do espaço. A partir dos sinais, geram-se imagens de amplitude e fase, que formam o par interferométrico e dão origem à outra imagem, que consiste na diferença de fase entre os pixels. Assim, é possível converter a diferença de fase em altitude.

(Monari *et al*, 2019), assim, a acurácia vertical do modelo e sua resolução espacial restringem sua utilização a áreas grandes e predominantemente aplainadas.

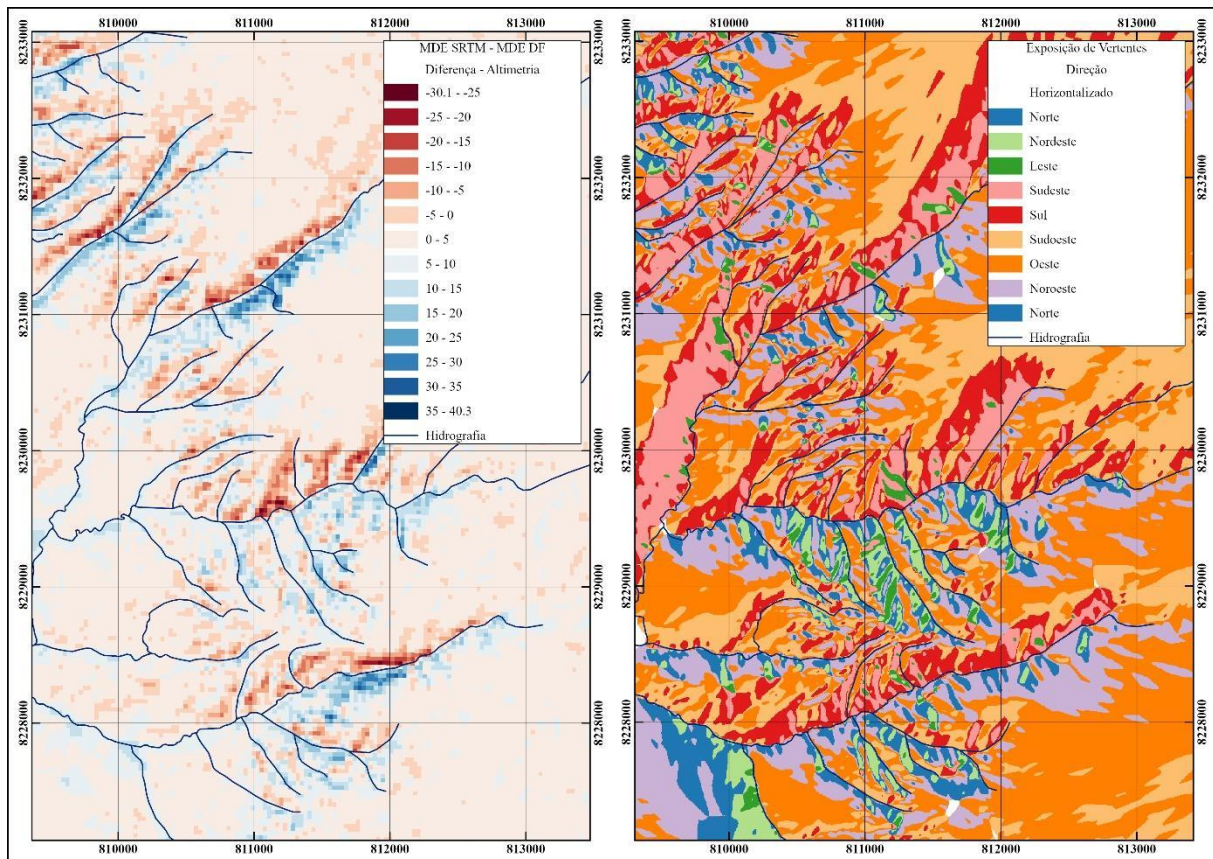


Figura 5.3: Relação entre a diferença de altimetria a orientação de vertentes na área de estudo.

As cartas de declividade, apresentadas na Figura 5.4 e na Figura 5.5, evidenciam que as áreas mais aplainadas se localizam na unidade geomorfológica plano elevado, contida no Distrito Federal, ao longo da margem esquerda do rio Ponte Alta e nos topos das chapadas ao longo do divisor hidrográfico do rio Ponte Alta, oeste da área de estudo. Em contrapartida, as áreas mais declivosas estão situadas na unidade vale dissecado e, principalmente, na unidade rampa íngreme. A Tabela 5.2 apresenta a área contida em cada classe de declividade.

De acordo com a Lei n° 6.766/1979 (Brasil, 1979), o parcelamento do solo é proibido em áreas de declividade superior a 30%, e áreas de declividade superior a 100% (ou 45°) são definidas como Área de Preservação Permanente pela Lei n° 12.651/2012 (Brasil, 2012). Áreas de declividades inferiores a 5% são sujeitas a acumulação de água e processos de inundação, se estiverem sob a influência de corpos hídricos (Dantas, 2010; Oliveira, 2018). Neste sentido, considerando apenas o critério de declividade, a carta elaborada para a área total aponta que mais de 97% da área é passível de parcelamento. Entretanto, outros critérios devem ser

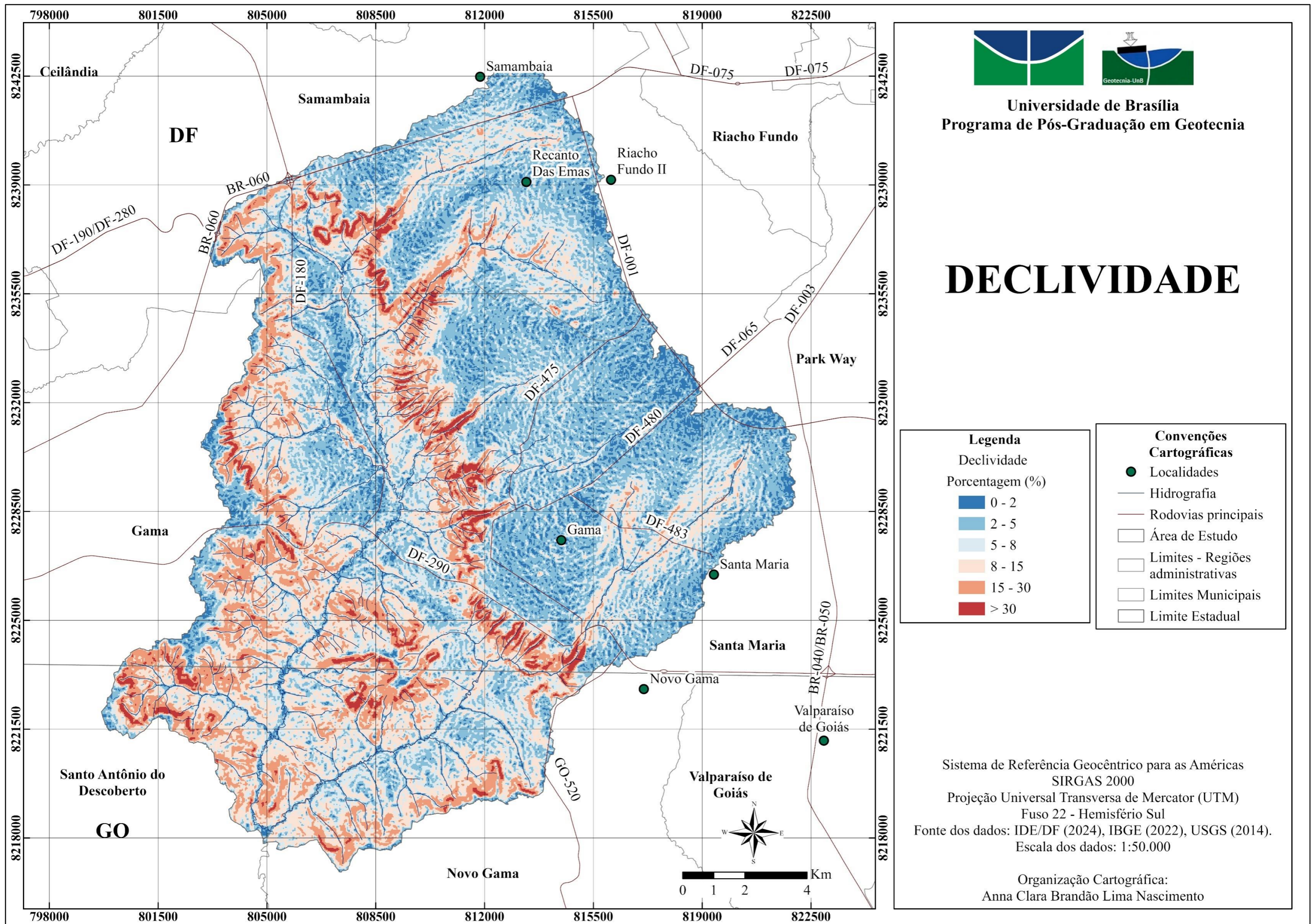


Figura 5.4: Carta de declividade da área de estudo, elaborada com dados SRTM na escala 1:50.000.

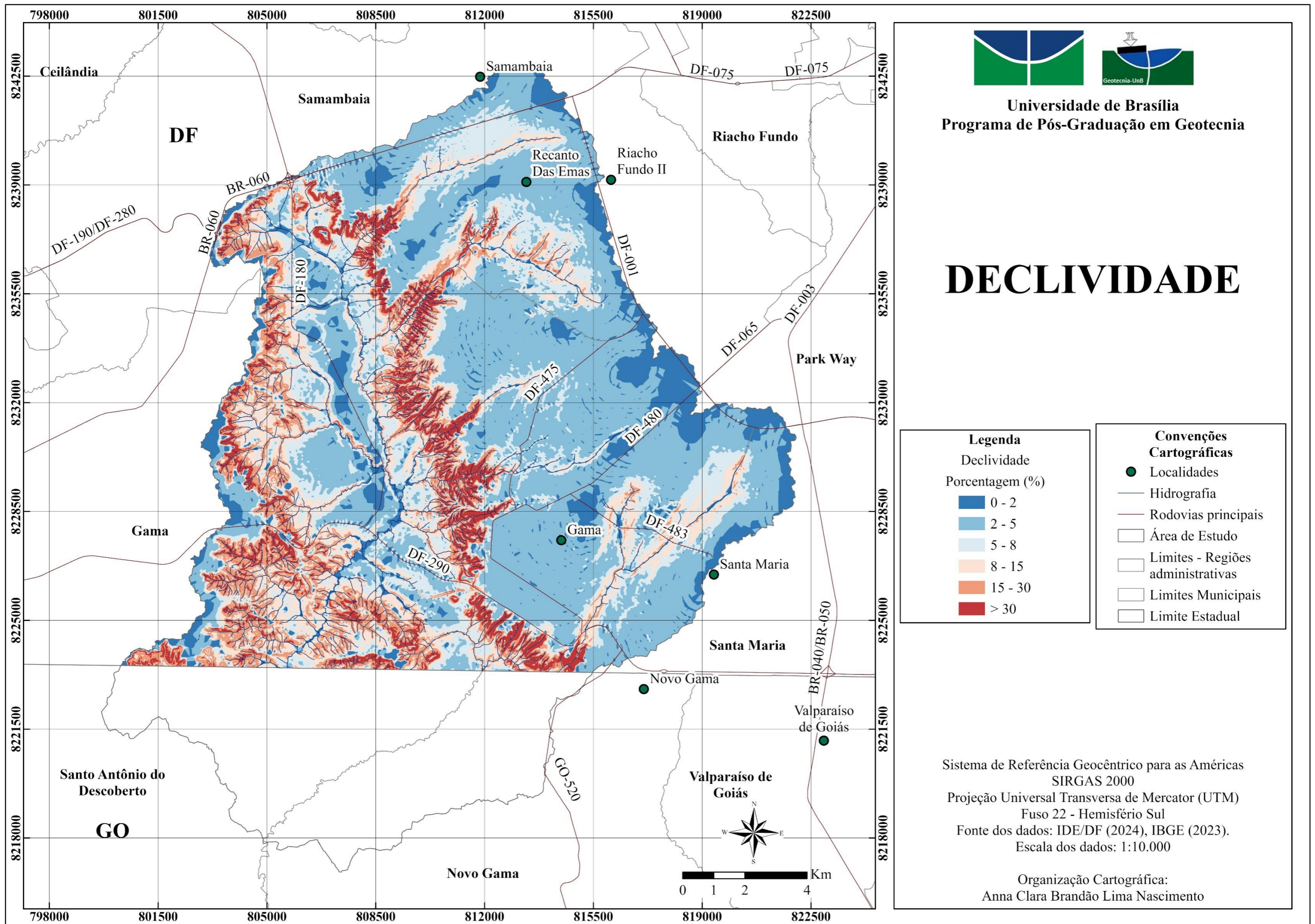


Figura 5.5: Carta de declividade da área de estudo contida no Distrito Federal, na escala 1:10.000.

observados para a ocupação, como as áreas de preservação permanente definidas em Brasília (2009) e Brasil (2012b).

Para a área contida no Distrito Federal, a carta de declividade elaborada com os dados SRTM indicam uma área de 6,13 km<sup>2</sup> com declividades superiores a 30%, que corresponde a 2,37% da área total. Por outro lado, o MNT de maior resolução indica uma área de 15,22 km<sup>2</sup> para a mesma classe, equivalente a 5,88% da área. Ao se comparar as duas cartas de declividade, tem-se que quatro das seis classes apresentaram diferença superior a 10 km<sup>2</sup> para as áreas calculadas em cada classe. Ainda, a carta de declividade derivada dos dados SRTM não identificou áreas com declividade superior a 100%, diferentemente da carta elaborada com dados de maior resolução, que identificou uma área de 0,04 km<sup>2</sup> nessa condição, correspondente à 0,02% da área contida no Distrito Federal. Dessa forma, verifica-se que o MNT de maior resolução teve desempenho superior quanto à avaliação de declividade da área de estudo.

Tabela 5.2: Carta de declividade: Área das classes.

Declividade (%)	Área (km <sup>2</sup> )					
	SRTM	%	SRTM (DF)	%	GeoPortal (DF)	%
0-2	26,69	8,32	24,78	9,58	26,38	10,20
2-5	105,12	32,77	94,58	36,57	107,68	41,63
5-8	71,46	22,27	57,36	22,18	42,97	16,61
8-15	70,03	21,83	48,30	18,68	38,01	14,70
15-30	39,43	12,29	27,45	10,62	28,39	10,98
> 30	8,05	2,51	6,13	2,37	15,22	5,88
Área Total	320,8	100,0	258,6	100,0	258,7	100,0

Assim como na análise de altimetria, foi realizada uma operação de subtração entre os planos de informação de declividade para verificar onde se concentram as maiores diferenças. Nas áreas planas foram verificadas diferenças de até 5% para mais ou menos entre os planos de informação. Nas regiões de encostas íngremes o produto derivado dos dados SRTM apresenta valores de declividade menores que o produto de maior escala, sendo observada diferenças de até 90% para menos. As regiões de fundos de vales encaixados e bordas de chapadas podem apresentar variações positivas, que vão até 58%, ou negativas, a depender da orientação da vertente. Quanto maior a declividade, maior é a diferença de valores entre os produtos, indicando uma perda de informação importante do produto derivados dos dados SRTM. A Figura 5.6 apresenta a diferença de valores de declividade entre os produtos, ao lado esquerdo, e a representação do relevo derivado do MNT na escala 1:10.000 à direita.

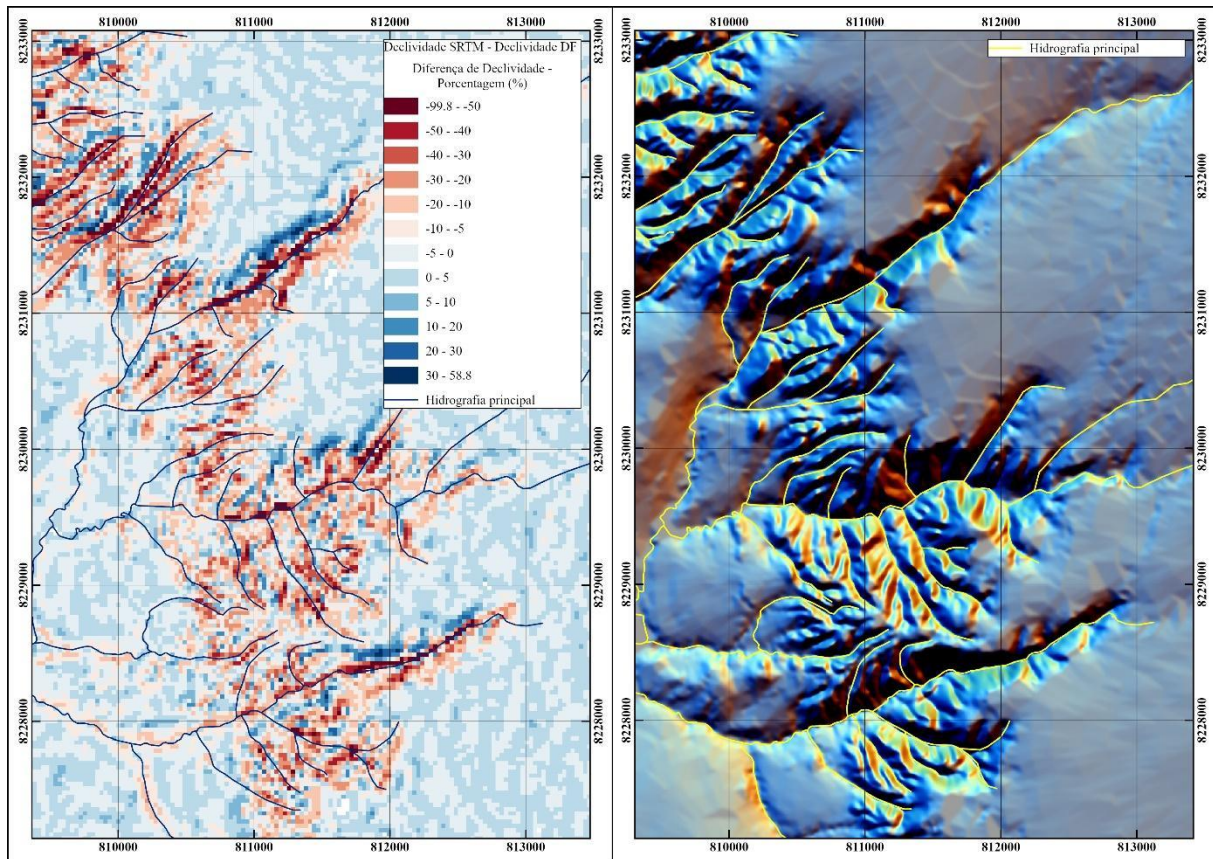


Figura 5.6: Diferença de declividade entre os produtos de diferentes escalas e relevo sombreado.

As cartas de curvatura, por sua vez, estão apresentadas na Figura 5.7 e Figura 5.8, e a área das classes está contida na Tabela 5.3. Em ambos os produtos é notada a predominância da forma Plana Retilínea, que ocupa 67,71% da área total com o produto na escala 1:50.000 e 59,77% da área contida no DF pelo produto de maior escala, seguida pela forma horizontalizada. Esta se restringe aos topos de chapadas, no extremo oeste e a leste da área analisada, e áreas aplainadas nas margens do rio Ponte Alta. As outras formas de relevo se apresentam nas áreas íngremes junto às quebras de relevo. As áreas horizontalizadas e de curvatura planas e retilíneas, de acordo com Oliveira (2018), são mais adequadas ao processo de expansão urbana, mas são também passíveis da ocorrência de inundações caso estejam sob a influência de corpos d'água ou de alagamentos.

A classe Plana Retilínea apresentou uma área 24,65 km<sup>2</sup> maior quando se compara o produto de menor escala com o de maior escala. Além desta, as classes Convergente Retilínea e Plana Côncava também apresentaram áreas superiores no produto de menor escala. Em contrapartida, as demais formas de terreno apresentaram áreas mais expressivas no produto de maior escala.



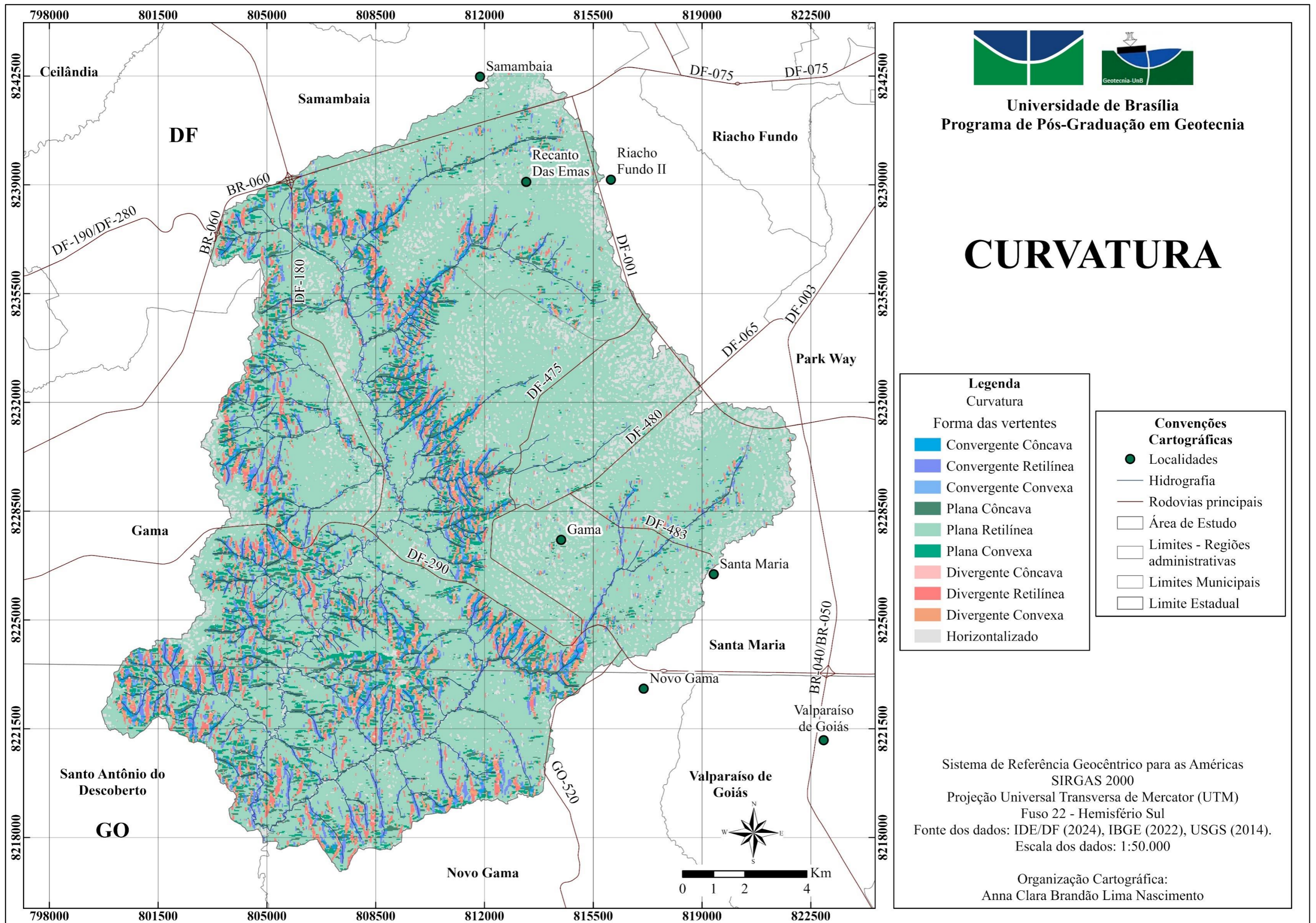


Figura 5.7: Carta de curvatura (formas de terreno) da área de estudo, elaborada com dados SRTM na escala 1:50.000.

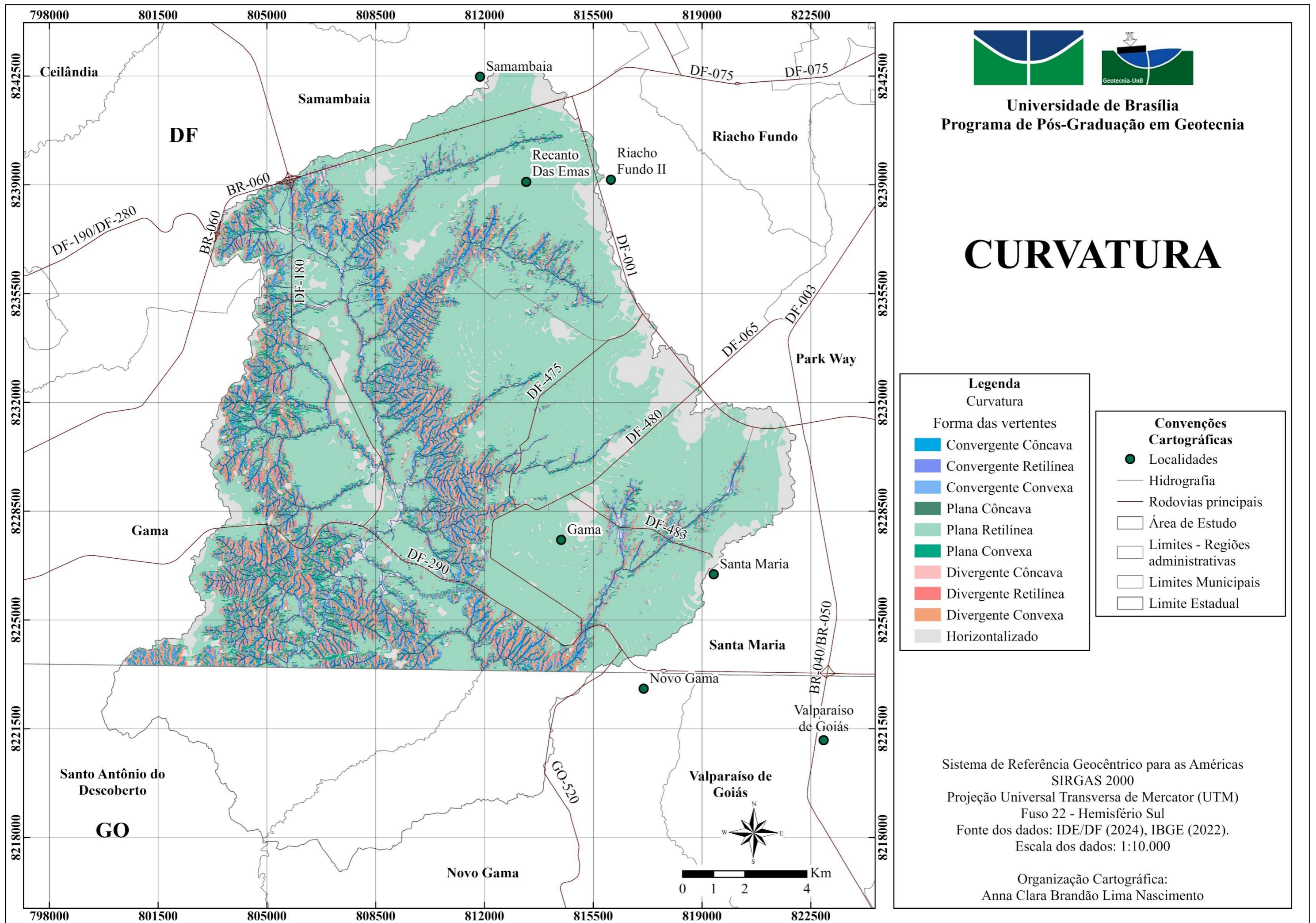


Figura 5.8: Carta de curvatura (formas de terreno) da área de estudo contida no Distrito Federal, na escala 1:10.000.

Tabela 5.3: Carta de curvatura: Área das classes.

Curvatura (Forma das vertentes)	Área (km <sup>2</sup> )					
	SRTM	%	SRTM (DF)	%	GeoPortal (DF)	%
Convergente Concava	6,24	1,95	4,80	1,86	13,65	5,28
Convergente Retilínea	15,78	4,92	10,65	4,12	8,40	3,25
Convergente Convexa	2,07	0,65	1,48	0,57	5,41	2,09
Plana Concava	15,91	4,96	11,42	4,42	8,19	3,17
Plana Retilínea	217,22	67,71	179,24	69,31	154,59	59,77
Plana Convexa	14,22	4,43	10,29	3,98	11,18	4,32
Divergente Concava	2,10	0,66	1,50	0,58	5,08	1,96
Divergente Retilínea	13,38	4,17	9,17	3,55	10,55	4,08
Divergente Convexa	7,17	2,23	5,25	2,03	15,24	5,89
Horizontalizada (< 2%)	26,69	8,32	24,78	9,58	26,38	10,20
Área Total	320,8	100,0	258,6	100,0	258,7	100,0

## 5.2. SUSCETIBILIDADE À INUNDAÇÃO

A primeira etapa, que consistiu na extração da rede de drenagem, delimitação das sub-bacias de contribuição, extração e cálculo dos parâmetros morfométricos, resultou em 36 sub-bacias delimitadas dentro da bacia hidrográfica principal na análise em escala 1:50.000, e em 25 sub-bacias delimitadas na área contida no Distrito Federal, onde os dados cartográficos disponíveis permitem a análise na escala 1:25.000. Conforme descrito na seção 4, a delimitação foi feita considerando-se os tributários principais dos rios Ponte Alta e Alagado.

A aplicação da metodologia na etapa de caracterização morfométrica resulta em um grau de suscetibilidade relativo, de modo que os parâmetros calculados para cada sub-bacia, sendo área de contribuição, relação de relevo, densidade de drenagem, índice de circularidade e índice de sinuosidade, são ponderados pelos valores máximo e mínimo de cada parâmetro entre as sub-bacias analisadas. O grau de suscetibilidade varia de 1 a 3, sendo 1, suscetibilidade baixa, 2, suscetibilidade média e, 3, suscetibilidade alta.

Para a análise realizada na escala 1:50.000, três sub-bacias apresentaram baixa suscetibilidade à inundação, 27, média suscetibilidade e seis apresentaram alta suscetibilidade. Na análise em escala 1:25.000, três bacias apresentaram baixa suscetibilidade, 20 apresentaram média suscetibilidade para a ocorrência de inundações e apenas duas apresentaram alta suscetibilidade. Nas duas escalas a bacia do rio Ponte Alta foi classificada como de alta suscetibilidade em rela o à bacia do rio Alagado, que foi classificada como de baixa suscetibilidade. Os resultados da análise morfométrica na escala 1:50.000 estão apresentados na Figura 5.9 e na Tabela 5.4, a na escala 1:25.000, na Figura 5.10 e na Tabela 5.5.

As sub-bacias identificadas pelos algarismos 9 e 24 são classificadas como de baixa suscetibilidade em ambas as escalas de análise. De maneira análoga, as sub-bacias 5 e 10 também são consideradas de alta suscetibilidade nas duas escalas de análise. A sub-bacia 6 é de baixa suscetibilidade na escala 1:50.000, e torna-se de média suscetibilidade com o aumento da escala, inversamente ao que acontece com a sub-bacia 4. Na escala 1:50.000, além das sub-bacias 5 e 10, as sub-bacias 11, 19, 30 e 34 também se classificam como de alta suscetibilidade, com o aumento da escala para 1:25.000, as sub-bacias 11 e 19 tornam-se de suscetibilidade média, e as demais não são consideradas devido à falta de dados compatíveis com a escala.

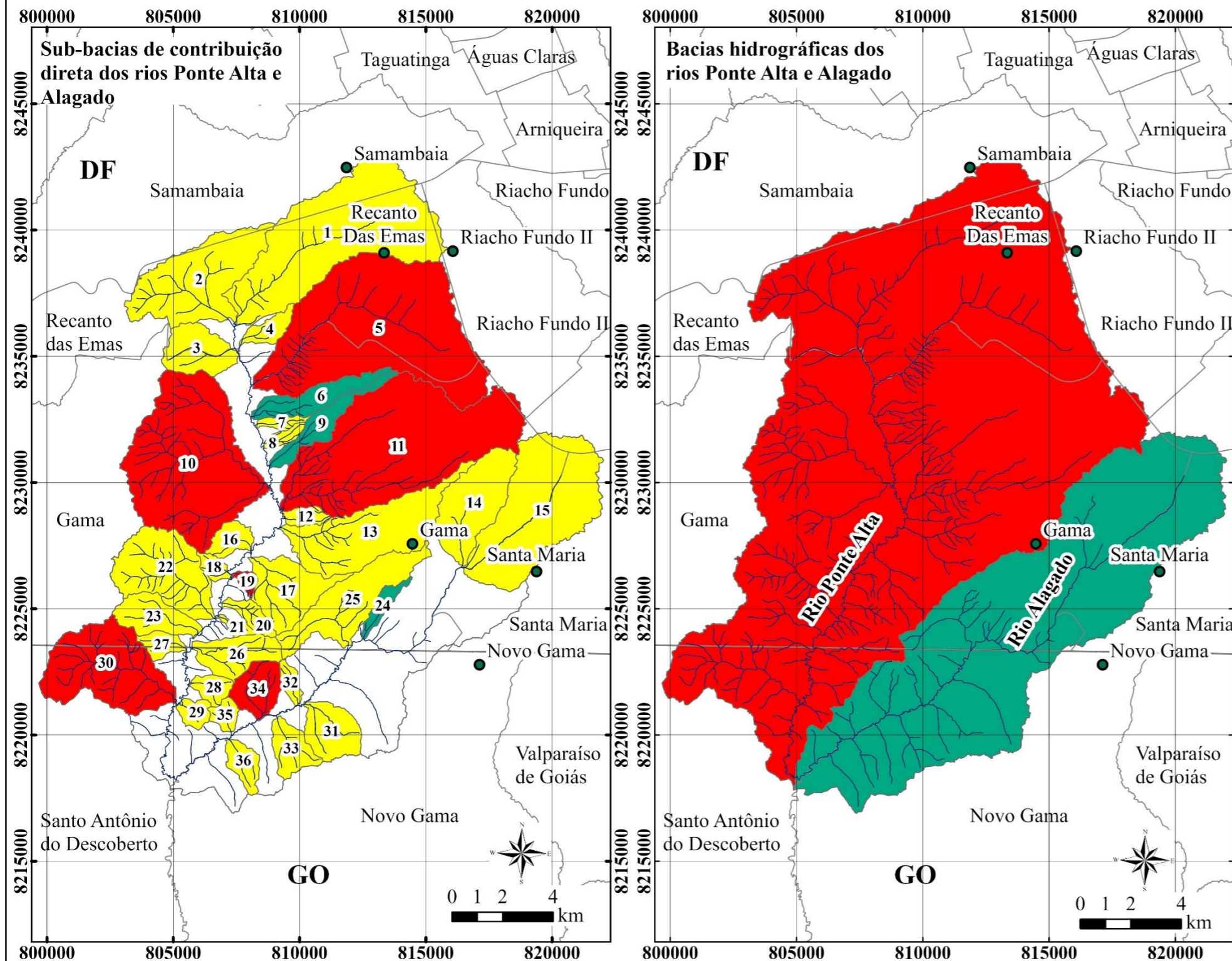
O aumento da escala de análise tem reflexo direto na hidrografia mapeada e, conseqüentemente, no parâmetro densidade de drenagem, que tem seu valor aumentado e é considerado no cálculo do índice de suscetibilidade morfométrico das sub-bacias.

Outra comparação pertinente diz respeito à qualidade dos produtos gerados com os MNT em escalas diferentes. Neste sentido, verificou-se que o MNT elaborado a partir da interpolação das curvas de nível, em escala 1:10.000, resulta em sub-bacias com contornos retilíneos e provavelmente incorretos nas áreas de relevo aplainado, como a porção leste da área estudada. Isto ocorre devido ao processo de interpolação, que gera áreas de declividade nula em regiões naturalmente aplainadas e em topos de morros, o que conduz a uma confusão no processo de elaboração da grade de direção de fluxo e acarreta erros nos produtos elaborados em sequência. Outra explicação é a existência de artefatos nas curvas de nível utilizadas na interpolação, especialmente nas áreas urbanas, que podem causar esse tipo de erro. Esses artefatos consistem na interferência de estruturas construídas no processo de obtenção do dado topográfico, conforme demonstrado pela Figura 5.11. Os limites das sub-bacias definidas a partir dos dados SRTM, em contrapartida, se apresentaram mais consistentes, sobretudo nas áreas planas e nos topos de morros.



Universidade de Brasília  
Programa de Pós-Graduação em Geotecnia

# GRAU DE SUSCETIBILIDADE MORFOMÉTRICO



Legenda	
Grau de Suscetibilidade Morfométrico	
Classe	
	Baixa
	Médio
	Alta

Convenções Cartográficas	
	Localidades
	Hidrografia
	Área de Estudo
	Limites - Regiões administrativas
	Limites Municipais
	Limite Estadual

Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas  
SIRGAS 2000  
Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM)  
Fuso 22 - Hemisfério Sul  
Fonte dos dados: IDE/DF (2024), IBGE (2022), USGS (2014).  
Escala dos dados: 1:50.000

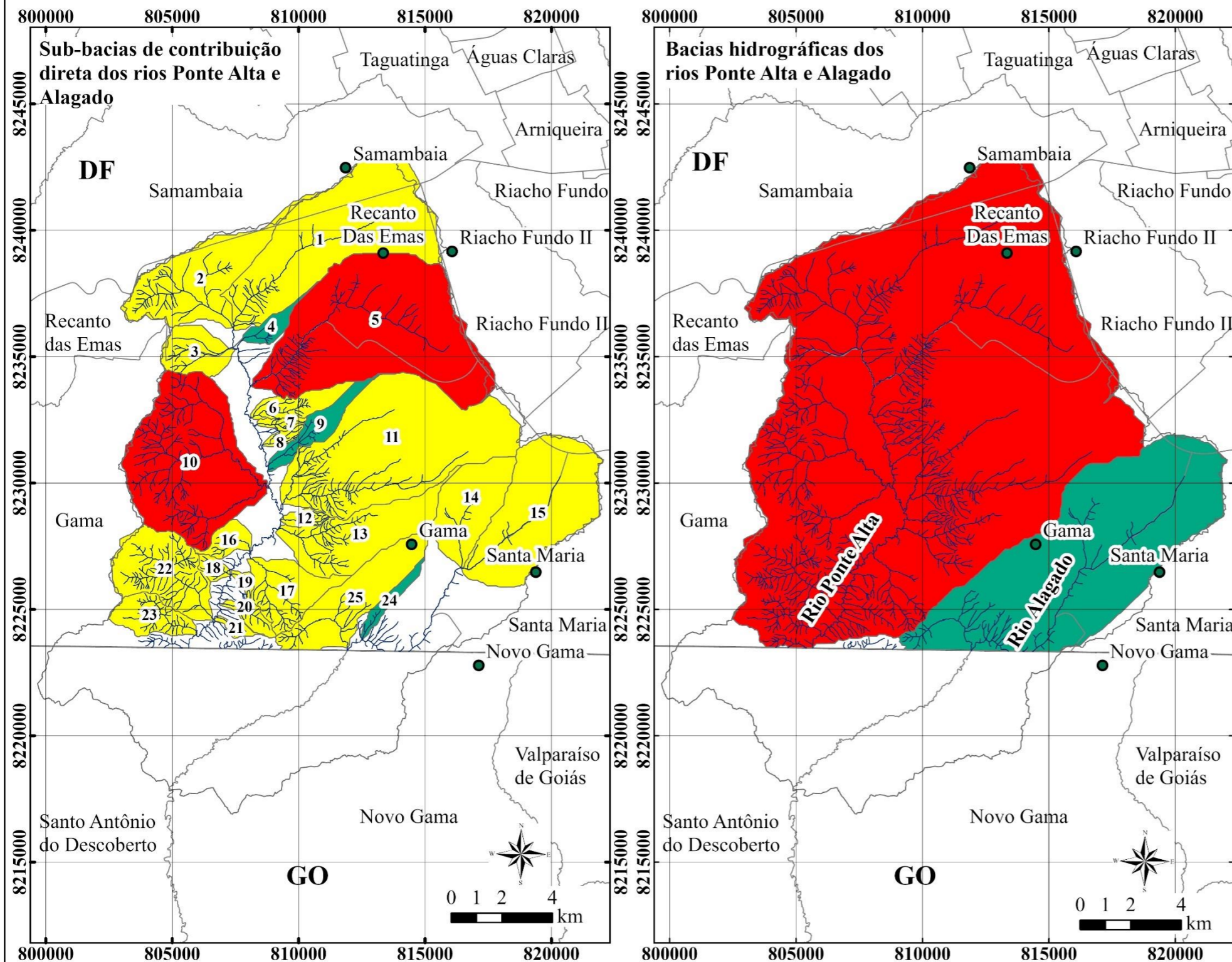
Organização Cartográfica:  
Anna Clara Brandão Lima Nascimento

Figura 5.9: Suscetibilidade morfométrica das sub-bacias e bacias hidrográficas elaborada com dados SRTM, na escala 1:50.000.



Universidade de Brasília  
Programa de Pós-Graduação em Geotecnia

# GRAU DE SUSCETIBILIDADE MORFOMÉTRICA



Legenda		Convenções Cartográficas	
Grau de Suscetibilidade Morfométrica		●	Localidades
Classe		—	Hidrografia
<span style="color: green;">■</span>	Baixa	□	Área de Estudo
<span style="color: yellow;">■</span>	Média	□	Limites - Regiões administrativas
<span style="color: red;">■</span>	Alta	□	Limites Municipais
		□	Limite Estadual

Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas  
SIRGAS 2000  
Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM)  
Fuso 22 - Hemisfério Sul  
Fonte dos dados: IDE/DF (2024), IBGE (2022).  
Escala dos dados: 1:25.000

Organização Cartográfica:  
Anna Clara Brandão Lima Nascimento

Figura 5.10: Suscetibilidade morfométrica das sub-bacias e bacias hidrográficas contidas no Distrito Federal, na escala 1:25.000.

Tabela 5.4: Parâmetros morfométricos das sub-bacias e bacias hidrográficas na escala 1:50.000.

<b>Sub-bacias hidrográficas</b>								
<b>Número de Identificação</b>	<b>Curso d'água</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Amplitude (m)</b>	<b>Relação de Relevo</b>	<b>Densidade de Drenagem</b>	<b>Índice de Circularidade</b>	<b>Índice de Sinuosidade</b>	<b>Grau de Suscetibilidade</b>
1	Córrego Estiva	26,136	301	34,224	0,590	0,393	1,081	2,366
2	Córrego Tamanduá	12,827	199	41,854	1,175	0,369	1,207	2,212
3	Córrego Capoeira Grande	4,476	136	47,150	0,913	0,648	1,086	2,192
4	Sem nome	1,588	179	99,918	1,670	0,430	1,102	1,650
5	Córrego Monjolo	34,371	337	31,176	0,830	0,462	1,355	3
6	Córrego Pintos	3,866	279	105,615	1,562	0,253	1,069	1,374
7	Córrego Terra Quebrada	0,730	174	85,861	4,145	0,347	1,027	1,948
8	Córrego Palmital	0,804	149	77,069	4,920	0,525	1,055	2,408
9	Córrego Taquara	3,341	298	108,431	1,284	0,184	1,033	1,164
10	Córrego Barreiro	25,352	183	25,609	1,647	0,535	1,279	2,984
11	Córrego Ponte de Serra	31,550	371	40,333	1,045	0,416	1,190	2,678
12	Sem nome	1,099	139	71,742	2,804	0,558	1,081	2,159
13	Córrego da Serra	12,761	342	76,725	1,022	0,313	1,126	1,807
14	Córrego Crispim	8,351	163	53,134	0,441	0,547	1,081	2,022
15	Ribeirão Alagado	19,380	162	27,787	0,356	0,489	1,086	2,345
16	Córrego Aroeira	1,792	131	66,803	1,430	0,548	1,298	2,186
17	Córrego Lambedor	6,303	194	51,427	1,240	0,461	1,156	2,083
18	Sem nome	0,906	150	123,203	3,072	0,572	1,123	1,945
19	Sem nome	0,581	123	73,900	3,912	0,554	1,404	2,659
20	Córrego Landi	1,433	162	72,595	2,993	0,450	1,035	1,998
21	Sem nome	0,598	139	104,022	3,365	0,432	1,017	1,804
22	Córrego Capivara	9,612	204	43,249	2,016	0,568	1,064	2,392
23	Córrego Docha	3,875	187	54,985	1,541	0,536	1,139	2,141
24	Sem nome	1,222	209	152,107	1,442	0,281	1,029	1
25	Córrego Samambaia	8,811	255	63,319	1,074	0,296	1,755	2,450
26	Sem nome	4,144	170	44,560	1,919	0,519	1,155	2,271
27	Córrego Água Doce	1,395	161	76,607	2,153	0,464	1,097	1,913

Número de Identificação	Curso d'água	Área (km <sup>2</sup> )	Amplitude (m)	Relação de Relevo	Densidade de Drenagem	Índice de Circularidade	Índice de Sinuosidade	Grau de Suscetibilidade
28	Sem nome	1,394	95	56,197	1,913	0,686	1,145	2,350
29	Sem nome	1,196	80	86,339	1,259	0,671	1,040	1,917
30	Córrego Buracão	13,035	230	34,374	1,912	0,525	1,358	2,761
31	Sem nome	4,158	150	53,014	1,226	0,703	1,153	2,348
32	Sem nome	0,982	152	81,793	2,422	0,519	1,111	2,006
33	Sem nome	2,788	141	48,201	1,871	0,587	1,183	2,330
34	Sem nome	3,376	159	55,787	1,738	0,760	1,337	2,672
35	Sem nome	1,085	90	61,696	1,971	0,647	1,078	2,195
36	Sem nome	1,878	143	66,297	1,943	0,581	1,036	2,046

**Bacias hidrográficas**

Número de Identificação	Curso d'água	Área (km <sup>2</sup> )	Amplitude (m)	Relação de Relevo	Densidade de Drenagem	Índice de Circularidade	Índice de Sinuosidade	Grau de Suscetibilidade
-	Rio Ponte Alta	228,432	412	10,330	1,326	0,340	1,655	3
-	Rio Alagado	92,345	410	16,340	0,911	0,310	1,291	1

Tabela 5.5: Parâmetros morfométricos das sub-bacias e bacias hidrográficas na escala 1:25.000.

**Sub-bacias hidrográficas**

Número de Identificação	Curso d'água	Área (km <sup>2</sup> )	Amplitude (m)	Relação de Relevo	Densidade de Drenagem	Índice de Circularidade	Índice de Sinuosidade	Grau de Suscetibilidade
1	Córrego Estiva	26,346	304,156	32,327	0,850	0,451	1,135	2,188
2	Córrego Tamanduá	13,039	271,690	54,560	2,064	0,300	1,267	1,968
3	Córrego Capoeira Grande	4,285	134,933	46,142	2,189	0,652	1,100	2,106
4	Sem nome	1,562	211,853	121,457	2,207	0,208	1,214	1,402
5	Córrego Monjolo	35,937	339,871	30,478	1,226	0,559	1,388	2,756
6	Córrego Pintos	2,909	244,069	91,920	3,249	0,346	1,091	1,648
7	Córrego Terra Quebrada	0,676	177,656	83,824	6,505	0,299	1,051	1,820



<b>Número de Identificação</b>	<b>Curso d'água</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Amplitude (m)</b>	<b>Relação de Relevo</b>	<b>Densidade de Drenagem</b>	<b>Índice de Circularidade</b>	<b>Índice de Sinuosidade</b>	<b>Grau de Suscetibilidade</b>
8	Córrego Palmital	0,766	160,260	77,711	6,892	0,426	1,112	2,083
9	Córrego Taquara	3,269	304,362	108,643	2,067	0,199	1,049	1,283
10	Córrego Barreiro	25,467	182,623	21,366	2,653	0,670	1,509	3,000
11	Córrego Ponte de Serra	31,795	373,827	40,643	1,447	0,551	1,192	2,463
12	Sem nome	0,954	144,400	72,007	6,169	0,545	1,102	2,173
13	Córrego da Serra	11,220	326,410	71,266	1,934	0,365	1,150	1,823
14	Córrego Crispim	8,435	162,550	55,232	0,610	0,621	1,129	2,000
15	Ribeirão Alagado	18,984	162,630	27,994	0,434	0,643	1,083	2,223
16	Córrego Aroeira	1,876	154,993	74,134	2,495	0,475	1,404	2,104
17	Córrego Lambedor	6,394	191,310	48,100	2,476	0,465	1,166	2,010
18	Sem nome	0,901	154,879	115,577	4,792	0,586	1,025	1,866
19	Sem nome	0,578	139,579	86,923	4,792	0,553	1,341	2,254
20	Córrego Landi	1,378	164,168	68,393	4,092	0,440	1,057	1,853
21	Sem nome	0,642	161,667	120,393	4,615	0,319	1,036	1,536
22	Córrego Capivara	9,753	204,637	41,924	3,855	0,628	1,100	2,317
23	Córrego Docha	3,869	189,378	53,621	3,991	0,571	1,178	2,212
24	Sem nome	1,364	238,080	168,462	1,650	0,212	1,034	1,000
25	Córrego Samambaia	10,228	273,267	64,538	1,332	0,373	1,547	2,200

**Bacias hidrográficas**

<b>Número de Identificação</b>	<b>Curso d'água</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Amplitude (m)</b>	<b>Relação de Relevo</b>	<b>Densidade de Drenagem</b>	<b>Índice de Circularidade</b>	<b>Índice de Sinuosidade</b>	<b>Grau de Suscetibilidade</b>
-	Rio Ponte Alta	200,868	395,000	13,319	2,018	0,528	1,547	3
-	Rio Alagado	53,101	359,977	29,713	0,881	0,495	1,111	1

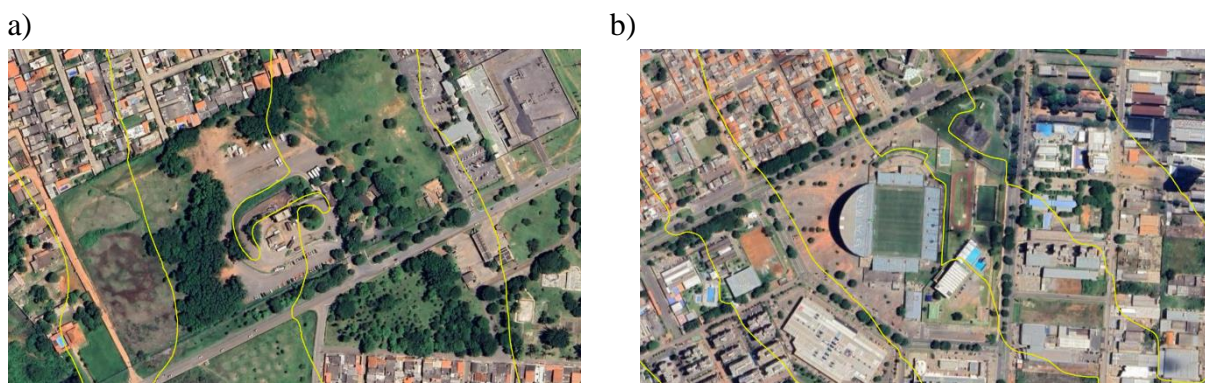


Figura 5.11: Curvas de nível acompanhando estruturas construídas na área de estudo.

Na segunda etapa foi elaborada a carta de altura vertical da drenagem mais próxima (HAND) para a área de estudo, possibilitando observar áreas naturalmente propensas aos processos de inundação e de alagamentos, bem como inferir sobre a altura do nível freático, tendo em vista que o modelo fornece uma medida da energia potencial da água no solo. As cartas elaboradas na escala 1:50.000 e 1:25.000 estão apresentadas na Figura 5.12 e na Figura 5.13, respectivamente.

Para o modelo HAND elaborado com os dados SRTM, a máxima altura vertical apresentada foi de 244 metros, enquanto o modelo HAND elaborado com os dados de maior resolução apresenta altura vertical máxima de 253 metros. Os maiores valores de altura vertical estão localizados nas regiões que constituem divisores topográficos. Apesar das escalas diferentes e, conseqüentemente, tamanhos de pixel diferentes, utilizou-se valores de limiar que resultassem nas mesmas áreas de acumulação de fluxo para ambos os MNT.

Em relação à qualidade dos produtos obtidos a partir de cada MNT, tem-se as mesmas observações relacionadas à delimitação das sub-bacias hidrográficas: o modelo elaborado a partir dos dados SRTM apresentou uma melhor delimitação dos divisores topográficos nas regiões de relevo plano na porção leste da bacia hidrográfica em comparação com o modelo elaborado com o MNT de maior escala. No produto elaborado com o modelo SRTM observam-se duas áreas onde houve extrapolação do curso d'água, na cabeceira do Ribeirão Ponte da Serra e do rio Alagado. Nesta última, o modelo elaborado em maior escala também apresenta extrapolação. Isso resulta na previsão incorreta de uma área que não está sob a influência de corpos d'água, superestimando a área sujeita a inundações. Nestas regiões, as cabeceiras dos rios e nas suas margens, predominam as formações denominadas campos de murundus, descritas na seção 4. Este microrrelevo está associado à presença de água no solo, evidenciada pelo modelo HAND, que fornece uma superfície de potenciais gravitacionais relativos.

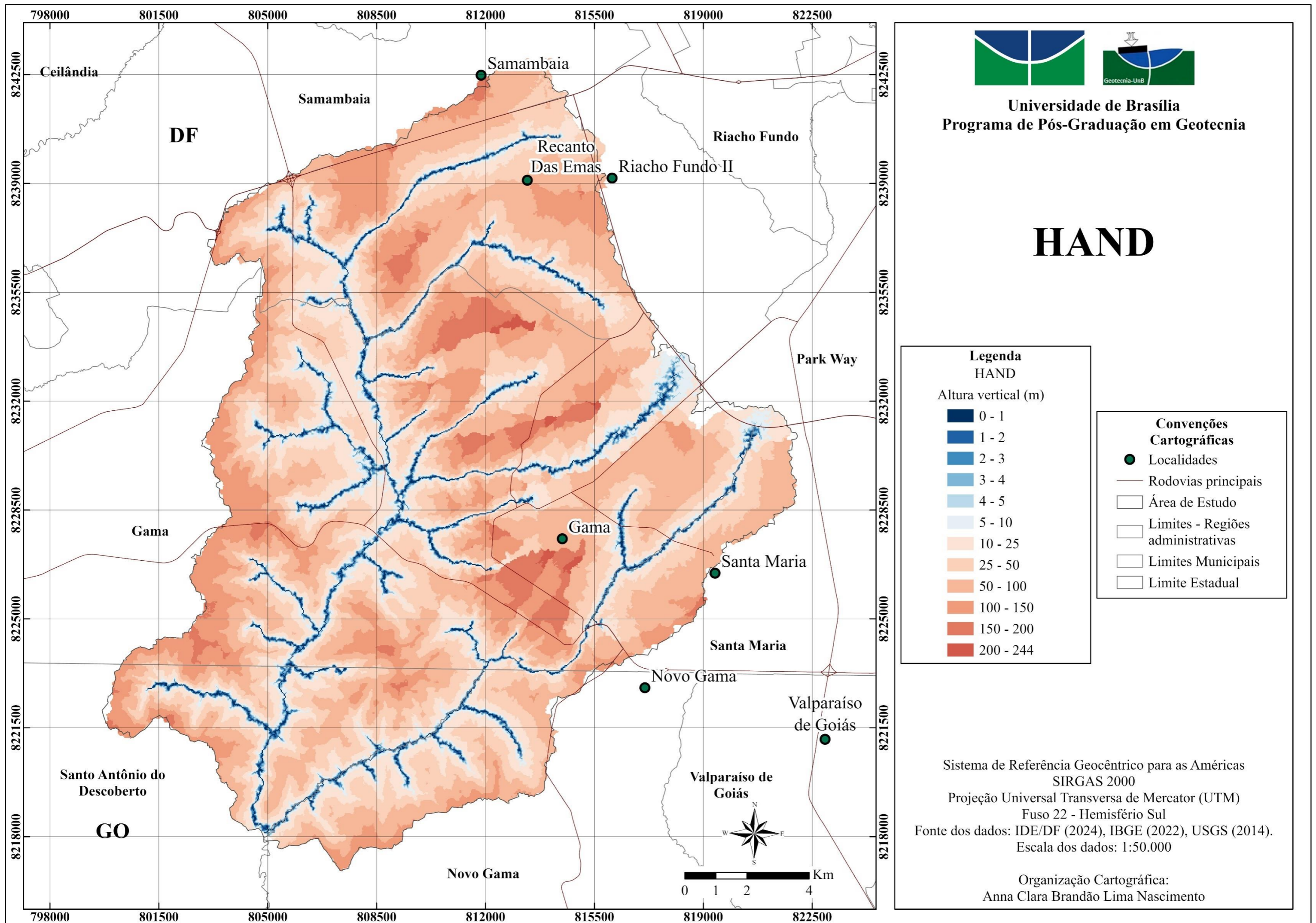


Figura 5.12: Modelo HAND da área de estudo elaborado com dados SRTM, na escala 1:50.000.

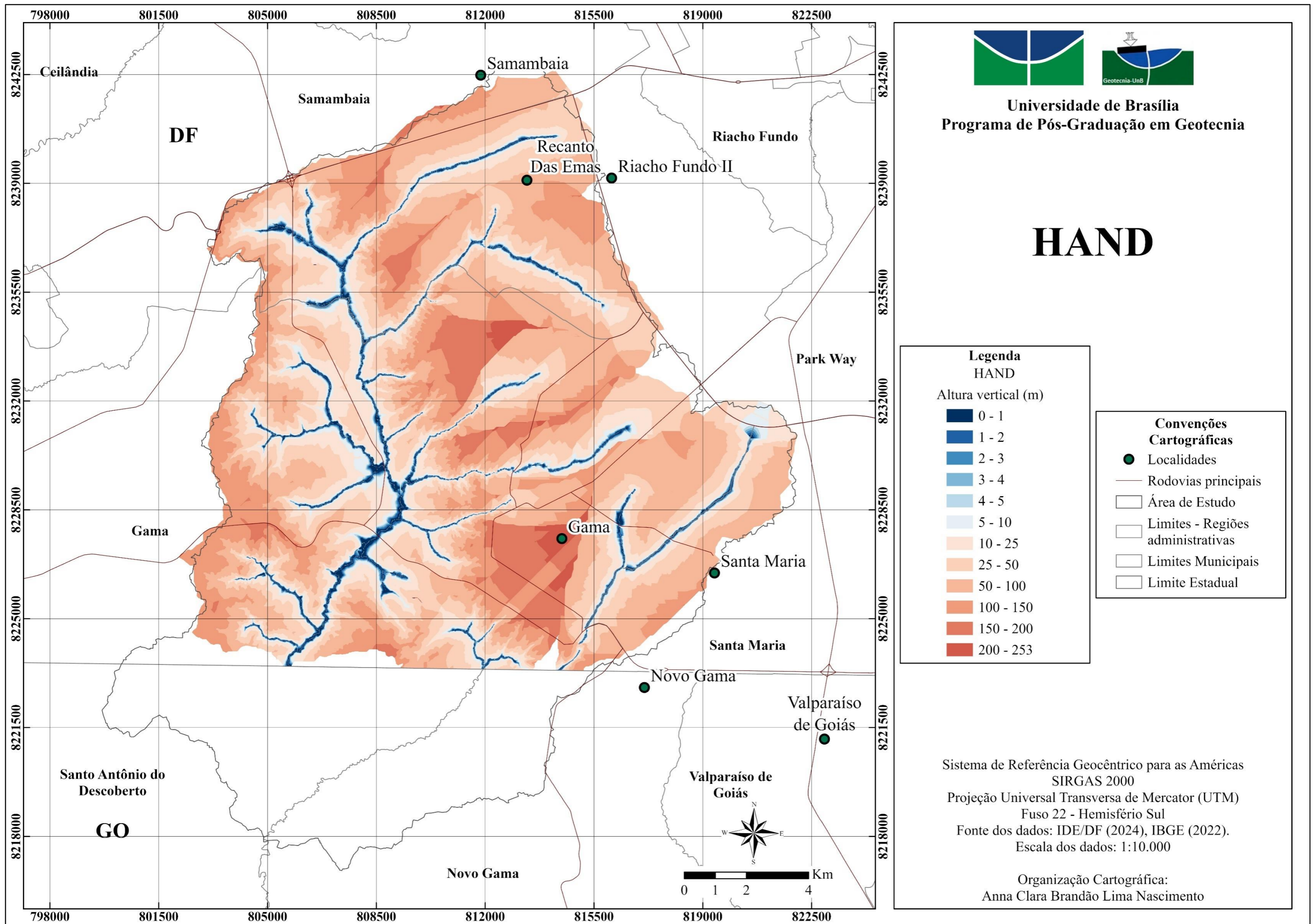


Figura 5.13: Modelo HAND da área de estudo contida no Distrito Federal, na escala 1:10.000.

A terceira etapa de avaliação da suscetibilidade à inundação consiste no cruzamento das suscetibilidades obtidas nas etapas anteriores. O cruzamento foi feito para as sub-bacias analisadas e para as bacias dos rios Ponte Alta e Alagado, nas duas escalas de análise. O processo foi realizado conforme a matriz de correlação da Tabela 3.2 e está apresentado na Figura 5.14 e na Figura 5.15.

O cruzamento dos graus de suscetibilidade é feito dentro das classes definidas no modelo HAND. Dessa forma, conforme a matriz de correlação utilizada, tem-se que em sub-bacias de média suscetibilidade a classificação apresentada a partir do fatiamento do modelo HAND não é alterada. Já em sub-bacias classificadas como de alta e baixa suscetibilidade, a aplicação da álgebra de mapas resulta em apenas duas classes de suscetibilidade. Entende-se, portanto, que o cruzamento fornece como resultado a suscetibilidade prevista pelo modelo HAND majorada ou minimizada pelas características morfométricas das sub-bacias.

O grau de suscetibilidade final calculado para as sub-bacias na escala 1:50.000 resultou em 9,04 km<sup>2</sup> de áreas altamente suscetíveis a processos de inundação, 10,20 km<sup>2</sup> de áreas de média suscetibilidade e 7,06 km<sup>2</sup> de áreas de baixa suscetibilidade. A área restante, 228,84 km<sup>2</sup>, foi considerada como não predisponente este tipo de evento, ou seja, de suscetibilidade nula. Nesta análise, por contemplar somente as sub-bacias principais, não foi considerada toda a área das bacias hidrográficas.

A bacia do rio Ponte Alta, devido à alta suscetibilidade morfométrica à inundação, resultou em três classes finais de suscetibilidade, de modo análogo, a bacia do rio Alagado, de baixa suscetibilidade morfométrica, também possui três classes de suscetibilidade. Considerando a área total, a classe de alta suscetibilidade possui área de 13,71 km<sup>2</sup>, 15,21 km<sup>2</sup> são considerados de média suscetibilidade e 7,66 km<sup>2</sup>, de baixa suscetibilidade. Os 281,74 km<sup>2</sup> restantes representa áreas não suscetíveis.

Na escala 1:25.000, a análise das sub-bacias resultou em 5,54 km<sup>2</sup> altamente suscetíveis à ocorrência de inundações, 5,96 km<sup>2</sup> de áreas de média suscetibilidade, 6,36 km<sup>2</sup>, de baixa suscetibilidade e 200,65 km<sup>2</sup> não suscetíveis. Considerando toda a área das bacias contida no Distrito Federal, 10,07 km<sup>2</sup> são classificados como de alta suscetibilidade, 9,86 km<sup>2</sup>, de média suscetibilidade e 3,08 km<sup>2</sup> de baixa suscetibilidade. Os 225,27 km<sup>2</sup> restantes apresentam suscetibilidade nula. A área das classes de suscetibilidade para cada escala, bem como a área coincidente entre o resultado dos dois produtos está apresentada na Tabela 5.6.

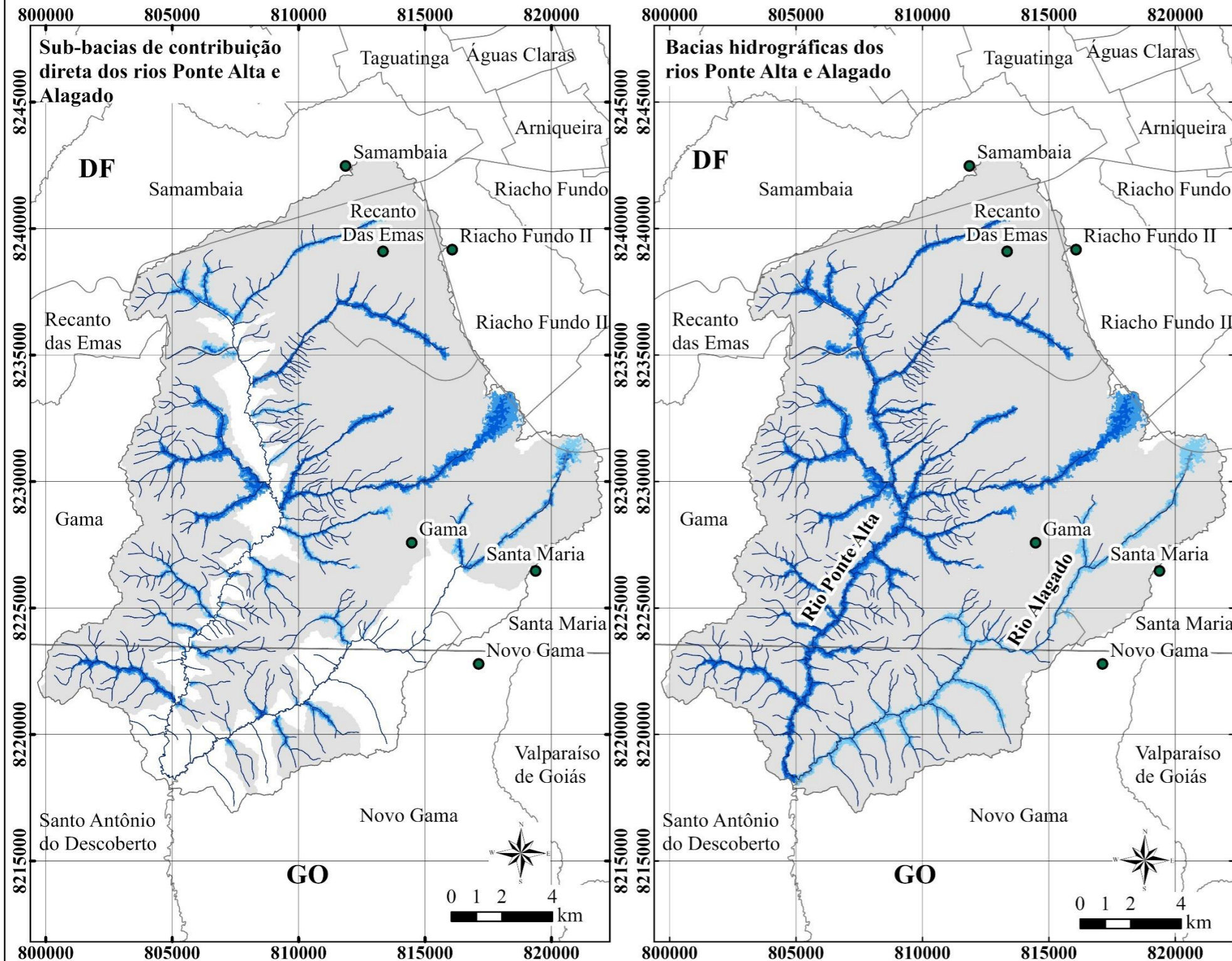
Tabela 5.6: Área das classes de suscetibilidade à inundação nas escalas 1:50.000 e 1:25.000 (km<sup>2</sup>).

Classe	1:50.000				1:25.000				Área coincidente	
	Sub-bacias	%	Bacias	%	Sub-bacias	%	Bacias	%	Sub-bacias	Bacias
<b>Alta</b>	9,04	3,54	13,71	4,31	5,54	2,54	10,07	4,06	3,27	7,08
<b>Média</b>	10,20	4,00	15,21	4,78	5,96	2,73	9,86	3,97	2,15	4,52
<b>Baixa</b>	7,06	2,77	7,66	2,40	6,36	2,91	3,08	1,24	2,24	2,15
<b>Nula</b>	228,84	89,69	281,74	88,51	200,65	91,82	225,27	90,73	189,26	215,20
<b>Total</b>	255,14	100,0	318,32	100,0	218,51	100,0	248,28	100,0	196,92	228,95



Universidade de Brasília  
Programa de Pós-Graduação em Geotecnia

# GRAU DE SUSCETIBILIDADE FINAL À INUNDAÇÃO



Legenda	
Grau de Suscetibilidade Final	
Classe	
	Nula
	Baixa
	Média
	Alta

Convenções Cartográficas	
	Localidades
	Hidrografia
	Área de Estudo
	Limites - Regiões administrativas
	Limites Municipais
	Limite Estadual

Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas  
SIRGAS 2000  
Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM)  
Fuso 22 - Hemisfério Sul  
Fonte dos dados: IDE/DF (2024), IBGE (2022), USGS (2014).  
Escala dos dados: 1:50.000

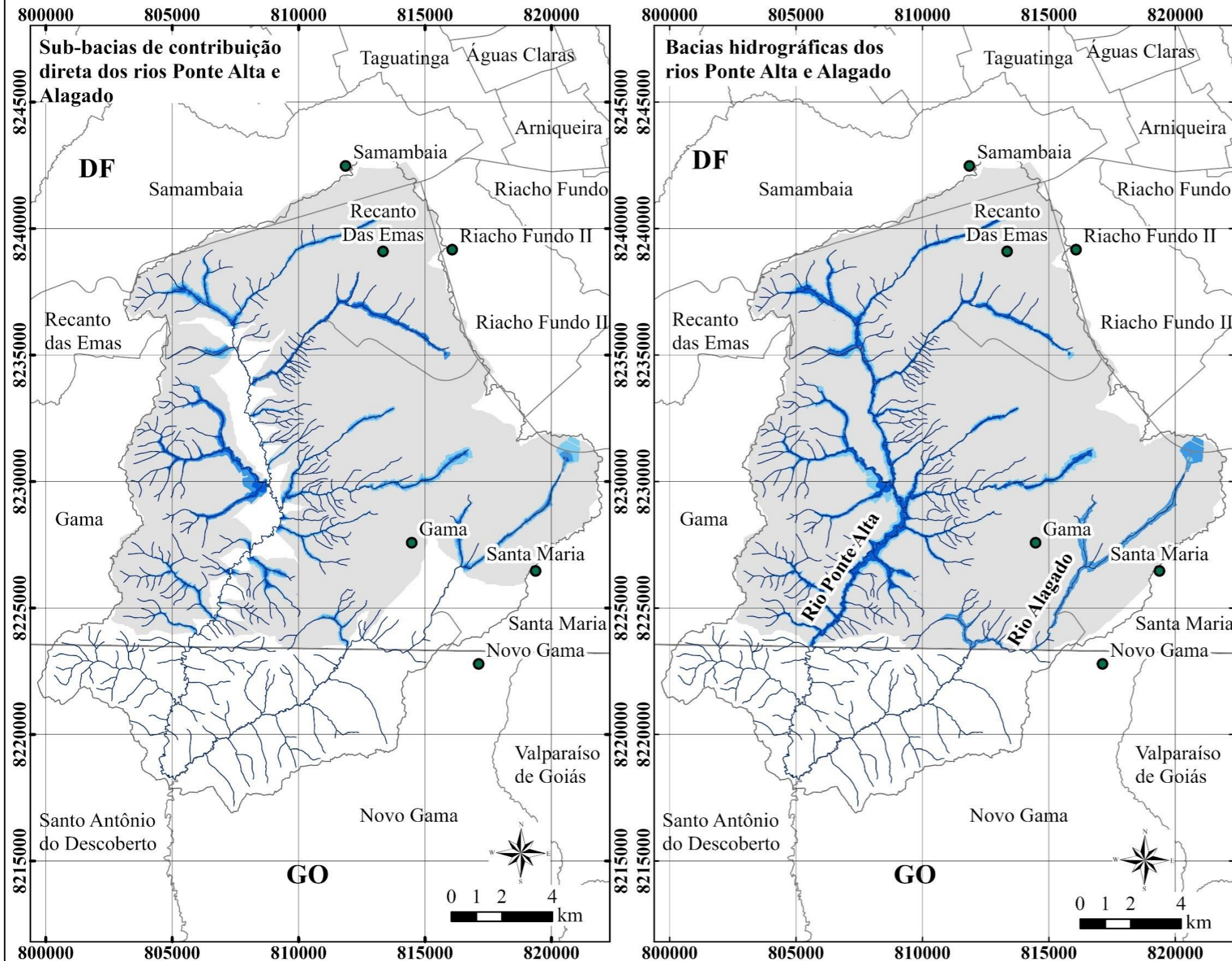
Organização Cartográfica:  
Anna Clara Brandão Lima Nascimento

Figura 5.14: Zoneamento de suscetibilidade à inundação na escala 1:50.000.



Universidade de Brasília  
Programa de Pós-Graduação em Geotecnia

# GRAU DE SUSCETIBILIDADE FINAL À INUNDAÇÃO



Legenda		Convenções Cartográficas	
Grau de Suscetibilidade Final		Localidades	
Classe		Hidrografia	
	Nula		Área de Estudo
	Baixa		Limites - Regiões administrativas
	Média		Limites Municipais
	Alta		Limite Estadual

Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas  
SIRGAS 2000  
Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM)  
Fuso 22 - Hemisfério Sul  
Fonte dos dados: IDE/DF (2024), IBGE (2022), USGS (2014).  
Escala dos dados: 1:25.000

Organização Cartográfica:  
Anna Clara Brandão Lima Nascimento

Figura 5.15: Zoneamento de suscetibilidade à inundação na escala 1:25.000.



### 5.3. SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA

O inventário de cicatrizes de deslizamentos foi elaborado considerando toda a área de estudo e resultou em 37 cicatrizes características de deslizamentos, mapeadas com imagens entre 2003 e 2024 da área de estudo. As feições localizam-se predominantemente na área piloto. A fotointerpretação indica que todas as cicatrizes mapeadas correspondem a deslizamentos rasos, com superfície de ruptura planar, conforme a Figura 3.4. A localização das cicatrizes e o limite da área piloto, sobrepostos ao fator condicionante declividade estão apresentados na Figura 5.16 e na Figura 5.17. Também relacionadas à declividade, a Tabela 5.7 apresenta o cálculo do Índice de Suscetibilidade a Deslizamentos (ISD) para a escala 1:50.000, e a Tabela 5.8, para a escala 1:10.000. Os resultados estão sintetizados na Figura 5.18.

Tabela 5.7: Cálculo do Índice de Suscetibilidade a Deslizamentos para o fator condicionante declividade na área piloto, na escala 1:50.000.

Faixa de Declividade (°)	Faixa de Declividade (%)	Área de Cicatrizes (m <sup>2</sup> )	Área da Classe (km <sup>2</sup> )	Densidade de Cicatrizes	Densidade Normalizada	Índice de Suscetibilidade
0 - 3	0 - 5,2	-	1,6	-	-	-
3 - 6	5,2 - 10,5	75	5,5	1,36E-05	0,05	-1,27
6 - 9	10,5 - 15,8	175	6,7	2,61E-05	0,10	-0,98
9 - 12	15,8 - 21,2	975	5,3	1,84E-04	0,73	-0,14
12 - 15	21,2 - 26,8	1.150	4,0	2,91E-04	1,15	0,06
15 - 18	26,8 - 32,5	1.700	2,6	6,47E-04	2,56	0,41
18 - 21	32,5 - 38,4	1.150	1,7	6,65E-04	2,63	0,42
21 - 24	38,4 - 44,5	1.050	0,9	1,12E-03	4,44	0,65
24 - 27	44,5 - 50,9	425	0,4	9,77E-04	3,87	0,59
27 - 30	50,9 - 57,7	650	0,2	2,74E-09	1,09E-05	-4,96
> 30	> 57,7	-	0,1	-	-	-
Total	-	7.350	29,0	-	-	-

Para a declividade extraída dos dados SRTM, em escala 1:50.000, não foram registrados deslizamentos na primeira e na última classe. As áreas de cicatrizes cresceram até a classe de 15 a 18 graus (27 a 32%), seguido de decréscimo até a classe de 24 a 27 graus (44 a 51%) e aumento na classe seguinte. Os valores de ISD tornam-se positivos a partir dos 15 graus de declividade, apresentando o maior valor para a classe de 21 a 24 graus, decrescendo a partir desta.

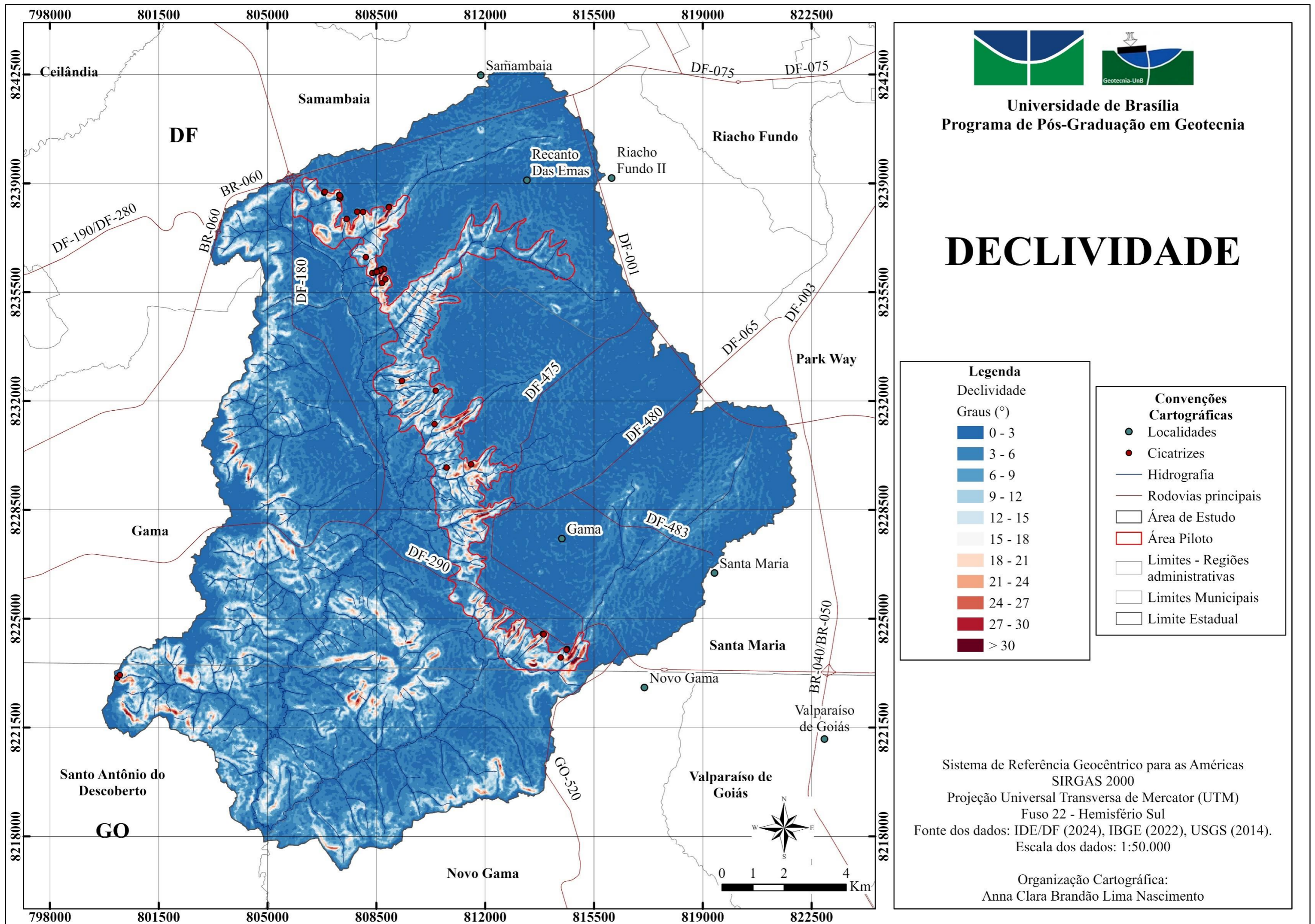


Figura 5.16: Cicatrizes e limite da área piloto sobpostos ao fator condicionante declividade, na escala 1:50.000.

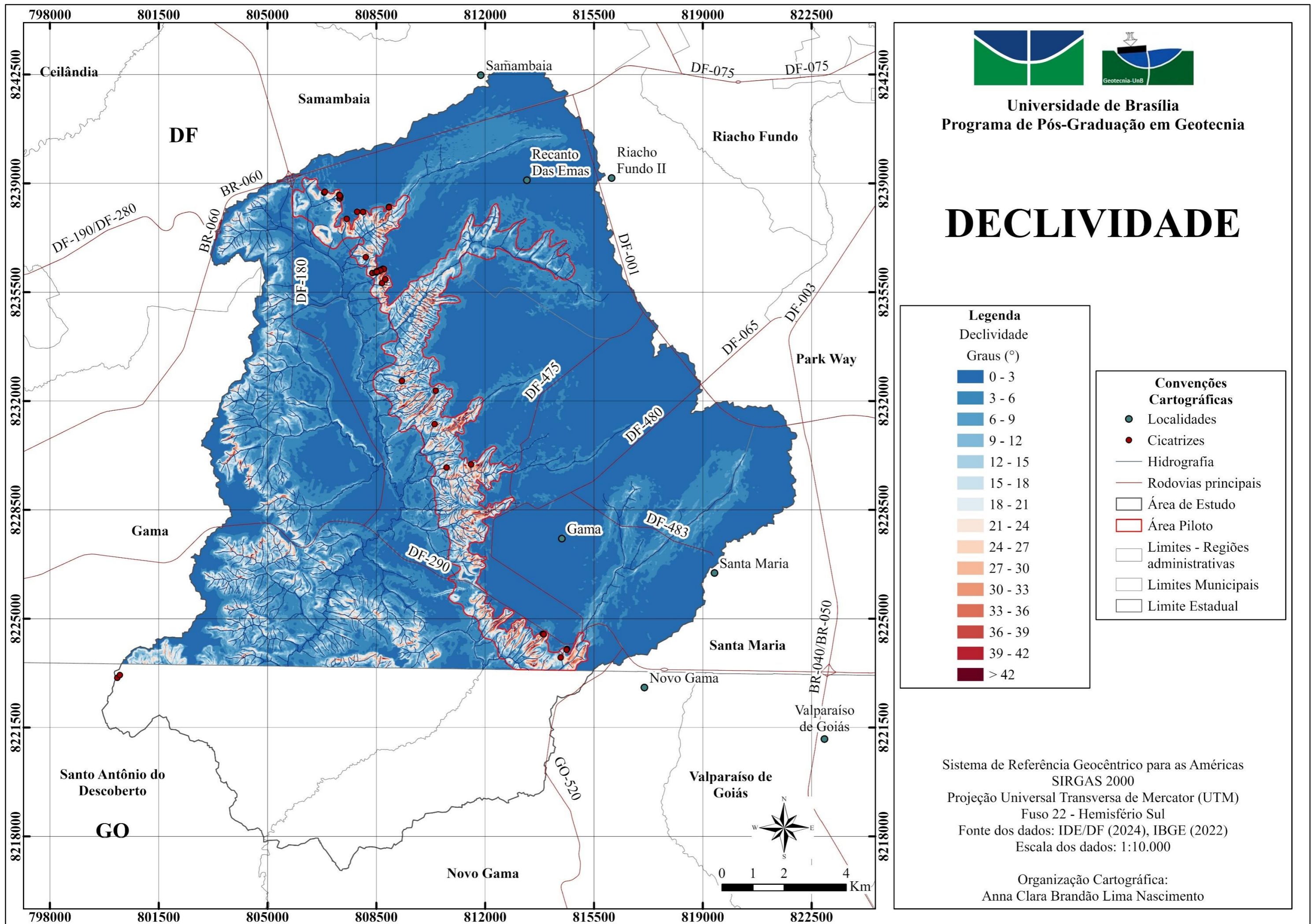


Figura 5.17: Cicatrizes e limite da área piloto sobrepostos ao fator condicionante declividade, na escala 1:10.000.

Tabela 5.8: Cálculo do Índice de Suscetibilidade a Deslizamentos para o fator condicionante declividade na área piloto, na escala 1:10.000.

Faixa de Declividade (°)	Faixa de Declividade (%)	Área de Cicatrizes (m <sup>2</sup> )	Área da Classe (km <sup>2</sup> )	Densidade de Cicatrizes	Densidade Normalizada	Índice de Suscetibilidade
0 - 3	0 - 5,2	-	1,2	-	-	-
3 - 6	5,2 - 10,5	-	4,0	-	-	-
6 - 9	10,5 - 15,8	-	4,9	-	-	-
9 - 12	15,8 - 21,2	125	4,1	3,02E-05	0,12	-0,92
12 - 15	21,2 - 26,8	125	3,4	3,72E-05	0,15	-0,83
15 - 18	26,8 - 32,5	200	2,7	7,32E-05	0,29	-0,54
18 - 21	32,5 - 38,4	625	2,3	2,70E-04	1,07	0,03
21 - 24	38,4 - 44,5	925	2,0	4,74E-04	1,88	0,27
24 - 27	44,5 - 50,9	1.500	1,5	9,80E-04	3,88	0,59
27 - 30	50,9 - 57,7	1.250	1,1	1,09E-03	4,33	0,64
30 - 33	57,7 - 64,9	525	0,8	6,35E-04	2,52	0,40
33 - 36	64,9 - 72,6	500	0,6	9,06E-04	3,59	0,56
36 - 39	72,6 - 81,0	675	0,3	2,29E-03	9,06	0,96
39 - 42	81,0 - 90,0	550	0,1	3,95E-03	15,65	1,19
> 42	> 90,0	350	0,1	3,23E-03	12,80	1,11
Total	-	7.350	29,0	-	-	-

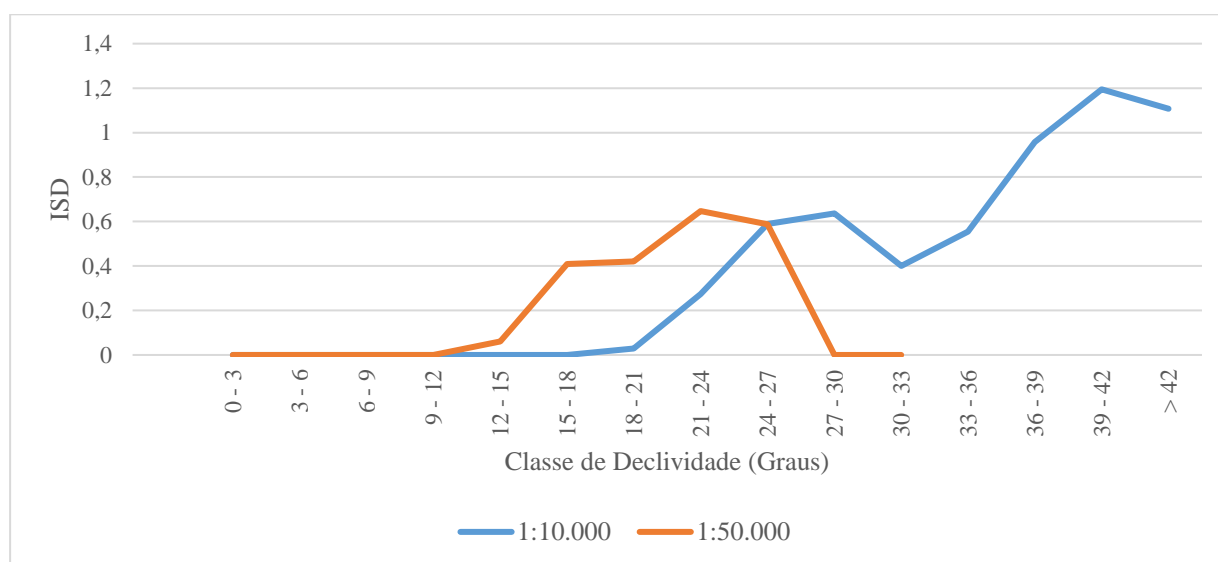


Figura 5.18: Índice de suscetibilidade a deslizamentos para cada classe de declividade nas escalas 1:10.000 e 1:50.000, na área piloto.

Para as faixas de declividade apresentadas na Tabela 5.8, na escala 1:10.000, nenhuma cicatriz foi registrada até 9 graus. As classes que apresentaram os menores registros

correspondem as declividades de 9 a 12 e de 12 a 15 graus. A partir de 18 graus, a área de cicatrizes se torna significativa e cresce com o aumento da declividade até a classe de 24 a 27 graus, que apresenta a maior área ocupada por cicatrizes. A partir desta classe, as áreas de cicatrizes diminuem e não seguem um padrão de aumento ou decréscimo. Comparando o ISD calculado para a declividade, os resultados para o produto de maior resolução são mais coerentes com o que se apresenta na literatura.

O Índice de Suscetibilidade a Deslizamentos não possui valor definido para as classes que não apresentam registros de deslizamento. Apresenta valor negativo para as classes que apresentam valores de densidade normalizada ( $D_n$ ) inferiores à unidade e positivos para valores de  $D_n$  maiores que um. Isto se repete para os demais parâmetros analisados e, de acordo com Zêzere (2002), valores negativos de ISD indicam que determinada classe não é relevante para o desenvolvimento de escorregamentos. A partir de 18 graus (32,5%) o ISD apresenta valores positivos e os maiores valores são registrados para as classes de maiores declividades, sendo o maior deles relativo à classe de 39 a 42 graus.

Tanto os mapas de declividade quanto as tabelas correspondentes evidenciam que o MNT de maior resolução espacial dá origem a produtos mais detalhados, o PI de declividade elaborado com MNT na escala 1:10.000 apresenta valores de declividade da ordem de 52 graus, enquanto o PI de declividade derivado do SRTM, na escala 1:50.000, apresenta os maiores valores em torno de 37 graus. Neste caso, a maior resolução possibilita realizar análises mais detalhadas.

É importante observar que a divisão das classes influencia sobremaneira o resultado do Índice de Suscetibilidade a Deslizamentos, uma vez que este é função da área das classes e da área atingida por deslizamentos em cada uma delas, valores que se alteram facilmente a depender do fatiamento. Para a declividade, o intervalo de fatiamento adotado foi 3 graus, buscando bem representar espacialmente a distribuição do parâmetro na área analisada.

Outro fator condicionante analisado foi a forma das vertentes, o mapa correspondente a este parâmetro, bem como o limite da área piloto e a localização das cicatrizes mapeadas estão dispostos na Figura 5.19 e Figura 5.20. A Tabela 5.9 apresenta o resultado do cálculo do ISD relacionado a forma das vertentes para as escalas 1:50.000. Para a escala 1:10.000, o cálculo do ISD está disposto na Tabela 5.10. A Figura 5.21 resume estes resultados.

Na escala 1:50.000, a distribuição das cicatrizes em relação às formas de terreno foi predominante nas áreas de curvatura convergente, cujas formas contém os maiores valores de área de cicatrizes, sobretudo a forma convergente convexa. A forma plana côncava também apresenta área ocupada por cicatrizes de maneira relevante. Estas formas apresentaram valores

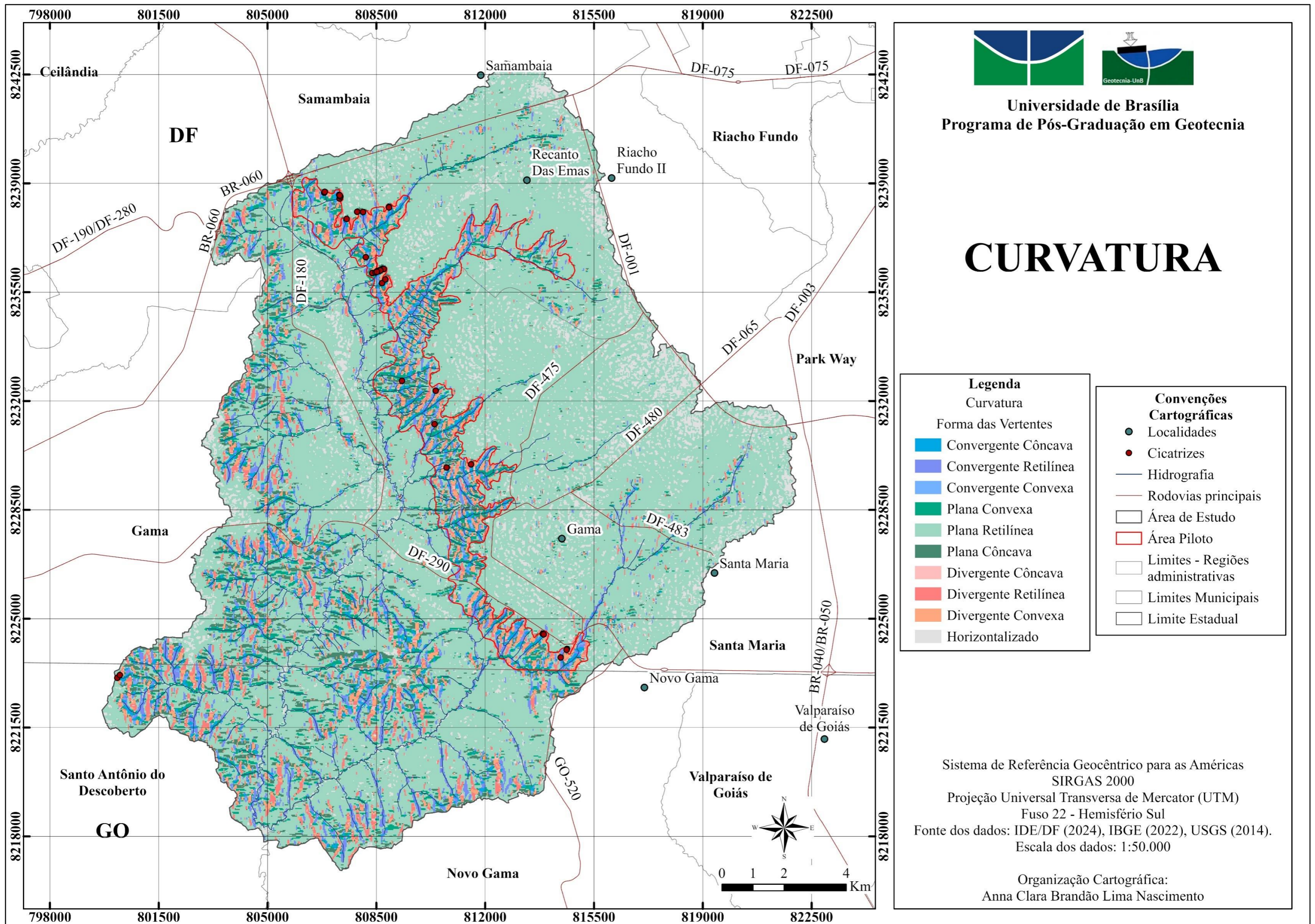


Figura 5.19: Cicatrizes e limite da área piloto sobrepostos ao fator condicionante curvatura (forma de terreno), na escala 1:50.000.

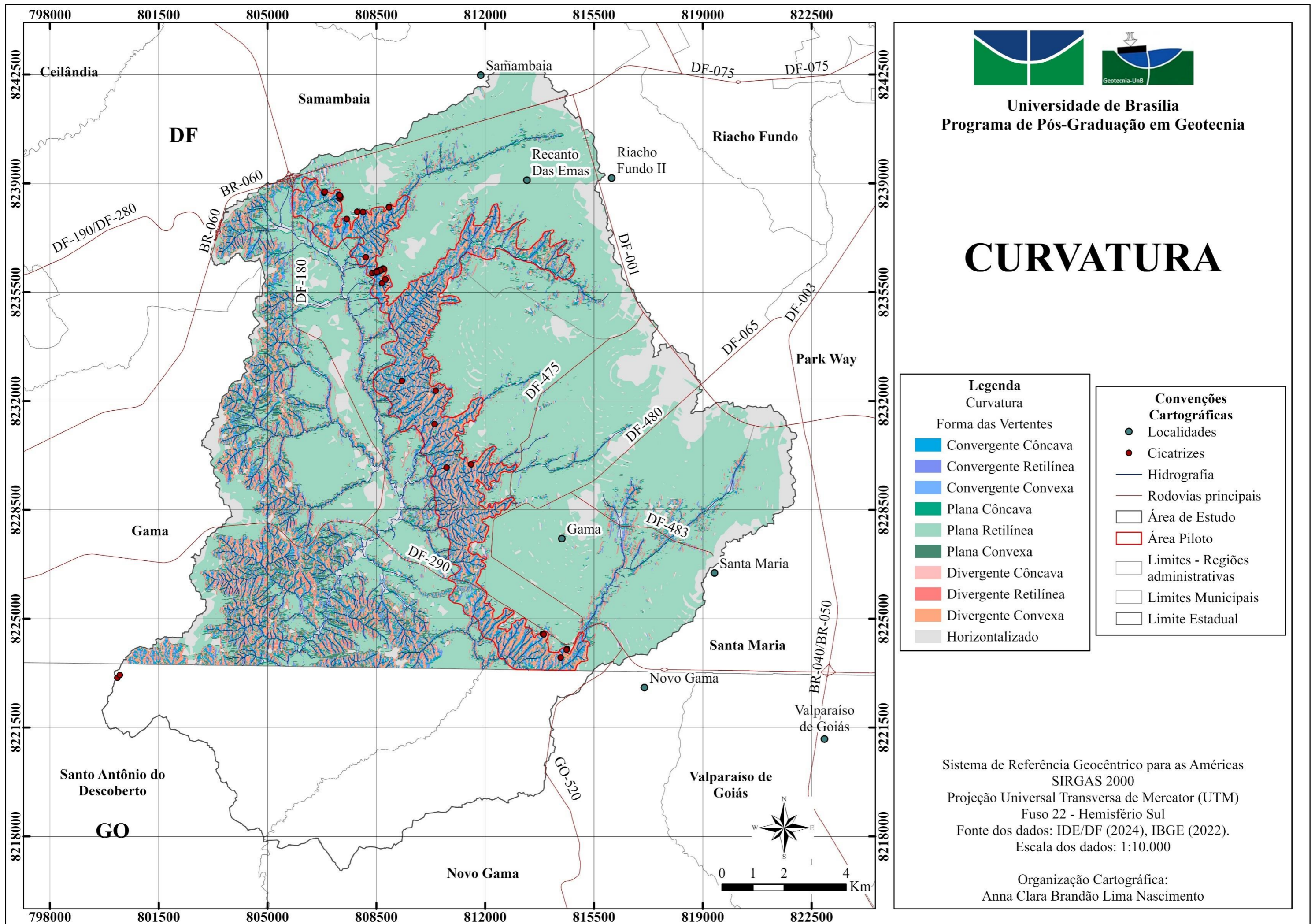


Figura 5.20: Cicatrizes e limite da área piloto sobrepostos ao fator condicionante curvatura (forma de terreno), na escala 1:10.000.

positivos de ISD, sendo o maior deles registrado para a forma convergente côncava, assim como no produto de curvatura elaborado em maior escala. Novamente, não foram registradas cicatrizes sobre a forma horizontalizada.

Tabela 5.9: Cálculo do Índice de Suscetibilidade a Deslizamentos para o fator condicionante forma das vertentes na área piloto, na escala 1:50.000.

Forma de terreno	Área de Cicatrizes (m <sup>2</sup> )	Área da Classe (km <sup>2</sup> )	Densidade de Cicatrizes	Densidade Normalizada	Índice de Suscetibilidade
Convergente Côncava	1.900	2,6	7,18E-04	2,84	0,45
Convergente Retilínea	1.900	3,5	5,45E-04	2,16	0,33
Convergente Convexa	950	0,8	1,13E-03	4,46	0,65
Plana Côncava	950	3,8	2,53E-04	1,00	0,00
Plana Retilínea	425	8,9	4,75E-05	0,19	-0,73
Plana Convexa	575	3,0	1,95E-04	0,77	-0,11
Divergente Côncava	75	0,8	8,86E-05	0,35	-0,45
Divergente Retilínea	500	2,6	1,90E-04	0,75	-0,12
Divergente Convexa	75	2,8	2,67E-05	0,11	-0,98
Horizontalizado	-	0,2	-	-	-
Total	7.350	29,0	-	-	-

Tabela 5.10: Cálculo do Índice de Suscetibilidade a Deslizamentos para o fator condicionante forma das vertentes na área piloto, na escala 1:10.000.

Forma de terreno	Área de Cicatrizes (m <sup>2</sup> )	Área da Classe (km <sup>2</sup> )	Densidade de Cicatrizes	Densidade Normalizada	Índice de Suscetibilidade
Convergente Côncava	2.775	5,9	4,71E-04	1,87	0,27
Convergente Retilínea	575	2,2	2,67E-04	1,06	0,02
Convergente Convexa	1.475	2,6	5,65E-04	2,24	0,35
Plana Côncava	425	2,0	2,08E-04	0,82	-0,08
Plana Retilínea	50	2,6	1,85E-05	0,07	-1,13
Plana Convexa	225	2,0	1,11E-04	0,44	-0,36
Divergente Côncava	850	2,3	3,68E-04	1,46	0,16
Divergente Retilínea	75	2,0	3,74E-05	0,15	-0,83
Divergente Convexa	900	6,8	1,32E-04	0,52	-0,28
Horizontalizado	-	0,6	-	-	-
Total	7.350	29,0	-	-	-



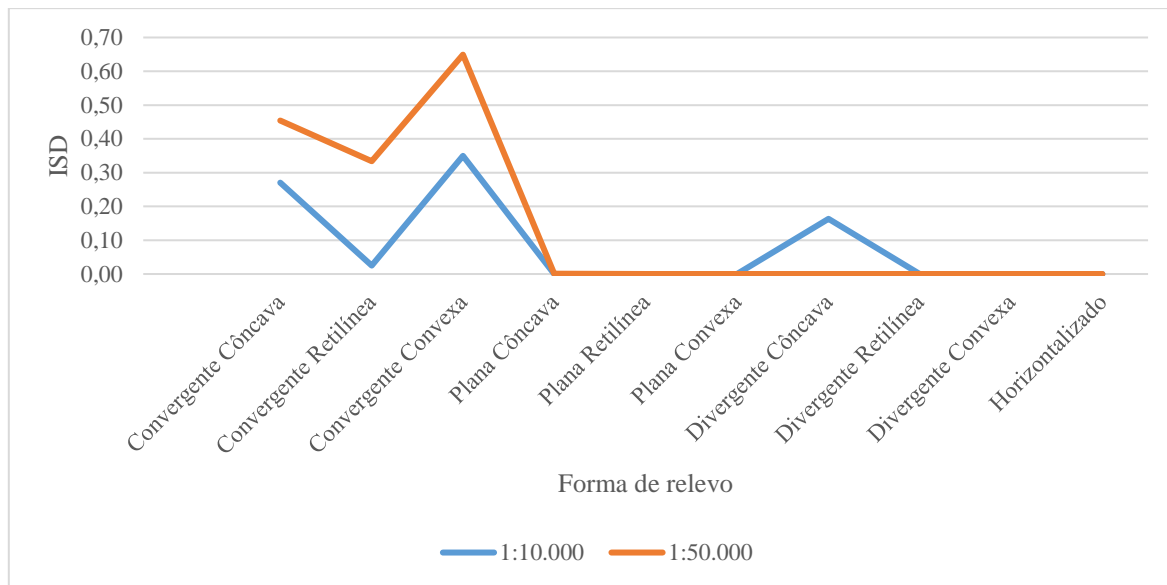


Figura 5.21: Índice de suscetibilidade a deslizamentos para cada forma de terreno nas escalas 1:25.000 e 1:50.000, na área piloto.

A distribuição dos deslizamentos em relação às formas de terreno para o produto elaborado em escala 1:10.000 indica que os movimentos de massa são predominantes nas áreas de curvatura convergente, sobretudo na forma convergente convexa. A curvatura convergente côncava caracteriza-se por possibilitar o acúmulo de água na superfície, favorecendo a diminuição da resistência do solo com a diminuição da coesão aparente, predispondo movimentações na encosta. Valores significativos de área de cicatrizes também foram registrados nas formas de terreno com curvatura divergente, embora o Índice de Suscetibilidade tenha apresentado valor positivo apenas para a forma divergente côncava. Os índices de suscetibilidade apresentam valores positivos para todas as formas de terreno de curvatura convergente e para a forma divergente côncava. Não foram registradas cicatrizes na classe horizontalizada.

Assim como nos produtos de declividade, a resolução do MNT influenciou na delimitação das classes nos produtos de curvatura. No produto de maior resolução, as curvaturas foram identificadas de maneira mais detalhada e coerente. Para o produto derivado do MNT SRTM, entretanto, a resolução não permitiu uma identificação confiável das formas do terreno. Neste caso, a comparação das áreas correspondentes à cada forma de terreno apresentada na Tabela 5.11 indica uma majoração das formas Convergente Retilínea, Plana Côncava e Plana Retilínea, Plana Convexa e Divergente Retilínea em detrimento das outras formas no produto de menor resolução, o que justifica a mudança da distribuição das áreas de cicatrizes em relação às diferentes formas, resultando em diferentes valores de Índice de Suscetibilidade. A Tabela

5.11 também fornece a área coincidente, ou seja, a área ocupada pela mesma classe em ambas as escalas, e o Índice de acerto, que é a razão entre a área coincidente e a área analisada, neste caso, a área piloto.

Tabela 5.11: Comparação entre a área das formas de terreno na área piloto nas escalas 1:10.000 e 1:50.000.

Forma de Terreno	Área da classe na escala 1:10.000 (km <sup>2</sup> )	Área da classe na escala 1:50.000 (km <sup>2</sup> )	Área coincidente (km <sup>2</sup> )	Índice de acerto (%) = Área coincidente / Área total
Convergente Côncava	5,9	2,6	1,27	21,5
Convergente Retilínea	2,2	3,5	0,55	25,0
Convergente Convexa	2,6	0,8	0,26	10,0
Plana Côncava	2,0	3,8	0,58	29,0
Plana Retilínea	2,6	8,9	1,66	63,8
Plana Convexa	2,0	3,0	0,41	20,5
Divergente Côncava	2,3	0,8	0,23	10,0
Divergente Retilínea	2,0	2,6	0,39	19,5
Divergente Convexa	6,8	2,8	1,61	23,7
Horizontalizado	0,6	0,2	0,04	6,7
Total	29,0	29,0	7,0	24,1

O terceiro fator condicionante considerado na análise de suscetibilidade foi a densidade de lineamentos estruturais. Foram mapeados os lineamentos relativos à rede de drenagem e ao relevo. Os lineamentos mapeados na escala 1:50.000 e a espacialização da densidade de lineamentos estruturais nesta mesma escala estão apresentados na Figura 5.22 e na Figura 5.23, respectivamente. As Figuras 5.24 e 5.25, por sua vez, apresentam os lineamentos mapeados na escala 1:25.000 e a espacialização da densidade dos lineamentos também nesta escala. A correlação da área ocupada pelas cicatrizes com a densidade de lineamentos é apresentada na Tabela 5.12 para a escala 1:50.000 e na Tabela 5.13, para a escala 1:25.000. A Figura 5.26 sintetiza estes resultados.

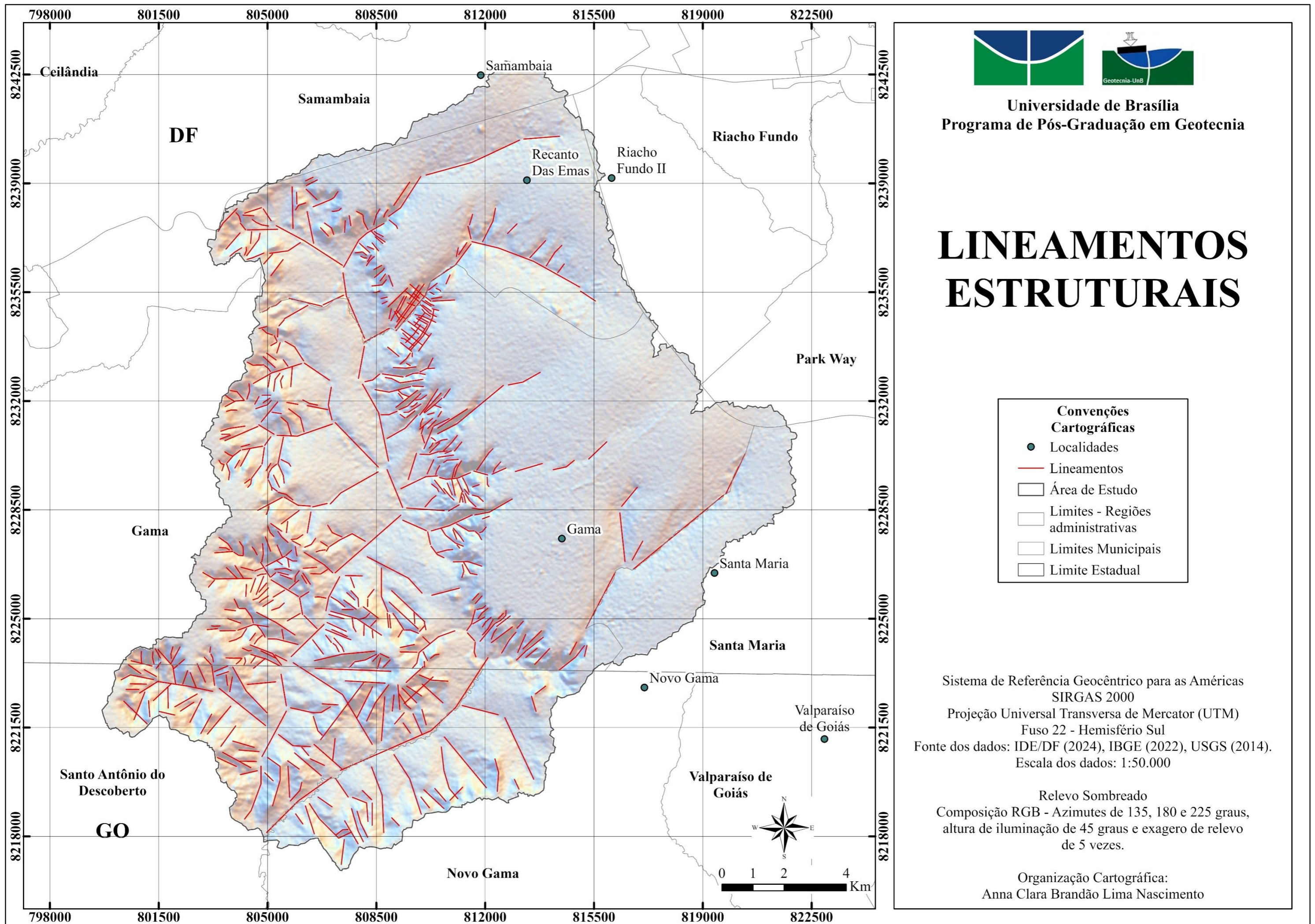


Figura 5.22: Lineamentos estruturais mapeados na escala 1:50.000.

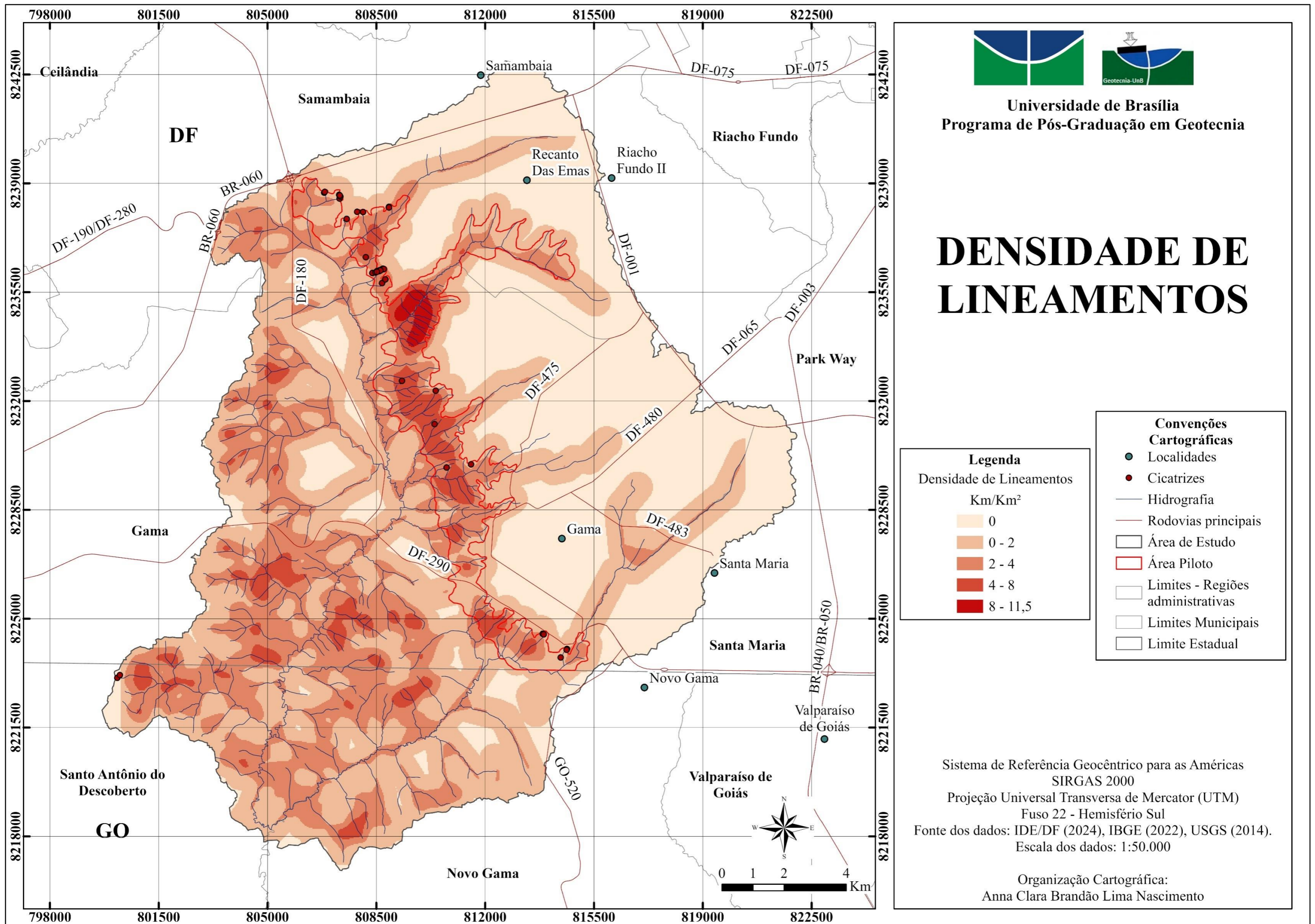


Figura 5.23: Densidade de lineamentos estruturais, na escala 1:50.000.

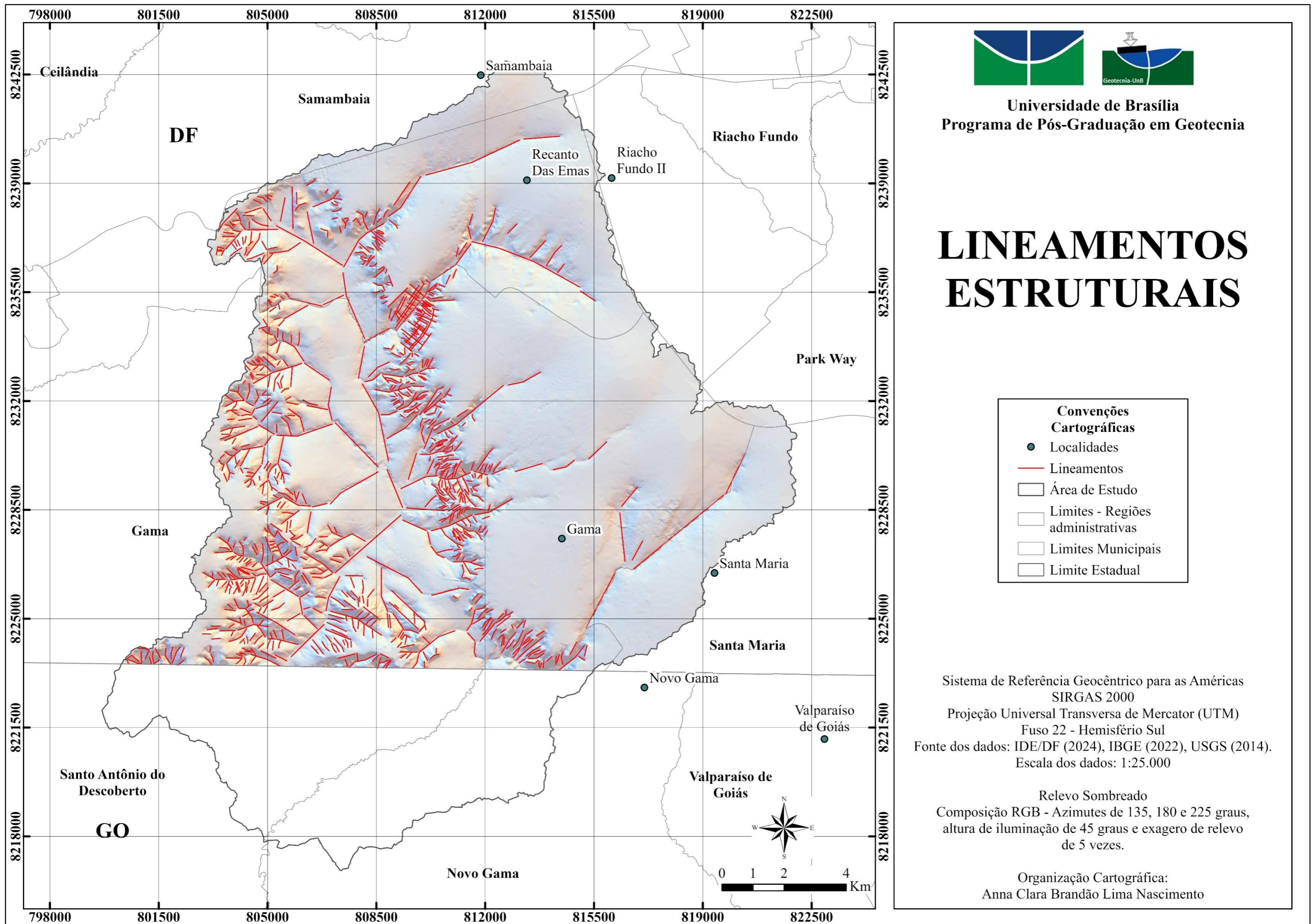


Figura 5.24: Lineamentos estruturais mapeados na escala 1:25.000.

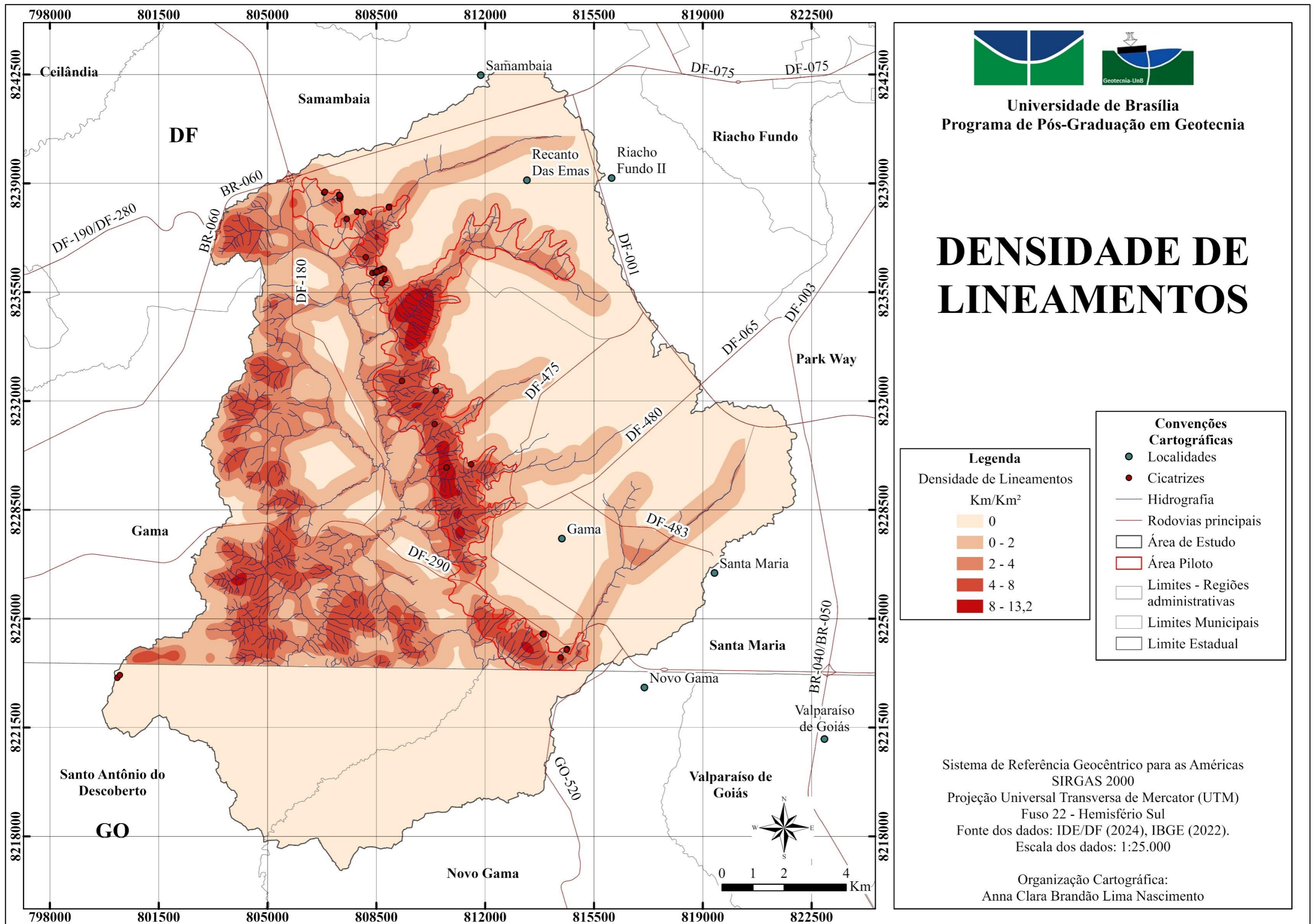


Figura 5.25: Densidade de lineamentos estruturais, na escala 1:25.000.

Tabela 5.12: Cálculo do ISD para as classes de densidade de lineamentos estruturais na área piloto, na escala 1:50.000.

Densidade de Lineamentos (Km/Km <sup>2</sup> )	Área de Cicatrizes (m <sup>2</sup> )	Área da Classe (km <sup>2</sup> )	Densidade de Cicatrizes	Densidade Normalizada	Índice de Suscetibilidade
0 - 2	4.100	8,8	4,68E-04	1,85	0,27
2 - 4	2.625	12,4	2,13E-04	0,84	-0,07
4 - 8	625	6,7	9,31E-05	0,37	-0,43
> 8	-	1,1	-	-	-
Total	7.350	29,0	-	-	-

Tabela 5.13: Cálculo do ISD para as classes de densidade de lineamentos estruturais na área piloto, na escala 1:25.000.

Densidade de Lineamentos (km/km <sup>2</sup> )	Área de Cicatrizes (m <sup>2</sup> )	Área da Classe (km <sup>2</sup> )	Densidade de Cicatrizes	Densidade Normalizada	Índice de Suscetibilidade
0 - 2	1.975	5,9	3,34E-04	1,32	0,12
2 - 4	4.550	9,3	4,89E-04	1,94	0,29
4 - 8	675	11,1	6,11E-05	0,24	-0,62
> 8	150	2,7	5,28E-05	0,21	-0,68
Total	7.350	29,0	-	-	-

A distribuição dos deslizamentos em relação à densidade de lineamentos calculada na escala 1:50.000 apresentou valores maiores nas classes de menor densidade, assim como observado na análise em maior escala. A classe de 0 a 2 km/km<sup>2</sup> foi a que apresentou maior concentração de cicatrizes e a única com ISD positivo. Nesta escala, a classe de maior densidade, superior a 8 km/km<sup>2</sup>, não apresentou cicatrizes.

Para o mapeamento e cálculo da densidade elaborados na escala 1:25.000, a maioria das cicatrizes de deslizamento se localiza sobre áreas de densidade entre 2 e 4 km/km<sup>2</sup>. As únicas classes que apresentam valores de ISD positivos são as que correspondem às menores densidades de lineamentos, correspondente ao maior ISD tem-se a classe de 2 a 4 km/km<sup>2</sup> e a classe de 0 a 2 km/km<sup>2</sup>. As áreas com maior concentração de lineamentos estruturais, correspondente às classes de 4 a 8 km/km<sup>2</sup> e superior a 8 km/km<sup>2</sup> foram as que apresentaram menores áreas com cicatrizes e, portanto, valores de ISD indicativos de que as classes não são relevantes para o desenvolvimento de escorregamentos na área de estudo.

Embora a geologia seja um agente importante, o registro de cicatrizes e sua correlação com os fatores aqui analisados evidência que o fator predisponente mais relevante para o desencadeamento de movimentos gravitacionais de massa na área de estudo é a declividade, seguido das formas de terreno.

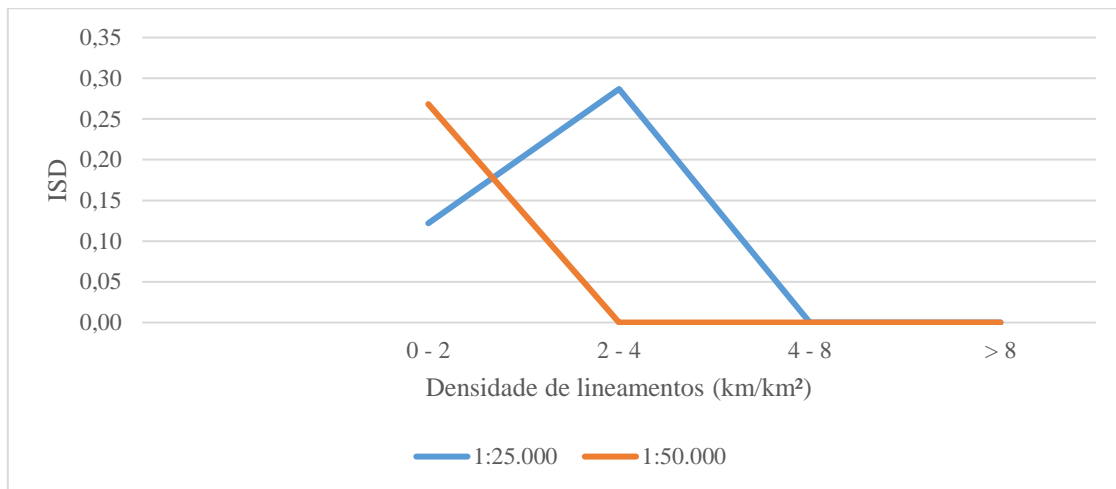


Figura 5.26: Índice de suscetibilidade a deslizamentos para cada classe de densidade de lineamentos estruturais nas escalas 1:25.000 e 1:50.000.

A etapa 5, referente à espacialização da suscetibilidade por meio da reclassificação dos fatores predisponentes pelos respectivos valores de Índice de Suscetibilidade a Deslizamentos, seguidos pela soma destes, resultou nos zoneamentos apresentados nas cartas da Figura 5.27 e Figura 5.28, nas escalas 1:50.000 e 1: 25.000, respectivamente.

Para a carta elaborada na escala 1:50.000, a área classificada como de alta suscetibilidade é de 22,10 km<sup>2</sup>. A área ocupada pela classe de média suscetibilidade é de 13,94 km<sup>2</sup> e a classe de baixa suscetibilidade ocupa 284,74 km<sup>2</sup>. A classe definida como de alta suscetibilidade compreendeu 87,30% dos registros de deslizamento, valor satisfatório tendo em vista que a porcentagem desejada é de aproximadamente 90% (Bitar *et al.*, 2014). A classe de média suscetibilidade incluiu apenas 2,79% da área de deslizamentos e os 9,91% restantes foram englobados pela classe de baixa suscetibilidade. Embora o recomendado seja que todos os deslizamentos não incluídos na classe de alta suscetibilidade sejam englobados pela classe de média suscetibilidade, a definição das zonas seguindo este critério tornou-se impraticável pois a classe de média suscetibilidade se estenderia para áreas onde as condições geomorfológicas não favorecem a ocorrência deste tipo de evento. Assim, a delimitação das



zonas foi realizada não somente com base no valor do ISD, mas observando também as características do terreno.

Na escala 1:25.000 a área correspondente à classe de alta suscetibilidade é de 14,37 km<sup>2</sup>. Esta classe representa principalmente às áreas de elevadas declividades, concentradas especialmente na região selecionada como área piloto, que atravessa a área de estudo na direção noroeste-sudeste e separa uma região de relevo plano a Leste, de uma área de relevo com aspecto mais ondulado. Também abrange de maneira importante a região extremo oeste e sul da área analisada. As classes de média e baixa suscetibilidade ocupam 10,22 km<sup>2</sup> e 234,02 km<sup>2</sup>, respectivamente. Esta última está representada pelas áreas onde a soma dos valores de ISD apresenta valores mais baixos ou mesmo nulos, e predomina nas áreas aplainadas, sobretudo na região leste da área de estudo.

A definição da classe de alta suscetibilidade contemplou uma área correspondente à 85,38% das cicatrizes registradas, a classe de média suscetibilidade contemplou 10,54% da área de cicatrizes, e a classe de baixa suscetibilidade conteve a área restante das cicatrizes, equivalente à 4,08%. Para que a classe de média suscetibilidade englobasse todas as cicatrizes não contidas na classe de alta suscetibilidade, seus limites se estenderiam de maneira exagerada para áreas onde as características geomorfológicas não favorecem a ocorrência de deslizamentos, resultando em uma classificação errônea.

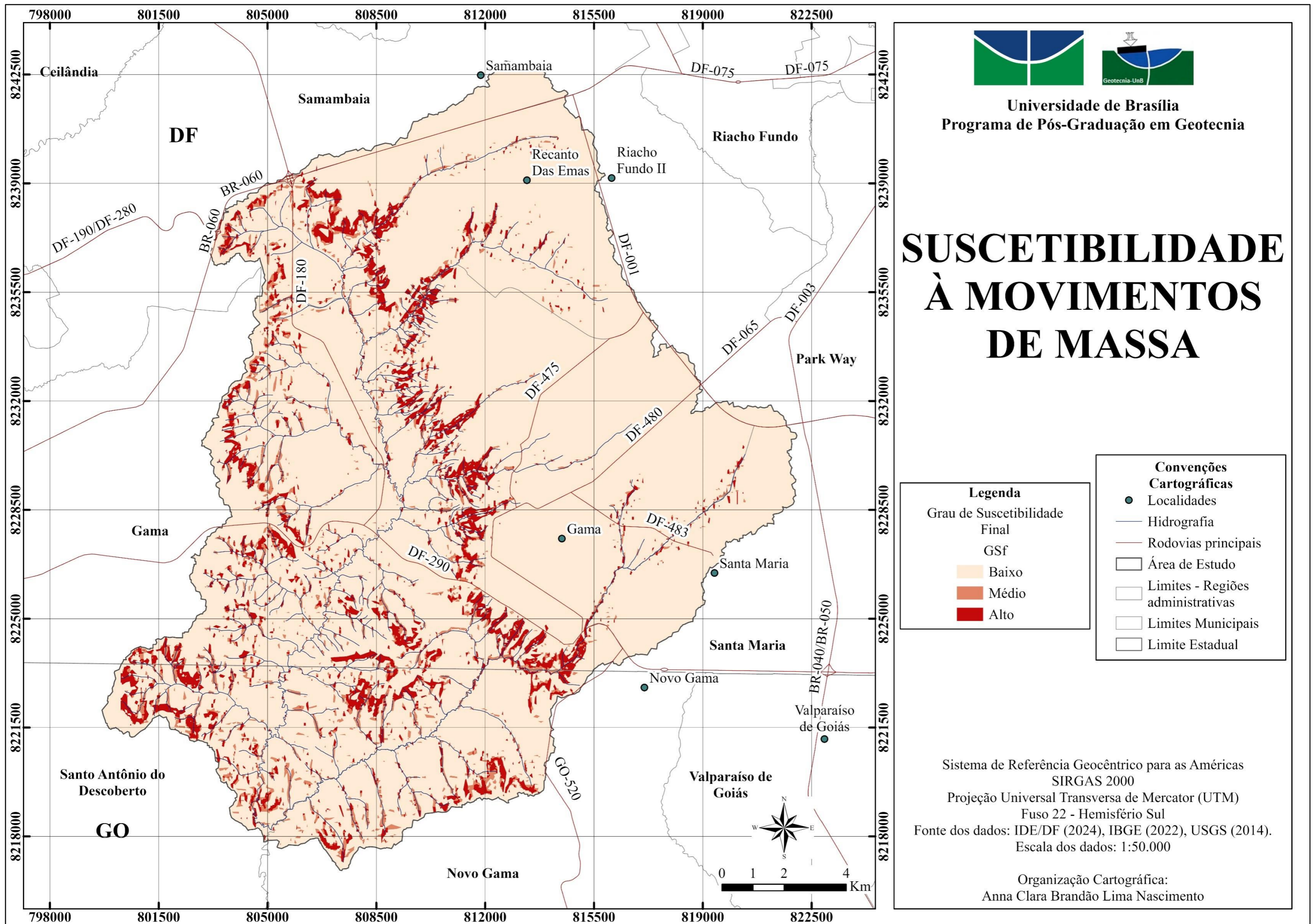


Figura 5.27: Zoneamento de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa na escala 1:50.000.

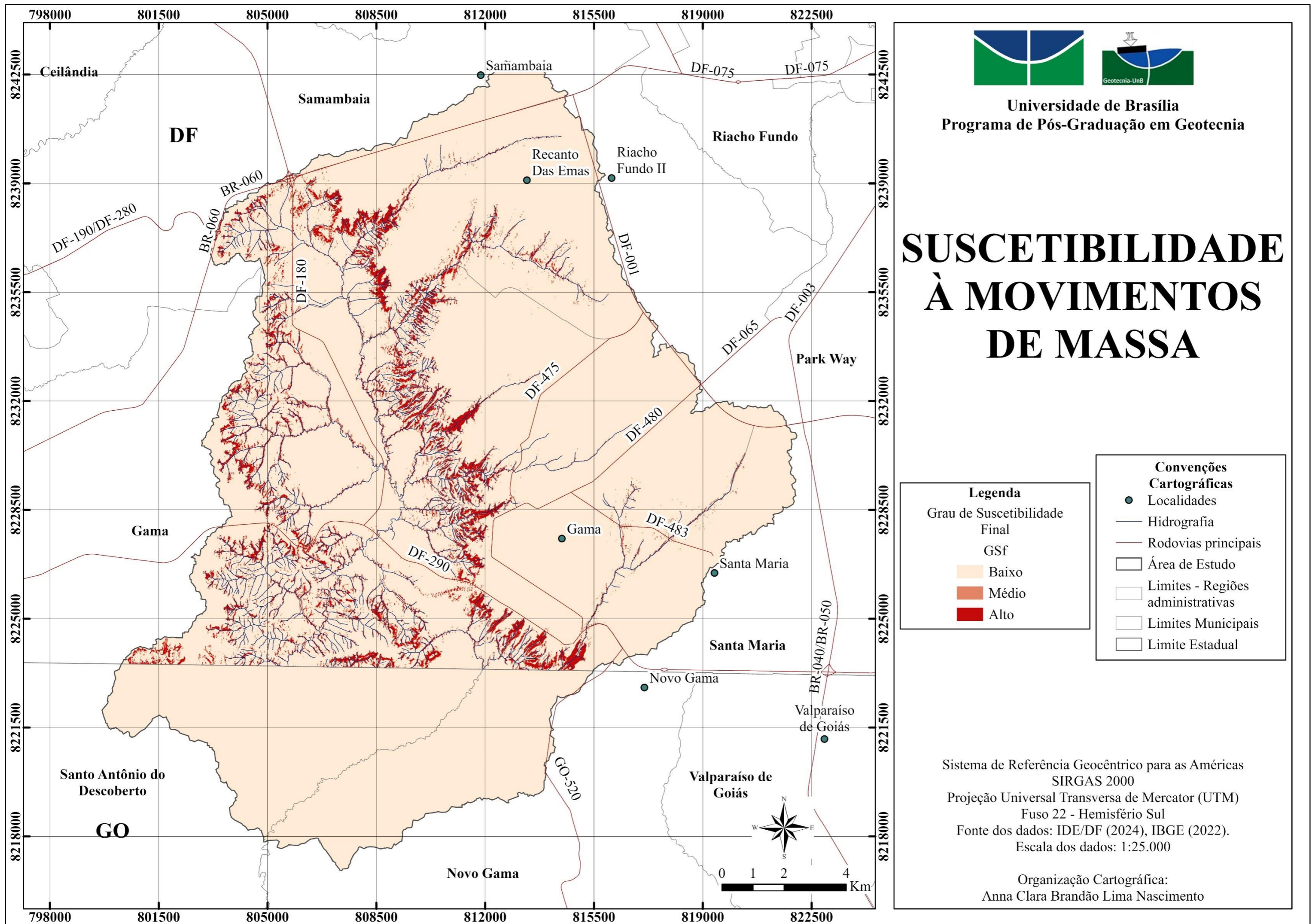


Figura 5.28: Zoneamento de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa na escala 1:25.000.

Na escala 1:50.000 a classe de alta suscetibilidade conteve uma porcentagem maior da área afetada por deslizamentos se comparada a mesma classe na escala 1:25.000. Entretanto, na escala maior a porcentagem de deslizamentos na classe de baixa suscetibilidade é menor quando comparada com a mesma classe na escala 1:50.000. Assim, o zoneamento final de suscetibilidade a deslizamentos apresentou resultados melhores na escala 1:25.000. A Tabela 5.14 sintetiza as áreas correspondentes à cada classe de suscetibilidade nas duas escalas de trabalho.

Tabela 5.14: Área de cada classe de suscetibilidade nas escalas 1:50.000 e 1:25.000.

Classe	1:50.000			1:25.000		
	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)	Cicatrizes (%)	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)	Cicatrizes (%)
<b>Alta</b>	22,10	6,89	87,3	14,37	5,55	85,38
<b>Média</b>	13,94	4,35	2,79	10,22	3,95	10,54
<b>Baixa</b>	284,74	88,76	9,91	234,11	90,49	4,08
<b>Total</b>	320,78	100,00	100,00	258,70	100,00	100,00

Uma tabulação cruzada foi realizada a fim de verificar a área coincidente entre os produtos elaborados. O resultado está apresentado na Tabela 5.15.

Tabela 5.15: Área coincidente para cada classe de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa.

		Área coincidente (km <sup>2</sup> )		
		1:25.000		
		Alta	Média	Baixa
1:50.000	Alta	6,48	2,39	7,45
	Média	1,63	1,50	6,10
	Baixa	6,26	6,33	220,56

Embora tenha fornecido um resultado satisfatório, a classificação da suscetibilidade feita apenas com base na soma do ISD não se mostrou perfeitamente aplicável neste estudo para ambos os zoneamentos, principalmente para o de menor escala. Para o caso deste produto, é possível relacionar a dificuldade em definir as zonas aplicando fielmente o que se propõe no procedimento metodológico utilizado à sua resolução espacial. Na etapa de definição das classes dos fatores predisponentes, sobretudo quanto à declividade, o MNT de menor resolução mostrou um menor desempenho em relação ao MNT de maior resolução, o que influencia sobremaneira a análise de suscetibilidade. Com isso, obteve-se uma relação inexata entre as

áreas ocupadas pelas cicatrizes e áreas de alta declividade. A ausência de um inventário de cicatrizes preexistente também dificulta o processo.

Conforme mencionado na seção referente ao procedimento metodológico, em alguns casos os produtos utilizados não possibilitam uma distinção clara das áreas de ruptura, arraste e deposição do material, dificultando a vetorização da área característica da ruptura. Este fato pode ter exercido influência no cálculo do ISD e na sua espacialização. Na análise em maior escala, a tabulação cruzada realizada para efetuar o cruzamento entre as áreas de cicatrizes contidas em cada classe de suscetibilidade demonstra que apenas uma das cicatrizes está totalmente contida na classe de baixa suscetibilidade. A área de cicatrizes restante contida na classe de baixa suscetibilidade pode estar relacionada ao arraste e deposição do material movimentado, embora tenha se evitado mapear a área referente a estes processos. Assim, evidencia-se que a deflagração do processo se iniciou em uma área de alta ou média suscetibilidade.

Em ambos os produtos são observadas áreas definidas como de média e alta suscetibilidade ao longo do curso do rio Ponte Alta e do Rio Alagado. Neste caso, onde não se apresentam altas declividades e o ISD relativo a este parâmetro é igual a zero, a definição da classe de suscetibilidade é condicionada pela combinação dos valores de ISD referente às formas da vertente e à classe de densidade de lineamentos estruturais.

A fim de melhorar os limites das zonas, para ambos os produtos de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa, mas mostrando-se mais importante para o zoneamento elaborado em escala menor, algumas alternativas podem ser adotadas. Conforme sugerido na própria nota técnica (Bitar *et al.*, 2014), podem ser aplicados filtros de estatística focal, outra alternativa é a generalização do valor de Índice de Suscetibilidade a Deslizamentos para Unidades Homogêneas de Terreno, que correspondem a áreas com características geológicas, geomorfológicas e hidrológicas semelhantes, cujos aspectos como área e nível de homogeneidade dependem da escala de mapeamento.

#### **5.4. COMPARTIMENTAÇÃO FISIOGRÁFICA**

A partir da análise das cartas analíticas, relevo sombreado, formas de terreno e declividade, bem como através de fointerpretação de imagens de sensoriamento remoto disponíveis para a área de estudo, observando-se padrões de relevo e de drenagem, foi elaborada a compartimentação fisiográfica na escala 1:25.000. Foram identificadas 11 unidades homólogas e algumas subunidades dentro das unidades principais, as quais estão apresentadas na Figura 5.29. A Tabela 5.16 mostra a área de cada unidade fisiográfica.

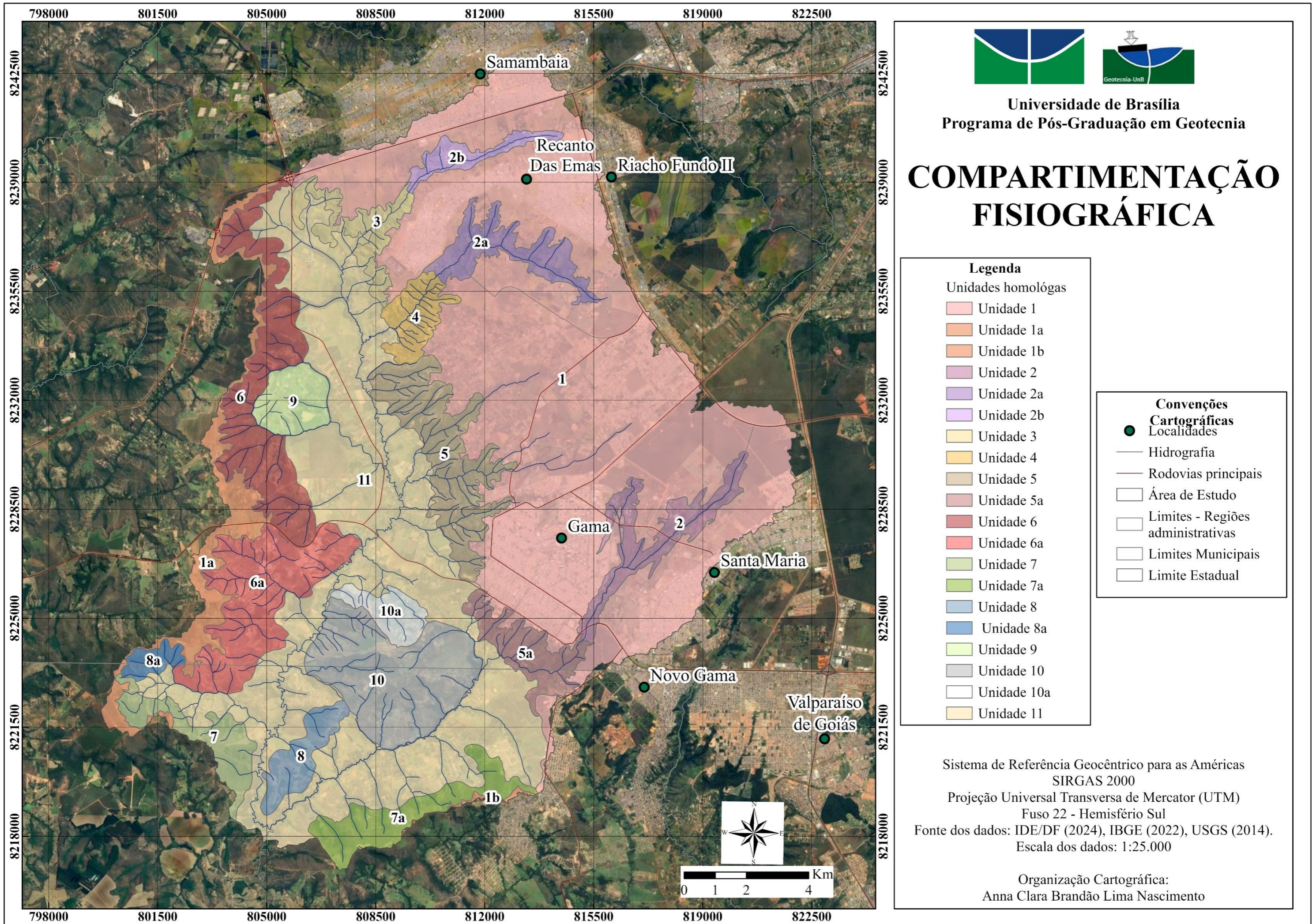


Figura 5.29: Compartimentação fisiográfica da área de estudo, na escala 1:25.000.

Tabela 5.16: Area das unidades fisiográficas.

Unidade	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)	Unidade	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)
Unidade 1	124,941	38,95	Unidade 6a	14,176	4,42
Unidade 1a	9,482	2,96	Unidade 7	5,139	1,60
Unidade 1b	0,326	0,10	Unidade 7a	6,760	2,11
Unidade 2	6,690	2,09	Unidade 8	3,910	1,22
Unidade 2a	5,856	1,83	Unidade 8a	1,539	0,48
Unidade 2b	2,646	0,82	Unidade 9	4,376	1,36
Unidade 3	4,754	1,48	Unidade 10	16,079	5,01
Unidade 4	3,927	1,22	Unidade 10a	3,080	0,96
Unidade 5	12,405	3,87	Unidade 11	74,568	23,25
Unidade 5a	5,399	1,68	<b>Total</b>	320,78	100,00
Unidade 6	14,734	4,59			

A unidade 1 apresenta os maiores valores de altimetria da área de estudo, possui quase 300 metros de amplitude altimétrica e predominam as formas de terreno plana retilínea e horizontalizada, e declividades entre 2% e 5%, com aumento desta taxa nas proximidades da unidade 2, 2a e 2b. Por seu relevo predominantemente plano, possui baixa densidade de drenagem. Nesta unidade afloram as nascentes dos córregos Olho d'água, Monjolo, Ponte de Serra e seu afluente, Córrego Buriti. Observam-se áreas sujeitas à ocorrência de alagamentos e de inundações nas proximidades dos cursos d'água, sobretudo nas cabeceiras do ribeirão Alagado e do córrego Ponte de Serra. Em relação à geologia, a unidade está sobreposta às formações Ribeirão Contagem, cuja litologia é formada por quartzitos finos a médios muito silicificados de coloração branca ou cinza; e Serra da Meia Noite, composta por quartzitos finos a médios com metassiltitos argilosos e metalamitos siltosos e micáceos, ambas do Grupo Paranoá (Campos *et al.*, 2013). A classe de solos que se apresenta de forma mais expressiva nesta unidade é o Latossolo Vermelho, de textura argilosa e profundos, seguida pelo Latossolo Vermelho Amarelo, de textura argilosa a média (Reatto *et al.*, 2004). Também estão presentes em menores áreas as classes Cambissolo Háplico, Neossolo Quartzarênico e Gleissolo Háplico.

A unidade 1a apresenta-se predominantemente entre altitudes de 1060 e 1100 metros, com declividades inferiores a 5%. Corresponde a uma área de topo de chapada de relevo plano. A geologia é caracterizada pelos xistos do Grupo Araxá (Freitas-Silva e Campos, 1998) e os solos que a recobrem são os Latosolos Vermelho e Vermelho Amarelo, ambos de textura argilosa, e Cambissolo Háplico, de textura argilosa e cascalhenta (Reatto *et al.*, 2004). A unidade 1b possui altitudes entre 1020 e 1060 metros e declividades também inferiores a 5%. A formação geológica da área, segundo IBGE (2023a), é a Chapada dos Pilões, que apresenta

duas litofácies, uma constituída de quartzo-sericita-clorita xistos com quartzitos micáceos e lentes de mármore em intercalações estreitas, e calcixisto; e a segunda, em que predominam ortoquartzitos com intercalações de quartzo-sericita-clorita xistos e lentes de quartzito (CPRM/SIC, 2008). A classe de solos presente nesta unidade é o Cambissolo Háptico, de textura média e argilosa cascalhenta, de acordo com IBGE (2023c).

A unidade 2 corresponde ao vale do rio Alagado e contempla a sua nascente e a do córrego Crispim, seu afluente. Possui altitudes entre 1060 e 1240 metros e declividades principalmente entre 8% e 15%. A drenagem é de baixa densidade e padrão retilíneo. Está sobre as mesmas formações geológicas que a unidade 1, formações Ribeirão Contagem e Serra da Meia Noite, ambas do Grupo Paranoá. As classes pedológicas presentes são principalmente Latossolo Vermelho Amarelo, de textura argilosa a média, e Cambissolo Háptico, de textura argilosa cascalhenta. Também ocorre em menor quantidade Latossolo Vermelho e Gleissolo Háptico (Reatto *et al.*, 2004).

A unidade 2a acomoda parte do curso do Córrego Monjolo, possui altitudes entre 1060 e 1220 metros, e declividades predominantemente entre 8% e 15%, embora as demais classes também se apresentem dentro de seus limites. Além das formações geológicas Ribeirão Contagem, formada por quartzitos finos a médios; e Serra da Meia Noite, composta por quartzitos finos a médios com metassiltitos argilosos e metalamitos siltosos e micáceos, contém a formação Córrego do Sansão, cuja litologia é representada por metarritmitos homogêneos (Campos *et al.*, 2013). As classes de solos presentes são Latossolo Vermelho de textura argilosa, Latossolo Vermelho Amarelo de textura argilosa a média, Cambissolo Háptico de textura argilosa cascalhenta, Neossolo Quartzarênico e Gleissolo Háptico (Reatto *et al.*, 2004). Possui média densidade de drenagem, os cursos d'água também apresentam padrão retilíneo e desaguam no córrego principal formando ângulos retos ou agudos.

A unidade 2b contém parte do córrego Estiva, incluindo sua nascente. Os valores altimétricos desta unidade situam-se entre 1080 e 1220 metros, a faixa de declividade predominante está entre 5% e 15%, embora também ocorram outros valores. A geologia desta unidade contempla as formações Ribeirão Contagem, com quartzitos finos a médios, e Serra da Meia Noite, composta por quartzitos finos a médios com metassiltitos argilosos e metalamitos siltosos e micáceos, do Grupo Paranoá (Campos *et al.*, 2013), e os solos são o Latossolo Vermelho Amarelo, de textura argilosa, e o Gleissolo Háptico (Reatto *et al.*, 2004). De maneira similar à unidade 2, possui baixa densidade de drenagem, e cursos d'água em arranjo retilíneo. Os limites das unidades 2, 2a e 2b foram delimitados com base na declividade, uma vez que não há quebra de relevo bem definida entre estas e a unidade 1.



A unidade 3 caracteriza-se por altitudes entre 960 e 1140 metros e declividades acima de 30%. A geologia desta unidade contém as formações Córrego do Sansão, com metarritmitos homogêneos, e Ribeirão Contagem, com quartzitos finos a médios (Campos *et al.*, 2013), e a classe de solos mais importante é o Cambissolo Háplico, com textura argilosa cascalhenta, ocorrendo também Latossolo Vermelho e Latossolo Vermelho Amarelo (Reatto *et al.*, 2004). A rede de drenagem possui elevada densidade e o padrão exibido pelos cursos d'água é misto. Esta unidade possui quebras de relevo positivas abruptas e muito bem definidas, o que facilitou sua delimitação. Ainda, esta unidade compreende o maior número de feições de deslizamentos mapeadas em toda a área, 25 feições dentre 37 mapeadas.

As unidades 4 e 5 se apresentam entre 940 e 1140 metros de altitude, com elevados valores de declividade, em ambas predominam as classes de declividade de 15 a 30% e superior a 30%. O substrato geológico de ambas as unidades é constituído pelas formações Córrego do Sansão, com metarritmitos homogêneos; e Ribeirão Contagem, com quartzitos finos a médios (Campos *et al.*, 2013). A classe de solo presente em quase toda a área é o Cambissolo Háplico, de textura argilosa cascalhenta, embora também estejam contidos os Latossolos Vermelho e Vermelho Amarelo (Reatto *et al.*, 2004). Na unidade 4 o padrão de drenagem é misto, de elevada densidade e simétrico, apresentando predominantemente ângulos retos nas confluências, seu relevo é fortemente estruturado, com lineamentos estruturais que se cruzam em ângulos retos, conforme indicado pelo mapeamento de lineamentos realizado. A unidade 5 também apresenta elevada densidade de drenagem e sinuosidade mista, a rede de drenagem apresenta predominantemente ângulos agudos nas confluências. Esta unidade comporta cinco cicatrizes de deslizamento.

A unidade 5a está situada entre 920 e 1100 metros de altitude e se apresentam majoritariamente declividades superiores a 30%. Dentro de seus limites apresentam-se as formações Córrego do Sansão, com metarritmitos homogêneos, e Ribeirão Contagem, formada por quartzitos finos a médios, com predominância da primeira. Na maior parte de sua área está presente o Cambissolo Háplico, com textura argilosa e argilosa cascalhenta, também ocorrem Latossolo Vermelho de textura argilosa, e Gleissolo Háplico em menor quantidade. A densidade de drenagem é média, apresentando em geral baixa angularidade. Nesta unidade apresentam-se cinco cicatrizes características de deslizamentos.

A unidade 6 está localizada entre 920 e 1080 metros de altitude, as faixas de declividade predominantes são de 8 a 15% e de 15 a 30%, também se apresentam nesta unidade áreas consideráveis de encostas com declividades superiores a 30%. A litologia da área é composta majoritariamente pelos xistos do Grupo Araxá (Freitas-Silva e Campos, 1998), ocorrendo em

menor proporção os metarritmitos homogêneos da formação Córrego do Sansão do Grupo Paranoá (Campos *et al.*, 2013). A classe de solo predominante é o Cambissolo Háptico, com textura argilosa cascalhenta nas áreas mais íngremes, e argilosa nas áreas menos declivosas da unidade. Também ocorrem Latossolo Vermelho, Latossolo Vermelho Amarelo e Nitossolo Vermelho em menores áreas (Reatto *et al.*, 2004). Nesta unidade, a rede de drenagem apresenta elevada densidade de drenagem, sobretudo nas áreas mais declivosas, e ângulos agudos nas confluências dos cursos d'água.

A unidade 6a apresenta-se entre o Distrito Federal e o Estado de Goiás, entre 880 e 1080 metros. Sua descrição para a porção contida no DF assemelha-se à da unidade 6, diferindo apenas por apresentar densidade de drenagem ainda maior. As informações de geologia de IBGE (2023a), entretanto, diferem da informação apresentada por Freitas-Silva e Campos (1998). De acordo com IBGE (2023a), a geologia desta área é composta pelas formações Paracatu e Chapada dos Pilões, do Grupo Canastra. A Formação Paracatu é composta por quartzo-sericita-clorita xistos, que podem ser carbonosos, e a Formação Chapada dos Pilões apresenta duas litofácies, uma constituída de quartzo-sericita-clorita xistos com quartzitos micáceos e lentes de mármore em intercalações estreitas, e calcixisto. Na segunda litofácie predominam ortoquartzitos com intercalações de quartzo-sericita-clorita xistos e lentes de quartzito (CPRM/SIC, 2008).

A unidade 7 situa-se entre altitudes de 863 e 1040 metros e a unidade 7a entre 880 e 1040 metros. Em ambas as unidades predominam declividades superiores a 15%. De acordo com IBGE (2023a), a geologia é constituída pela formação Chapada dos Pilões, cuja litologia é composta por duas litofácies, uma de quartzo-sericita-clorita xistos e a segunda de ortoquartzitos. A classe de solo que sobrepõe a maior parte de suas áreas é o Cambissolo Háptico de textura média e argilosa cascalhenta, com ocorrência de pequenas áreas de Latossolo Vermelho na unidade 7 e de Latossolo Vermelho Amarelo na unidade 7a. As duas unidades possuem elevada densidade de drenagem e um padrão de baixa angularidade. A unidade 7 contém duas cicatrizes de deslizamento mapeadas.

A unidade 8 situa-se entre 920 e 1060 metros de altitude e a unidade 8a, entre 880 e 980 metros. Ambas as unidades apresentam predominantemente declividades entre 15% e 30%. De acordo com IBGE (2023a), a formação geológica que constitui as unidades é a Chapada dos Pilões, cuja litologia encontra-se supracitada. Na unidade 8, cuja área se restringe ao Estado de Goiás, a cobertura pedológica é formada por Cambissolo Háptico de textura média e argilosa cascalhenta (IBGE, 2023c). A unidade 8 constitui um divisor hidrográfico entre a bacia do rio Ponte Alta e do rio Alagado, concentrando parte das nascentes de alguns afluentes de ambos os

rios ao sul da área de estudo. A unidade 8a, assim como a unidade 6a, divide-se entre o DF e o Estado de Goiás. Nos levantamentos geológico e pedológico do DF sua área é ocupada pelos xistos do Grupo Araxá (Freitas-Silva e Campos, 1998) e o solo predominante é o Cambissolo Háplico com textura argilosa e cascalhenta, com uma pequena área coberta por Latossolo Vermelho (Reatto *et al.*, 2004). Pelos levantamentos de IBGE (2023a; 2023c), a área é ocupada pelas rochas da formação Chapada dos Pilões e na cobertura pedológica predomina a classe Latossolo Vermelho. A densidade de drenagem destas unidades é média.

A unidade 9 apresenta-se entre altitudes de 920 e 1060 metros, não está situada em uma faixa específica de valores de declividade, de maneira que todas as faixas de declividade são encontradas. A geologia desta unidade é formada pelos xistos do Grupo Araxá (Freitas-Silva e Campos, 1998) e pela formação Córrego do Sansão, com metarritmitos homogêneos, do Grupo Paranoá (Campos *et al.*, 2013), que são recobertos unicamente por Cambissolo Háplico de textura argilosa e argilosa cascalhenta na porção mais elevada na unidade (Reatto *et al.*, 2004). Esta unidade apresenta um padrão de drenagem radial de baixa densidade.

A unidade 10 situa-se entre 880 e 1060 metros de altitude, assim como a unidade 9, não possui um intervalo de declividade predominante. O substrato geológico são as rochas da formação Chapada dos Pilões já descrita anteriormente, do Grupo Canastra, e a Unidade Rítmica Quartzítica Intermediária com quartzito fino a muito fino em sua base e filito carbonoso, argilitos amarelos ou vermelhos e metassiltitos alternados, do Grupo Paranoá, de acordo com IBGE (2023a). As classes de solos presentes são Cambissolo Háplico e Latossolo Vermelho Amarelo. O padrão de drenagem é radial, mas diferentemente da unidade 9, os divisores hidrográficos são muito bem definidos. Esta unidade é complementada pela unidade 10a, que possui a mesma amplitude altimétrica, mas onde predominam declividades superiores a 15%. A geologia desta subunidade difere quando se compara o mapeamento do IBGE (2023a), de acordo com o qual o substrato geológico é similar ao da unidade 10, e o levantamento geológico de Freitas-Silva e Campos (1998). Neste último, a maior parte da área está sobre rochas do Grupo Araxá, ocorrendo também a formação Córrego do Sansão, do Grupo Paranoá. As classes de solo presentes são Cambissolo Háplico e Nitossolo Vermelho, também ocorrendo em uma área ínfima Latossolo Vermelho Amarelo.

A unidade 11 está situada entre 863 e 1060 metros de altitude e corresponde às regiões mais baixas da área de estudo. Esta unidade é caracterizada por baixos valores de declividade, predominando o intervalo entre 2% e 5%, embora os intervalos de 5% a 8% e 8% a 15% também apareçam de forma importante no baixo curso do rio Ponte Alta. Na porção da área contida no Distrito Federal, a geologia é composta pela formação Córrego do Sansão com metarritmitos

homogêneos, do Grupo Paranoá, e pelo Grupo Araxá, com xistos, e as classes de solos presentes são o Latossolo Vermelho, predominantemente, Latossolo Vermelho Amarelo, Cambissolo Háptico, Nitossolo Vermelho e Gleissolo Háptico. Na porção contida no Estado de Goiás, a geologia é composta pela formação Chapada dos Pilões, do Grupo Canastra, e a Unidade Rítmica Quartzítica Intermediária, do Grupo Paranoá, de acordo com IBGE (2023a). Os solos presentes são Cambissolo Háptico, Latossolo Vermelho e Latossolo Vermelho Amarelo.

A Tabela 5.17 resume as informações apresentadas sobre as unidades homólogas.

Quanto à avaliação da suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa na escala 1:25.000 dentro dos limites das unidades fisiográficas, tem-se que as unidades 5, 6, 3, 5a e 6a concentram as maiores áreas de alta suscetibilidade, com 3,13 km<sup>2</sup>, 2,02 km<sup>2</sup>, 1,76 km<sup>2</sup>, 1,52 km<sup>2</sup> e 1,33, respectivamente. Quanto à classe de média suscetibilidade, as maiores áreas estão concentradas nas unidades 5 (1,54 km<sup>2</sup>), 11 (1,53 km<sup>2</sup>), 6 (1,50 km<sup>2</sup>), 6a (1,18 km<sup>2</sup>) e 3 (0,74 km<sup>2</sup>). As maiores áreas da classe de baixa suscetibilidade se concentram nas unidades de relevo aplainado, 1 e 11.

Na escala 1:50.000, tem-se que as unidades 5, 6, 10, 11 e 5a concentram as maiores áreas de alta suscetibilidade a deslizamentos, sendo 3,51 km<sup>2</sup> na unidade 5; 2,34 km<sup>2</sup> na unidade 6; 2,15 km<sup>2</sup> na unidade 10; 1,85 km<sup>2</sup> na unidade 11 e 2,21 km<sup>2</sup> contidos na unidade 5a. Quanto à classe de média suscetibilidade, tem-se que 2,89 km<sup>2</sup> estão contidos na unidade 11; 1,99 km<sup>2</sup> na unidade 6, 1,38 km<sup>2</sup> na unidade 6a; 1,15 km<sup>2</sup> na unidade 10 e 1,05 km<sup>2</sup> na unidade 5, sendo estas as que contêm as maiores áreas de suscetibilidade média. Novamente, as unidades 1 e 11 concentram as maiores áreas de suscetibilidade baixa.

Comparando os resultados de suscetibilidade à inundação com a compartimentação fisiográfica tem-se que, para a escala 1:25.000, a avaliação das sub-bacias apresentou uma área de 2,44 km<sup>2</sup> de alta suscetibilidade na unidade 11, 0,73 km<sup>2</sup> na unidade 2a, 0,49 km<sup>2</sup> na unidade 1, 0,41 km<sup>2</sup> na unidade 2 e 0,32 km<sup>2</sup> na unidade 9. As unidades que contêm as maiores áreas de média suscetibilidade são a unidade 11, com 2,44 km<sup>2</sup>; unidade 1, com 0,84 km<sup>2</sup>; unidade 2a, com 0,56 km<sup>2</sup> contidos em sua área; unidade 2, com 0,43 km<sup>2</sup> e unidade 6, com 0,36 km<sup>2</sup>. Quanto à classe de baixa suscetibilidade à inundação, as maiores áreas concentram-se nas unidades 11, 1, 2, 2b e 5, com 2,20 km<sup>2</sup>, 1,76 km<sup>2</sup>, 0,71 km<sup>2</sup>, 0,49 km<sup>2</sup> e 0,39 km<sup>2</sup>, respectivamente.

Tabela 5.17: Síntese das características das unidades homólogas.

<b>Unidade</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área (%)</b>	<b>Geologia</b>	<b>Pedologia</b>	<b>Classe de declividade predominante</b>	<b>Fenômenos passíveis de ocorrência</b>
1	124,941	38,948	Formações Ribeirão Contagem e Serra da Meia Noite (Grupo Paranoá) (Freitas Silva e Campos, 1998)	Latossolo Vermelho, Latossolo Vermelho Amarelo, Cambissolo Háptico, Neossolo Quartzarênico e Gleissolo Háptico (Campos et al., 2004)	2% - 5%	Inundação e alagamento
1a	9,482	2,956	Grupo Araxá (Freitas Silva e Campos, 1998)	Latossolo Vermelho, Latossolo Vermelho Amarelo e Cambissolo Háptico (Campos et al., 2004)	< 5%	-
1b	0,326	0,102	Chapada dos Pilões (IBGE, 2023a)	Cambissolo Háptico (IBGE, 2023c)	< 5%	-
2	6,69	2,085	Formações Ribeirão Contagem e Serra da Meia Noite (Grupo Paranoá) (Freitas Silva e Campos, 1998)	Latossolo Vermelho Amarelo, Cambissolo Háptico, Latossolo Vermelho e Gleissolo Háptico (Campos et al., 2004)	8% - 15%	Inundação e alagamento
2a	5,856	1,826	Formações Ribeirão Contagem, Serra da Meia Noite e Córrego do Sansão (Grupo Paranoá) (Freitas Silva e Campos, 1998)	Latossolo Vermelho, Latossolo Vermelho Amarelo, Cambissolo Háptico, Neossolo Quartzarênico e Gleissolo Háptico (Campos et al., 2004)	8% - 15%	Inundação e alagamento
2b	2,646	0,825	Formações Ribeirão Contagem e Serra da Meia Noite (Grupo Paranoá) (Freitas Silva e Campos, 1998)	Latossolo Vermelho e Gleissolo Háptico (Campos et al., 2004)	5% - 15%	Inundação e alagamento

<b>Unidade</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área (%)</b>	<b>Geologia</b>	<b>Pedologia</b>	<b>Classe de declividade predominante</b>	<b>Fenômenos passíveis de ocorrência</b>
3	4,754	1,482	Formações Córrego do Sansão e Ribeirão Contagem (Grupo Paranoá) (Freitas Silva e Campos, 1998)	Cambissolo Háplico, Latossolo Vermelho e Latossolo Vermelho Amarelo (Reatto et al., 2004)	> 30%	Deslizamentos
4	3,927	1,224	Formações Córrego do Sansão e Ribeirão Contagem (Grupo Paranoá) (Freitas Silva e Campos, 1998)	Cambissolo Háplico, Latossolo Vermelho e Latossolo Vermelho Amarelo (Reatto et al., 2004)	> 15%	Deslizamentos
5	12,405	3,867	Formações Córrego do Sansão e Ribeirão Contagem (Grupo Paranoá) (Freitas Silva e Campos, 1998)	Cambissolo Háplico, Latossolo Vermelho e Latossolo Vermelho Amarelo (Reatto et al., 2004)	> 15%	Deslizamentos
5a	5,399	1,683	Formações Córrego do Sansão e Ribeirão Contagem (Grupo Paranoá) (Freitas Silva e Campos, 1998)	Cambissolo Háplico, Latossolo Vermelho e Gleissolo Háplico (Reatto et al., 2004)	> 30%	Deslizamentos
6	14,734	4,593	Grupo Araxá e Formação Córrego do Sansão (Grupo Paranoá) (Freitas Silva e Campos, 1998)	Cambissolo Háplico, Latossolo Vermelho, Latossolo Vermelho Amarelo e Nitossolo Vermelho (Reatto et al., 2004)	8% - 30%	Deslizamentos
6a	14,176	4,419	Grupo Araxá e Formação Córrego do Sansão (Grupo Paranoá) (Freitas Silva e Campos, 1998)	Cambissolo Háplico, Latossolo Vermelho, Latossolo Vermelho Amarelo e Nitossolo Vermelho (Reatto et al., 2004)	8% - 30%	Deslizamentos
7	5,139	1,602	Formação Chapada dos Pilões (Grupo Canastra) (IBGE, 2023a)	Cambissolo Háplico e Latossolo Vermelho (IBGE, 2023c)	> 15%	Deslizamentos
7a	6,76	2,107	Formação Chapada dos Pilões (Grupo Canastra) (IBGE, 2023a)	Cambissolo Háplico e Latossolo Vermelho Amarelo (IBGE, 2023c)	> 15%	Deslizamentos

<b>Unidade</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área (%)</b>	<b>Geologia</b>	<b>Pedologia</b>	<b>Classe de declividade predominante</b>	<b>Fenômenos passíveis de ocorrência</b>
8	3,91	1,219	Formação Chapada dos Pilões (Grupo Canastra) (IBGE, 2023a)	Cambissolo Háplico (IBGE, 2023c)	15% - 30%	-
8a	1,539	0,480	Formação Chapada dos Pilões (Grupo Canastra) (IBGE, 2023a)	Latossolo Vermelho (IBGE (2023c)	15% - 30%	-
9	4,376	1,364	Grupo Araxá e Formação Córrego do Sansão (Grupo Paranoá) (Freitas Silva e Campos, 1998)	Cambissolo Háplico (Reatto et al., 2004)	Todas	-
10	16,079	5,012	Formação Chapada dos Pilões (Grupo Canastra) e Unidade Rítmica Quartzítica Intermediária (Grupo Paranoá) (IBGE, 2023a)	Cambissolo Háplico e Latossolo Vermelho (IBGE, 2023c)	Todas	-
10a	3,08	0,960	Formação Chapada dos Pilões (Grupo Canastra) e Unidade Rítmica Quartzítica Intermediária (Grupo Paranoá) (IBGE, 2023a)	Cambissolo Háplico e Latossolo Vermelho (IBGE, 2023c)	> 15%	-
11	74,568	23,245	DF: Grupo Araxá e Formação Córrego do Sansão (Grupo Paranoá) (Freitas Silva e Campos, 1998). GO: Formação Chapada dos Pilões (Grupo Canastra) e Unidade Rítmica Quartzítica Intermediária (Grupo Paranoá) (IBGE, 2023a).	DF: Latossolo Vermelho, Latossolo Vermelho Amarelo, Cambissolo Háplico, Nitossolo Vermelho e Gleissolo Háplico. GO: Cambissolo Háplico, Latossolo Vermelho e Latossolo Vermelho Amarelo	2% - 5%	Inundação

Nesta mesma escala, a análise relativa somente às bacias hidrográficas do rio Ponte Alta e Alagado fornecem para a classe de alta suscetibilidade: 6,18 km<sup>2</sup> contidos na unidade 11; 0,80 km<sup>2</sup> na unidade 1; 0,73 km<sup>2</sup> na unidade 2a; 0,53 km<sup>2</sup> na unidade 2b e 0,43 compreendidos pela unidade 5. Quanto à classe de média suscetibilidade, tem-se 4,86 km<sup>2</sup> na unidade 11; 1,38 km<sup>2</sup> contidos na unidade 1; 0,56 km<sup>2</sup> na unidade 2a; 0,53 km<sup>2</sup> na unidade 2 e 0,48 km<sup>2</sup> na unidade 2b. Para a classe de baixa suscetibilidade, tem-se 1,50 km<sup>2</sup> contidos na unidade 2; 0,93 km<sup>2</sup> na unidade 1; 0,25 km<sup>2</sup> na unidade 11; 0,21 km<sup>2</sup> na unidade 5a e 0,19 km<sup>2</sup> na unidade 10.

Na análise das sub-bacias na escala 1:50.000, a classe de alta suscetibilidade possui maiores áreas na unidade 11 (3,55 km<sup>2</sup>), unidade 1 (2,16 km<sup>2</sup>), unidade 2a (0,86 km<sup>2</sup>), unidade 5 (0,44 km<sup>2</sup>) e unidade 2 (0,40 km<sup>2</sup>). Para a classe de média suscetibilidade, as maiores áreas estão compreendidas nas mesmas unidades que contém as maiores áreas de alta suscetibilidade, assim as áreas são 3,99 km<sup>2</sup>, 2,98 km<sup>2</sup>, 0,60 km<sup>2</sup>, 0,47 km<sup>2</sup> e 0,46 km<sup>2</sup>, para as unidades 11, 1, 2a, 5 e 2. Para a classe de baixa suscetibilidade, as maiores áreas estão contidas na unidade 11 (3,19 km<sup>2</sup>), unidade 1 (1,14 km<sup>2</sup>), unidade 2 (0,80 km<sup>2</sup>), unidade 2b (0,48 km<sup>2</sup>) e unidade 5 (0,47 km<sup>2</sup>).

Ainda na escala 1:50.000, tem-se a avaliação da suscetibilidade à inundação para as duas bacias principais. As maiores áreas relativas à classe de alta suscetibilidade estão contidas na unidade 11 (7,54 km<sup>2</sup>), unidade 1 (2,06 km<sup>2</sup>), unidade 2a (0,86 km<sup>2</sup>), unidade 5 (0,79 km<sup>2</sup>) e unidade 2b (0,61 km<sup>2</sup>). Quanto à classe de média suscetibilidade, tem-se as maiores áreas na unidade 11 (8,11 km<sup>2</sup>), unidade 1 (3,08 km<sup>2</sup>), unidade 5 (0,61 km<sup>2</sup>), unidade 2a (0,60 km<sup>2</sup>) e unidade 2 (0,55 km<sup>2</sup>). Para a classe de suscetibilidade baixa, tem-se 3,67 km<sup>2</sup> contidos na unidade 11; 1,67 km<sup>2</sup> na unidade 2; 1,22 km<sup>2</sup> na unidade 1; 0,69 km<sup>2</sup> na unidade 10 e 0,34 km<sup>2</sup> na unidade 5a.

Ressalta-se que a unidade 1, por conter as nascentes de alguns cursos d'água e por suas características de relevo predominantemente plano e elevados valores de altimetria, é suscetível a processos de alagamento, diferentemente da unidade 11, que concentra valores elevados de fluxo acumulado nas proximidades do exutório de ambos os cursos d'água, fazendo com que se torne suscetível a inundações.



## 6. CONCLUSÕES

Este capítulo compreende as conclusões obtidas nesta pesquisa e as sugestões para pesquisas futuras.

### 6.1. CONCLUSÕES

A comparação entre os produtos elaborados com os diferentes Modelos Numéricos de Terreno permite afirmar que há uma importante perda de informação à medida que se diminui a resolução espacial e altimétrica da fonte principal de informação, o MNT. Essa perda foi quantificada em algumas cartas elaborados nesta dissertação. Verificou-se que há diferenças altimétricas entre os dois MNT avaliados, sobretudo nas áreas mais íngremes, em que a qualidade do MNT SRTM diminui consideravelmente para valores elevados de declividade. Consequentemente, os produtos elaborados em menor escala também não foram capazes de representar fielmente os atributos do terreno. Além disso, a diferença de qualidade entre os MNT pôde ser comparada visualmente por meio de produtos como o relevo sombreado. Apesar disto, ressalta-se que os dados de menor resolução não devem ser desprezados uma vez que podem ser adquiridos de maneira gratuita e são úteis para análises menos detalhadas em áreas extensas.

Quanto à análise de suscetibilidade à inundação, a metodologia mostrou-se satisfatória. A utilização do modelo HAND por si só se mostra efetiva, oferecendo resultados consistentes para a avaliação do potencial de inundação. Em relação à suscetibilidade referente às características morfométricas das sub-bacias, como se trata de um índice comparativo, mostra-se necessária uma avaliação cuidadosa. Nesta etapa, o efeito da escala teve impacto principalmente no nível de detalhamento da hidrografia mapeada, que reflete diretamente no parâmetro densidade de drenagem, seu efeito no Índice de Suscetibilidade Final à inundação, no entanto, não pôde ser comparado, pois o cálculo do Índice de Suscetibilidade de cada parâmetro considera seus valores máximo e mínimo em cada escala separadamente.

No que diz respeito à resolução dos Modelos Numéricos de Terreno para a avaliação supracitada, seu efeito é observado de maneira nítida na qualidade do modelo HAND e, portanto, na área resultante em cada classe de suscetibilidade. Também afeta a delimitação das sub-bacias hidrográficas e, neste aspecto, ressalta-se que MNT elaborados a partir da interpolação de curvas de nível geram áreas aplainadas em topos de morros, que geralmente constituem divisores hidrográficos, o que acarreta erros na delimitação de áreas de contribuição.

Para a avaliação da suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa, a metodologia aplicada para a elaboração dos produtos pretendidos mostrou-se satisfatória apesar

de algumas limitações. Conforme já mencionado, algumas técnicas podem ser utilizadas para aperfeiçoar os limites das classes de suscetibilidade, o que se mostra mais importante quando da utilização de produtos de menor resolução. A precisão e acurácia do zoneamento final de suscetibilidade mostraram-se plenamente dependentes da resolução do Modelo Numérico de Terreno e de seus subprodutos, de maneira que, quanto maior a resolução, melhor o resultado do zoneamento.

Ainda neste aspecto, ressalta-se que a utilização do programa Google Earth Pro permitiu a elaboração do inventário de feições características de deslizamentos devido à série histórica de imagens, sem a qual o mapeamento não seria possível, e a elaboração da compartimentação fisiográfica. Assim, destaca-se a importância desta plataforma gratuita para a elaboração de trabalhos de geoprocessamento e a possibilidade de utilização desta para a etapa de trabalhos de escritório em projetos de engenharia.

Salienta-se aqui que os produtos elaborados possuem caráter orientativo, não sendo recomendada sua utilização para fins de elaboração de projetos de engenharia.

Em relação à compartimentação fisiográfica, sua elaboração permitiu identificar 11 unidades homólogas na área de estudo. Dentre estas, as unidades 1, 2, 2a e 2b, bem como a unidade 11 apresentam importantes áreas que são submetidas a processos de inundação. As unidades 3, 4, 5 e 5a são as que apresentam maiores áreas suscetíveis à ocorrência de movimentos gravitacionais de massa, sendo a primeira destas a que concentra o maior número de cicatrizes mapeadas. As demais feições localizam-se nas unidades 5, 5a e 7.

## **6.2. SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS**

Os estudos de cartografia geotécnica acerca das suscetibilidades do meio físico, e em escalas mais detalhadas, como os estudos de aptidão à urbanização e riscos geológico-geotécnicos necessitam de atualizações periódicas em virtude da constante dinâmica de alteração do relevo e efeitos da ocupação antrópica para fins de urbanização. Neste sentido, recomenda-se:

- Elaboração de estudos geológico-geotécnicos em maior escala afim de aperfeiçoar os limites das zonas de suscetibilidade;
- Realização de ensaios laboratoriais de caracterização geotécnica para o refinamento dos limites das unidades homólogas;
- Avaliar a influência da ocupação urbana na suscetibilidade do meio físico;
- Avaliar a influência de outros fatores condicionantes na ocorrência de deslizamentos na área estudada.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHUALLI, L.A.F. (2019). Aplicação Da Cartografia Geotécnica Como Subsídio Para Planejamento Urbano No Setor Habitacional Fercal, Publicação 338/2019, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 207 p.
- ALCÂNTARA, E., MARENGO, J.A., MANTOVANI, J., LONDE, L.R., SAN, R.L.Y., PARK, E., LIN, Y.N., WANG, J., MENDES, T., CUNHA, A.P., PAMPUCH, L., SELUCHI, M., SIMÕES, S., CUARTAS, L.A., GONÇALVES, D., MASSI, K., ALVALÁ, R., MORAES, O., SOUZA FILHO, C., MENDES, R. e NOBRE, C. (2023). Deadly disasters in southeastern South America: flash floods and landslides of February 2022 in Petrópolis, Rio de Janeiro. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 23, 1157-1175.
- ALMEIDA, L.L. (2022). Carta de resistência à penetração: estudo de caso setor habitacional Taquari [Distrito Federal. Dissertação de Mestrado, Publicação G.DM-365/2022, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 73 p.
- ALVES, L.N., GALO, M., GALO, M.L.B.T. (2009). Fundamentos do processo interferométrico de dados de radar de abertura sintética. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, INPE, Natal, Rio Grande do Norte, 7227-7234.
- ALVES, M.L. (2009). Introdução. Relatos de um desastre: Narrativas jornalísticas da tragédia de 2008 em Santa Catarina, Ana Paula de Assis Zenatti e Soledad Yaconi Urrutia de Souza (orgs.), UFSC/CEPED, Florianópolis, Santa Catarina, pp. 11-12.
- ANDRADES FILHO, C.O.; FONSECA L.M.G. (2009). Lineamentos estruturais a partir de imagem Landsat TM e dados SRTM. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, INPE, Natal, Rio Grande do Norte, 14, 3151-3158.
- ARCAYA, S.G.CH. (2007). Avaliação dos fatores condicionantes dos processos erosivos no Distrito Federal. Dissertação de Mestrado, Publicação G.DM-156/07, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 188 p.
- AUGUSTO FILHO, O. (1992). Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas, ABMS/ABGE. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1, 721-733.
- BANCO MUNDIAL (2020). Relatório de danos materiais e prejuízos decorrentes de desastres naturais no Brasil: 1995 – 2019. Fundação de Amparo à Pesquisa e Extensão Universitária – FAPEU / Centro de Estudos e Pesquisas em Engenharia e Defesa Civil – CEDEC. Florianópolis, Santa Catarina, 2 ed., 156 p.
- BAPTISTA, G.M., CORRÊA, R.S., e SANTOS, P.F. (2013). Campos de murundus da Fazenda Água Limpa da UnB: hipóteses de origem. *Revista Do CEAM*, 2(1), 47–60.
- BARELLA, C.F. (2016). Abordagens Estatísticas Aplicadas ao Mapeamento de Suscetibilidade a Movimentos de Massa: Análise de Diferentes Técnicas no Contexto do Quadrilátero Ferrífero. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, MG, 253 p.

BATISTA, P.H.L. (2014). Cartografia Geotécnica aplicada aos Riscos de Alagamento e Inundação na Bacia do rio São Bartolomeu. Dissertação de Mestrado, Publicação G.DM-236/2014, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 223 p.

BITAR, O.Y. (Coord.). (2014). Cartas de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações: 1:25.000. Nota técnica explicativa, IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo; CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Brasília, DF, 50 p.

BLAUDT, L.M., ALVARENGA, T.W. e GARIN, Y. (2023). Desastre ocorrido em Petrópolis no verão de 2022: aspectos gerais e dados da defesa civil. *Geociências*, 41(4), 59-71.

BORTOLINI, J., SILVA, A.C.G., MERCANTE, E. e GOMES, B.M. (2021). Identificação do grau de perigo a enchentes e inundações com base na análise morfométrica e uso do SIG aplicados na bacia hidrográfica do rio Marrecas, Francisco Beltrão, PR. *RA'EGA - O Espaço Geográfico em Análise*, 51, 17-40.

BRASIL (1979). Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979. Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras Providências. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 11 p.

BRASIL (2001). Lei nº 10.257, de 10 de Julho de 2001. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências.

BRASIL (2007). Política Nacional de Defesa Civil. Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Defesa Civil. Brasília, DF.

BRASIL (2012a). Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC; dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil - CONPDEC; autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres; altera as Leis nos 12.340, de 1º de dezembro de 2010, 10.257, de 10 de julho de 2001, 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.239, de 4 de outubro de 1991, e 9.394, de 20 de dezembro de 1996; e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília.

BRASIL (2012b). Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa e dá outras providências. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 2012, 34 p.

BRASIL (2021a). Decreto nº 10.692, de 3 de maio de 2021. Institui o Cadastro Nacional de Municípios com Áreas Suscetíveis à Ocorrência de Deslizamentos de Grande impacto, Inundações Bruscas ou Processos Geológicos ou Hidrológicos Correlatos.

BRASIL (2021b). GIRD+10: caderno técnico de gestão integrada de riscos e desastres. Samia Nascimento Sulaiman (coord.). Ministério do Desenvolvimento Regional: Secretaria Nacional de proteção e Defesa Civil, Brasília, Distrito Federal, 1 ed., 151 p.

BRASIL (2023a). Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional. Secretaria de Proteção e Defesa Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Centro de Estudos e Pesquisas em Engenharia e Defesa Civil. Atlas Digital de Desastres no Brasil. Brasília: MIDR. Disponível em: <https://atlasdigital.mdr.gov.br/paginas/index.xhtml>. Acesso em: 08 de julho de 2024.

BRASIL (2023b). Lei nº 14.750, de 12 de dezembro de 2023. Altera as Leis nºs 12.608, de 10 de abril de 2012, e 12.340, de 1º de dezembro de 2010, para aprimorar os instrumentos de prevenção de acidentes ou desastres e de recuperação de áreas por eles atingidas, as ações de monitoramento de riscos de acidentes ou desastres e a produção de alertas antecipados. Diário Oficial da União, Brasília.

BRASIL/IPT (2007). Mapeamento de riscos em encostas e margem de rios. Celso Santos Carvalho, Eduardo Soares de Macedo e Agostinho Tadashi Ogura (org.) – Brasília, Distrito Federal, 176 p.

BRESSANI, L.A. e COSTA, E.A. (2015). Cartas geotécnicas aplicadas ao planejamento territorial – alguns ajustes no instrumento. Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, 5(1): 9-20.

BUSCH, A. e AMORIM, S. (2011). A tragédia da região serrana do Rio de Janeiro em 2011: procurando respostas. ENAP: Casoteca de gestão pública, 20 p.

CÂMARA, G., SOUZA, R.C.M., FREITAS, U.M. e GARRIDO, J. (1996). SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. Computers e Graphics, 20(3): 395-403.

CAMPOS, J.E.G. 2011. Meio Físico do Distrito Federal. Zoneamento Ecológico-Econômico do Distrito Federal.

CAMPOS, J.E.G., DARDENNE, M.A., FREITAS-SILVA, F.H., MARTINS-FERREIRA, M.A.C. (2013). The Paranoá Group geology at the external portion of the Brasília Belt. Braz. J. Geol., São Paulo, 43(3): 461-476.

CAMPOS, S.J.A.M., STEFANI, F.L., PAULON, N., FACCINI, L.G. e BITAR, O.Y. (2015). Mapeamento de áreas sujeitas à inundação para planejamento e gestão territorial: cartas de suscetibilidade, perigo e risco. Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, 5(1): 67-81.

CARVALHO, L.F.R. (2017). Monitoramento dos campos de murundus do Distrito Federal mediante a sensoriamento remoto. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 56 p.

CBMGO (2023). Áreas de risco 2023. Disponível em: <https://sites.google.com/view/defesacivilteste/pain%C3%A9is-b-i>. Acesso em 08 de Julho de 2024.

CERRI, L.E.S., AKIOSSI, A., AUGUSTO FILHO, O., ZAINE, J.E. (1996). Cartas e mapas geotécnicos de áreas urbanas: reflexões sobre as escalas de trabalho e proposta de elaboração com o emprego do método de detalhamento progressivo. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 8, 1996, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: ABGE, 2: 537- 548.

CHIANG, L.C., (1984). Análise estrutural de lineamentos em imagens de sensoriamento remoto: Aplicação ao Estado do Rio de Janeiro. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, 183 p.

CODEPLAN (2020). Atlas do Distrito Federal 2020. Disponível em: <https://www.codeplan.df.gov.br/atlas-do-distrito-federal-2020/>. Acesso em 06 de Julho de 2024.

COSTA, A.P.C. (2022). Modelagem hidráulica unidimensional: Estudo de caso da Vila Cauhy - Brasília - DF. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 61 p.

CPRM/SIC (2008). Geologia do Estado de Goiás e Distrito Federal: Escala 1:500.000, Maria Luiza Osório Moreira, Luiz Carlos Moreton, Vanderlei Antônio de Araújo, Joffre Valmório de Lacerda Filho e Heitor Faria da Costa (Orgs.). Goiânia, Goiás, 143 p.

CRUDEN, D.M. e VARNES, D.J. (1996). Landslides types and process. Landslides: Investigation and mitigation, special report 247. Transportation research board, National Academy of Sciences, Washington, DC., 36-57.

DANTAS, M.E. (2010). Biblioteca de relevo do território brasileiro. Geodiversidade do Estado de Minas Gerais, M.F. Machado e S.F. Silva, CPRM, Belo Horizonte, MG, Apêndice II. 136 p.

DEARMAN, W.R. (1991). Engineering Geological Mapping. British Library Cataloguing Publication Data, Butterworth e Heinemama, London, UK, 415 p.

DINIZ, N.C. (2012). Cartografia geotécnica por classificação de unidades de terreno e avaliação de suscetibilidade e aptidão. Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental (RBGEA), 2(1/2): 29-77.

DISTRITO FEDERAL (1961). Decreto n° 108 de 6 de setembro de 1961. Cria o Parque Municipal do Gama e dá outras providências. Diário Oficial do Distrito Federal, Brasília, DF.

DISTRITO FEDERAL (1982). Decreto n° 6.953, de 23 de agosto de 1982. Extingue o Parque Municipal do Gama, cria o Parque Recreativo do Gama e dá outras providências. Diário Oficial do Distrito Federal, Brasília, DF, 1982.

DISTRITO FEDERAL (1988). Decreto n° 11.261, de 16 de setembro de 1988. Criação da Reserva Ecológica do Gama. Diário Oficial do Distrito Federal, Brasília, DF, 1988.

DISTRITO FEDERAL (1996). Lei n° 1.202. Cria o Parque Ecológico e Vivencial da Ponte Alta do Gama em área que menciona e dá outras providências. Diário Oficial do Distrito Federal, Brasília, DF, 1996.

DISTRITO FEDERAL (2005). Decreto n° 25.867, de 23 de maio de 2005. Define as coordenadas da poligonal do Parque Recreativo do Gama, e as coordenadas da poligonal da Reserva Ecológica do Gama e dá outras providências. Diário Oficial do Distrito Federal, Brasília, DF, 2005.

DISTRITO FEDERAL (2008). Decreto nº 29.704, de 17 de novembro de 2008. Transforma a Reserva Ecológica do Gama, localizada na Região Administrativa II, em Reserva Biológica do Gama, nos termos do artigo 10, da Lei Federal nº 9.985, de 18 de julho de 2000, e dá outras providências. Diário Oficial do Distrito Federal, Brasília, DF, 2008.

DISTRITO FEDERAL (2009). Lei Complementar nº 803, de 25 de abril de 2009. Aprova a revisão do Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal — PDOT e dá outras providências. Diário Oficial do Distrito Federal, Brasília, DF, 2009.

DISTRITO FEDERAL (2012). Lei Complementar nº 854, de 15 de outubro de 2012. Atualiza a Lei Complementar nº 803, de 25 de abril de 2009, que aprova a revisão do Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal – PDOT e dá outras providências. Diário Oficial do Distrito Federal, Brasília, DF.

DISTRITO FEDERAL (2019). Decreto nº 40.316, de 16 de dezembro de 2019. Dispõe sobre a criação da Unidade de Conservação denominada Parque Ecológico do Gama, na Região Administrativa do Gama - RA II. Diário Oficial do Distrito Federal, Brasília, DF, 2019.

DISTRITO FEDERAL (2019). Lei nº 6.414, de 03 de dezembro de 2019. Dispõe sobre a recategorização do Parque Recreativo Sucupira; do Parque Três Meninas; do Parque Recreativo de Santa Maria; do Parque Ecológico e Vivencial do Riacho Fundo; do Parque Ecológico e Vivencial de Candangolândia; do Parque Ecológico e Vivencial da Vila Varjão; do Parque Ecológico Canjerana; do Parque Ecológico Garça Branca; do Parque Ecológico dos Pequizeiros; do Parque Ecológico e Vivencial do Retirinho; do Parque Ecológico e Vivencial do Recanto das Emas e do Parque Ecológico e Vivencial Cachoeira do Pipiripau. Diário Oficial do Distrito Federal, Brasília, DF, 2019.

DISTRITO FEDERAL (2020). Lei nº 6.520, de 17 de março de 2020. Altera a Lei nº 6.364, de 26 de agosto de 2019, que dispõe sobre a utilização e a proteção da vegetação nativa do Bioma Cerrado no Distrito Federal e dá outras providências. Diário Oficial do Distrito Federal, Brasília, DF.

DISTRITO FEDERAL (2022). Decreto nº 43.358, de 25 de maio de 2022. Dispõe sobre a recategorização do Parque Recreativo do Gama e dá outras providências. Diário Oficial do Distrito Federal, Brasília, DF, 1988.

DOURADO, F., ARRAES, T.C. e SILVA, M.F. (2012). O megadesastre da Região Serrana do Rio de Janeiro – as causas do evento, os mecanismos de movimentos de massa e a distribuição espacial dos investimentos de reconstrução no pós-desastre. Anuário do Instituto de Geociências, 32(2), 43-54.

EMBRAPA - SERVIÇO NACIONAL DE LEVANTAMENTO E CONSERVAÇÃO DE SOLOS (Rio de Janeiro, RJ). (1978). Levantamento de reconhecimento dos solos do Distrito Federal. (EMBRAPA-SNLCS. Boletim Técnico, 53), 455 p.

EMBRAPA (2018). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília, DF.

EMBRAPA (2024a). Mapa da Suscetibilidade dos solos à erosão hídrica do Brasil. Disponível em: <https://geoinfo.dados.embrapa.br/catalogue/#/dataset/2998>. Acesso em 09 de Julho de 2024.

EMBRAPA (2024b). Mapa da Vulnerabilidade dos Solos à Erosão Hídrica do Brasil. Disponível em: <https://geoinfo.dados.embrapa.br/catalogue/#/dataset/2997>. Acesso em 09 de Julho de 2024.

FARIA A. (1995). Estratigrafia e sistemas deposicionais do Grupo Paranoá nas áreas de Cristalina, Distrito Federal e São João D'Aliança – Alto Paraíso – GO. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 199 p.

FELL, R., COROMINAS, J., BONNARD, C., CASCINI, L., LEROI, E., SAVAGE, W.Z. (2008). Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning. *Engineering Geology*, 102, 85-98.

FERNANDES, N.F., GUIMARÃES, R.F., GOMES, R.A.T., VIEIRA, B.C., MONTGOMERY, D. R. e GREENBERG, H. (2001). Condicionantes geomorfológicos dos deslizamentos nas encostas: avaliação de metodologias e aplicação de modelo de previsão de áreas susceptíveis. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 2(1): 51-71.

FREITAS-SILVA, F.H., CAMPOS, J.E.G. (1998). Geologia do Distrito Federal. In: Inventário Hidrogeológico e dos Recursos Hídricos Superficiais do Distrito Federal. Brasília. IEMA/SEMATEC/UnB. Parte I., p. 86.

G1 (2021). Confira imagens marcantes da tragédia de 2011 na Região Serrana do RJ. Disponível em: <https://g1.globo.com/rj/regiao-serrana/noticia/2021/01/11/confira-imagens-marcantes-da-tragedia-de-2011-na-regiao-serrana-do-rj.ghtml>. Acesso em 05 de Julho de 2024.

G1 (2022). Vídeo e Fotos: chuva intensa causa alagamentos e queda de árvores no DF. Disponível em: <https://g1.globo.com/df/distrito-federal/noticia/2022/12/24/video-e-fotos-chuva-intensa-causa-alagamentos-e-queda-de-arvores-no-df.ghtml>. Acesso em 06 de Julho de 2024.

G1 (2023). Temporal devastador no Litoral Norte de SP completa um mês: confira um resumo da tragédia. Disponível em: <https://g1.globo.com/sp/vale-do-paraiba-regiao/noticia/2023/03/19/temporal-devastador-no-litoral-norte-de-sp-completa-um-mes-confira-um-resumo-da-tragedia.ghtml>. Acesso em 05 de Julho de 2024.

GDF (2009). Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal. Documento Técnico. Secretaria de Estado de Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente, Brasília, DF, 358 p. Disponível em: <https://www.seduh.df.gov.br/plano-diretor-de-ordenamento-territorial/>. Acesso em: 09 de Julho de 2024.

GDF (2014). Instrução Normativa n° 39, de 21 de fevereiro de 2014. Dispõe sobre a preservação dos campos de murundus, também conhecidos como covais e dá outras providências. Brasília, DF.

GDF (2017). Zoneamento Ecológico-Econômico do Distrito Federal: Matriz ecológica. Caderno Técnico. Brasília, Distrito Federal. Disponível em: [https://www.zee.df.gov.br/wp-content/uploads/2018/05/ZEEEDF\\_CT01\\_Matriz-Ecologica.pdf](https://www.zee.df.gov.br/wp-content/uploads/2018/05/ZEEEDF_CT01_Matriz-Ecologica.pdf). Acesso em 05 de Julho de 2024.



GRANT, K. 1965. Terrain features of the Mt. Isa/Dajarra region and an assessment of their significance in relation to potential engineering land use. Austrália: CSIRO Soil Mechanics Section, p.3- 110. (Technical Paper, 1).

GUIDICINI, G. e NIEBLE, C.M. (1984). Estabilidade de taludes naturais e de escavação. Editora Edgard Blücher, São Paulo, Brasil, 2 ed, 192 p.

GUY, M. (1966). Quelques principes e quelques expériences sur la methodologie de la photointerpretation. In: Symp. Intern. Photo-Interpretation, 2, Paris, Acte, 1, 21-41.

GUZZETTI, F., CARRARA, A., CARDINALI, M. e REICHENBACH, P. (1999). Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy. *Geomorphology*, 31, 181-216.

GUZZETTI, F., MONDINI, A.C., CARDINALI, M., FIORUCCI, F., SANTANGELO, M., CHANG, K.T. (2012). Landslide inventory maps: New tools for an old problem. *Earth-Science Reviews*, 112, 42-66.

HERRMANN, M.L.P. (2014). Atlas de desastres naturais do Estado de Santa Catarina: período de 1980 a 2010. Instituto Histórico e Geográfico de Santa Catarina – IHGSC / Cadernos Geográficos – GCN/UFSC, Florianópolis, Santa Catarina, 219 p.

IAEG (1976). *Engineering Geology Maps: a Guide to their Preparation*. UNESCO, Paris, 79 p.

IBGE (2023a). Geologia versão 2023. Geociências. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>. Acesso em 06 de Julho de 2024.

IBGE (2023b). Geomorfologia versão 2023. Geociências. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>. Acesso em 06 de Julho de 2024.

IBGE (2023c). Pedologia versão 2023. Geociências. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>. Acesso em 06 de Julho de 2024.

IDE/DF (2024). Infraestrutura de Dados Espaciais – Geoportal. Disponível em: <https://www.geoportal.seduh.df.gov.br/geoportal/>. Acesso em 06 de Julho de 2024.

JONER, K., AVILA, M.R.R. e MATTEDI, M.A. (2021). Territorialidade e desastre: a gestão dos desastres no Brasil com base no estudo de caso da Defesa Civil em Santa Catarina. *Revista Brasileira de Gestão Urbana*, 13, 14 p.

KOBIYAMA, M. (2023). The largest 24-hour rainfall event ever recorded in Brazil killed 65 people along the north coast of São Paulo state during the Carnival season. Global Alliance of Disaster Research Institutes. Disponível em: <https://gadri.net/events/Kobiyama%20%28GADRI-report%202023%29-Sao%20Sebastiao-2023-Fev.pdf>. Acesso em 05 de Julho de 2024.

KUMAIRA, S. (2016). Análise e modelagem estrutural do Domo de Brasília. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Programa de Pós-Graduação em Geociências. 102 p.

LIMA, R.R. (2016). Carta geotécnica de aptidão à urbanização frente aos desastres naturais e induzidos elaborada para o município do Ipojuca-PE na escala de planejamento (1:25.000). Tese de doutorado, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Pernambuco, 317p.

MACEDO, E.S. e SANDRE, L.H. (2022). Mortes por deslizamentos no Brasil: 1988 a 2022. Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, 12(1): 110-117.

MALHEIRO, A.M., BOEIRA, V.N., BUENO, G.T. e MANTOVANI, J.R.A. (2023). Condicionantes naturais da distribuição espacial dos campos de murundus no sudoeste do Estado de Goiás. Sociedade e Natureza, 36(1), 1-15.

MARTINS, E. S., REATTO, A., CARVALHO, O. A., GUIMARÃES, R. F. (2004). Evolução Geomorfológica do Distrito Federal. Planaltina, DF. Documentos/Embrapa Cerrados, ISSN 1517-5111, nº122, 57 p.

MARTINS, E.S., BAPTISTA, G.M.M. (1998). Compartimentação geomorfológica do Distrito federal. Inventário hidrogeológico e dos recursos hídricos superficiais do Distrito Federal. Brasília: SEMATEC: IEMA: MMA-SRH.

METRÓPOLES (2024). Vídeos: forte chuva do DF deixa ruas alagadas e carros submersos. Disponível em: <https://www.metropoles.com/distrito-federal/videos-forte-chuva-no-df-deixa-ruas-alagadas-e-carros-submersos>. Acesso em 06 de Julho de 2024.

MOLINA, E.A.N., CARDOSO, A.O. e NOGUEIRA, F.R. (2015). Relação precipitação-deslizamento no município de São Bernardo do Campo – SP. Ciência e Natura, 37: 46-54.

MOMO, M.R., PINHEIRO, A., SEVERO, D.L., CUARTAS, L.A., NOBRE, A.D. (2015). Desempenho do modelo HAND no mapeamento de áreas suscetíveis à inundação usando dados de alta resolução espacial. RBRH, 21(1) 200-208.

MONARI, M., SEGANTINE, P.C.L. e SILVA, I. (2019). Avaliação do modelo digital de elevação Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM) como ferramenta no processo de identificação de rotas cicláveis: um estudo de caso para a cidade de Bariri-SP. 33º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte da ANPET, ANPET, Balneário Camboriú, Santa Catarina.

NASCIMENTO, D.T.F., ROMÃO, P.A., SALES, M.M., VARGAS, C.A.L. e AMARAL, C.S. (2016). Mapeamento da suscetibilidade a potencialidade a processos erosivos laminares e lineares ao longo do duto osbra da petrobras. Geociências. 35(4), 585-597.

NOBRE, A.D., CUARTAS, L.A., HODNETT, M., RENNÓ, C.D., RODRIGUES, G., SILVEIRA, A., WATERLOO, M., SALESKA, S. (2011). Height above the Nearest Drainage, a hydrologically relevant new terrain model. Journal Hydrology, 404(1-2): 13-29.

NOVAES PINTO, M. (1986). Unidades geomorfológicas do Distrito Federal. Geografia, 11(21), 97-109.

O GLOBO (2023). Enchentes no Rio Grande do Sul: várias cidades inundam após temporais; fotos. Disponível em: <https://oglobo.globo.com/fotogalerias/noticia/2023/11/20/enchentes-no-rio-grande-do-sul-varias-cidades-inundam-apos-temporais-fotos.ghtml>. Acesso em 05 de Jul de 2024.

O GLOBO (2023). Vale do Taquari: Número de mortes por enchentes após ciclone no RS sobe para 51. Disponível em: <https://oglobo.globo.com/brasil/noticia/2023/10/05/vale-do-taquari-numero-de-mortes-por-enchentes-apos-ciclone-no-rs-sobe-para-51.ghtml>. Acesso em 05 de Jul de 2024.

O MUNICÍPIO BLUMENAU (2021). Prefeitura realiza exposição sobre tragédia de 2008: “Lembrar o passado para prevenir o futuro”. Disponível em: <https://omunicipioblumenau.com.br/prefeitura-realiza-exposicao-sobre-tragedia-de-2008-lembrar-o-passado-para-prevenir-o-futuro/>. Acesso em 05 de Julho de 2024.

O'CALLAGHAN, J.F., MARK, D.M. (1984). The Extraction of Drainage Networks from Digital Elevation Data. *Computer Vision, Graphics and Image Processing*, 28: 323-344.

O'LEARY, D.W., FRIEDMAN, J.D., POHN, H. A. (1976). Lineament, linear, lineation: Some proposed new standards for old terms. *GSA Bulletin*, 87 (10), 1463–1469.

OLIVEIRA FILHO, A.T. (1992). Floodplain “murundus” of Central Brazil: evidence for the termite-origin hypothesis. *Journal of Tropical Ecology*, 8(1), 1-19.

OLIVEIRA, B.R. (2018). Cartografia geotécnica de grande escala: estudo de caso setor habitacional Asa Taquari [Distrito Federal]. Dissertação de Mestrado, Publicação G.DM-305/2018, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 144 p.

OLIVEIRA, S.M.C. (2012). Incidência espacial e temporal da instabilidade geomorfológica na bacia do rio Grande da Pipa (Arruda dos Vinhos). Tese de Doutorado, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal, 496 p.

ORLANDO, F.C. e BIAS, E.S. (2020). Análise da qualidade dos dados SRTM ao longo de todo o território brasileiro. *Anuário do Instituto de Geociências*, 43(2), 340-348.

PAŠEK, J. (1977). Landslides Inventory. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, Paris, 12, 73-74.

PINTO, V.G., LIMA, R.N.S., SANTOS, R.C.P. e RIBEIRO, C.B.M. (2016). Influência do número de classes de vulnerabilidade na determinação da suscetibilidade morfométrica à inundação. *Ambiente e água*, 11(3), 637-649.

PRANDINI, F.L., NAKAZAWA, V.A., FREITAS, C.G.L., DINIZ, N.C. (1995). Cartografia geotécnica nos planos diretores regionais e municipais. In: BITAR, O.Y. (Coord.). *Curso de geologia aplicada ao meio ambiente*. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE) e Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), cap. 4.4, p.187-202.

QUEIROZ, A.D. (2009). Prefácio. *Desastre de 2008 no Vale do Itajaí: Água, gente e política*, Beate Frank e Lucia Sevegnani (orgs.). Agência de Água do Vale do Itajaí, Blumenau, Santa Catarina, pp. 7.

REATTO, A., MARTINS, E.S., FARIAS, M.F.R., SILVA, A.V., CARVALHO JÚNIOR, O.A. (2004). Mapa pedológico Digital – SIG Atualizado do Distrito Federal Escala 1:100.000 e uma síntese do texto explicativo. Planaltina: Embrapa Cerrados, 31 p.

RIFFEL, E.S., GUASSELLI, L.A. e BRESSANI, L. A. (2016). Desastres associados à movimentos de massa: uma revisão de literatura. Boletim Goiano de Geografia, 36(2): 285-306.

ROLDAN, L.F., MACHADO, R., STEINER, S.S. e WARREN, L.V. (2010). Análise de lineamentos estruturais no Domo de Lages (SC) com uso de imagens de satélite e mapas de relevo sombreado. Geologia USP. Série Científica, 10(2), 57-72.

SANTORO, J., MENDES R.M., PRESSINOTTI R.M.M.N. e MANUEL G. R. (2010). Correlação entre chuvas e deslizamentos ocorridos durante a operação do plano preventivo de defesa civil em São Paulo, SP. Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Ambiental, ABGE, Maringá, Paraná, 7:1-15.

SANTOS, A.R. (2014). Manual básico para a elaboração e uso da carta geotécnica. Rudder. São Paulo, Brasil, 99p.

SGB (2022a). Carta geotécnica de aptidão à urbanização: Distrito Federal, Anselmo de Carvalho Pedrazzi, Gilmar Pauli Dias, Ítalo Prata de Menezes e Rodrigo Luiz Gallo Fernandes (autores). Brasília, Distrito Federal. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/23212>. Acesso em 06 de Julho de 2024.

SGB (2022b). Setorização de áreas de risco geológico: Brasília, Distrito Federal, Deyna Pinho e José Antônio Silva. Brasília, Distrito Federal. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/22910>. Acesso em: 06 de Julho de 2024.

SGB (2022c). Setorização de risco geológico: Novo Gama, Goiás, Deyna Pinho e José Antônio Silva. Brasília, Distrito Federal. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/22911>. Acesso em 09 de Julho de 2024.

SGB (2023). Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação: município de Brasília - DF, Deyna Pinho e Rodrigo Luiz Gallo Fernandes (autores). Brasília, Distrito Federal. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/23754>. Acesso em: 05 de Jul de 2024.

SILVA JUNIOR, E.E.A. (2019). Geotecnologias e Planejamento Urbano: Proposta Metodológica e Avaliação de Dados Obtidos por Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA) como Contribuição à Cartografia Geotécnica. Tese de Doutorado, Publicação G.TD – 155/19, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 272 p.

SILVA, L.C.R., VALE, G.D., HAIDAR, R.F. e STERNBERG, L.S.L. (2010). Deciphering earth mound origins in central Brazil. Plant and Soil, 336, 3-14.

SOARES, P.C. e FIORI, A.P. (1976). Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. Notícia Geomorfológica, Campinas, 16(32), 71-104.

SOBREIRA, F.G. e SOUZA, L.A. (2012). Cartografia geotécnica aplicada ao planejamento urbano. *Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental*, 2(1): 79-97.

SOETERS, R., VAN WESTEN, C. L. (1996). Slope instability recognition, analysis, and zonation in Turner, A. K.; Schuster, R. L. (eds.), *Landslides investigation and mitigation*. Transportation Research Board. National Academic Press, Washington D. C. Special Report 247, 129 – 177.

SOUZA, L.A. (2021). Panorama da cartografia geotécnica e dos instrumentos existentes no Brasil relacionados ao planejamento urbano e à gestão de risco geológico e hidrológico. *Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental*, 11(2): 102-120.

STABILE, R.A., FERREIRA, A.L., CARVALHO, A.M., SIQUEIRA, A.G. e BITAR. O.Y. (2013). Análise de fatores condicionantes de instabilizações em encostas como subsídio para a modelagem estatística da suscetibilidade à deslizamentos. Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, ABGE, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 10 p.

STRAHLER, A. (1957) Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology. *Transactions, American Geophysical Union*, 38, 913-920.

TACHINI, M. (2009). Descrição do desastre: a inundação. Desastre de 2008 no Vale do Itajaí: Água, gente e política, Beate Frank e Lucia Sevegnani (orgs.). Agência de Água do Vale do Itajaí, Blumenau, Santa Catarina, pp. 102-109.

TACHINI, M., SEVERO, D.L. e SILVA, H.S. (2021). Análise das correlações entre as chuvas acumuladas e os deslizamentos em Blumenau – SC. *GEOSUL*, 36(79): 457-472.

TACHINI, M., SEVERO, D.L., SILVA, H.S. e AUMOND, J.J. (2018). Aprender a hidrologia e a prevenção de desastres. Desastre de 2008+10 no Vale do Itajaí: Água, gente e política, Marcos Mattedi, Leandro Ludwig e Maria Roseli Possi Avila (orgs.), Edifurb, Blumenau, Santa Catarina, pp. 31-42.

TATIZANA, C., OGURA, A.T., CERRI, L.E.S. e ROCHA, M.C.M. (1987). Análise de Correlação entre Chuvas e Escorregamentos – Serra do Mar, Município de Cubatão. Congresso Brasileiro de Geologia e Engenharia, ABGE, São Paulo, Brasil, 2: 225-236.

TOMINAGA, L.K. (2015). Escorregamentos. Desastres naturais: Conhecer para prevenir. Lídia Keiko Tominaga, Jair Santoro e Rosângela do Amaral (org.) – Instituto Geológico, Governo do Estado de São Paulo, São Paulo, Brasil, pp. 25 – 38.

TUCCI, C.E.M. (1999). Aspectos institucionais do controle das inundações urbanas. Seminário de Recursos Hídricos do Centro Oeste, ABRH, Brasília, Distrito Federal, 1.

TUCCI, C.E.M. (2003). Águas Urbanas. Inundações urbanas na América do Sul, Carlos E. M. Tucci e Juan Carlos Bertoni (orgs.). Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, pp. 11-36.

USGS (2014). Earth Explorer. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 06 de Julho de 2024.

USGS (2018). USGS EROS Archive - Digital Elevation - SRTM Mission Summary. Disponível em: <https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-digital-elevation-srtm-mission-summary>. Acesso em 09 de Julho de 2024.

VAN WESTEN, C.J.; CASTELLANOS ABELLA, E.A.; KURIAKOSE, S.L. (2008). Spatial data for landslide susceptibility, hazard, and vulnerability assessment: An overview. *Engineering Geology*, 102, 112-131.

VARNES, D.J. (1978). Slope movement types and processes. *Landslides, analysis and control*, special report 176: Transportation research board, National Academy of Sciences, Washington, DC., 11–33.

VIEIRA, H.J., MISZINSKI, J. e BLAINSKI, É. (2020) Risco de deslizamentos: Fórmula empírica. Epagri, Relatório do sistema AGROCONNECT, 10p.

ZAINE, J.E. (2000). Mapeamento geológico-geotécnico por meio do método do detalhamento progressivo: ensaio de aplicação na área urbana do município de Rio Claro (SP). Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas. 149 p.

ZEVENBERGEN, W.L., THORNE, C.R. (1987). Quantitative Analysis of Land Surface Topography. *Earth Surface Processes and Landforms*. 12: 47-56.

ZÊZERE, J.L. (2002). Landslide susceptibility assessment considering landslide tipology. A case study in the area north of Lisbon (Portugal). *Natural Hazards and Earth Sciences*, 2: 73-82.

ZUQUETTE, L. V. (1987) Análise Crítica da Cartografia Geotécnica e Proposta Metodológica para Condições Brasileiras. EESC-USP, (Tese de Doutorado). São Carlos/SP. 3 Vol.

ZUQUETTE, L.V., GANDOLFI, N. (2004). *Cartografia Geotécnica*. São Paulo: Oficina de Textos, 190 p.