



DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 036:

**AVALIAÇÃO DA APTIDÃO À URBANIZAÇÃO
COM USO DE INFERÊNCIA FUZZY EM DADOS
GEOMORFOMÉTRICOS: SUBSÍDIOS PARA O
PLANEJAMENTO TERRITORIAL EM TORNO DO
ANEL VIÁRIO DO DISTRITO FEDERAL**

Área de Concentração: Geoprocessamento e Análise Ambiental

PEDRO RAFAEL MANDAI

Orientador (a):
Prof^a Dr^a. Noris Costa Diniz

*Brasília - DF
2012*



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS APLICADAS

**AVALIAÇÃO DA APTIDÃO À URBANIZAÇÃO
COM USO DE INFERÊNCIA FUZZY EM DADOS
GEOMORFOMÉTRICOS: SUBSÍDIOS PARA O
PLANEJAMENTO TERRITORIAL EM TORNO DO ANEL
VIÁRIO DO DISTRITO FEDERAL**

Pedro Rafael Mandai

PLANO DE DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS DA
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS PRÉ-REQUISITOS NECESSÁRIOS
PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM GEOCIÊNCIAS APLICADAS

EXAMINADO POR:

NORIS COSTA DINIZ, Doutora, Professora Adjunto
(Instituto de Geociências - Universidade de Brasília)
(ORIENTADORA)

ANA LUIZA COELHO NETTO, Doutora, Professora Titular.
(Universidade Federal do Rio de Janeiro)
(EXAMINADOR EXTERNO)

NEWTON MOREIRA DE SOUZA, Doutor, Professor Associado
(Faculdade de Tecnologia - Universidade de Brasília)
(EXAMINADOR INTERNO)



DEDICATÓRIA

À minha preciosa família, por TUDO:

Juliana, por cuidar tão bem de nós três, com carinho e dedicação.

Luiz Pedro, pequeno filho e grande amigo, menino ávido por conhecimento.

Isabel, querida filha, o presente que ganhei durante o mestrado e marcou um importante momento em minha vida.

Dedico.

“Essa conquista é nossa!”

AGRADECIMENTOS

Ao **Poder** por essa oportunidade de desenvolvimento, em que eu venci a mim mesmo.

Ao meu guia e amigo, **José Gabriel da Costa**, pela presença constante nas travessias e sempre me ensinando a caminhar neste caminho de pedras.

A Professora Dra. **Noris Costa Diniz**, pelo despertar sobre a importância do conhecimento geológico aplicado ao planejamento territorial. Minha gratidão pela serenidade transmitida na orientação desse trabalho, bem como, pela compreensão diante das limitações e o incentivo para a conclusão deste trabalho.

Aos meus pais, **Kichiro** e **Ana Lúcia**, pelo suporte necessário durante minha formação.

Aos meus sogros, **Ricardo** e **Cristina**, pelo apoio fundamental no cuidado com as crianças, em especial nos meses finais do mestrado.

Aos colegas da pós-graduação, em especial, aos doutorandos: **Tatiana Diniz Gonçalves**, mana caianinha de outras épocas, por compartilhar os momentos diários de angústia e superação; **Gervásio S.B. Neto**, pelas contribuições geomorfológicas; **Júlia Curto**, pelos pudins e afins. Aos mestrandos: **Fausto Batista Mendonça**, **Hugo Nunes**, **Mateo Arenas Rios**, **Renata Machado** e **Júlia Pêra**, pelas parcerias no aprendizado. À graduanda, **Talita Rocha**, pelo auxílio em campo.

Ao Professor Dr. **José Elói G. Campos** pela generosidade nos esclarecimentos sobre o meio físico do DF e prestatividade na coordenação do programa de pós-graduação.

À equipe do **Laboratório de Sensoriamento Remoto e Análise Espacial (LSRAE/IG/UnB)** pela acolhida nos meses finais da dissertação.

Aos colegas da **Terracap**, pelo apoio e tolerância. Em especial, ao geólogo **Magno A. Machado** e ao biólogo **Altamiro F. Pavanelli**, pela leitura prévia e sugestões.

À **Universidade de Brasília**, professores e servidores, pela minha formação acadêmica e profissional, nestes 50 anos de sonhos e esperanças.





*“Eu quero o mapa das nuvens
e um barco bem vagaroso”*

Mário Quintana

5

RESUMO

A ocupação urbana de áreas em torno de sistemas viários é uma tendência mundial que deve se tratada numa perspectiva de planejamento territorial, sendo necessário o conhecimento dos aspectos físicos de terrenos para fins avaliação da aptidão à urbanização. Desse modo, o presente trabalho se propõe aplicar metodologias de cartografia geotécnica com uso de inferência *fuzzy* em dados geomorfométricos na escala 1:10.000. A área em questão é o entorno do Anel Viário do Distrito Federal, com uma área de aproximadamente 1.545 km² e abrange setores representativos da geodiversidade local. A compartimentação das unidades de terreno foi estabelecida por critérios de homogeneidade das variáveis geomorfométricas e integrada espacialmente por inferência *fuzzy*, pelo *software ArcGis 10*. A técnica de inferência espacial baseada em lógica *fuzzy* permite representar feições de relevo enquanto objetos geomorfométricos, aqui tratado como unidades de terreno. Os parâmetros geomorfométricos utilizados para delimitar as unidades de terrenos foram selecionados considerando questões relativas a processos do meio físico, de modo que as unidades de terreno foram classificadas com enfoque na aptidão à urbanização. A avaliação da aptidão ao desenvolvimento urbano se pautou na análise integrada das unidades de terreno, perante a suscetibilidade a processos geodinâmicos superficiais, aos atributos do meio físico e aos elementos restritivos à urbanização. Como produto final foi elaborado a Carta de Aptidão à urbanização no entorno do Anel Viário do Distrito Federal, que contém informações relevantes do sistema físico-ambiental da área, apresentadas em um produto cartográfico conciso para uso no planejamento territorial.

ABSTRACT

The occupation of urban areas around road systems is a worldwide trend that should be treated from the perspective of territorial planning, which required the knowledge of the physical aspects of terrain for purposes of assessing suitability for urbanization. Thus, this paper proposes to apply methodologies geotechnical mapping using fuzzy inference in geomorphometric data on 1:10,000 scale. The area in question is around the beltway of the Federal District, with an area of approximately 1545 km² and covers representative sectors of the local geodiversity. The compartmentalisation of field units was established by the criteria of homogeneity of variances geomorphometric and spatially integrated by fuzzy inference, the ArcGis 10. The technique of spatial inference based on fuzzy logic allows us to represent relief features as objects geomorphometric, here treated as terrain units. The geomorphometric parameters used to define the terrain units were selected considering issues relating to the physical processes, so that field units were classified with a focus on suitability for urbanization. The assessment of suitability for urban development is guided in the integrated analysis of field units, given the susceptibility to surface geodynamic processes, attributes of the physical and restrictive elements to urbanization. As a final product was prepared Map of suitability to urbanization around the Beltway in the Federal District, which contains relevant information of the physical system-environment of the area, presented in a concise cartographic product for use in territorial planning.



SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	19
1.1. Apresentação	20
1.2. Motivação	21
1.3. Objetivos	23
1.4. Área de Estudo	25
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	27
2.1. Planejamento Territorial no Distrito Federal	27
2.1.1. Relatório Cruls	27
2.1.2. Relatório Belcher	28
2.1.3. Zoneamento Ecológico-Econômico do Distrito Federal	30
2.2. Geologia de Engenharia	31
2.2.1. Geologia Aplicada ao Planejamento Urbano	32
2.2.2. Avaliação de Terrenos	34
2.2.3. Cartografia Geotécnica	34
2.2.4. Metodologias em Cartografia Geotécnica	38
2.2.4.1. Metodologia IAEG	38
2.2.4.2. Metodologia PUCE	38
2.2.4.3. Metodologia MATULA	40
2.2.4.4. Metodologia IPT	41
2.2.4.5. Metodologia EESC/USP	41
2.2.5. Cartografia Geotécnica no Distrito Federal	42
2.2.6. Geoprocessamento em Cartografia Geotécnica	45
2.2.7. Inferência Espacial Fuzzy no Contexto da Cartografia Geotécnica	46
2.2.8. Modelagem da Paisagem	46
2.2.9. Unidades de Mapeamento	48
3. CONTEXTUALIZAÇÃO DA ÁREA	52
3.1. Projeto Anel Viário	52
3.2. Meio Físico	52
3.2.1. Geologia do DF	53
3.2.2. Geomorfologia do DF	58
3.2.3. Solos do DF	61
3.2.3.1. Aspectos Pedológicos	61
3.2.3.2. Aspectos Geotécnicos e Processos do Meio Físico	63
3.2.4. Hidrogeologia do DF	68
3.2.4.1. Domínio Poroso	68
3.2.4.2. Domínio Fraturado	69
3.2.5. Hidrografia	72
3.2.6. Clima	74



3.3.	MEIO SÓCIO-AMBIENTAL	76
3.3.1.	Ocupação Territorial	76
3.3.1.1.	Aspectos da Política Urbana	76
3.3.1.1.1.	Lei de Parcelamento de Solos	76
3.3.1.1.2.	Política de Desenvolvimento Urbano	77
3.3.1.1.3.	Estatuto das Cidades	77
3.3.1.2.	Aspectos na Política Ambiental	77
3.3.1.2.1.	Unidades de Conservação	78
4.	METODOLOGIA	82
4.1.	Etapas de Trabalho	83
4.1.1.	Inventário de dados	83
4.1.2.	Análise dos dados	84
4.1.3.	Síntese dos dados	86
5.	Artigo: “MODELAGEM FUZZY DE DADOS GEOMORFOMÉTRICOS DOS TERRENOS ADJACENTES AO ANEL VIÁRIO DO DISTRITO FEDERAL:	89
	INTRODUÇÃO	90
	ASPECTOS CONCEITUAIS	91
	Landforms	91
	Geomorfometria	92
	Avaliação de Terrenos	93
	Lógica Fuzzy	94
	OBJETIVOS	95
	ÁREA DE ESTUDO	95
	Aspectos do Meio Físico	96
	MÉTODOS, MATERIAIS E TÉCNICAS	97
	ASPECTOS METODOLÓGICOS	97
	MATERIAIS	99
	Base de Dados Planialtimétricos	100
	Ambiente de Integração dos Dados Geoespaciais	100
	TÉCNICAS	100
	Modelo Digital de Terreno	100
	MODELAGEM FUZZY DOS DADOS GEOMORFOMÉTRICOS	101
	Dados Geomorfométricos	101
	Pertinência Fuzzy	104
	Operadores Fuzzy	108
	CONSIDERAÇÕES FINAIS	112

6.	AVALIAÇÃO DOS TERRENOS EM TORNO DO ANEL VIÁRIO DO DF	118
6.1.	<i>Suscetibilidade a Processos do Meio Físico</i>	119
6.1.1.	Processos Erosivos	120
6.1.2.	Movimento Gravitacional de Massa	124
6.1.3.	Inundação	127
6.2.	<i>Atributos do Meio Físico para Avaliação de Terrenos</i>	128
6.2.1.	Litologia	129
6.2.2.	Classes de Solos	130
6.2.3.	Textura de Solos	132
6.2.4.	Espessura de Solos	134
6.2.5.	Nível Freático	136
6.3.	<i>Análise das Unidades de Terreno</i>	137
6.3.1.	UT-AV-I	137
6.3.1.1.	Caracterização e Avaliação da UT-AV -I	137
6.3.1.2.	Recomendações ao Uso e Ocupação da UT-AV -I	139
6.3.2.	UT-AV-II	139
6.3.2.1.	Caracterização e Avaliação da Unidade UT-AV -II	139
6.3.3.	UT-AV-III	142
6.3.3.1.	Caracterização e Avaliação da Unidade UT-AV -III	142
6.3.3.2.	Recomendações ao Uso e Ocupação	143
6.4.	<i>Elementos Restritivos ao Desenvolvimento Urbano</i>	144
6.4.1.	Unidades de Conservação	145
6.4.2.	Declividade	146
6.4.3.	Áreas de Preservação Permanente	149
6.4.4.	Recursos Minerais	151
6.4.5.	Áreas Urbanas Consolidadas	154
6.5.	<i>Aptidão à Urbanização</i>	155
7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	160
7.1.	<i>Discussões gerais</i>	160
7.2.	<i>Vantagens e limitações</i>	163
7.3.	<i>Recomendações e desenvolvimentos futuros</i>	165

Lista de Siglas e Abreviaturas

ABGE: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia

APA: Áreas de Proteção Ambiental

APM: Área de Proteção de Manancial

APP: Áreas de Preservação Permanente

ARIE: Área de Relevante Interesse Ecológico

AV-DF: Anel Viário do Distrito Federal

CODEPLAN: Companhia do Desenvolvimento do Planalto Central

CONAMA: Conselho Nacional de Meio Ambiente

DER: Departamento de Estradas e Rodagens

DF: Distrito Federal

DNPM: Departamento Nacional de Produção Mineral

EESC/USP: Escola de Engenharia de São Carlos / Universidade de São Paulo

ENC/FT: Departamento de Engenharia Civil e Ambiental / Faculdade de Tecnologia

EIA-RIMA: Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto ao Meio Ambiente

EMBRAPA: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EVTEA: Estudo de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental

GDF: Governo do Distrito Federal

GIS: Geographic Information System

IAEG: International Association for Engineering Geology and the Environment

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IPT: Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo

Km: Quilômetros



LiDAR: *Light Detection And Ranging*

MF: *Meio Físico*

MGM: *Movimento Gravitacional de Massa*

MP: *Medida Provisória*

PAC: *Plano de Aceleração do Crescimento*

PEOT: *Plano Estrutural de Organização Territorial*

PDOT: *Plano Diretor de Ordenamento Territorial*

PUCE: *Pattern, Unit, Component, Evaluation*

RIAC: *Relatório de Impacto Ambiental Complementar*

RIDE: *Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno*

SEDHAB - *Secretaria de Habitação, Regularização e Desenvolvimento Urbano*

SHP: *Shapefile*

SICAD: *Sistema Cartográfico do Distrito Federal*

SIRGAS: *Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas*

SPT: *Standart Penetration Test*

SRTM: *Shuttle Radar Topography Mission*

ZEE: *Zoneamento Ecológico-Econômico*

UnB: *Universidade de Brasília*

UNFPA: *United Nations Population Funds*

UNESCO: *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization*

IUGS: *Internacional Union of Geological Sciences*

2D: *Duas Dimensões*

3D: *Três Dimensões*



Índice de Figuras

Figura 1 - Regiões megapolitanas concentradoras demográficas ao longo de rodovias norte-americanas. (Extraído http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/51/MapofEmergingUSMegaregions.png).....	22
Figura 2 - Abordagem e contextualização da dissertação (Extraído e adaptado de Souza, 1992).....	24
Figura 3 - Articulação espacial do Relatório Cruls e Relatório Belcher (Machado <i>et al.</i> 2007).....	30
Figura 4 - A relevância da geologia de engenharia de diferentes estágios do planejamento de desenvolvimento (modificado de Forster & Culshaw, 1987)....	33
Figura 5 - Propósito da Cartografia Geotécnica e a interações com os demais componentes (modificada de Fornasari F ^o et al. 1992, segundo Diniz, 1998).....	36
Figura 6 - Tipos de Cartas geotécnicas, segundo processos do meio físico e empreendimentos de obras civis. (modificado de Diniz, 1998).....	37
Figura 7 - Etapas metodológicas em cartografia geotécnica propostas por Matula (1979).....	40
Figura 8 - Ciclo das rochas, processos geológicos e formas de relevo (Adaptado de Griffiths & Stokes, 2008).....	47
Figura 9 - Faixa de dobramento e cavalgamento Brasília, com destaque o DF (Extraído de Campos <i>et. al</i> , submetido).....	53
Figura 10 - Litoestratigrafia do DF (Freitas-Silva & Campos, 1998).....	55
Figura 11 - Nova proposta de nomenclatura para unidade litoestratigráfica do Grupo Paranoá. (Campos et al., submetido).....	56
Figura 12 - Modelo de Evolução Químico-Mineralógica dos Solos Tropicais Colapsíveis Profundamente Intemperizados (Cardoso, 1995)	65
Figura 13 - Precipitação anual (mm) da série histórica entre 1961 e 1990. (INMET, 2011).....	74
Figura 14 - Etapas metodológicas para Cartografia Geotécnica. Adaptado de Diniz (1998).....	83
Figura 15 - Fluxograma geral da metodologia aplicada para aptidão à urbanização...88	
Figura 16 – (a) Curvas de nível na escala 1:10.000 em área do limite norte do DF, na escala de visualização 1:50.000. (b) Relevo sombreado demonstra a	



potencialidade de uso de produtos derivados de MDT para interpretação e análise das formas de relevo.....	92
Figura 17 - Área de estudo: adjacências do Anel Viário do Distrito Federal	96
Figura 18 - Fluxo Metodológico para modelagem <i>fuzzy</i> em dados geomorfométricos.	99
Figura 19 – Gráfico representativo da função de pertinência <i>Fuzzy Linear</i> e da função de pertinência <i>Fuzzy MSSmall</i>	106
Figura 20 – Recorte amostral comparativo entre a ‘hipsometria booleana’ e a ‘hipsometria <i>Fuzzy</i> ’	107
Figura 21 - Recorte amostral comparativo entre a ‘declividade booleana’ e a ‘declividade <i>Fuzzy</i> ’.....	107
Figura 22 - Recorte amostral comparativo entre a ‘amplitude booleana’ e a ‘amplitude <i>Fuzzy</i> ’.....	107
Figura 23 – Unidades de terreno por classes de hipsometria.....	111
Figura 24 - Unidades de terreno por classes de declividade.....	111
Figura 25 - Unidades de terreno por classes de amplitude de relevo.	111
Figura 26 - Unidades de terreno por classes de densidade de drenagem	112
Figura 27 - Processos geomorfológicos dominantes em uma vertente (Modificado de Clark & Small, 1982). Intervalo de classes de declividade de acordo com processos geodinâmicos.....	114
Figura 28- Recorte da tabela cadastral de erosões (Martins, 2005).....	120
Figura 29 - Três cenas na escala 1:50.000 que ilustram os processos erosivos paralelos às rodovias.....	122
Figura 30 – Cartograma na escala 1:50.000 das cidades de Gama e Santa Maria e o intenso processo erosivo associado a urbanização conjugado com a declividade elevada.....	123
Figura 31- Cicatriz na encosta na UT-AV-III	125
Figura 32- Litologia em área com suscetibilidade a movimento gravitacional de massa	126
Figura 33 - Compartimentos geomorfológicos em área com suscetibilidade a movimento gravitacional de massa.	126
Figura 34 - Perfil da área com suscetibilidade a movimento gravitacional de massa	126



Figura 35 – Recorte (1:100.000) de uma área indicativa à suscetibilidade à inundação e a erosão, com alto índice de pluviosidade em terreno com declividade acentuada e densidade de drenagem elevada.....	127
Figura 36 - Sobreposição da APP de hidrografia no mapa de Unidades de Terreno. Verifica-se que as áreas com restrição total à ocupação são coincidentes, APP e UT-AV-III.....	150
Figura 37 – As APPs de “topo de morro”, como descrito na Resolução Conama n.º 303/2002, abrangem importantes áreas urbanas alocadas em altos topográficos. Ponderou-se, portanto, a inaplicabilidade deste elemento restritivo no contexto deste estudo.	150
Figura 38 - Títulos minerários por unidades de terreno do Anel Viário.....	153
Figura 39- Mapa das áreas urbanas e corpos d’água no entorno do Anel Viário do DF.	154

Índice de Mapas

Mapa 1 - Localização da área em estudo, a circunvizinhança do Anel Viário no Distrito Federal.....	26
Mapa 2 - Mapa Geológico do DF (Modificado de Campos, 2012), com destaque à geologia da área de estudo	57
Mapa 3 - Mapa Geomorfológico do DF (Modificado de Campos, 2009), com destaque à geomorfologia da área de estudo.....	60
Mapa 4 - Mapa de Textura de solos no DF (Modificado de Aguiar, 1997).....	66
Mapa 5 - Mapa de espessura de solos no DF (Modificado de Aguiar, 1997)	67
Mapa 6 - Mapa Hidrogeológico do DF (Modificado de Campos & Freitas-Silva, 1998),	70
Mapa 7 - Mapa do Nível Freático do DF (Modificado de Aguiar, 1997), com destaque para área de estudo.	71
Mapa 8 - Mapa de bacias hidrográfica do DF (Modificado de SEMATEC/IEMA, 1994)	73
Mapa 9 - Mapa de Isoietas de Precipitação no Distrito Federal (Gonçalves, 2007)	75
Mapa 10- Inserção da área de estudo em Áreas de Proteção Ambiental.	81
Mapa 11 - Mapa das Áreas de Proteção de Manancial– APM, na área em estudo.	146



Índice de Tabelas

Tabela 1 - Dados Quantitativos do Projeto do Anel Viário do DF (EIA-RIMA Anel Viário, 2009)	25
Tabela 2- Formas de análise e quantificação para cada classe hierárquica na metodologia PUCE (adaptado de Zuquette, 1987)	39
Tabela 3 – Questões relativas a dinâmica da paisagem e obras de construção. (Griffiths <i>et al.</i> 2010)	48
Tabela 4 – Definição das unidades de mapeamento por diversos autores.	49
Tabela 5 - Sistemas de Classificação de Terrenos (Verstappen, 1983, modificado por Souza-Diniz, 1992).....	51
Tabela 6 - Proporção da área ocupada pelas unidade litológicas no DF e no AV-DF....	55
Tabela 7 – Proporção da área ocupada pelos compartimentos geomorfológicos definidos no ZEE-DF.....	59
Tabela 8 - Proporção da área ocupada pelas Classes de solo no DF e no AV-DF.. Fonte: Mapa Pedológico Digital – SIG Atualizado do Distrito Federal (Embrapa, 2004) 61	
Tabela 9 - Resumo da classificação dos Domínios, Sistemas/Subsistemas aquíferos do Distrito Federal com respectivas vazões médias (Campos & Freitas-Silva 1998).	69
Tabela 10 - Área ocupada bacias no DF e na área do AV-DF.	72
Tabela 11 – Espaços territoriais protegidos interferentes com a área de estudo.....	80
Tabela 12 – Atributos para qualificação das Unidades de Terreno	85
Tabela 13 - Alguns parâmetros básicos da superfície terrestre. (Adaptado de Olaya, 2009).....	102
Tabela 14 - Sumário Estatístico dos atributos geomorfométricos selecionados para delimitação de Classes de Terreno.....	103
Tabela 15 - Critérios para compartimentação das unidades de terreno, considerando limitante legal-administrativo e processos geodinâmicos.	104
Tabela 16 - Comparativo entre os valores paramétricos e <i>fuzzy</i>	108
Tabela 17 - Legenda semafórica associada a suscetibilidade a processos, condição para ocupação urbana e aptidão à urbanização.	118
Tabela 18 – Processos geológicos , fatores naturais e locais propícios. Adaptado de Sobreira (2001)	119



Tabela 19 - Ocorrências de processos erosivos na área de estudo, por classe do cadastro de erosões. Modificado de Martins (2005).....	121
Tabela 20 - Análise de freqüência e densidade de feições erosivas nas unidades de terreno.....	121
Tabela 21 - Critérios de avaliação de suscetibilidade à processos erosivos, modificado de Souza (1992).	123
Tabela 22 - Critérios de avaliação de suscetibilidade à MGM – movimentos gravitacionais de massa, modificado de Souza (1992).	125
Tabela 23 - Critérios de avaliação de suscetibilidade à inundação, modificado de Souza (1992).....	128
Tabela 24 - Recorte amostral da tabela de atributos da geologia da área em estudo, com destaque para a litologia.....	129
Tabela 25 - Dados quantitativos dos tipos de rocha nas Unidades de Terreno	130
Tabela 26 - Relação entre os solos e as formas de relevo da região da APA da Cafuringa (Martins <i>et al</i> , 2002).....	131
Tabela 27 - Recorte amostral da tabela de atributos das classes de solos na área em estudo	131
Tabela 28 - Dados quantitativos das classes de rocha nas Unidades de Terreno	132
Tabela 29 - Recorte amostral da tabela de atributos da textura dos solos na área em estudo	133
Tabela 30 - Dados quantitativos de textura dos solos nas Unidades de Terreno.....	133
Tabela 31 - Recorte amostral da tabela de atributos da espessura dos solos da área em estudo.....	135
Tabela 32 - Dados quantitativos de espessuras de solo nas Unidades de Terreno	135
Tabela 33 - Recorte amostral da tabela de atributos do nível freático da área em estudo.	136
Tabela 34 - Dados quantitativos do nível freático nas Unidades de Terreno.....	136
Tabela 35 - Síntese da caracterização da Unidade UT-AV -I.....	138
Tabela 36 - Síntese da caracterização da unidade UT-AV -II.....	141
Tabela 37 - Síntese da caracterização e avaliação da UT-AV-III	143
Tabela 38 - Modificado e adaptado de Parizi (2003) e Parizi & Diniz (2004).	144



Tabela 39 - Implicações da declividade no sistema urbano (Mascaró, 2003). Extraído de Costa (2008)	148
Tabela 40 - Limites críticos frente à ocupação do meio físico (Zuquette, 1987).....	148
Tabela 41 - Recursos minerais existente no DF e respectivos valores de reservas (DNPM, 2012).....	152
Tabela 42 - Dados de produção e venda dos recursos minerais no DF (DNPM, 2012).	152
Tabela 43 - Avaliação de Terrenos: Aptidão à urbanização. Adaptado de Souza (1992)	157
Tabela 44 - Quadro síntese com as suscetibilidades e recomendações ao loteamento urbano.	158

Índice de Gráficos

Gráfico 1- Histograma com os tipos de rochas nas unidades de terreno da área em estudo.	130
Gráfico 2 - Histograma com as classes de solo nas unidades de terreno da área em estudo.	132
Gráfico 3 - Histograma com as texturas de solo nas unidades de terreno da área em estudo.	134
Gráfico 4 - Histograma com as espessuras de solo nas unidades de terreno da área em estudo.	135
Gráfico 5 - Histograma com o nível freático nas unidades de terreno da área em estudo.	137
Gráfico 7 - Porcentagem dos títulos minerários por unidade de terreno do Anel Viário.	152
Gráfico 8 - Substâncias minerais por unidade de terreno, na área em estudo.	153
Gráfico 9 - Áreas urbanas por Unidades de Terreno.....	155

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho aborda questões relacionadas ao meio físico diante da ocupação urbana, tendo como parâmetros de avaliação, o conhecimento geológico, geomorfológico, geotécnico e pedológico da área de estudo no Distrito Federal, com uso de recursos em geotecnologias aplicado à geologia de engenharia.

O tema relativo à geologia de engenharia se insere no contexto do Curso de Pós-Graduação do Programa de Geociências Aplicadas do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília, num momento oportuno com a formulação de leis e instrumentos administrativos que tratam de melhores práticas de planejamento territorial, por gestores públicos e com respaldo da comunidade científica nacional.

O conteúdo da presente dissertação está distribuído em sete capítulos, assim descrito sucintamente:

Capítulo 1: apresenta o tema da dissertação, com a motivação, justificativa e objetivos propostos.

Capítulo 2: trata da fundamentação teórica e a revisão bibliográfica do assunto, com ênfase nos trabalhos de cartografia geotécnica no DF.

Capítulo 3: contextualiza a área em termos dos aspectos do meio físico e sócio-ambiental, cujas informações foram utilizadas na avaliação.

Capítulo 4: relata a abordagem metodológica, os materiais utilizados no desenvolvimento da pesquisa e as técnicas empregadas para se gerar os resultados.

Capítulo 5: apresenta a delimitação de terrenos por modelagem geomorfométrica com uso de inferência *fuzzy*. Está diagramado em forma de artigo (submetido para a Revista Geosciences = Geociências, publicada pelo Instituto de Geociências e Ciências Exatas - IGCE, da UNESP/Rio Claro). Obs.: Há conceitos, definições e conteúdo duplicados, em relação aos outros capítulos.

Capítulo 6: apresenta a avaliação da aptidão ao desenvolvimento urbano dos terrenos, considerando a suscetibilidade a processos geodinâmicos superficiais, atributos do meio físico e elementos restritivos à urbanização.

Capítulo 7: apresenta as considerações finais do trabalho.

1.1. Apresentação

Os aspectos fisiográficos dos terrenos no Distrito Federal têm sido estudado desde antes da construção da 'Nova Capital', com a identificação de locais propícios para ocupação a partir de critérios ambientais. A Missão *Cruls* (1894) e o Relatório *Belcher* (1954) foram trabalhos pioneiros, de cunho técnico-científico, realizados com intuito de estudar características geomorfológicas, geológicas e geotécnicas e conseqüente aproveitamento dos recursos naturais disponíveis na região, destinado a implantação do Distrito Federal.

Após cinco décadas de ocupação territorial no Distrito Federal, no momento atual se faz imprescindível a indicação de novas áreas para expansão urbana, tendo em vista a perspectiva de crescimento populacional. De acordo com o estudo da CODEPLAN (2009), se mantidos os parâmetros demográficos, a projeção da população do Distrito Federal em 2030 é em torno de 3.270.564 habitantes. No mais recente censo demográfico realizado em 2010, a população do Distrito Federal é de 2.469.489 habitantes (IBGE, 2010).

No Plano Piloto de Brasília, a densidade demográfica é uma das mais alta do Brasil, de 410,9 habitantes por km² (IBGE, 2006). A taxa de crescimento demográfico recuou de 14,4% na década de 1960 para 2,8% em 2006 conforme apontam números do IBGE e do GDF. O contrário, porém, acontece nas cidades-satélites, especialmente Santa Maria, São Sebastião, Recanto das Emas e Riacho Fundo, que, entre 1991 e 2006, tiveram um aumento populacional acima de 600%.

Atualmente a população urbana no Distrito Federal é de aproximadamente 95% (IBGE, 2010). Desde 2008, cerca de 3,3 bilhões de pessoas, ou seja, mais da metade da população mundial vivem em áreas urbanas. Para 2050, a perspectiva de crescimento populacional é de 7 bilhões de pessoas no mundo, sendo que na América Latina mais de 90% da população estarão vivendo em cidades. (UNFPA, 2011).

1.2. Motivação

O planejamento é uma imposição administrativa do desenvolvimento, sendo que desde a construção de Brasília são elaborados estudos técnicos para o planejamento territorial, com enfoques eminentemente sob aspectos urbanísticos, territoriais, políticos e econômicos, abordados no item 2.3.1.

No entanto o planejamento territorial no DF é comprometido pela deficiência no conhecimento da geodiversidade e dos processos geodinâmicos superficiais que possa conduzir a ocupação regional e urbana respaldada por parâmetros técnicos, principalmente do ponto de vista do ambiente geológico. Na década de 1970, Prandini já alertava quanto à necessidade de planejar o uso humano do território com a efetiva participação do conhecimento geológico, visto que é inegável que o meio físico não tem sido considerado dentro da importância que representa em planejamento territorial (Prandini, 1976). A falta de conhecimento global das possibilidades e restrições dos recursos naturais próprios impede uma avaliação cuidadosa do impacto de algumas das políticas governamentais setoriais (Grinover, 1989).

O controle da ocupação dentro do território do DF foi efetivo durante muitos anos, com a máxima limitação de novos assentamentos. Porém, essa política de assentamento não foi aplicada ao redor do DF, refletindo na ocupação caótica da região do entorno (ZEE-RIDE, 2003), e conseqüentemente dentro do DF, que ainda carece de uma efetiva política habitacional, visto que a demanda de moradias em condições regulares são menores do que a oferta.

Mesmo tendo abordagem aquém da real necessidade nos estudos técnicos de planejamento urbano, características de relevo e de solo condicionam a dinâmica de ocupação, sendo considerados de modo pragmático no processo informal de uso e ocupação do solo no DF. Isso pode ser constatado pelas ocupações irregulares de condomínios horizontais, que são alocados preferencialmente em áreas planas de chapada e de dissecação intermediária, como exemplo dos setores habitacionais em processo de regularização, nas regiões do Grande Colorado e São Bartolomeu.

Considerou-se na proposta desse estudo, o fato que a instalação de uma obra da magnitude do Anel Viário no DF, promoverá interferências significativas na dinâmica urbana, transformando a paisagem em seu entorno. Assume-se, então, a conjectura

apontada por Volpe (2009), que “os eixos viários que interligam cidades, muitas vezes são responsáveis por transformações da paisagem urbana em seu entorno, pois podem ser indutores da expansão urbana”.

A ocupação urbana em torno de rodovias é uma tendência mundial, em países com diferentes níveis de desenvolvimento. Esse fenômeno sócio-econômico se traduz na indução de crescimento e adensamento populacional ao longo de sistemas viários.

As mais importantes cidades norte-americanas são ligadas por rodovias e se mesclam em regiões megapolitanas (Figura 1). O número de pessoas que vivem dentro de 50 milhas (80 Km) em ambos os lados, superam toda a concentração demográfica em outras regiões (Lang & Dhavale, 2005). As 10 regiões megapolitanas da figura 1 têm uma população igual à França, Alemanha e Reino Unido somadas, ou cerca de 202 milhões de residentes em 2005.

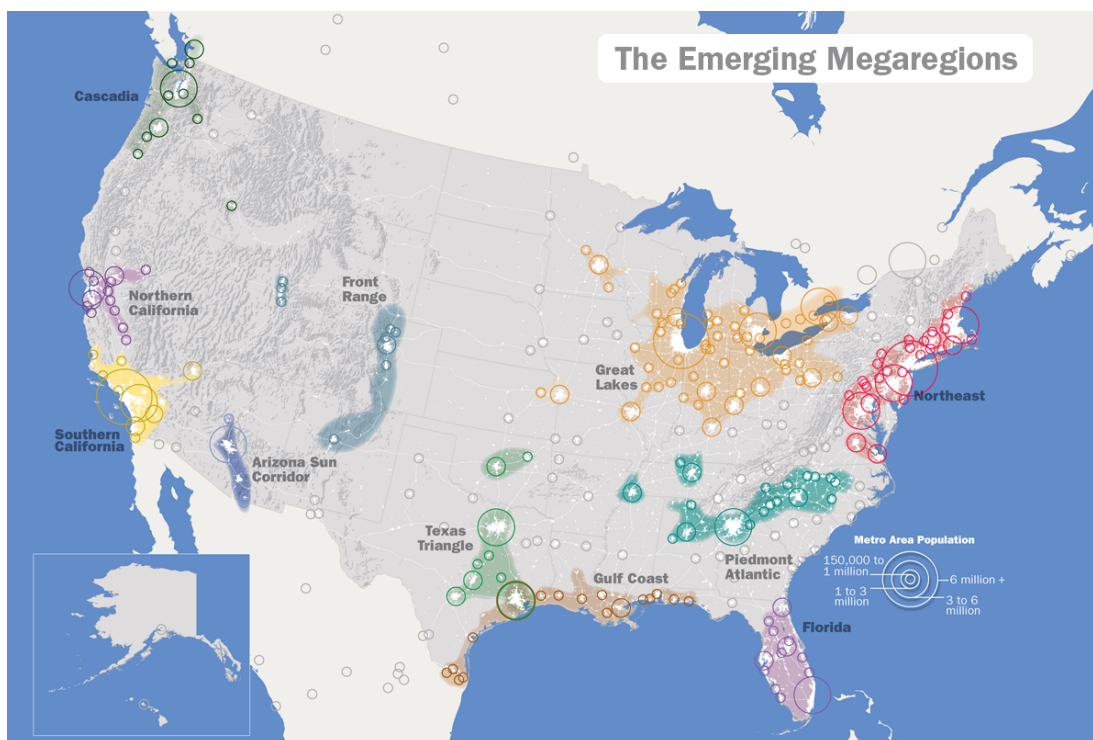


Figura 1 - Regiões megapolitanas concentradoras demográficas ao longo de rodovias norte-americanas. (Extraído <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/51/MapofEmergingUSMegaregions.png>)

A motivação desse estudo é amparada legalmente pela Medida Provisória n.º 547, editada pela Presidência da República em 11 de outubro de 2011, e consolidada na Lei 12.608/2012, sancionada em 10 de abril de 2012. Esta Lei altera as Leis n.º



6.766/1979¹, Lei n.º 10.257/2001², Lei n.º 12.340/2010³), e trata da obrigatoriedade de elaboração de carta geotécnica pelos municípios para embasar o planejamento urbano, conforme transcrito abaixo:

**Parágrafo 2.º Os municípios incluídos no cadastro deverão:
V - elaborar carta geotécnica de aptidão à urbanização, estabelecendo diretrizes urbanísticas voltadas para a segurança dos novos parcelamentos do solo e para o aproveitamento de agregados para a construção civil;**

1.3. Objetivos

O presente trabalho aborda a avaliação de aptidão ao desenvolvimento urbano apoiado por geoprocessamento com uso de critérios do meio físico, para uma área no entorno do projeto do Anel Viário do Distrito Federal, de modo a orientar os processos de antropização compatíveis com as condições ambientais. A cartografia geotécnica, conciliado às ferramentas computacionais existentes, pode oferecer respostas rápidas e precisas, ao sistematizar informações de natureza geológico-geotécnica numa base de dados digital e georreferenciada, em uma abordagem focada nos quesitos dos processos do meio físico e tecnológico, e o atendimento da demandas do usuário da informação (Figura 2).

Desse modo, este trabalho tem como objetivo geral realizar a avaliação de terrenos apoiada em metodologia da cartografia geotécnica por meio de ferramentas de SIG, para oferecer informações do meio físico de interesse ao subsídio da gestão do uso e da ocupação do espaço em torno do anel viário do Distrito Federal.

Como objetivos específicos deste trabalho são propostos:

- ✓ Desenvolver base temática digital com dados relevantes sobre o meio físico na área de estudo com fins na compartimentação, classificação e avaliação dos terrenos;
- ✓ Aplicar e avaliar a técnica de inferência espacial *Fuzzy* para delimitar Unidades de Terreno com homogeneidade geomorfométrica, como condicionantes de processos do meio físico, a partir de dados planialtimétricos;

¹ - Lei de Parcelamento de Solos

² - Estatuto das Cidades

³ - Dispõe sobre o Sistema Nacional de Defesa Civil (SINDEC)

- ✓ Aplicar metodologia eficaz e simplificada para classificação e avaliação do meio físico em estudos de impactos ambientais que tragam respostas para questões fundamentais quanto à aptidão para ocupação urbana;
- ✓ Elaborar e fornecer informações de interesse para o planejamento do uso do solo no entorno do Anel Viário, com base em dados geológico-geotécnicos do meio físico, especialmente os dados necessários à elaboração de instrumentos norteadores de planejamento urbano.

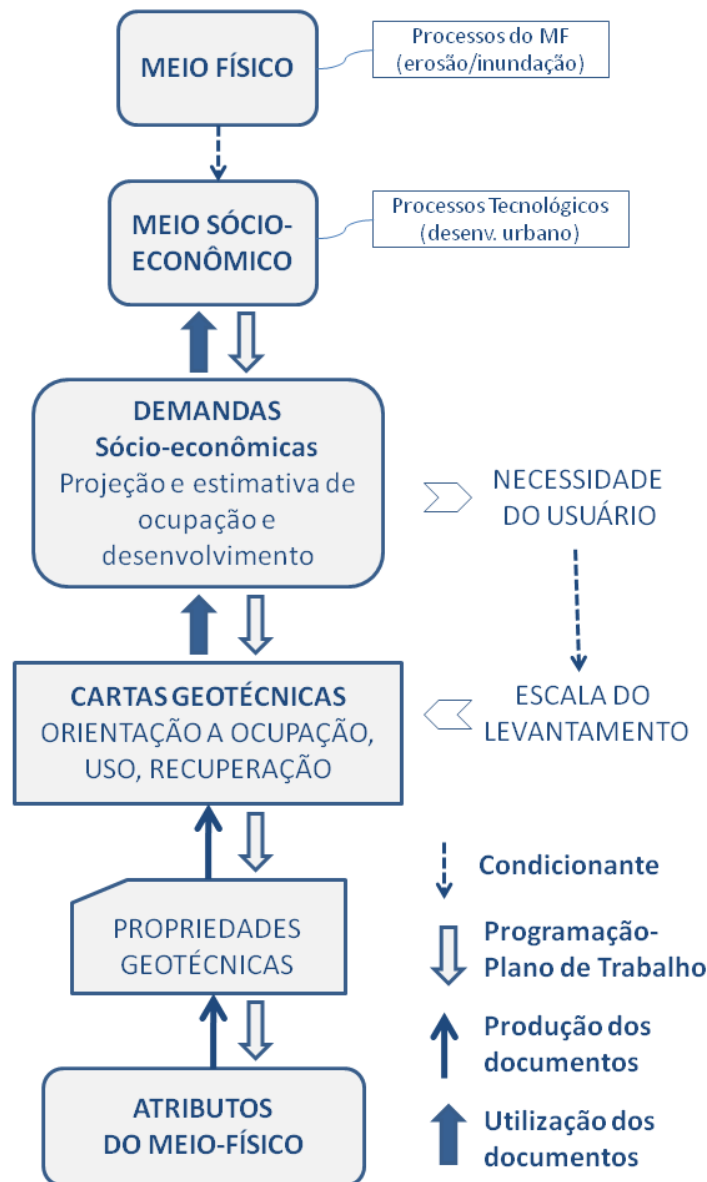


Figura 2 - Abordagem e contextualização da dissertação (Extraído e adaptado de Souza, 1992)

É importante ressaltar que no presente trabalho a avaliação da aptidão ao desenvolvimento urbano é restrita a abordagem do meio físico, em cartografia geotécnica, e que não faz parte do escopo deste trabalho o enfoque de infraestrutura para a implantação de cidades, como proximidades de rodovias, abastecimento e saneamento, e nem mesmo do ponto de vista do meio biótico com análise faunística e florística. Alguns aspectos legais foram inseridos na avaliação como critério restritivo à ocupação, como interferência com Unidades de Conservação e área com títulos minerários.

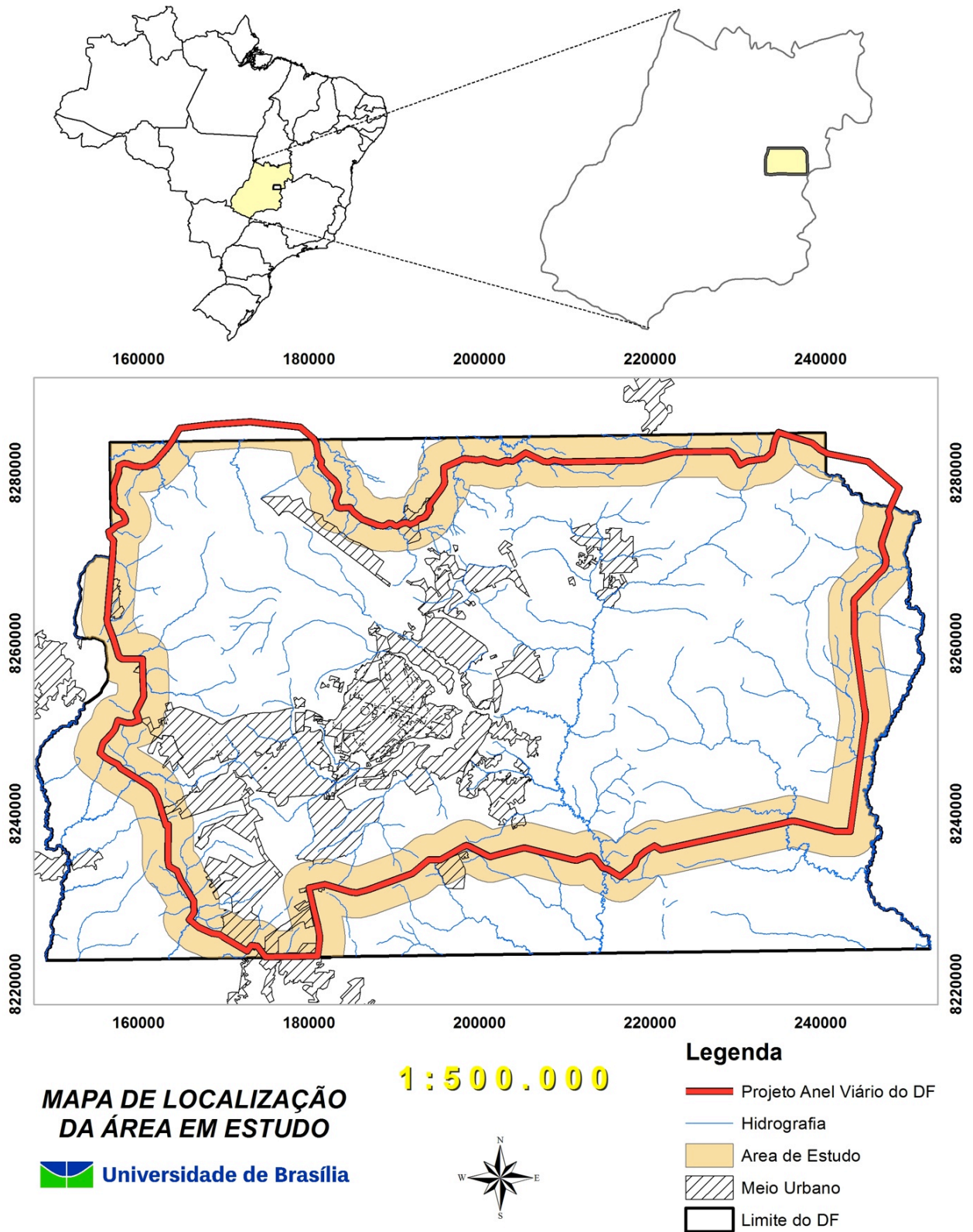
1.4. Área de Estudo

O objeto de estudo é a área de influência do Anel Viário (Mapa 1), cuja área total possui 1.545 km² e ocupa aproximadamente 26% do território do Distrito Federal. É delimitado por um entorno de três quilômetros (*buffer* de 3 km) com base no traçado do Anel Viário na escala de 1:10.000. Essa distância foi fundamentada pelo método de acessibilidade proposto por Allen *et al.* (1993), os quais definem como “a medida de esforço para superar a separação espacial entre dois pontos em área urbana”, ou seja, a distância razoável a ser percorrida por um pedestre até a via de acesso, neste caso de qualquer local na área de influência até o traçado do Anel Viário.

De acordo com EIA-RIMA do Projeto do Anel Viário do DF, a extensão total deste será de 321 quilômetros, e circunda internamente -ora obliquamente, ora paralelamente- o quadrilátero que define o Distrito Federal. Em maior parte, aproveitará o traçado do sistema viário já instalado, com necessidade de duplicação e restauração em alguns trechos, e implantação completa em outros. Alguns dados quantitativos são demonstrados na Tabela 1.

Tabela 1 - Dados Quantitativos do Projeto do Anel Viário do DF (EIA-RIMA Anel Viário, 2009)

DADOS DO PROJETO ANEL VIÁRIO DO DF	
Extensão Total:	321,6 quilômetros
A duplicar:	216,5 quilômetros
A restaurar:	16 quilômetros
A implantar:	89,1 quilômetros
Interseções:	33
Valor da obra:	R\$ 600 milhões (90% do PAC e 10% do GDF)
Prazo de execução:	Três anos
Percursos:	DF-001, BR-251, DF-270 e DF-100



Mapa 1 - Localização da área em estudo, a circunvizinhança do Anel Viário no Distrito Federal

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este tópico apresenta alguns referenciais teóricos sobre temas, conceitos e fundamentos essenciais para o entendimento dessa pesquisa.

2.1. Planejamento Territorial no Distrito Federal

Dentre os trabalhos realizados na temática de planejamento territorial, os pioneiros merecem destaque por estarem alinhados metodologicamente aos propósitos e ao objeto dessa dissertação, com o uso de critérios do meio físico para adequabilidade à ocupação humana.

2.1.1. Relatório Cruls

Em 1892 foi instituída a Comissão Exploradora do Planalto Central, com objetivo de demarcar o local da futura capital do Brasil. Essa comissão foi constituída por uma equipe multidisciplinar com 22 membros e foi chefiado pelo astrônomo e geógrafo belga *Luiz Cruls*. A Comissão *Cruls* elaborou um relatório sobre a topografia, o clima, a hidrografia, a fauna, a flora, a pedologia, os recursos minerais e materiais de construção encontrados na região.

Pode-se considerar o *Relatório da Comissão Exploradora do Planalto Central do Brasil (Relatório Cruls)*, como o primeiro *Estudo de Impacto Ambiental – EIA* realizado no Brasil, muito antes da Resolução CONAMA n.º 01/86 que determina a elaboração de estudo de impacto ambiental para o licenciamento de atividades modificadoras do meio ambiente.

O local escolhido para a nova capital, com forma de um quadrilátero com 14.400 km², está situado no Planalto Central brasileiro (Figura 3) e posicionado junto às cabeceiras de tributários de três das maiores bacias hidrográficas brasileiras: o rio Maranhão, afluente do Tocantins; o rio Preto, do São Francisco; e os rios São Bartolomeu e Descoberto, do Paraná.



Após percorrer mais de quatro mil quilômetros durante sete meses de trabalho, que resultou em um vasto diagnóstico físico-ambiental, o chefe da expedição – Luiz Cruls- declara:

“com a mais sólida e franca convicção que vos declaro que é perfeita a salubridade desta vasta planície, que não conheço no Brazil Central logar algum que se lhe possa comparar em bondade”.

(Relatório Cruls, 1894)

2.1.2. Relatório Belcher

Trata-se do “*Relatório Técnico sobre a Nova Capital da República - Relatório Belcher*”, produzido pela firma norte-americana *Donald J. Belcher and Associates*, contratada em 1954 pelo governo brasileiro para “proceder ao levantamento e seleção do local onde seria implantada a nova capital do Brasil” (CODEPLAN, 1995). Neste trabalho foram empenhadas metodologias e técnicas em cartografia geotécnica de vanguarda na época, como fotointerpretação e levantamento de campo aplicado ao uso do solo, cujo responsável técnico foi o Engenheiro Geotécnico *Donald J. Belcher*, que possuía renomado conhecimento técnico-acadêmico pelos trabalhos produzidos em mapeamento para obras de engenharia, geologia e agricultura em diversos países.

O *Relatório Técnico sobre a Nova Capital da República* resultou em um abrangente mapeamento dos aspectos físicos da superfície numa área de 50.000 km², assim como diversos temas necessários ao conhecimento global do solo e do subsolo, além de assuntos específicos de interesse para a implantação da capital brasileira. É composto por um relatório descritivo, 41 foto-mosaicos (fotografia aérea) e 217 mapas temáticos na escala de 1: 250.000, referentes à: solos para agricultura, solos para engenharia, drenagem, geologia e utilização da terra.

A partir da análise desses temas foram selecionadas cinco áreas próprias à implantação da nova capital, denominadas de sítios vermelho, amarelo, azul, verde e castanho (Figura 3). Em seguida, outras análises minuciosas foram realizadas para a escolha final do sítio castanho, por reunir melhores condições sob aspectos de: configuração do terreno, tipo de solo, tipo e profundidade da rocha firme, potencial hidráulico, altitude, possibilidade de abastecimento adequado de água, microclima,

possibilidade de conexão com rodovias e troncos e ferrovias, aspectos de terreno e acidentes naturais especiais que pudessem ser aproveitados para fins recreativos.

A classificação de solos para engenharia foi efetuada em todo polígono de estudo, com base em fotografia aérea. Primeiramente, por meio da associação de perfis de solo, totalizando quatorze perfis básicos, em áreas com condições semelhantes. Em seguida foi realizado o detalhamento dos solos nos cinco sítios, resultando em 18 categorias gerais, pelo desdobramento das associações de solo em perfis facilmente reconhecíveis em investigações de campo.

Quanto à utilização da terra, a finalidade da classificação foi realizar um inventário das condições existentes e fornecer as informações estatísticas que permitiu o planejamento para a implantação da nova capital.

A metodologia empregada por *Donald J. Belcher & Associates* extraiu o máximo de informações para planejamento, diretamente de mapas, sem a necessidade de recorrer a dispendiosos levantamentos de campo conduzidos pelos métodos clássicos, naquela época.

Foram estabelecidas diversas categorias de uso da terra, a partir de fatores selecionados para o mapeamento, e são os seguintes:

- Topografia;
- Textura e classificação do solo;
- Drenagem interna e superficial;
- Tipo e grau de erosão;
- Profundidade do lençol freático;
- Empedramento (laterita);
- Cobertura vegetal;
- Ocupação pelo homem;
- Utilização atual;
- Utilização potencial.

Percebe-se que a metodologia aplicada na escolha no sítio para a instalação de Brasília, criteriosa, porém simples, demonstra o avanço e a eficácia da utilização de parâmetros do meio físico para avaliar a adequabilidade a ocupação humana.

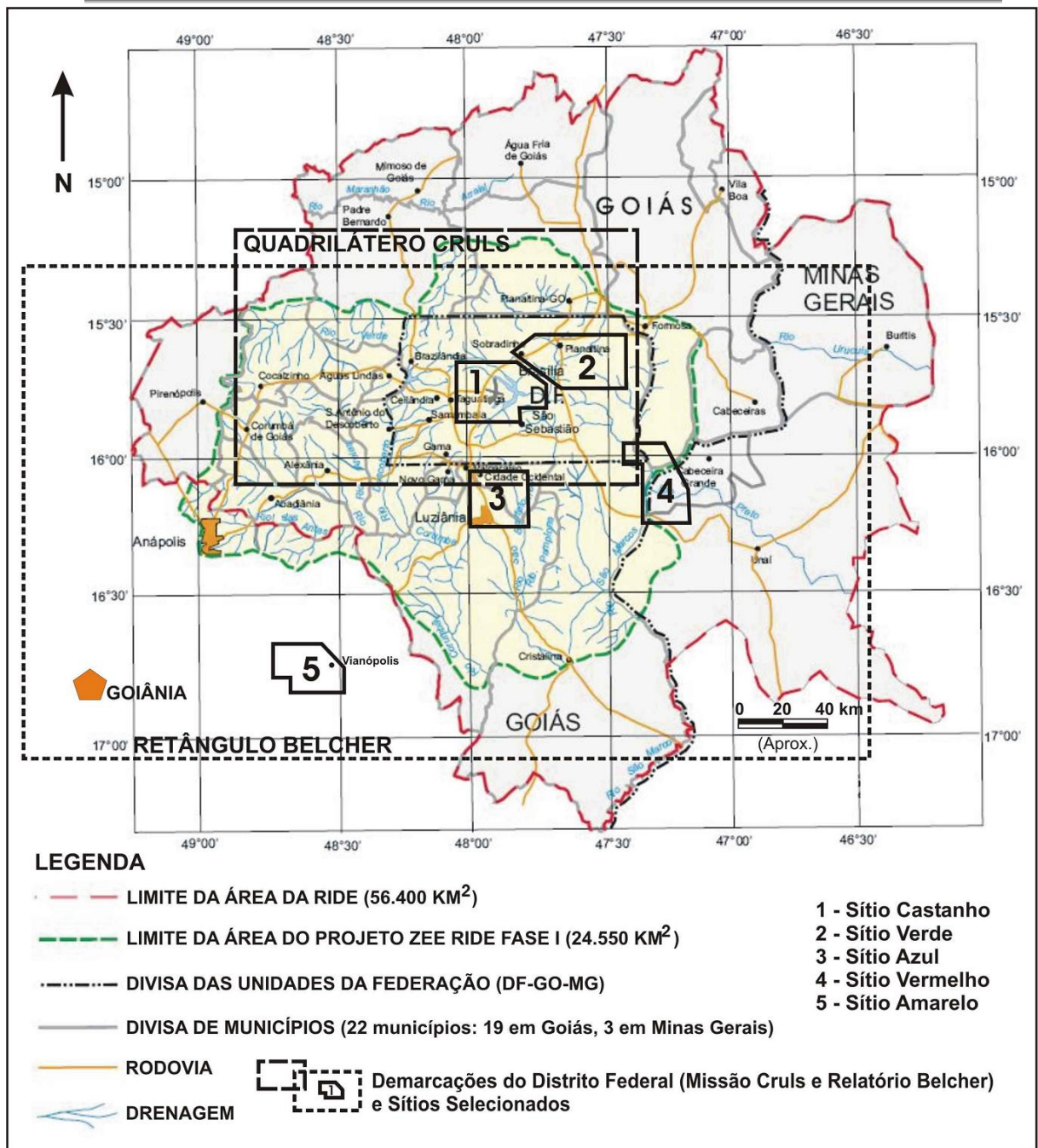


Figura 3 - Articulação espacial do Relatório Cruls e Relatório Belcher (Machado *et al.* 2007)

2.1.3. Zoneamento Ecológico-Econômico do Distrito Federal

O Zoneamento Ecológico-Econômico do Distrito Federal é o mais recente estudo com a abordagem ambiental, ainda em fase de elaboração, e tem como intuito orientar o planejamento urbano e a gestão sustentável do território. O ZEE-DF propõe o zoneamento em unidade territorial básica (UTB), a ser utilizada como ponto de partida para o levantamento e agregação de dados. Considerando que a legislação do

DF se refere à necessidade de se apresentar o zoneamento por bacia hidrográfica e regiões administrativas, esta proposta teve por base estes dois critérios, acrescidos das unidades geomorfológicas do DF.

O Programa Zoneamento Ecológico-Econômico prevê a estruturação de um sistema de informações, no sentido de atender às demandas dos órgãos responsáveis pelo planejamento e implantação de políticas públicas, bem como para o gerenciamento dos produtos gerados no âmbito do zoneamento ecológico-econômico.

O ZEE/DF foi elaborado nos seguintes recortes espaciais: a relação do Distrito Federal com a RIDE, na escala 1:250.000; o território do Distrito Federal como um todo, considerada a escala de agregação de 1:100.000; e as áreas especiais, a serem definidas no diagnóstico, onde deverá ser utilizada a escala de 1:25.000.

Portanto, a partir da análise das características de cada porção do território são identificadas limitações e potencialidades para a definição do zoneamento ecológico-econômico e as respectivas diretrizes para ocupação. Em razão da escala de mapeamento 1:100.000, o zoneamento possui caráter regional cuja abrangência cartográfica extrapola a escala para avaliação à aptidão urbana, em escala menores que 1:25.000.

2.2. Geologia de Engenharia

O presente trabalho se enquadra no ramo da geologia de engenharia, definida pela geociência aplicada como responsável pela interface tecnológica entre o Homem e o meio físico geológico (Santos, 2008).

A *Internacional Association Engineering Geology* - IAEG (1992) define Geologia de Engenharia como "a ciência dedicada à investigação, estudo e solução de problemas de engenharia e meio ambiente, decorrentes da interação entre a geologia e os trabalhos e atividades do homem, bem como à previsão e desenvolvimento de medidas preventivas ou reparadoras de acidentes geológicos". Essa definição consta nos estatutos da instituição, e adotado também pela ABGE como conceito do ramo aplicado das geociências, que abrange diversas áreas de atuação e relações interdisciplinares com conhecimento relacionados aos solos, rochas e águas.

Hoje, a prática da geologia de engenharia é objeto de estudos e práticas de instituições científicas, consagradas com expressivas contribuições na área: *Internacional Union of Geological Sciences (IUGS)*, *International Association for Engineering Geology and the Environment (IAEG)*, *Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE)*, *Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT)*, *EESC/USP (Escola de Engenharia de São Carlos/Universidade de São Paulo)*, *UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro*, *UNESP – IGC – Rio Claro*, *UFOP – Universidade Federal de Ouro Preto*, *UFPe – Universidade Federal de Pernambuco*, *UnB- Universidade de Brasília*, dentre outras.

2.2.1. Geologia Aplicada ao Planejamento Urbano

O termo Geologia de Planejamento foi adotado por Prandini *et. al* (1974) para designar “a participação da geologia em planejamentos territoriais e urbanos”. Prandini (1976), já considerava que há poucos trabalhos encontrados dentro de planejamentos regionais ou urbanos que encaram o meio físico com seriedade, resumem-se a considerações parciais no sentido do aproveitamento de disponibilidades locais. De modo geral, os elementos considerados prendem-se a aspectos topográficos, ocorrência de materiais de construção e facilidades de uso de água. Entretanto, o meio físico fornece vários níveis de investigação, um aspecto mais amplo das suas potencialidades e limitações de uso: conhecer a natureza dos terrenos é premissa básica para um planejamento bem sucedido.

As cartas geotécnicas podem ser usadas principalmente para fins de planejamento, pois as informações exigidas pelos planejadores e engenheiros são de natureza variada, e também, as cartas atendem a exigências de diferentes tipos, elaborada para satisfazer uma necessidade específica (Figura 4). Idealmente, o mapa deve: transmitir as informações sem que o usuário tenha que ler um texto; facilitar a previsão das alterações geoambientais prováveis (susceptibilidade, perigo) de ocorrer diante da finalidade proposta; apresentar informações de um modo que possa ser prontamente compreendida pelos profissionais usuários (Forster & Culshaw, 1987).

Segundo Infanti (1976), a Geologia de Planejamento deve ser empregada para:

a) definir as limitações do ambiente físico;

- b) planejar tecnicamente a utilização mais racional, segura e econômica do ambiente físico;
- c) participar do acompanhamento da implantação de planejamentos do uso do solo, da elaboração de normas e da fiscalização do uso;
- d) participar da concepção de métodos de recuperação e controle de processos de degradação ambiental já em desenvolvimento.

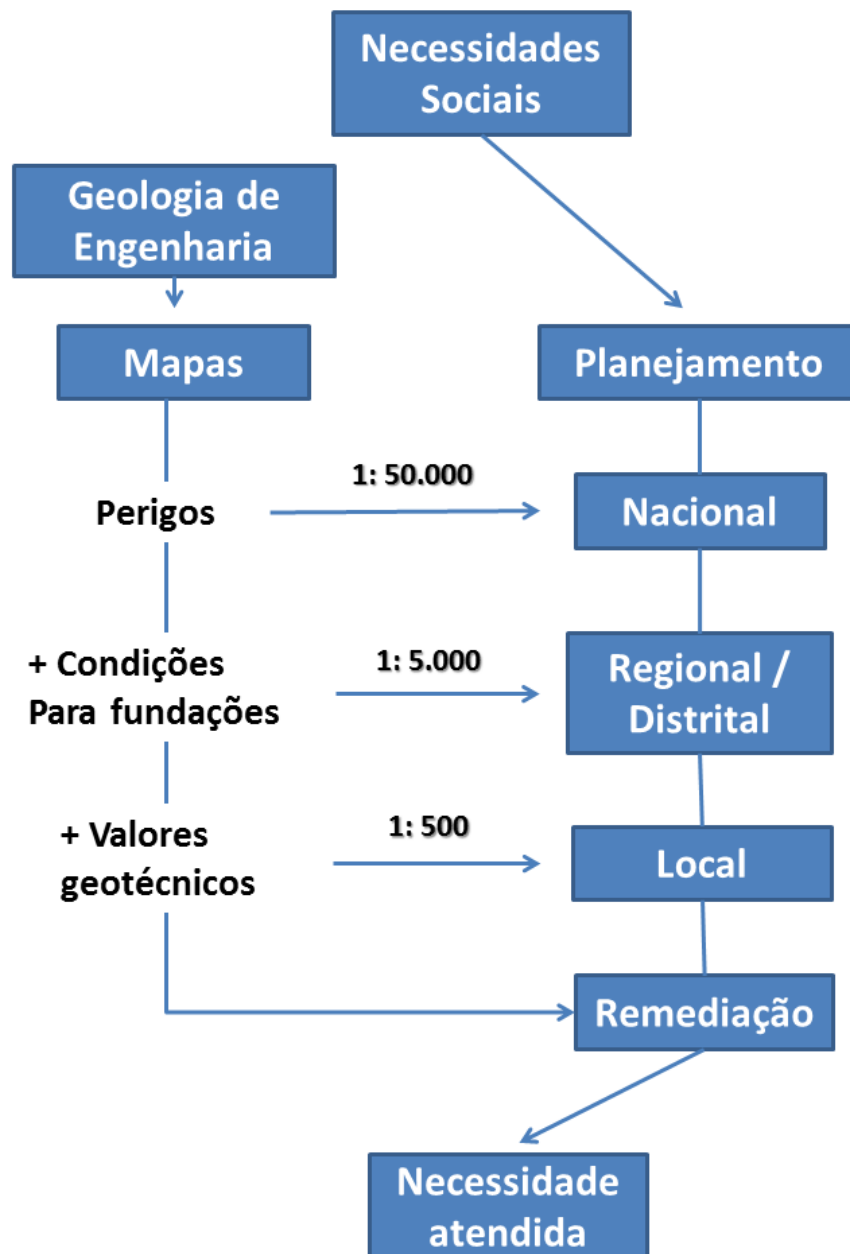


Figura 4 - A relevância da geologia de engenharia de diferentes estágios do planejamento de desenvolvimento (modificado de Forster & Culshaw, 1987)

2.2.2. Avaliação de Terrenos

O termo “*terrain evaluation*” (avaliação de terreno) é comumente utilizado por pesquisadores ingleses e em países de colonização britânica, e possui correspondência com a fase de síntese e recomendações em cartografia geotécnica. A avaliação de terreno requer, primeiramente, a aceção do que é ‘terreno’. Terreno é uma área diferenciada pela similaridade do arranjo de seus componentes e atributos, bem como pela recorrência destes arranjos (Pires Neto & Yoshinaga, 1995). Sucintamente, Grant e Finlayson (1978) definem como a síntese de atributos. Esses atributos podem ser entendidos como qualidade ou propriedade inerente de alguma coisa ou ainda, seria a característica, qualitativa ou quantitativa que identifica um elemento de um conjunto observado (IAEG, 1976).

Em termos de mapeamento, os terrenos são tratados como *unidades de terreno*, que descreve uma divisão natural do terreno, correspondente a uma geofoma (“*landform*”), e representa um conjunto de atributos relacionados pelos mesmos processos genéticos, portanto, permitem prever seu comportamento geotécnico potencial enquanto meio físico (Souza, 1992).

O método de avaliação de terreno é adequado para a identificação e individualização das unidades do meio físico, para fins da aplicação do mapeamento geotécnico ao planejamento territorial, pois fornece com rapidez e eficácia dados pertinentes nas fases iniciais de planejamento, com informações generalizadas de solos, rochas e problemas em engenharia (Beaven & Lawrance, 1973). A avaliação de terreno, apesar de fornecer informações de maneira ágil e condensada, é um método que não perde em precisão. Segundo Beaven e Lawrance (1973), o método é uma completa apreciação quantitativa e qualitativa das capacidades e limitações de uma área de terreno em relação a um particular tipo de uso da terra.

2.2.3. Cartografia Geotécnica

A carta geotécnica sintetiza o conhecimento sobre o meio físico e seus processos (*geo*), de modo a subsidiar o estabelecimento de medidas para a adequada ocupação do solo (*técnica*) (Freitas, 2000). Portanto, constitui um produto resultante da

necessidade de caracterização dos terrenos, comprometido com uma intervenção ou solução para o uso e ocupação do solo.

A cartografia geotécnica oferece metodologias de avaliação das áreas de forma integrada dos diversos condicionantes e atributos dos componentes físico-ambientais, a partir de critérios qualitativos e quantitativos (Grant & Finlayson, segundo Souza, 1992,1993), no qual são determinadas limitações e aptidões do meio físico. Prandini *et al.* (1994) consideram que a carta geotécnica expõe as limitações e as potencialidades dos terrenos e estabelece as diretrizes de ocupação para as diversas formas de uso.

Zuquette (1993) define o mapeamento geotécnico como o conjunto de processos que busca analisar e avaliar os atributos do meio físico, assim como o seu comportamento frente às várias formas de ocupação, visando orientar o planejamento, ocupação, manejo e conservação de determinada porção do espaço, de forma a auxiliar na mitigação de problemas em curso e na prevenção de problemas futuros.

Diniz (1998) considera a cartografia geotécnica como uma 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. 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.

Conforme ilustra a figura 5, a cartografia geotécnica é fundamentada na caracterização e análise dos principais processos do meio físico. Essa caracterização e análise fornecem os atributos relevantes que permitem estabelecer o modelo preliminar dos terrenos (unidades), e de suas alterações estabelecidas pelos processos tecnológicos, tais como ocupação urbana, atividade agrícola, obras de infraestrutura e empreendimentos minerários. As alterações podem ser traduzidas pelas variações nos atributos do meio, que condicionam os processos (declividade do terreno, tipo de solo, drenagem, entre outros). A delimitação desses atributos resultará nas unidades geotécnicas que representam problemas existentes ou esperados em termos do comportamento frente a implantação dos processos

tecnológicos, permitindo assim, apresentar diretrizes, inerentes à especificidade da forma de ocupação.

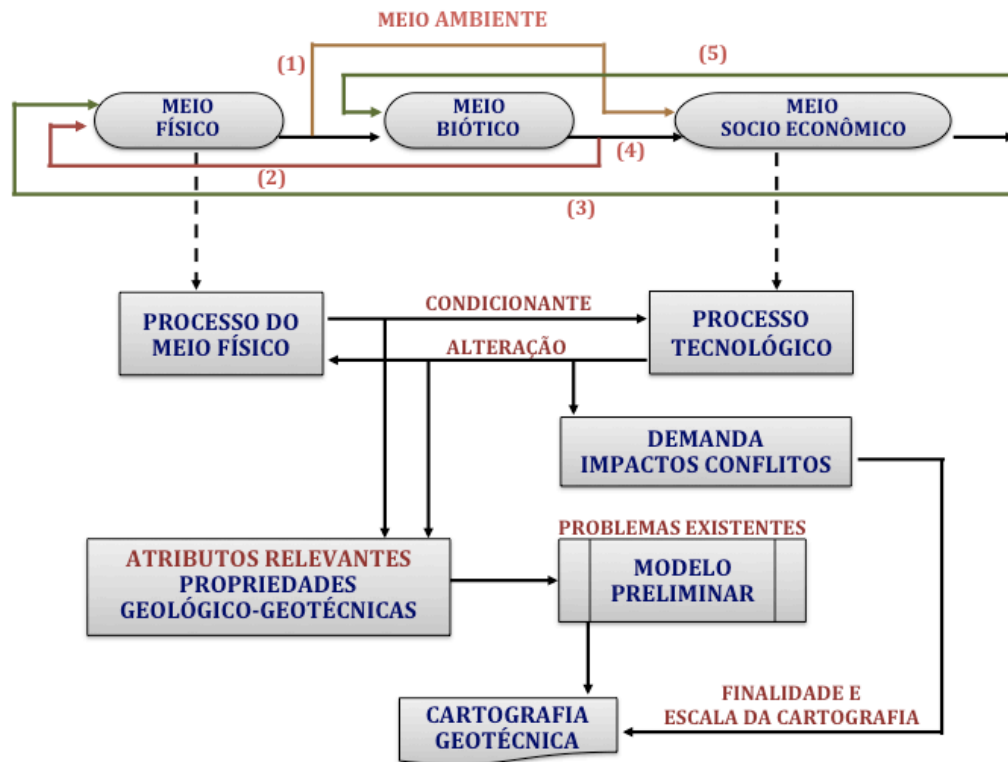


Figura 5 - Propósito da Cartografia Geotécnica e a interações com os demais componentes (modificada de Fornasari F^o et al. 1992, segundo Diniz, 1998).

As cartas geotécnicas podem servir a um propósito especial ou ser multi-função (Dearman & Matula, 1977; IAEG, 1972). Mapas com finalidade especial fornecem informações sobre um aspecto específico da geologia de engenharia (grau de intemperismo, permeabilidade, risco sísmico, etc), ou mesmo direcionadas as condições geotécnicas específicas para obras, como barragem, rodovia ou uso do solo no desenvolvimento urbano. Mapas multi-função cobrem vários aspectos da geologia de engenharia e muitas vezes são produzidos para atender demandas nacionais ou regionais. Os mapas geotécnicos para obras específicas geralmente são produzidos em escalas maiores que 1:10.000, enquanto os mapas geológico-geotécnico são produzidos em escala menores. Em termos de escala, a carta geotécnica para obras de engenharia deve ser suficientemente adequada para mostrar a menor característica do que está sendo planejado, e que tenha um efeito significativo sobre a destinação do mapeamento. Desta forma a interação entre a

construção e o ambiente geológico pode ser previsto. A figura 6 demonstra as possibilidades de cartas geotécnicas, de acordo com a finalidade.

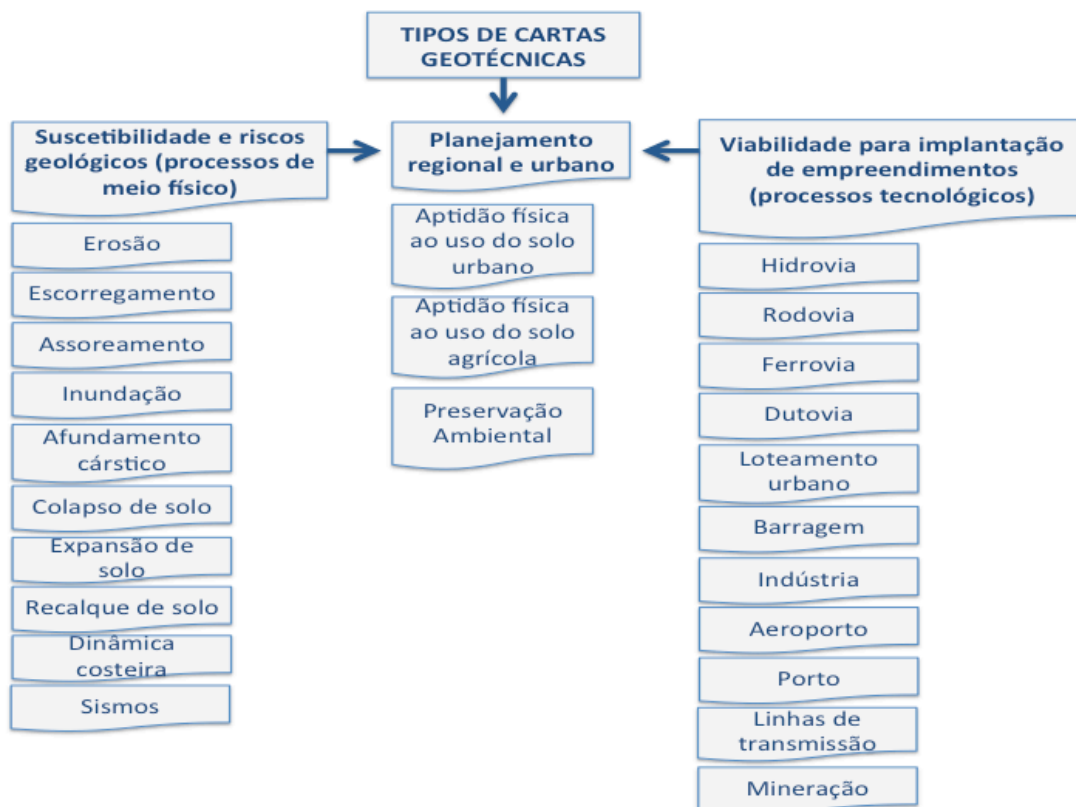


Figura 6 - Tipos de Cartas geotécnicas, segundo processos do meio físico e empreendimentos de obras civis. (modificado de Diniz, 1998)

De acordo com Culshaw *et al.* (1987), as cartas geotécnicas devem indicar a distribuição de unidades definidas em termos das propriedades geotécnicas, por exemplo, índices físicos dos materiais terrestres. Os limites da unidade são então traçados pelas mudanças nas propriedades particulares dos materiais. Frequentemente, os limites de tais unidades coincidem com limites litoestratigráficos. Em outros casos, como por exemplo, onde as rochas estão em maior profundidade, devido á cobertura de solos ou depósitos sedimentares, as unidades geotécnicas podem não ter qualquer relação com os limites geológicos.

Uma das dificuldades encontradas na técnica de preparação de cartas geotécnicas reside no fato de que as alterações físicas nos atributos são freqüentemente graduais (Culshaw *et al.*, 1987). O estabelecimento de um limite determina o término e/ou começo abrupto de uma unidade e atributos do meio físico em documentos cartográficos. Essa questão é importante no caso de mapas de risco,

uma vez que o perigo pode estar associado ao grau de alteração, que pode então afetar áreas nas quais o risco é insignificante. Em tais situações, deve-se valer de técnicas que considerem os relacionamentos graduais, como degradê de cores, ou pelo uso de linha tracejada para denotar limites entre unidades de mapeamento.

A aplicação de fundamentos de inferência de Lógica Fuzzy é um método adequado para retratar as reais condições de comportamento de ocorrência espacial de atributos do meio físico, na elaboração de documentos cartográficos. Esta técnica apresenta como vantagem a possibilidade de incorporar na representação dos contatos entre unidade de atributos do meio, informações sobre a natureza destes, assim como a incerteza associada à classificação e ao posicionamento dos mesmos (Burrough & MacDonell, 1998).

2.2.4. Metodologias em Cartografia Geotécnica

2.2.4.1. Metodologia IAEG

Para *International Association of Engineering Geology* (1976), um mapa geotécnico é um quadro simplificado criado a partir do sistema que compreende aqueles componentes importantes do ambiente geológico, ou seja, a distribuição e propriedades das rochas e solos, água subterrânea, características do relevo e processos geodinâmicos atuais (UNESCO/IAEG, 1976).

A metodologia desenvolvida pela IAEG (1976) classifica os mapas em função do conteúdo, da escala e da finalidade. Os fatores a serem considerados são: o caráter das rochas e solos, as condições hidrogeológicas, as condições geomorfológicas e outros. De acordo com as orientações da IAEG, as cartas e/ou mapas devem ser apresentados de forma acessível a profissionais que não atuem permanentemente na área, e prever as variações do ambiente geológico, decorrentes de sua ocupação, e sugerir as medidas preventivas necessárias.

2.2.4.2. Metodologia PUCE

O método PUCE originou-se nos mapeamentos sistemáticos de Grant (1970) na Austrália e tem na sua denominação o acrônimo de '*Pattern-Unit- Component-Evaluation*', sendo traduzido em: Padrão, Unidade, Componente e Avaliação. Trata-se

de um sistema hierárquico e sua aplicação pode-se dar em qualquer escala dentro da mesma sistemática de classificação de terrenos, de forma subordinada e interligada (Tabela 2). Esta metodologia se aplica principalmente a estudos de viabilidade e planejamento, adequado, portanto a realidade de demanda da região (Souza, 1992).

Sua concepção foi baseada na compartimentação de regiões de acordo com características geológicas/geomorfológicas, do uso do solo e geotécnicas, e ainda quanto à escala do estudo (Grant, 1975 e Grant & Finlayson, 1978).

Tabela 2- Formas de análise e quantificação para cada classe hierárquica na metodologia PUCE (adaptado de Zuquette, 1987)

Classes do Terreno	Fatores qualitativos do terreno	Fatores quantitativos do terreno	Método para quantificação	Escala Adequada
Província	Geologia: - origem da rocha; - grupo litológico; - formação;	Cronoestratigrafia		1:250.000
Padrão do terreno	Crítérios geomorfológicos: - paisagem - topografia - associação de solos - vegetação	Amplitude de relevo, Densidade de drenagem Frequência de canais de drenagem	Sensoriamento remoto / levantamento em campo	< 1:100.000
Unidades do terreno	- Formas de relevo - Associação de solos x vegetação;	Dimensões das formas do terreno (morfometria): -amplitude do relevo (comprimento, largura).	Sensoriamento remoto / levantamento em campo	> 1:10.000
Componentes do terreno	- Tipo de talude - Litologia - Solo - Associação de vegetação	Aspectos tridimensionais (convexos, concavos e planares) Descrição e análise das propriedades Análise e classificação das variáveis horizontais e verticais Dimensões relativas à vegetação (altura, diâmetro, espaçamento)	Medidas "in situ" Medidas "in situ" e laboratório Medidas "in situ" Medidas ou estimativa	> 1:10.000

Essa metodologia caracteriza-se pela definição de cada classe através de uma nomenclatura específica, no qual números são determinados para cada atributo e classe, com a formação de uma seqüência. Este método auxilia principalmente na criação do banco de dados do projeto principalmente para Sistema de Informação Geográfica (SIG).

2.2.4.3. Metodologia MATULA

Para Matula (1976), o mapa geotécnico constitui-se num modelo ilustrativo do ambiente geológico servindo às finalidades de engenharia e outras. Matula (1979) propõem que o mapeamento geotécnico seja aplicado como uma ferramenta de auxílio na definição da ocupação territorial, de uma maneira ajustada tecnicamente e respeitando as áreas de interesse ambiental e as condições necessárias para o bem-estar da população. As etapas metodológicas formuladas por Matula estão ilustradas na figura 7.

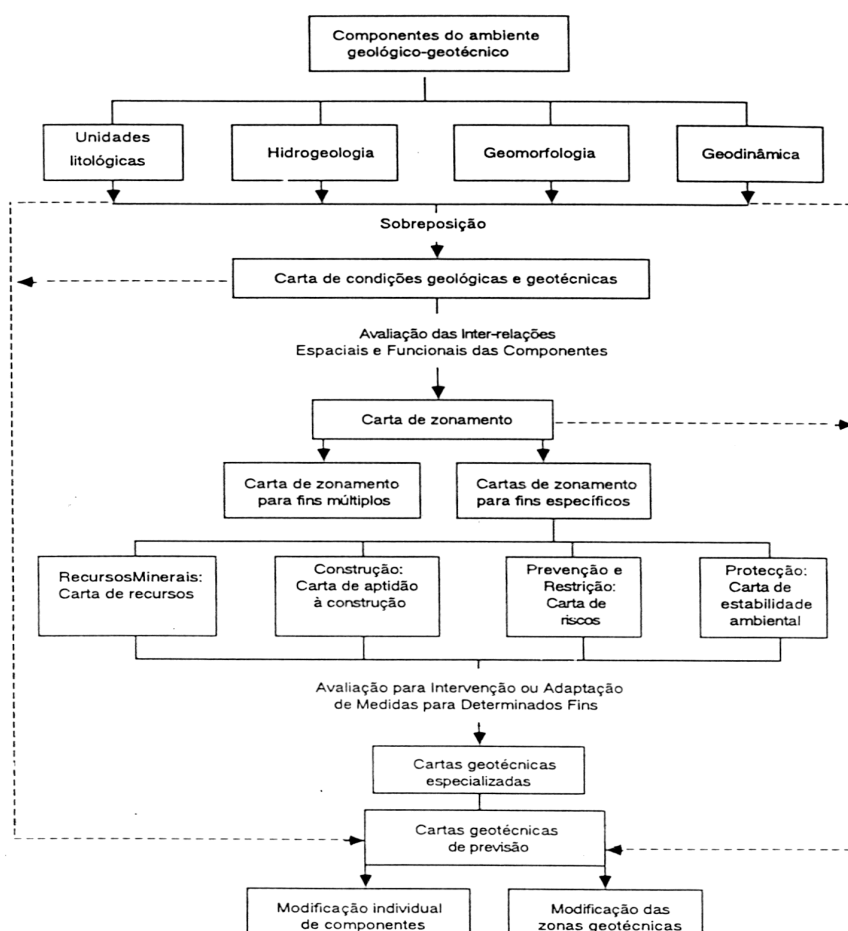


Figura 7 - Etapas metodológicas em cartografia geotécnica propostas por Matula (1979)

2.2.4.4. Metodologia IPT

De acordo com Prandini *et al.* (1995), esta metodologia identifica as principais características dos materiais geológicos (solos e rochas), e determina zonas homogêneas e os processos envolvidos com a finalidade de tecer considerações sobre as possíveis medidas preventivas, reparadoras e minimizadoras dos problemas ambientais identificados. A metodologia adotada pelo IPT (Prandini *et al.*, 1995), elabora, principalmente, cartas geotécnicas dirigidas e a metodologia utilizada fundamenta-se em quatro premissas, assim sintetizadas:

(I) partir dos problemas significativos presentes no território ocupado e, posteriormente, para suas condicionantes mapeáveis;

(II) estabelecer uma fisiografia do desempenho que integre os processos do meio físico e as suas formas de ocupação;

(III) concentrar esforços na coleta objetiva e orientada de dados, para definir unidades geológico-geotécnicas de mesmo comportamento, de modo que correspondam, diretamente, a distintas práticas de prevenção e correção;

(IV) superar o determinismo ingênuo da maior parte das aptidões, valendo-se do arsenal de técnicas disponíveis para a maximização de opções plausíveis para o uso do solo.

2.2.4.5. Metodologia EESC/USP

Zuquette (1987) propôs uma metodologia de mapeamento geotécnico para as condições brasileiras, no qual o princípio básico está centrado no procedimento global do processo, desde a obtenção dos atributos até a elaboração de cartas específicas para os usuários.

A metodologia permite definir, identificar e isolar os atributos que devem ser utilizados para caracterização das unidades homogêneas, tratamento dos dados através da hierarquia das informações obtidas e elaboração dos documentos cartográficos (Zuquette, 1993). Esta metodologia está dividida em três fases: levantamento e análise das informações produzidas anteriormente (inventário), reconhecimento dos atributos (diagnóstico) e identificação de unidades homogêneas (prognóstico).

Zuquette (1987) preceitua que as principais classes de documentos elaboradas no mapeamento geotécnico são mapas básicos fundamentais, mapas básicos opcionais, mapas auxiliares e cartas derivadas ou interpretativas:

- (I) Mapas básicos fundamentais: são utilizados para mapear qualquer região em qualquer escala, representando o meio físico (Ex. Mapa Topográfico, Geológico e de Águas);
- (II) Mapas básicos opcionais: são mapas complementares aos mapas básicos fundamentais (Ex.: Mapa Pedológico, Geofísico, Climáticos, Ocupação Atual ou Prevista);
- (III) Mapas auxiliares: são denominados mapas de documentação ou de dados e registram os dados qualitativos e quantitativos, como o tipo, a forma e o local de obtenção dos dados;
- (IV) Cartas derivadas ou interpretativas: contém informações geotécnicas obtidas de interpretações derivadas de outros mapas (auxiliares, básicos opcionais, topográficos e outros), representam informações das diversas condições do meio físico para uma ou mais finalidades.

2.2.5. Cartografia Geotécnica no Distrito Federal

No território do DF, desde a década de 90, estão sendo desenvolvidos relevantes estudos acadêmicos, especificamente, na área da cartografia geotécnica produzidos no âmbito do Programa de Pós-Graduação em Geotecnia (ENC/FT/UnB). Outras instituições acadêmicas e de pesquisa, como Instituto de Geociências – IG/UnB, Departamento de Geografia/UnB e EMBRAPA, também contribuem na construção do conhecimento geoambiental principalmente com a produção de dados cartográficos básicos utilizados em diversas pesquisas aplicadas no Distrito Federal. Cabe enumerar alguns desses trabalhos que contribuíram para o conhecimento geotécnico regional e local, alguns deles com a utilização de geoprocessamento:

Romão (1995) elaborou um mapeamento geotécnico numa uma área de 110 km² em Águas Claras-DF, com ênfase na utilização de recursos de geoprocessamento, com a finalidade de orientação a investigações locais, no planejamento da expansão urbano-residencial da região. Foi utilizada a proposta metodológica da Escola de

Engenharia de São Carlos, EESC/USP, para a confecção dos documentos cartográficos. Destaca-se o mapa de feições de relevo, e as cartas de erodibilidade, condições de escavabilidade e zoneamento geotécnico geral.

Aguiar (1997) estudou a relação entre o mapeamento geotécnico com o processo de gestão ambiental no DF, com adoção da metodologia da EESC/USP numa escala de 1: 100.000. Esse trabalho analisou classificações e formas das informações, além da operacionalização das mesmas frente aos efeitos do diagnóstico e planejamento do meio físico. Apesar de ser ter vínculo com outra instituição de pesquisa, cabe aqui enumerar pela importante contribuição no conhecimento geotécnico local e no estabelecimento da importância do papel do mapeamento geotécnico nas diferentes fases do planejamento e implementação de ações de controle ambiental, aplicado no Distrito Federal.

Rêgo (1997) produziu o mapeamento geotécnico na escala de 1: 100.000, de uma área de 125 m² na porção sul da APA da Bacia do Rio Descoberto, aplicando a metodologia da Escola de Engenharia de São Carlos - EESC/USP. Foram consultados os seguintes mapas básicos: material consolidado, topográfico, declividade, águas superficiais, águas subterrâneas, geológico, substrato rochoso, pedológico, documentação, feições e unidades de relevo, uso e ocupação do solo. A partir dos mapas básicos foram elaborados os seguintes mapas derivados, com a finalidade de orientar ocupação urbana: erodibilidade, condições de escavabilidade, fundação, estrada, disposição de rejeitos, materiais de empréstimo e zoneamento geotécnico.

Carneiro (1999) produziu o trabalho "Mapeamento Geotécnico e Caracterização dos Materiais Naturais de Construção do Distrito Federal: uma Base de Dados para o Planejamento e Gestão", na escala 1: 100.000. Foram considerados os princípios fundamentais da IAEG para a Cartografia Geotécnica e a utilização de Sistemas de Informação Geográfica. O material natural de construção foi tratado como insumo do processo de desenvolvimento e expansão, como indicador da degradação das paisagens do DF, que necessita serem vistos sob a ótica das Políticas Públicas de Planejamento e Gestão de uso dos solos.

Santos Filho (2000) utilizou técnicas de geoprocessamento na distribuição espacial das características geotécnicas de solos do Distrito Federal. Os modelos de

distribuição espacial foram gerados a partir de modelagem numérica de terreno de grupos de solos baseados no Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS) e na Classificação HRB (Highway Research Board) e em valores de CBR (California Bearing Ratio). Todos os sistemas seguem regras definidas por normatizações específicas, e para cada sistema de classificação foram geradas as seguintes cartas: frações granulométricas pedregulho, areia e solos finos, limite de liquidez e índice de plasticidade dos solos. Em seguida as cartas foram comparadas geoestatisticamente.

Martins (2005) utilizou uma metodologia de geoprocessamento para possibilitar a aquisição e o ordenamento de dados relativos a processos erosivos e identificação dos principais condicionantes na área do Distrito Federal. Foi realizado em duas escalas de detalhamento a regional e a local. A escala regional é compatível com estudos de imagens na escala 1:100.000 e visa principalmente a identificação das áreas com indícios de degradação apresentando principalmente feições de solos expostos. Na escala local, compatível com produtos de sensoriamento com base cartográfica na escala 1:10.000, o cadastro é apoiado com intenso trabalho de campo.

Silva (2007) realizou o trabalho de cartografia geotécnica em detalhe (escala 1:2.000) com fins de planejamento, uso e ocupação do subsolo, na área tombada em Brasília. Buscou-se a espacialização tridimensional dos dados de sondagem de três áreas de estudo, e obteve-se como resultado: mapas volumétricos de camadas de solos (3D), mapas volumétricos de níveis interpolados de SPT (3D), mapas hipsométricos com identificação de seções de interesse (2D), seções de interesse para camadas de solos e SPT (2D), mapas de superfícies das interfaces de horizontes de solo e nível d'água com espacialização dos furos de sondagem (2,5D) e prédios (3D), mapas de seções ortogonais de SPT (3D), e um banco de dados com 1563 furos de sondagem cadastrados com o máximo de informações contidas nos relatórios de sondagens.

Arcaya (2007) analisou e determinou os principais fatores condicionantes de processos erosivos no DF. Utilizou-se abordagem morfopedológica, a partir da inter-relação entre solo, relevo e litologia, a fim de diagnosticar e compreender a gênese e evolução dos processos erosivos regionais no Distrito Federal. Foram utilizados produtos de sensoriamento remoto, e gerados banco de dados com 1.582 feições

erosivas cadastradas, mapa de uso de solos e o mapa de compartimentos morfo-pedológicos, como produto principal. Tal abordagem fundamenta-se na delimitação, compreensão e funcionamento dos compartimentos morfo-pedológicos que constituem unidades homogêneas, permitindo a identificação de dez compartimentos. Os resultados obtidos mostram que a distribuição dos focos erosivos está associada a condicionantes naturais e antrópicos.

Arenas-Rios (2012) explorou os fractais como possibilidade de abordagem das relações quantitativas entre a geometria do terreno e a compartimentação superficial do substrato litológico subjacente aos terrenos do Distrito Federal, na escala 1:10.000. Para isso, produziu cartas de densidade de drenagem e rugosidade topográfica baseados na dimensão fractal dos conjuntos hidrográficos e contornos topográficos, respectivamente. Os produtos foram comparados com as cartas de solos e hidrogeologia da região, obtendo relações satisfatórias. Arenas-Rios (2012) demonstrou que a geometria fractal é uma ferramenta útil na prática de análise geomorfométrica.

De um modo geral, nota-se que os trabalhos foram produzidos em escala regional (1: 100.000), e minoritariamente em escala de detalhe. Os temas desenvolvidos em dissertações e teses no DF contemplaram basicamente caracterizações geotécnicas dos materiais e processos geodinâmicos, no contexto da cartografia geotécnica (Camapum *et al.* 2009), e as metodologias aplicadas não tiveram como premissa o conhecimento do sistema geológico-geomorfológico.

2.2.6. Geoprocessamento em Cartografia Geotécnica

Há diversos estudos que comprovam a eficácia da aplicação de metodologias em cartografia geotécnica integradas ao uso de técnicas de sensoriamento remoto, análise espacial e bancos de dados espaciais. Nos dias de hoje, pode-se considerar o geoprocessamento, como uma ferramenta indispensável para a cartografia geotécnica.

Diniz (1998) desenvolveu uma metodologia para automação da cartografia geotécnica através de tecnologias de cartografia digital e SIG, no qual foram aplicadas e adaptadas para meio digital algumas metodologias clássicas da cartografia

geotécnica. A metodologia de automação da cartografia geotécnica foi testada através da elaboração de uma coleção de mapas associados a uma base de dados geoambientais do Estado de São Paulo, nas escalas 1:250.000 e 1:1.000.000. A aplicação é diretamente voltada para solução de problemas ambientais, considerando e integrando informações dos processos do meio físico e processos tecnológicos, com expressiva contribuição para tarefas de gestão e planejamento.

2.2.7. Inferência Espacial Fuzzy no Contexto da Cartografia Geotécnica

A teoria dos conjuntos *fuzzy* automatizado em *GIS* é aplicável à cartografia geotécnica, por ser uma ferramenta eficaz para lidar com o conhecimento sobre os terrenos, tendo em conta a incerteza na interpretação de informações quantitativas sobre o terreno (Kurtener & Badenko, 2000).

A utilização de lógica *fuzzy* já foi experimentada em alguns estudos e corroboram com a assertiva supracitada, quanto à eficácia da técnica em cartografia geotécnica. Souza (1998) aplicou lógica *fuzzy* para seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos no Distrito Federal. Silva & Pejon (2004) aplicaram lógica *fuzzy* para representar a transição de contatos litológicos. Silva (2005) utilizou lógica *fuzzy* para representar a gradação de contatos em zoneamento geoambiental.

Outros detalhes sobre a técnica podem ser verificados no *Capítulo 5 – Modelagem Fuzzy de Dados Geomorfométricos dos Terrenos Adjacentes ao Anel Viário do Distrito Federal*.

2.2.8. Modelagem da Paisagem

A modelagem da paisagem produzida pela interação dos diversos processos atuantes na superfície terrestre imprime marcas e vestígios que refletem importantes características para o entendimento da dinâmica na litosfera, e as interrelações entre os componentes do meio físico. Esse é o objeto de estudo da geomorfologia, que é a ciência que estuda os produtos da interação entre a geologia e o clima com o tempo como operador. (Grant & Finlayson, 1978).

O relevo sendo um componente da natureza que se apresenta de modo concreto através de sua morfologia e relação entre morfogênese e pedogênese, desempenha

significativo papel na identificação e no entendimento da funcionalidade dos ambientes naturais (Costa, 2003).

A modelagem de terreno é a quantificação da superfície terrestre, podendo ser descrita através da análise do terreno e geomorfologia quantitativa. A disciplina é conhecida também como geomorfometria é um amálgama de ciências da terra, matemática, engenharia e informática. O conhecimento está em expansão com múltiplas aplicações de hidrologia, riscos geológicos, mapeamentos, tectônica, e outros campos.

Áreas com similaridades geológicas submetidas às mesmas condições climáticas tendem a apresentar parâmetros de solos e formas de relevo semelhantes (Grant, 1975). A figura 8, adaptado de Griffiths & Stokes (2008), mostra a relação entre o ciclo dos materiais rochosos, os processos geológicos e a geração de formas de relevo.

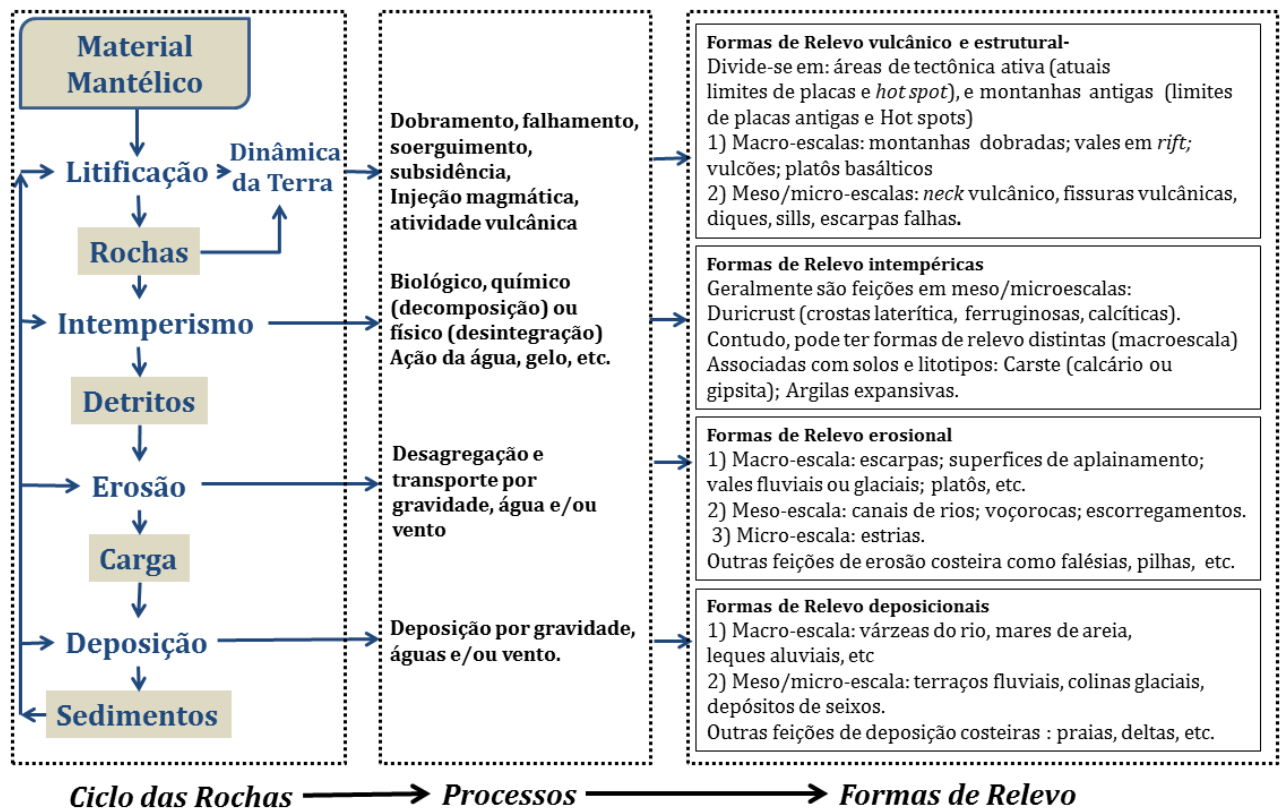


Figura 8 - Ciclo das rochas, processos geológicos e formas de relevo (Adaptado de Griffiths & Stokes, 2008)

A geomorfologia se tornou uma ferramenta bastante útil para o mapeamento geotécnico por conciliar maior agilidade e menor custo na representação das condições do meio físico, frente à necessidade de caracterização dos elementos

naturais com vistas a projetos de engenharia civil (Lollo, 1995). Sendo assim, a caracterização do terreno por meio de seus parâmetros fisiográficos é de suma importância na compreensão dos processos do meio físico e na modelagem das formas de relevo.

A geologia e a geomorfologia de uma área são importantes na garantia da gestão sustentável do solo e na proteção de vidas humanas em área urbana. (Bathrellos, 2011) Segundo Griffiths *et al.* (2010), a geomorfologia tem implicações práticas na geologia de engenharia, em todos aspectos de planejamento, concepção, investigação e construção de empreendimentos. É necessária uma compreensão dos processos geológicos, geomorfológicos e na modelagem do comportamento da paisagem em longo prazo, para ser aplicado durante o desenvolvimento de projetos de obras em engenharia. Para isso, Griffiths *et al.* (2010) formularam quatro perguntas, apresentadas na Tabela 3, a serem respondidas que afetam diretamente o projeto de geologia de engenharia.

Tabela 3 - Questões relativas a dinâmica da paisagem e obras de construção. (Griffiths *et al.* 2010)

Pergunta	Evolução da paisagem e obras de engenharia
1	Existe algum fator na formação da paisagem que possam ter uma incidência sobre o projeto das obras de engenharia?
2	Como é a dinâmica do relevo / paisagem ao longo do tempo planejado para as obras?
3	Como as obras previstas afetam as formas de relevo e a paisagem?
4	Como pode qualquer alteração no relevo ser incorporada ao projeto?

2.2.9. Unidades de Mapeamento

Elis & Zuquette (2002) considera que devem ser analisados os sistemas de terreno (parcela do meio físico formada por um conjunto de *landforms*, relacionados em termos de gênese e litologia, mas diferentes em outros conjuntos) e as unidades de terreno (parcela do meio físico representado por um *landform* ou uma associação de *landforms* homogêneos). As unidades de terreno devem refletir características diferentes das outras de um mesmo sistema. A unidade é definida de acordo com o relevo, gênese e composição. Zuquette (1993) prevê que nas áreas formadas por

landforms homogêneos, pode-se extrapolar as características do terreno para o *landform* e para seus semelhantes. Também sugere que os resultados das amostragens podem ser extrapolados ao nível de homogeneidade dos *landforms*.

As unidades de mapeamento pretendidas nesse estudo podem ser denominadas como unidades de terreno, tratada com equidade como geoformas ou *landforms*. Aliás, as conceituações das diversas unidades de mapeamentos usadas para retratar o meio físico de modo homogêneo são muito próximas, derivando apenas a aplicabilidade, conforme mostra a tabela 4.

A tabela 5 mostra os principais níveis de classificação do sistema de classificação de terrenos do ITC, comparando com outras aproximações de avaliação de terrenos (Verstappen, 1983)

Tabela 4 - Definição das unidades de mapeamento por diversos autores.

UNIDADES DE MAPEAMENTO	AUTOR(ES)	CARACTERÍSTICAS
Geoformas* (*) <i>Geoformas = landform = unidades de terreno</i>	Souza (1992)	Representa um conjunto de atributos relacionados pelos mesmos processos genéticos e portanto, permitem prever seu comportamento geotécnico potencial enquanto meio físico.
Landform	Zuquette (1993)	Possuem composição litológica e variações das características visuais e físicas definidas, tais como: forma topográfica, modelo de drenagem e morfologia. É o reflexo dos processos naturais atuantes sobre os materiais da superfície terrestre, Devem refletir as mesmas condições de evolução (gênese).
Unidade Geotécnica	Peter (1966) Segundo Pejon (1992)	Comportamento homogêneo, independente da variação litológica, de solos ou estruturas
Unidades de Terreno	Lollo (1995)	Características geomorfológicas tais como forma topográfica, amplitude de relevo, inclinação de vertentes, e características de organização da drenagem em termos de frequência e estruturação da rede de canais
Unidades de Paisagem	Guerra (2010)	Características funcionais, morfológicas e dinâmicas bastante semelhantes, que individualizam padrões homogêneos de paisagem.



Unidades Geoambientais	Riché et al. (1989)	Entidade espacializada, na qual o substrato (material de origem do solo), a vegetação natural, o modelado e a natureza e distribuição dos solos, em função da topografia, constituem um conjunto de problemática homogênea, cuja variabilidade é mínima, de acordo com a escala cartográfica.
	Trentin (2007)	Representam áreas com heterogeneidade mínima quanto aos atributos e, em compartimentos com respostas semelhantes frente aos processos de dinâmica superficial.
Unidades Básicas de Compartimentação	Vedovello (2000)	Zonas homogêneas com propriedades texturais constantes.
	Freitas (2000)	Subdivididas de acordo com o grau de suscetibilidade aos processos predominantes.

Tabela 5 - Sistemas de Classificação de Terrenos (Verstappen, 1983, modificado por Souza-Diniz, 1992).

NÍVEL	CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS	ESCALAS	CLASSIF. FISIOGRAFICA	ITC-CLASSIF. DE TERRE NOS	OXFORD MCXC	CSIRO DIV. (GRANT) GEOMECH	CSIRO LAND RESEARCH AND REJ. SURV (CHRISTIAN)	DOS	FAO FRAMCWORKS (M.F. DURNELL, 1984)	ROSS I. (1990)
1	Altamente generalizado. A gênese e a litologia são mais importantes. Mostra uma pequena variação da forma a superfície e das propriedades expressivas de uma unidade litológica próxima de uma evolução geomórfica comparável.	$\leq 1:250.000$	Província fisiográfica	Província do terreno	Região do terreno e sistema de terreno	Província do terreno	Província do terreno (sistema de complexo do terreno)	Região do terreno /provincia (como parte do sistema do terreno)	Províncias extensas (países)	Unidades Morfo-estruturais Unidades Morfo-esculturais Superfícies Geneticamente homogêneas
2	Moderadamente generalizado. Relevos: litologia e gênese são os principais critérios para a classificação. Mostra um padrão dominante de componentes de terreno geneticamente relacionados	$\geq 1:250.000$	Unidade Fisiográfica principal	Sistema do terreno (padrão)	Sistema de terreno	Padrão do terreno	Sistema do terreno	Sistema de terreno	(Estados e bacias hidrográficas)	Modelado Padrão de formas de relevo
3	Nenhuma ou poucas generalizações em classes de área. Os detalhes podem ser generalizados. O Relevos, litologia e gênese são principais critérios da classificação. Razoavelmente homogêneo e distinto do terreno circunvizinho.	$\geq 1:50.000$	Unidade Fisiográfica detalhada	Unidade do terreno	Faceta de terreno	Unidade de terreno	Unidade do terreno (local)	Faceta do terreno	(Municípios, área rural, sub-bacias)	Tipos de formas de relevo
4	Nenhuma generalização em classes de área. Nenhuma ou pouca generalização em detalhes. Relevos é o critério mais importante. Basicamente uniforme na litologia da forma de terreno, solo, vegetação e processo.	$\geq 1:10.000$	Elemento Fisiográfico	Componente do terreno	Elemento de terreno	Componente do terreno	Componente de terreno (local)	---	(Municípios)	Formas lineares e pontuais do relevo

3. CONTEXTUALIZAÇÃO DA ÁREA

3.1. Projeto Anel Viário

O projeto do Anel Viário do DF é de responsabilidade do DER-DF, e tem como objetivo principal promover o desvio do tráfego de cargas pesadas, volumosas e/ou perigosas, na área urbana de Brasília, de modo a permitir maior agilidade no tráfego local de cargas.

A concepção do traçado do AV-DF adotou a diretriz principal de implementar intervenções em vias já existentes, evitando ou reduzindo a necessidade de abertura de novas rodovias que implicassem em alterações ambientais significativas, além de evitar interferências com unidades de conservação no DF.

O DER-DF contratou uma empresa para a execução de “Serviços de elaboração dos Estudos de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental (EVTEA), Estudos de Impacto Ambiental – EIA e seu respectivo Relatório de Impacto Ambiental – RIMA e dos Projetos Executivos de Engenharia das Rodovias integrantes do Anel Viário do Distrito Federal”. O referido estudo teve início em novembro de 2008, com previsão de conclusão para novembro de 2011, mas no presente momento o serviço está suspenso e o relatório ainda não foi concluído.

De acordo com o estudo EVTEA/EIA-RIMA (2009), prevê-se que as intervenções sejam realizadas prioritariamente dentro dos limites das faixas de domínio das rodovias existentes, com vistas à redução dos impactos sobre o meio ambiente natural. As principais intervenções referem-se à melhoria nas condições das rodovias com: (i) restauração de pavimento e adequação de acostamentos e drenagem pluvial; (ii) pavimentação de pistas simples; (iii) duplicação/restauração; e (iv) implantação de intersecções.

3.2. Meio Físico

A aplicação dos conceitos de avaliação de terreno requer o entendimento dos componentes do meio físico do objeto de estudo, e neste caso, na área de influência do projeto do Anel Viário do Distrito Federal. A área de estudo abrange os quatro grupos

litológicos que compõem a geologia do DF, e a partir deste aspecto do meio físico serão estabelecidos às inter-relações com os demais componentes que atuam como condicionantes, um dos outros no processo de formação do terreno.

3.2.1. Geologia do DF

O DF está inserido, geologicamente, no contexto da Faixa de Dobramento e Cavalgamentos Brasília (Figura 9), na porção oriental da Província Estrutural do Tocantins (Almeida & Hasui 1984, Marini & Fuck 1981). Segundo esses autores, a estruturação das rochas demonstra que a Faixa de Dobramento Brasília possui vergência para leste em direção ao Cráton São Francisco, e aumento da deformação no sentido contrário (oeste).

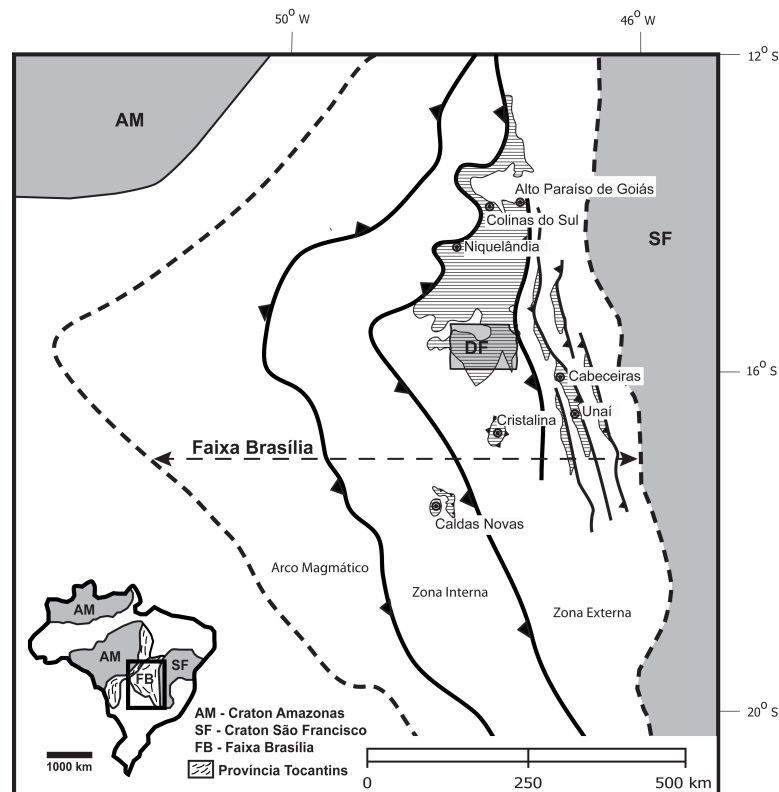


Figura 9 - Faixa de dobramento e cavalgamento Brasília, com destaque o DF (Extraído de Campos *et. al*, submetido)

A geologia do DF é representada por rochas metassedimentares do Grupo Paranoá, Canastra, Araxá e Bambuí (Mapa 2). A organização tectonoestratigráfica está condicionada à importantes sistemas de falhas (empurrões e cavalgamentos) que dispôs a superposição dessas unidades regionais na estratigrafia do Distrito Federal (Freitas-Silva & Campos, 1998), ilustrada na figura 10. Os cavalgamentos provocaram

a inversão estratigráfica onde o Grupo Canastra ocorre sobre os grupos Paranoá e Bambuí, o Grupo Paranoá sobre o Grupo Bambuí e o Grupo Araxá sobre o Grupo Paranoá. Os grupos Canastra e Paranoá representam, provavelmente, unidades cronocorrelatas dispostas lateralmente, enquanto os grupos Araxá e Bambuí representam sedimentos cronocorrelatos depositados em bacias depositadas em porções mais internas e externas, respectivamente, dentro da Faixa Brasília.

O *Grupo Paranoá* é composto por rochas metapsamo-pelíticas e carbonatadas e considerado de idade Meso/Neoproterozóica. Essas rochas foram estudadas por Faria (1995) na região de São João da Aliança/Alto Paraíso de Goiás, e no DF são divididas em seis unidades, correlacionáveis da base para o topo com as unidades S, A, R3, Q3, R4 E PC das áreas-tipo.

O *Grupo Canastra* é subdividido nas formações Serra do Landin, Paracatu e Serra dos Pilões (Freitas-Silva & Dardenne 1993) e datado como de idade Meso/Neoproterozóico. No DF é constituído principalmente por clorita e sericita filitos e subordinadamente calcifilitos, filitos carbonosos, quartzitos e mármore finos.

O *Grupo Araxá* é representado por muscovita xistos, clorita-quartzito xistos, muscovita-granada xistos e raras lentes de quartzitos micáceos. Foi datado por Pimentel et al. (1993) como Neoproterozóico.

O *Grupo Bambuí*, de acordo com Dardenne (1978), constitui-se por uma sequência pelito-carbonatada-arcoseana, dividida da base para o topo nas formações Jequitaí, Sete Lagoas, Serra da Saudade, Lagoa do Jacaré e Três Marias, sendo considerado de idade Neoproterozóica. No DF é representado por metassiltitos, metassiltitos argilosos, metargilitos e raras intercalações de arcóseos.

Uma extensa parte da área em estudo é recoberta por solos residuais lateríticos derivados de metassedimentos (tabela 6), o que torna oculto os contatos litológicos e, portanto aumenta o grau de dificuldade na definição exata dos limites no mapa geológico do DF. Campos⁴ afirma que a maioria dos contatos geológicos e planos de empurrões foram inferidos no mapeamento e com dados de perfuração de poços, em função da ampla área de latossolos e no sentido da própria escala (1:100.000).

⁴ Informação obtida verbalmente

Tabela 6 - Proporção da área ocupada pelas unidade litológicas no DF e no AV-DF.

Litotipo / Grupo	DF (%)	AV-DF (%)
Ardósia / Gr.Paranoá	9,66	0,58
Calcifilito / Gr.Canastra	0,65	0,41
Filito / Gr.Canastra	17,21	16,92
Xistos / Gr.Araxá	5,71	4,37
Siltitos, folhelhos e arcósios / Gr.Bambui (topo).	19,40	20,65
Lentes de calcários, folhelhos, siltitos / Gr.Bambui (base)	1,81	5,84
Metarritmito Arenoso / Gr.Paranoá	14,58	35,99
Psamo-Pelito Carbonatada / Gr.Paranoá	3,73	9,82
Quartzito /Gr.Paranoá	8,33	5,41

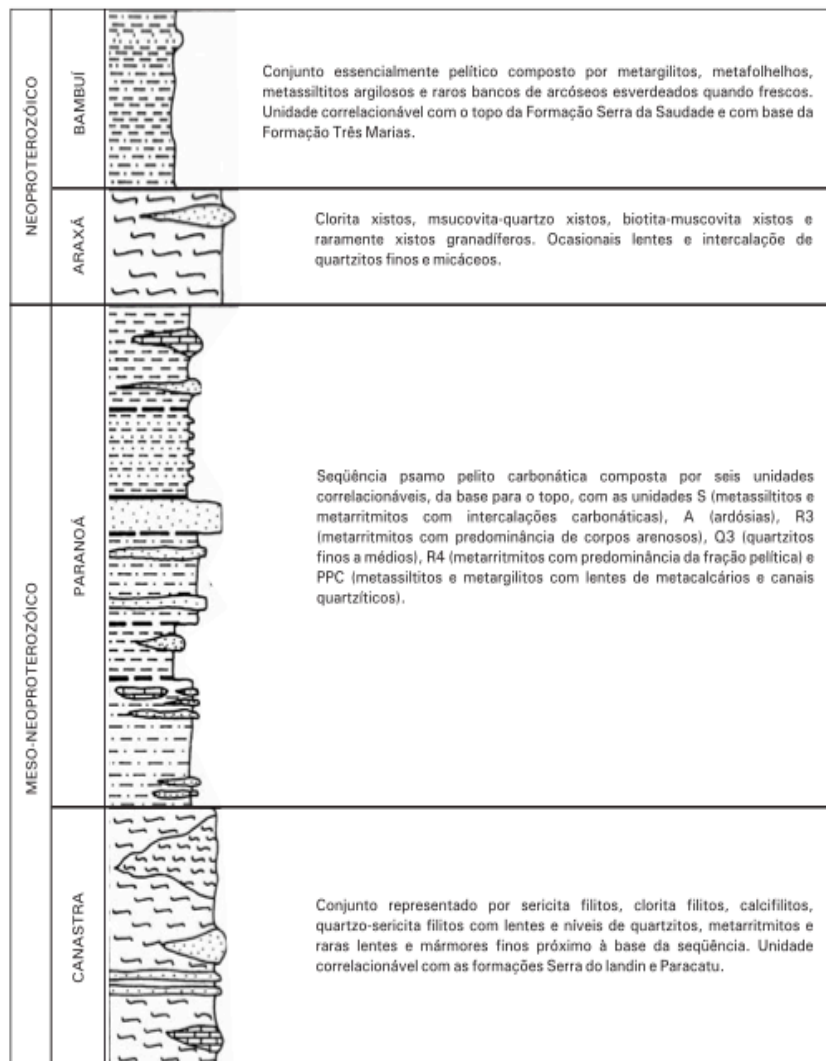


Figura 10 - Litoestratigrafia do DF (Freitas-Silva & Campos, 1998)

Na mais recente atualização do Mapa Geológico do DF, Campos *et al.* (submetido) formularam propostas de nomes para formações no Grupo Paranoá (Figura 11), com as mesmas características líticas e posição estratigráfica com relação às unidades litoestratigráficas designadas por Faria (1995).

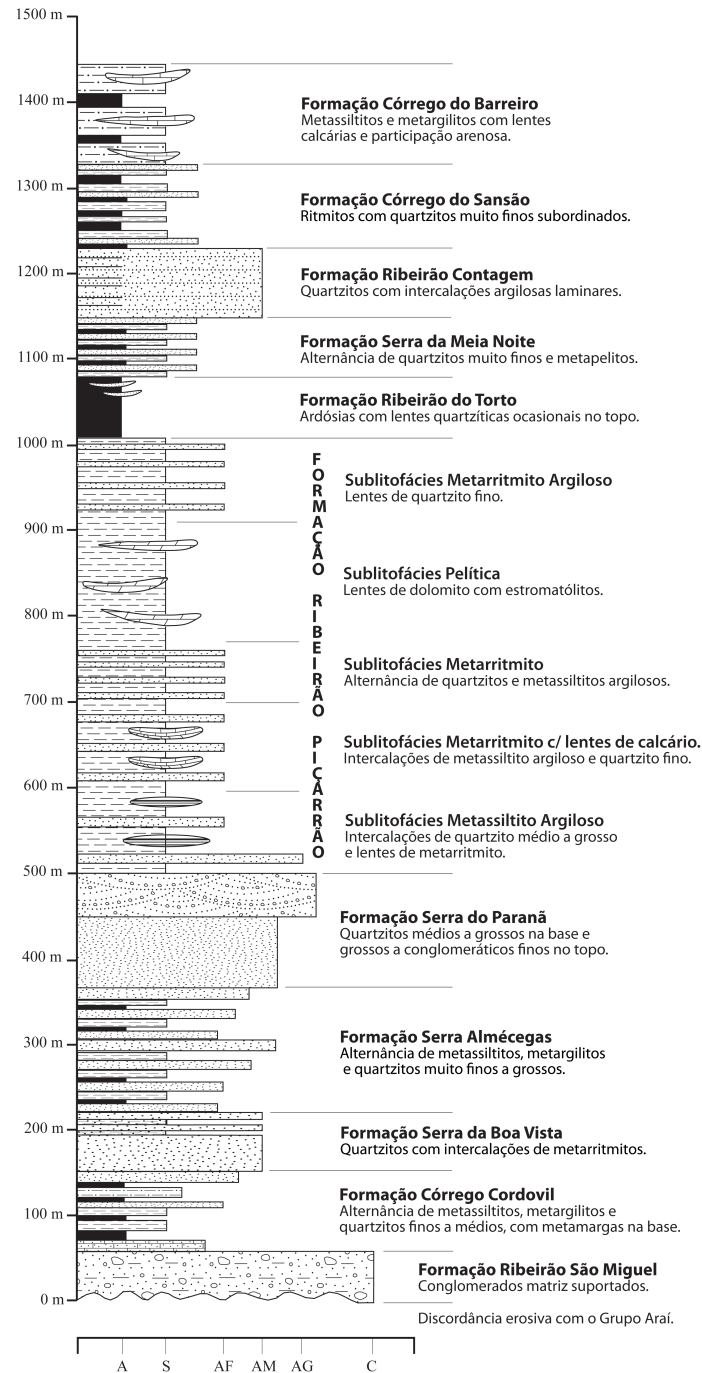
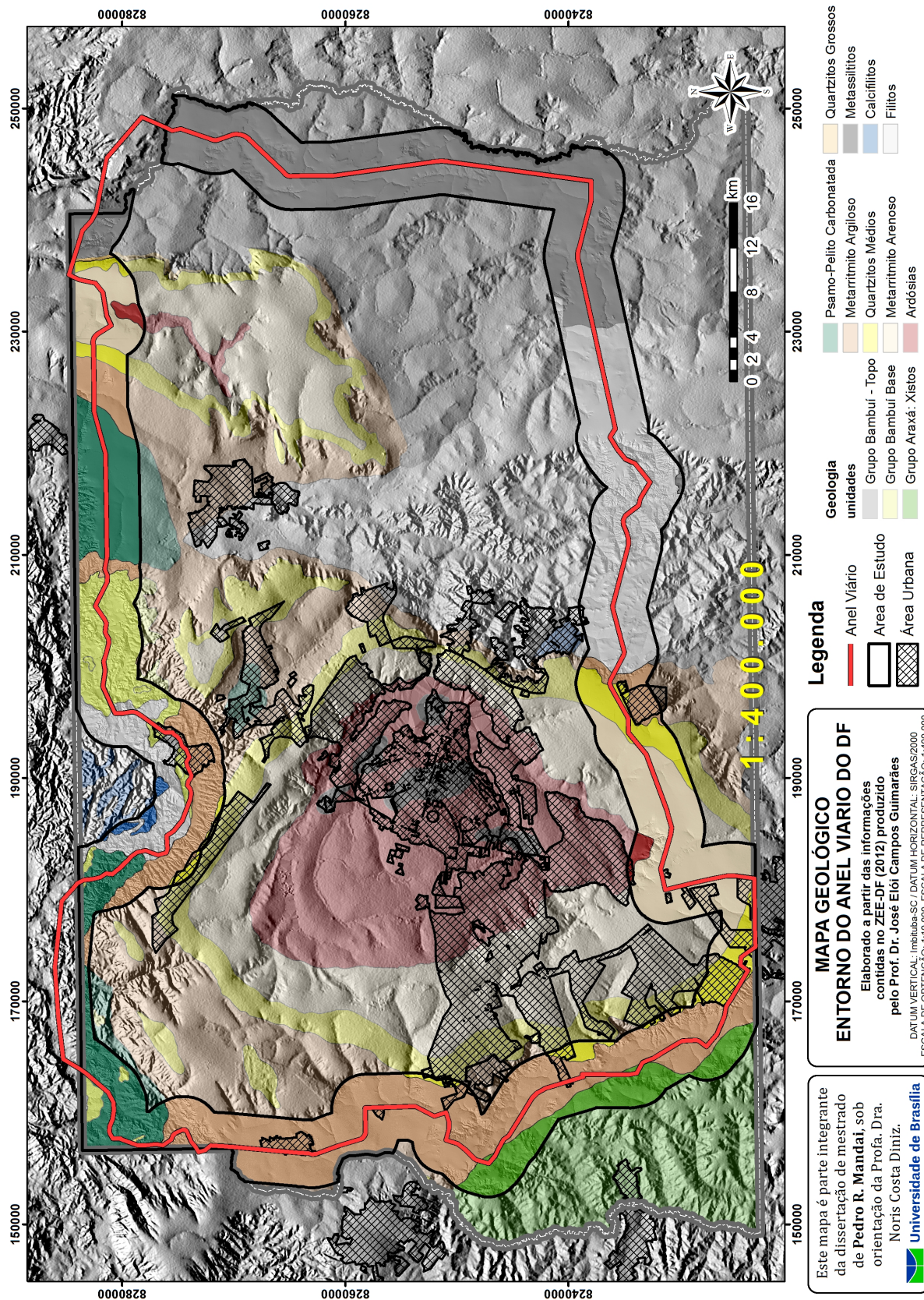


Figura 11 - Nova proposta de nomenclatura para unidade litoestratigráfica do Grupo Paranoá. (Campos *et al.*, submetido)



Mapa 2 - Mapa Geológico do DF (Modificado de Campos, 2012), com destaque à geologia da área de estudo

3.2.2. Geomorfologia do DF

Na região do Distrito Federal, os primeiros trabalhos sistemáticos que descrevem as características da paisagem, da geomorfologia e do sistema hidrográfico, foram apresentados no “*Relatório da Comissão Exploradora do Planalto Central do Brasil - Relatório Cruls*” (Cruls, 1894). Neste trabalho são descritas as “chapadas ou chapadões” que caracterizam as feições morfológicas originadas com a dissecação destes planaltos regionais.

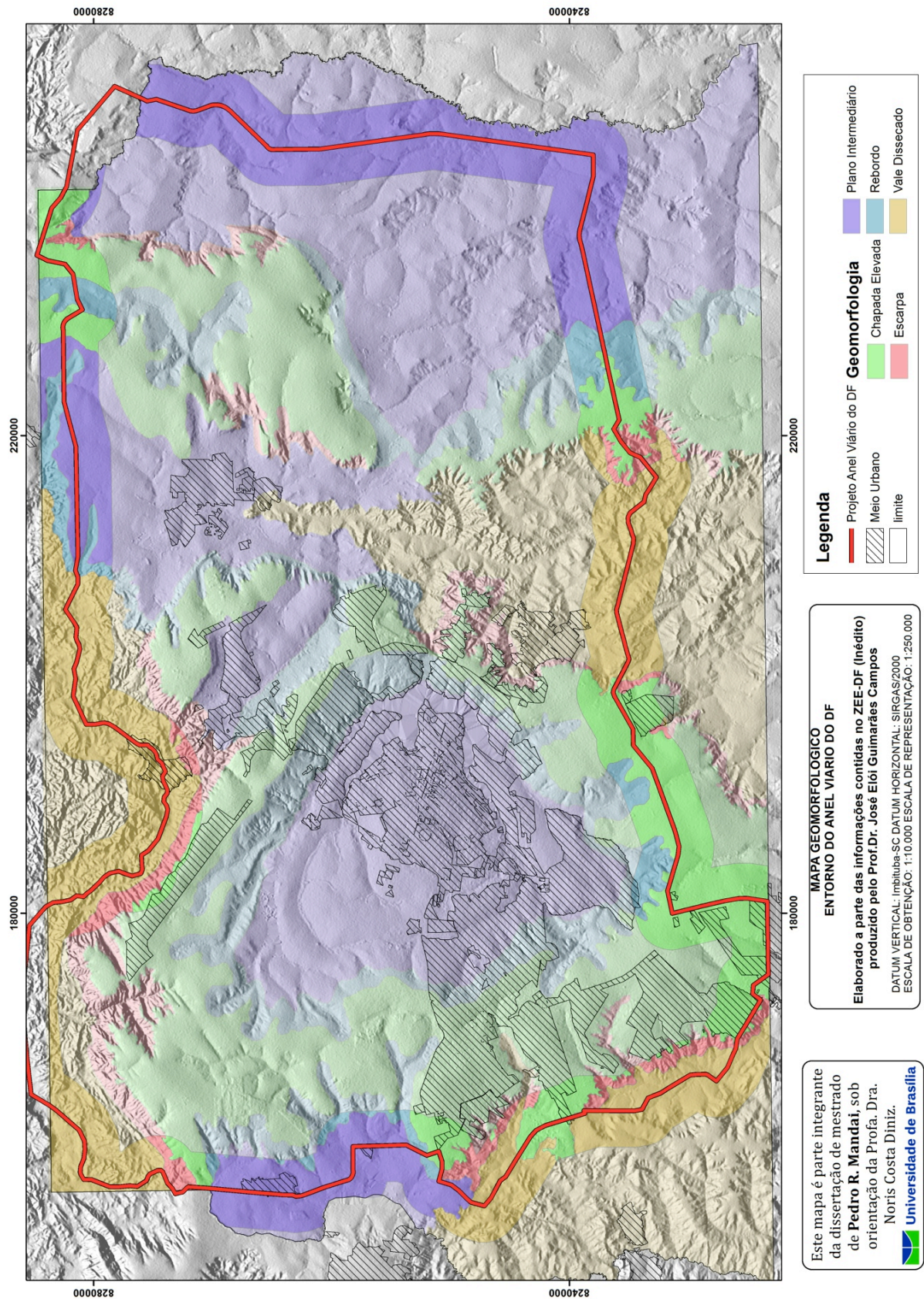
O principal referencial teórico em geomorfologia do Distrito Federal é o trabalho de Novaes Pinto (1994) que reconheceu três superfícies de aplainamento no DF, denominadas de Região de Chapadas, Área de Dissecação Intermediária e Região Dissecada de Vale. A compartimentação geomorfológica do Distrito Federal foi definida por Novaes Pinto (1987) e outros autores por meio das observações e relações de diversos fatores naturais da paisagem (hipsometria, litologia, declividade, solo e vegetação), e compartimentou a geomorfologia do Distrito Federal em conjuntos com aspectos morfológicos e genéticos distintos. O resultado foi a compartimentação do Distrito Federal em três tipos de macrounidades geomorfológicas, denominados de: Região de Chapada, Área de Dissecação Intermediária e Região Dissecada de Vale, cada uma ocupando, respectivamente, 33,9%, 30,9% e 35,5% da área total do Distrito Federal. Estas macrounidades apresentam-se subdivididas em unidades menores, constituindo no total de treze unidades geomorfológicas.

Martins & Baptista (1998) apresentaram outra proposta para a compartimentação geomorfológica do Distrito Federal, baseada nas características descritivas do relevo, mais precisamente na hipsometria, padrão de relevo, grau de dissecação e entalhe da drenagem, amplitude de relevo, densidade de drenagem, formas das encostas, comprimento das rampas e declividade. Como resultado, o Distrito Federal foi dividido em cinco compartimentos: Chapadas Elevadas ou Planaltos (20,4% do DF), Rebordos (11,7%), Escarpas (3,9%), Planos Intermediários (43,3%) e Planícies (19,2%), todos eles relacionados com os diferentes processos morfodinâmicos de erosão, deposição e pedogênese.

No ZEE-DF, Campos (2012) apresenta um mapa geomorfológico (Mapa 3), com as seguintes características gerais: *Chapada Elevada* - Cotas superiores a 1.100 m, padrão de relevo plano a suave ondulado, predomínio de latossolos e predominância de processos pedogenéticos sobre erosão e transporte; *Escarpa* - entre 750 e 1.100 m, padrão de relevo escarpado, presença de cambissolos e neossolos litólicos e amplo predomínio de erosão sobre a pedogênese; *Plano Intermediário* - entre 950 e 1.100 m, padrão de relevo suave ondulado, predomínio de latossolos e predominância de processos pedogenéticos sobre erosão e transporte; *Rebordo* - entre 1.050 e 1.100 m, padrão de relevo ondulado, presença de cambissolos e latossolos subordinados e equilíbrio dos processos morfodinâmicos; *Vale Dissecado*: Cotas inferiores a 1.050 m, padrão de relevo ondulado a forte ondulado, predomínio de erosão e transporte sobre a pedogênese. A tabela 7 apresenta a ocupação dos compartimentos geomorfológicos na área de estudo.

Tabela 7 - Proporção da área ocupada pelos compartimentos geomorfológicos definidos no ZEE-DF.

Compartimento Geomorfológico	DF (%)	AV-DF (%)
Chapada Elevada	20,4	20,37
Escarpa	3,9	5,59
Plano Intermediário	43,3	32,42
Rebordo	11,7	7,17
Vale Dissecado	1,36	34,45



Mapa 3 - Mapa Geomorfológico do DF (Modificado de Campos, 2009), com destaque à geomorfologia da área de estudo

3.2.3.Solos do DF

3.2.3.1.Aspectos Pedológicos

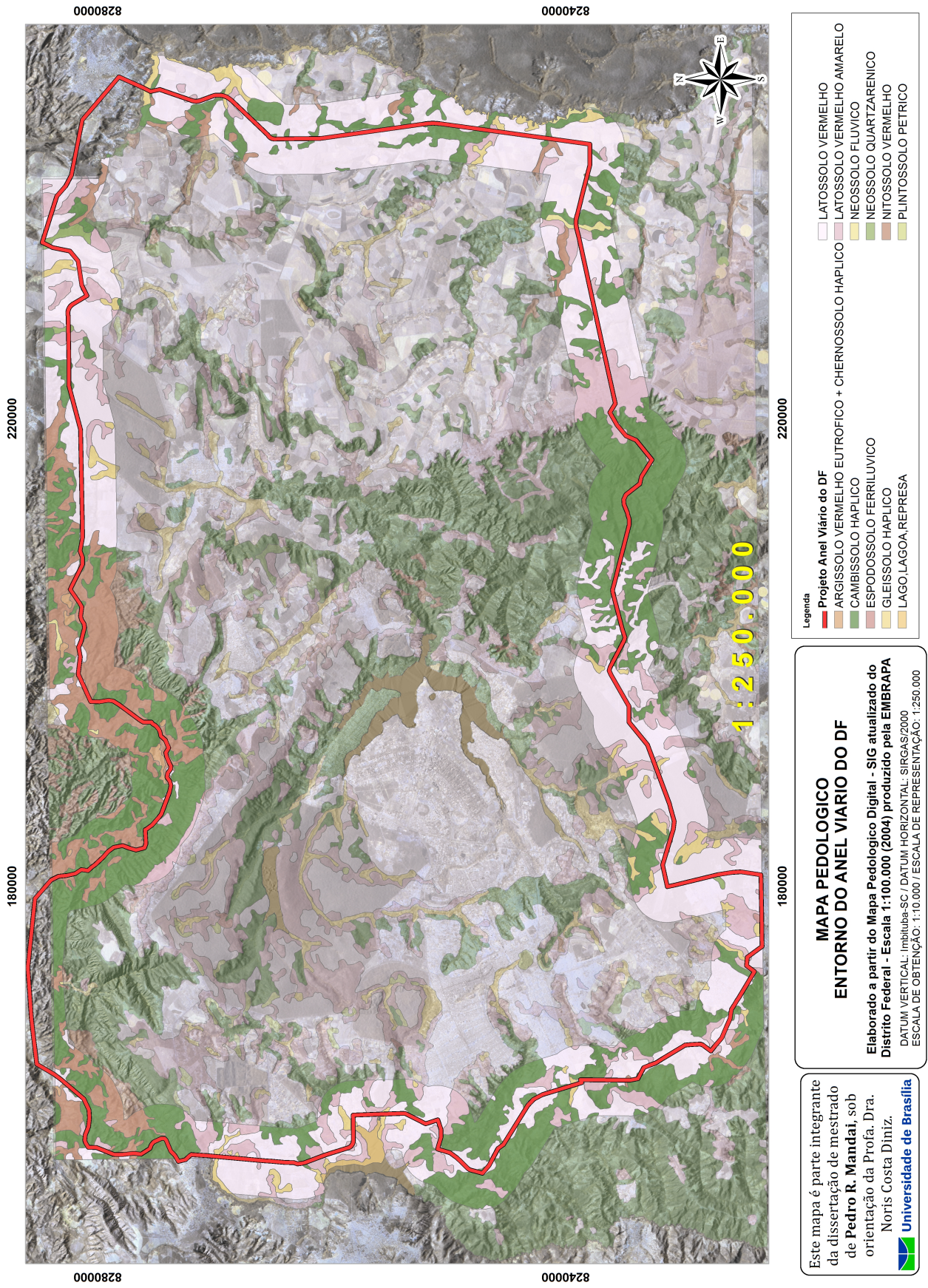
A principal fonte de informações sobre os solos encontrados no DF é o trabalho pioneiro realizado pelo Serviço Nacional de Levantamento de Solos (EMBRAPA, 1978), denominado “*Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Distrito Federal*”, na escala 1:100.000. Com o advento do novo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 1999), a EMBRAPA Cerrados em 2004 adequou as novas classes de solo, no documento técnico “*Mapa Pedológico Digital – SIG Atualizado do Distrito Federal*” (Reatto et al, 2004) na escala de 1:100.000, disponível em formato digital.

A tabela 8 apresenta a porcentagem das classes de solo no DF e na área em estudo. Verifica-se que os latossolos e cambissolos são as classes dominantes, no DF e na área do Anel Viário, com valores somados de 85,48% e 85,75%, respectivamente.

Tabela 8 - Proporção da área ocupada pelas Classes de solo no DF e no AV-DF.. Fonte: Mapa Pedológico Digital – SIG Atualizado do Distrito Federal (Embrapa, 2004)

Classes de Solos	DF (%)	AV-DF (%)
Latossolos	54,50	52,20
Cambissolos	30,98	33,55
Solos Hidromórficos Indiscriminados	3,98	2,79
Argissolos	2,89	0,30
Nitossolos	1,36	10,07
Neossolos Quartzarênicos	0,51	0,30
Plintossolos	0,40	0,003
Neossolos Flúvicos	0,18	0,34

O latossolo vermelho ocorre preferencialmente no topo das chapadas, em áreas altas e planas. O latossolo vermelho-amarelo ocorre abaixo do topo das chapadas, sempre adjacentes ao latossolo vermelho. O cambissolo ocorre em locais com a declividade acentuada, como nas encostas e vertentes das principais bacias hidrográfica, do Rio Maranhão, Descoberto e São Bartolomeu. As demais classes minoritárias que representam menos que 15% dos solos ocorrem em locais restritos, em condições e materiais específicos.



Mapa 4 - Mapa pedológico do DF (EMBRAPA, 2004)

3.2.3.2. Aspectos Geotécnicos e Processos do Meio Físico

O Distrito Federal encontra-se em grande parte recoberto por um manto de solo superficial (Mapa 5) constituído por argila laterítica, microagregada, macroporosa e colapsável, com espessuras superiores a 20 metros (Mapa 6). Este manto é resultante de intemperismo, principalmente químico, associado ao processo de lixiviação e à laterização de idade Terciária/Quartenária. Pedologicamente são solos lixiviados, onde os hidróxidos de ferro e alumínio dominantes promovem a formação de agregados, fenômeno que lhes conferem extrema porosidade e, conseqüentemente, baixa capacidade de suporte nos níveis mais rasos.

O problema geotécnico mais comum no Distrito Federal é a formação de erosões, principalmente as voçorocas urbanas e os colapsos diferenciais dos solos. Na região do Distrito Federal, a maioria dos solos apresenta-se profundamente intemperizados e são formados por argila microagregada, interligados por pontes de argila, apresentando elevados índices de vazios, baixa resistência à penetração (SPT < 4) (*“Standart Penetration Test”* – Índice de Resistência à Penetração) e quando submetidos a variações no estado de tensões (aplicação de um esforço externo e/ou saturação) estas estruturas podem ser destruídas, ocasionando o colapso (Mascarenha *et al.*, 2003).

Araki (1997) afirma que a camada de solo poroso que recobre grande parte do DF, apresenta comportamento colapsável quando submetido a carregamentos, saturações ou alterações no estado de tensões. Camapum de Carvalho *et al.* (1987) observaram que para a argila porosa de Brasília, quando há infiltração de água em diferentes pH, o colapso pode ser atribuído aos seguintes fatores:

- Ataques químicos nas cimentações;
- Modificação das forças de repulsão, facilitando a transferência das partículas para uma nova posição de equilíbrio;
- Redução da sucção matricial com o aumento do teor de água;
- Modificação da sucção osmótica com a alteração da composição química da água.

Outra feição geotécnica desfavorável, associada ao seu elevado índice de vazios, é o fenômeno denominado colapso estrutural do solo, isto é, recalque instantâneo

quanto a sua saturação, o que pode ocorrer em fundações diretas de construções feitas no período seco.

A colapsividade dos solos constitui a origem de vários problemas de engenharia, tais como os recalques diferenciais em obras da construção civil. O colapso pode ser definido como um fenômeno caracterizado por uma redução rápida do volume do solo. Em solos não saturados pode ter origens que normalmente estão associadas à presença de uma estrutura instável, à aplicação de uma tensão externa suficientemente alta para destruir a estrutura e à diminuição da sucção matricial existente no solo que confere a ele uma elevada rigidez em seu estado natural.

Este fenômeno acontece preferencialmente em solos formados por processos de alitização, processo comum nos solos formados na região. O processo de alitização constatado na região foi descrito por Cardoso (1995) e serviram de base para a geração do Modelo de Evolução Químico-Mineralógica dos Solos Tropicais Colapsíveis Profundamente Intemperizados, esquematizado na Figura 12.

A suscetibilidade dos solos à erosão caracteriza-se pela interação de vários fatores naturais. Esses principais fatores interligados são: a erosividade das chuvas, cobertura vegetal, declividade da encosta, comprimento da rampa e a erodibilidade do solo, sendo este último associado aos parâmetros físicos de estrutura, à textura, à espessura e à permeabilidade.

Esta questão está relacionada ao uso inadequado do solo, uma vez que existe a alteração das características físicas originais dos solos por ação antrópica. A expectativa de aumento de suscetibilidade pode acontecer a partir da alteração de dois condicionantes importantes:

- Perda de Permeabilidade – pode ser causada pela compactação, possível de ocorrer em latossolos de textura argilosa (colúvio);
- Perda da Cobertura Vegetal – a substituição ou a eliminação da cobertura original pelas atividades urbanas ou agropecuárias pode provocar a exposição do solo ao intemperismo químico/físico.

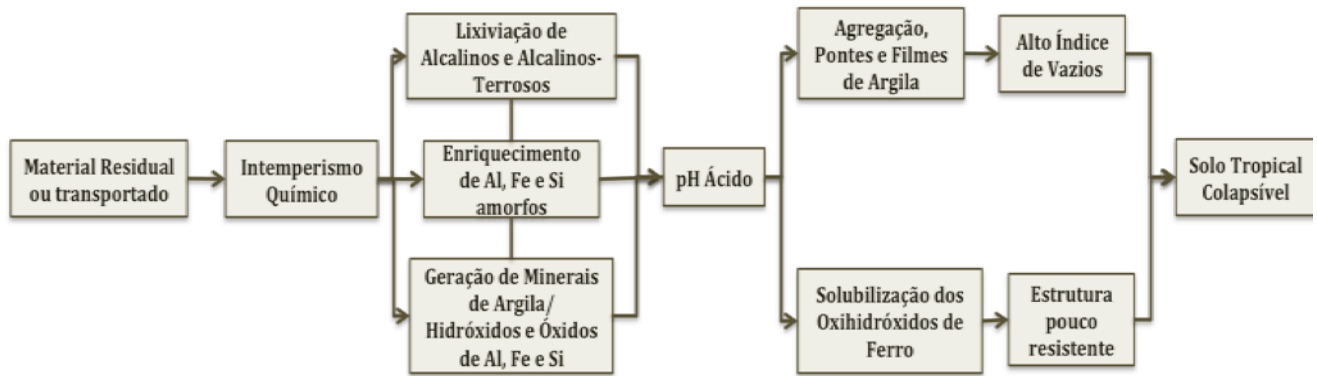
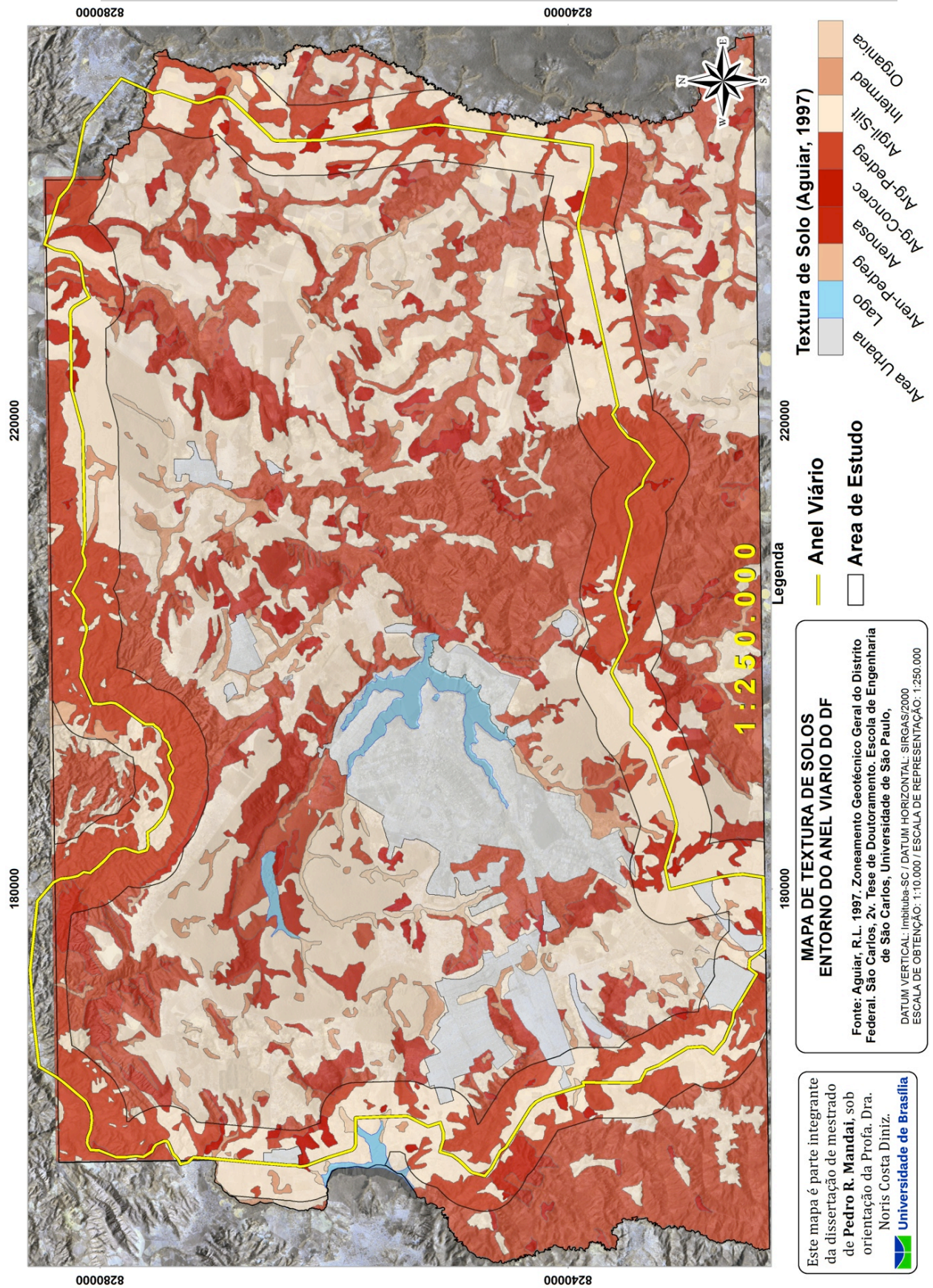
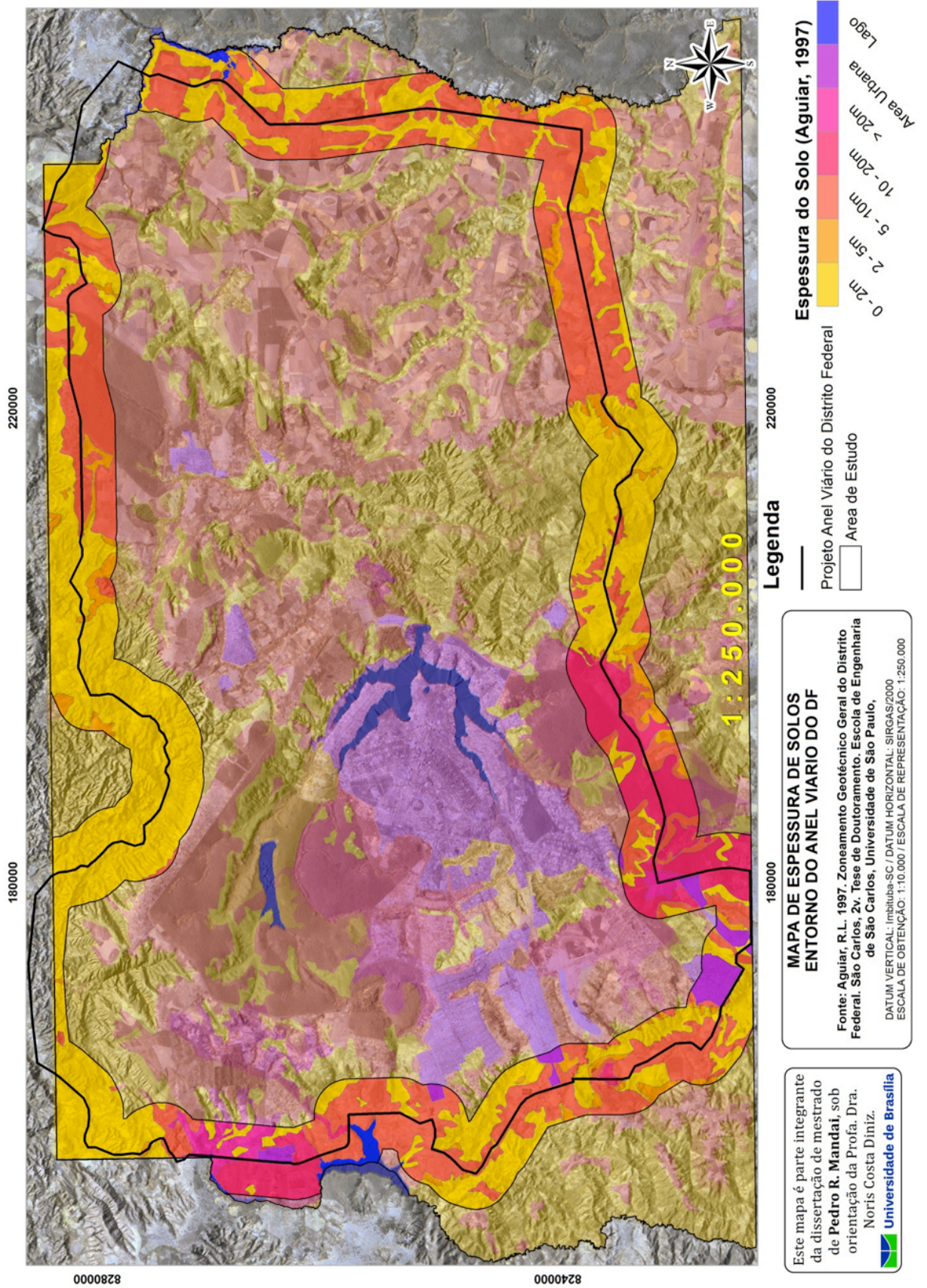


Figura 12 - Modelo de Evolução Químico-Mineralógica dos Solos Tropicais Colapsíveis Profundamente Intemperizados (Cardoso, 1995)

O processo de urbanização altera significativamente o escoamento superficial, com a concentração do fluxo das águas superficiais e conseqüente deflagração de processos erosivos, em forma de sulcos e ravinas. No DF, como em outros lugares, as cidades foram assentadas nos locais planos em altos topográficos, e com o tratamento inadequado do lançamento das redes de drenagem pluvial. Frequentemente as águas pluviais e servidas são lançadas diretamente em drenagens temporárias ou permanentes, cujos leitos são constituídos de materiais inconsolidados, sendo este um dos significativos agentes de deflagração de processos erosivos. Prandini *et al.* (1991) mostra que o incremento de vazão inicia um processo erosivo, em geral remontante, que se desenvolve rumo ao núcleo urbano.



Mapa 5 - Mapa de Textura de solos no DF (Modificado de Aguiar, 1997).



Mapa 6 - Mapa de espessura de solos no DF (Modificado de Aguiar, 1997)

3.2.4.Hidrogeologia do DF

A base do conhecimento atual sobre a hidrogeologia no DF vem de Campos & Freitas-Silva (1998), e discorrem que, o Distrito Federal está situado na Província Hidrogeológica Brasileira denominada de Escudo Central, a qual inclui parcialmente a Faixa de Dobramentos Brasília e se estende para norte/noroeste ocupando a parte sul do Cráton Amazônico (Mapa Hidrogeológico do Brasil, escala 1:5.000.000). Esta província é amplamente dominada por aquíferos fissurais coberta por manto de intemperismo (solos e rochas alteradas) com características e espessuras variáveis (Barros, 1992 e 1993, Campos & Freitas-Silva 1998).

O polígono do Distrito Federal está situado em uma elevação regional que não apresenta grandes drenagens superficiais, sendo um divisor natural de três grandes bacias hidrográficas. Na área de estudo, como nas demais regiões do Distrito Federal (Tabela 10), estão presentes dois domínios hidrogeológicos distintos, caracterizados pelos aquíferos do domínio poroso e pelos aquíferos do domínio fraturado (Mapa 7).

3.2.4.1.Domínio Poroso

Neste domínio aquífero a água subterrânea é armazenada nos espaços intersticiais dos constituintes dos solos ou das rochas alteradas, correspondendo às águas subterrâneas rasas. Na área do empreendimento este domínio aquífero é representado predominantemente por latossolos de textura média a arenosa e neossolos quartzarênicos, em geral com perfis espessos e bem desenvolvidos que condicionam a profundidade do nível freático (Mapa 8), em condições de relevo plano a suave ondulado, característico do subsistema P₁.

O domínio poroso é representado por aquíferos livres e contínuos lateralmente, sendo os parâmetros hidrodinâmicos (K, T e S) diretamente proporcionais à espessura dos solos e à sua porosidade/permeabilidade.

A recarga dos aquíferos porosos é dada por meio da infiltração das águas de chuva. Este processo é importante como um filtro natural para as águas que alcançam os aquíferos do domínio fraturado. Os exutórios são representados por fontes de depressão e contato, ou podem estar vinculados às regiões de solos hidromórficos nas proximidades de nascentes do sistema de drenagem.

3.2.4.2. Domínio Fraturado

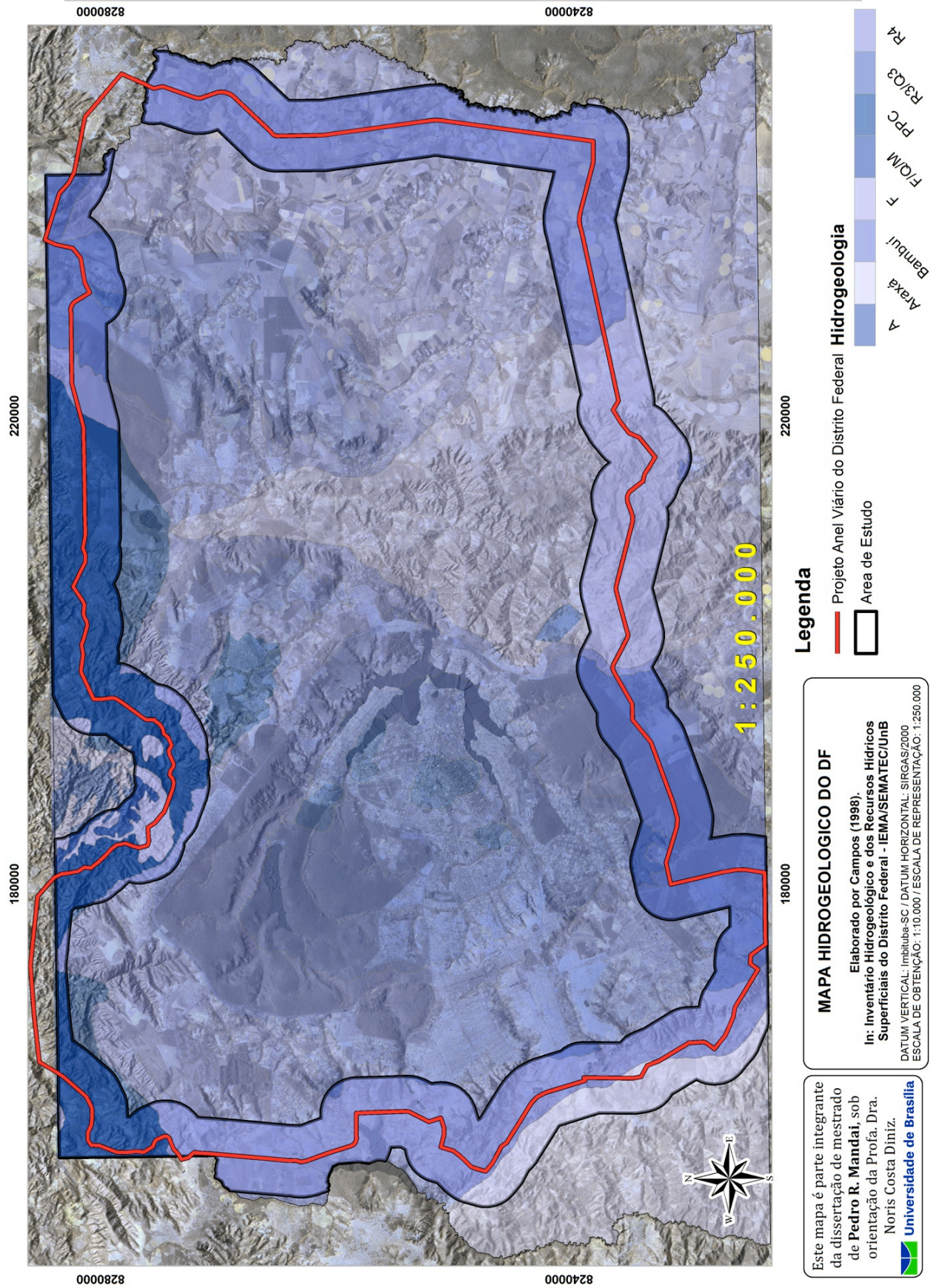
A água subterrânea, associada a este domínio aquífero, está armazenada ao longo de descontinuidades relacionadas a falhas, fraturas, juntas e diáclases, já que as rochas do Grupo Paranoá não apresentam porosidade primária residual. Os processos metamórficos foram responsáveis pela recristalização de minerais e cimentação, os quais obliteraram totalmente a porosidade original.

Este domínio é representado por sistemas de aquíferos livres ou confinados, de restrita extensão lateral, com forte anisotropia e heterogeneidade, sendo responsável pelo armazenamento e circulação das águas subterrâneas profundas. Os parâmetros hidráulicos são proporcionais à densidade das anisotropias nas rochas subjacentes (quanto maior a densidade de fraturas maior os valores de K e S).

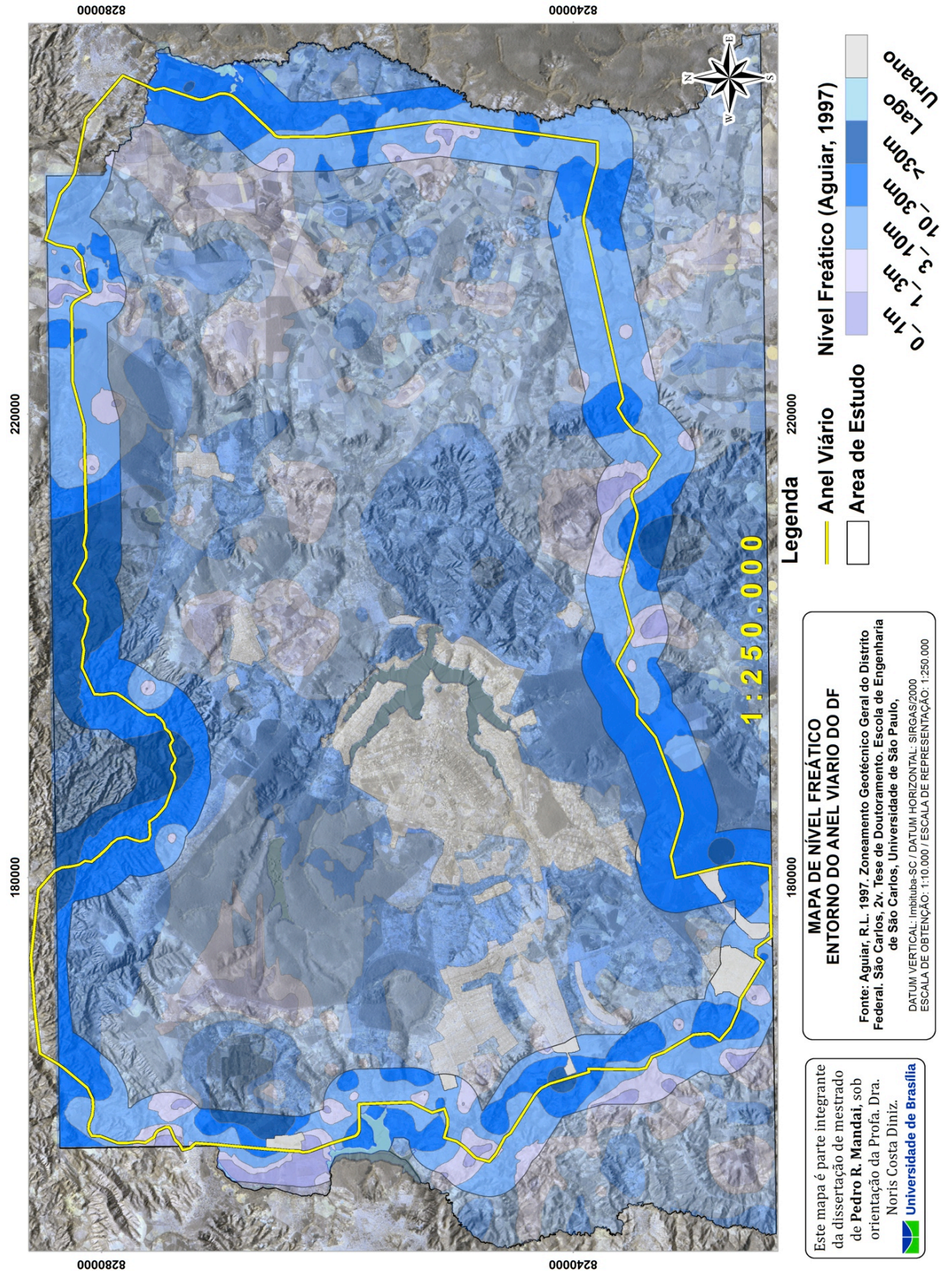
Os aquíferos fraturados são geralmente aproveitados através de poços tubulares profundos (no Distrito Federal com profundidades entre 100 a 200 metros). A recarga se faz através da percolação descendente de águas de precipitação pluviométrica, sendo, na região, favorecida pela atitude verticalizada das fraturas de rochas psamíticas. Outros fatores também são importantes no controle da recarga, tais como: o relevo, o tipo de cobertura vegetal, espessura das coberturas de solos, condições de uso do solo e porcentagem de áreas urbanizadas.

Tabela 9 - Resumo da classificação dos Domínios, Sistemas/Subsistemas aquíferos do Distrito Federal com respectivas vazões médias (Campos & Freitas-Silva 1998).

AQUÍFEROS DO DOMÍNIO POROSO			
AQUÍFERO (Sistema/Subsistema)		MÉDIAS DAS VAZÕES (l/h)	
SISTEMAS P ₁ , P ₂ , P ₃ e P ₄		< 800	
AQUÍFEROS DO DOMÍNIO FRATURADO			
AQUÍFERO (Sistema/Subsistema)	MÉDIAS DAS VAZÕES (l/h)	AQUÍFERO (Sistema/Subsistema)	MÉDIAS DAS VAZÕES (l/h)
SISTEMA PARANOÁ		SISTEMA CANASTRA	
Subsistema S/A	12.500	Subsistema F	7.500
Subsistema A	4.000	Subsistema F/Q/M	33.000
Subsistema Q ₃ /R ₃	12.000	SISTEMA BAMBUÍ	5.500
Subsistema R ₄	6.000	SISTEMA ARAXÁ	3.000
Subsistema PPC	9.000		



Mapa 8 - Mapa Hidrogeológico do DF (Modificado de Campos & Freitas-Silva, 1998), com destaque para área em estudo



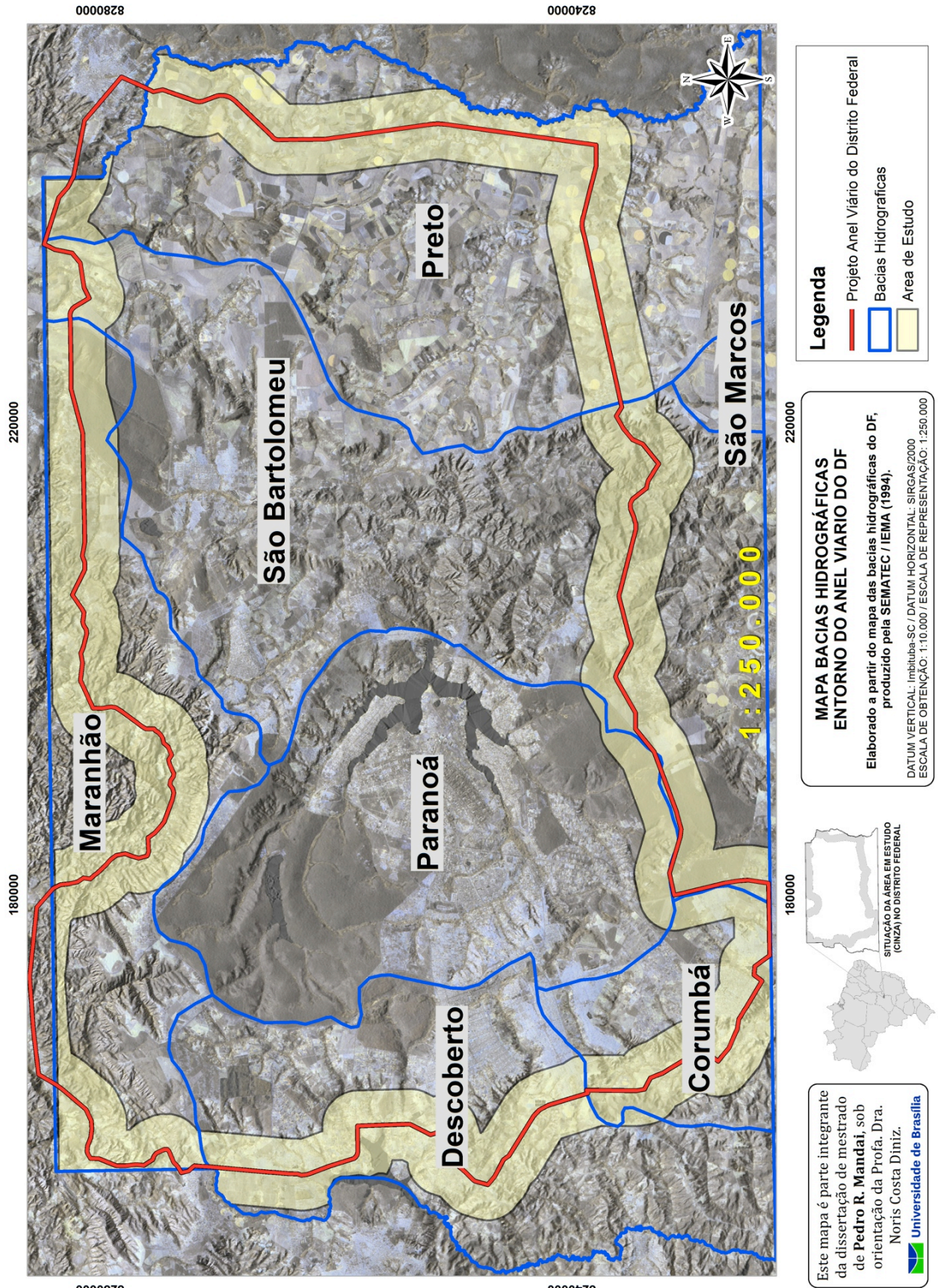
Mapa 9 - Mapa do Nível Freático do DF (Modificado de Aguiar, 1997), com destaque para área de estudo.

3.2.5. Hidrografia

A região do Distrito Federal é drenada por cursos d'água, pertencentes a três das mais importantes Bacias Hidrográficas Brasileiras: São Francisco (rio Preto) com 22,8% do DF, Tocantins/Araguaia (rio Maranhão) com 13,25% do DF e Paraná (rios São Bartolomeu, Descoberto, Paranoá, Corumbá, São Marcos) com 63% do DF (Tabela 10). De acordo com o mapa hidrográfico do DF (Mapa 10) todos os seus rios são de planalto, sendo as principais bacias identificadas por um padrão de drenagem radial. Pela disposição da drenagem, observa-se que dois de seus cursos d'água são delimitadores do território do Distrito Federal: a leste, o rio Preto; e a oeste, o rio Descoberto.

Tabela 10 - Área ocupada bacias no DF e na área do AV-DF.

BACIAS	ÁREA (km ²)	ÁREA OCUPADA NO DF (%)	ÁREA OCUPADA NO AV-DF (%)
São Bartolomeu	1579,2	27,22	18,87
Preto	1325,26	22,84	24,69
Descoberto	791,43	13,64	15,63
Maranhão	768,46	13,25	27,79
Lago Paranoá	1004,72	17,32	3,49
Corumbá	280,46	4,83	9,54
São Marcos	52,24	0,90	NÃO SE APLICA



Mapa 10 - Mapa de bacias hidrográficas do DF (Modificado de SEMATEC/IEMA, 1994)

3.2.6.Clima

Faz-se necessária a exposição desse tema para o entendimento do fator intempérico, mas também como possibilidade de uso deste critério para avaliar a aptidão à ocupação humana quanto a suscetibilidade de inundação e erosão, e também, como apontou Belcher (1954) em seu relatório, ao descrever o clima em sinergia com o aspecto físico do sítio Castanho, escolhido para assentar a cidade:

“O sítio Castanho é um sítio convexo, é aberto a todas as influencias dos ventos predominantes e, durante os períodos de calma, tem uma forma topográfica ideal para promover a drenagem do ar através dos sítios da cidade.”

A região do DF é caracterizada pela predominância do clima “tropical de savana”, de acordo com a classificação feita por Köppen. Esse clima caracteriza-se por uma variação de temperatura durante o ano que pode resultar em temperaturas médias anuais de 18° a 22°C. Devido à ampla altitude, o clima do Distrito Federal possui semelhanças com o temperado e pode ser classificado como tropical (altitudes abaixo de 1000 m), tropical de altitude I (altitudes entre 1000 e 1200 m) e tropical de altitude II (altitudes superiores a 1200 m). (CODEPLAN, 1984)

O Mapa 11 apresenta a isoietas de precipitação no DF. De uma forma geral, o Distrito Federal apresenta uma estação seca e uma chuvosa. O período das chuvas tem início em outubro e término em abril, sendo caracterizado por céu encoberto temperaturas altas e a maior porcentagem de precipitação do ano. A estação seca inicia-se em maio e termina em setembro, sendo caracterizada pela ausência de nuvens, umidade baixa e menor porcentagem de precipitação do ano (Figura 13).

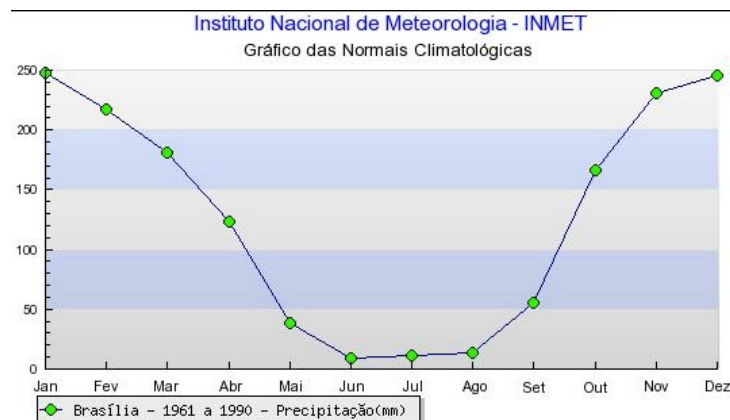
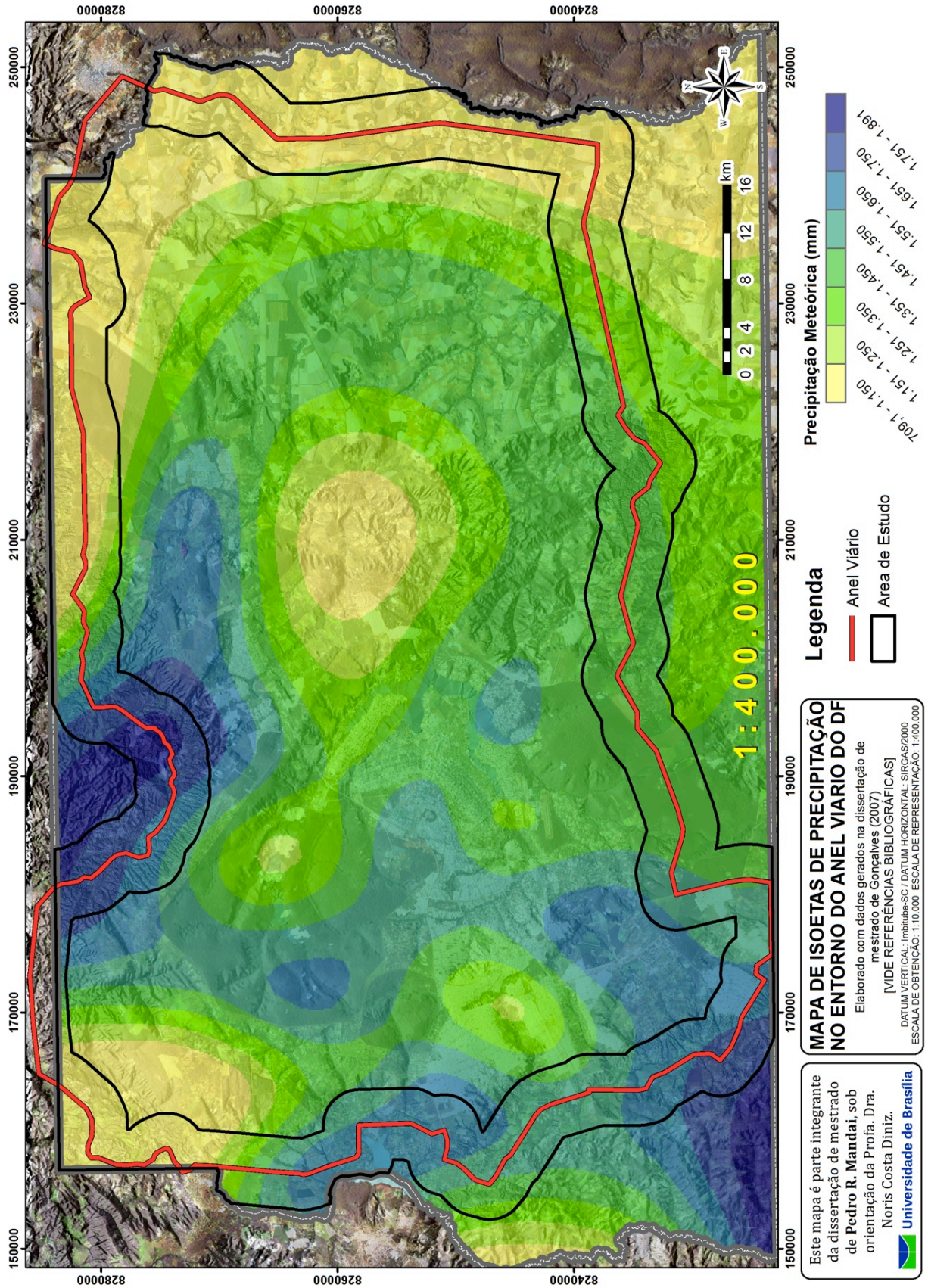


Figura 13 - Precipitação anual (mm) da série histórica entre 1961 e 1990. (INMET, 2011)



Mapa 11 - Mapa de Isoietas de Precipitação no Distrito Federal (Gonçalves, 2007)

3.3. MEIO SÓCIO-AMBIENTAL

Os assuntos a seguir apresentados estão circunstanciados nessa pesquisa como elementos restritivos ao desenvolvimento urbano, que deve seguir os parâmetros determinados pelas legislações e normas existentes.

3.3.1.Ocupação Territorial

O projeto do arquiteto e urbanista Lúcio Costa trata do planejamento do Plano Piloto de Brasília, mas não do território do Distrito Federal. O primeiro projeto do território foi elaborado em 1963 e denominado “Plano Estrutural de Organização Territorial”, em que foram consideradas basicamente questões hídricas, ambiental e de transporte. (CODEPLAN, 1977)

Os instrumentos de planejamento territorial existentes no Distrito Federal contemplam aspectos urbanísticos e econômicos, no entanto, com abordagem incipiente dos aspectos físico-ambientais, com base nas consultas aos seguintes estudos: Plano Estrutural de Ordenamento Territorial – PEOT (1977); Plano de Ocupação Territorial do Distrito Federal – POT (1985); Brasília Revisitada 85-87 (1987); Plano de Ocupação e Uso do Solo – POUZO (1990); Plano Diretor de Ordenamento Territorial – PDOT/92; Plano Diretor de Ordenamento Territorial – PDOT/1997; e o Plano Diretor de Ordenamento Territorial -PDOT/2009. O PDOT 2009 demonstra alguma preocupação com a questão ambiental, porém de maneira superficial e sem embasamento técnico-científico sobre o assunto.

3.3.1.1.Aspectos da Política Urbana

Os aspectos legais que tratam do desenvolvimento urbano foram considerados no momento de se estabelecer os critérios para adequabilidade à ocupação urbana, sob a ótica do conhecimento físico, no entorno do Anel Viário do Distrito Federal.

3.3.1.1.1.Lei de Parcelamento de Solos

O parcelamento do solo para fins urbanos é regido pela Lei Federal n.º 6766/79, também conhecida como Lei Lehmann. O parágrafo único do artigo 3.º trás restrições de cunho geológico-geotécnico a ocupação urbana, com destaque para os itens I, II e IV, conforme transcrito abaixo:

**Não será permitido o parcelamento do solo:
I - em terrenos alagadiços e sujeitos a inundações, antes de
tomadas as providências para assegurar o escoamento das
águas;**

...

**III - em terrenos com declividade igual ou superior a 30%
(trinta por cento), salvo se atendidas exigências específicas das
autoridades competentes;**

**IV - em terrenos onde as condições geológicas não aconselham a
edificação;**

3.3.1.1.2. Política de Desenvolvimento Urbano

A política de desenvolvimento urbano foi estabelecida no artigo 182 da Constituição Federal de 1988 e determina que o poder público municipal é responsável pela sua execução, de modo a ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e garantir o bem-estar de seus habitantes.

3.3.1.1.3. Estatuto das Cidades

A regulamentação da política de desenvolvimento urbano, artigos 182 e 183 da Constituição Federal de 1988, foi dada pelo Estatuto das Cidades (BRASIL, Lei n.º 10.257/2001). O Estatuto das Cidades estabelece ainda a necessidade de elaboração o Plano Diretor, que é um dos instrumentos básicos do planejamento municipal. Dele partem as definições dos objetivos para a ocupação do município e a escolha das estratégias que possibilitarão a implementação destes objetivos. (BRASIL, Lei n.º 10.257/2001).

A primeira etapa para a elaboração de um Plano Diretor é a realização de um diagnóstico da situação atual, envolvendo a caracterização dos aspectos dos meios físico, biótico e antrópico que compõem o quadro local e regional. No artigo 40, parágrafo 2.º, determina que o Plano Diretor deve abranger a totalidade do território do município – áreas urbanas e rurais.

3.3.1.2. Aspectos na Política Ambiental

Considerou-se nessa pesquisa, os aspectos ambientais descritos por instrumentos legais, que qualificam determinadas áreas pela sua relevância

ambiental, e conseqüentemente serão avaliadas quanto à adequabilidade ao desenvolvimento urbano no em torno do AV-DF.

3.3.1.2.1. Unidades de Conservação

O Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza - SNUC é constituído pelo conjunto das unidades de conservação federais, estaduais, distritais e municipais, de acordo com o disposto na lei. A Lei 9.985 de 18 de Julho de 2000 institui o SNUC, no qual define Unidade de Conservação, como:

Art 2º, Inciso I - espaço territorial e seus recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais, com características naturais relevantes, legalmente instituído pelo Poder Público, com objetivos de conservação e limites definidos, sob regime especial de administração, ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção

Essas áreas protegidas são enquadradas em categorias e grupos, conforme descritos a seguir:

- Unidades de Proteção Integral: com o objetivo básico de preservar a natureza, sendo admitido apenas o uso indireto dos seus recursos naturais. Compõem este grupo as unidades pertencentes às seguintes categorias: Estação Ecológica, Reserva Biológica, Parque Nacional, Monumento Natural e Refúgio de Vida Silvestre.
- Unidades de Uso Sustentável: com o objetivo básico de compatibilizar a conservação da natureza com o uso sustentável de parcela dos seus recursos naturais. Compõem este grupo as unidades pertencentes às seguintes categorias: Área de Proteção Ambiental, Área de Relevante Interesse Ecológico, Floresta Nacional, Reserva Extrativista, Reserva de Fauna, Reserva de Desenvolvimento Sustentável e Reserva Particular do Patrimônio Natural.

O DF tem aproximadamente 80% do seu território inserido em áreas ambientalmente protegidas de uso sustentável. As unidades de conservação implantadas no Distrito Federal têm justificativa principal à proteção aos recursos hídricos, o que serve também para a contenção da urbanização.

A área em estudo está inteiramente incluída em Áreas de Proteção Ambiental: APA do Planalto Central, APA do São Bartolomeu, APA do Descoberto e APA Gama-

Cabeça de Veado (Mapa 12), e outros espaços territoriais de interesse ambiental (Tabela 11). As Áreas de Proteção Ambiental são definidas por Lei⁵, como “unidades de conservação, destinadas a proteger e conservar a qualidade ambiental e os sistemas naturais, com vistas à proteção dos ecossistemas regionais e melhoria da qualidade de vida da população local”, e sendo permitida a ocupação com características urbanas e rurais em seu interior. No seu artigo 9.º, fica estabelecidas normas, com limitações e proibições ao uso:

Art . 9º - Em cada Área de Proteção Ambiental, dentro dos princípios constitucionais que regem o exercício do direito de propriedade, o Poder Executivo estabelecerá normas, limitando ou proibindo:

a) a implantação e o funcionamento de indústrias potencialmente poluidoras, capazes de afetar mananciais de água;

b) a realização de obras de terraplenagem e a abertura de canais, quando essas iniciativas importarem em sensível alteração das condições ecológicas locais;

c) o exercício de atividades capazes de provocar uma acelerada erosão das terras e/ou um acentuado assoreamento das coleções hídricas;

d) o exercício de atividades que ameacem extinguir na área protegida as espécies raras da biota regional

⁵ Lei N.º 6.902, de 27 de abril de 1981., dispõe sobre a criação de APAs

Tabela 11 – Espaços territoriais protegidos interferentes com a área de estudo

UNIDADE DE CONSERVAÇÃO	NOME	INSERÇÃO NO AV-DF
Área de Proteção de Manancial		
	APM Alagado	Parcial
	APM Barroão	Parcial
	APM Bartolomeu (jusante)	Parcial
	APM Cabeça de Veado	Parcial
	APM Descoberto	Parcial
	APM Mestre D´Armas	Parcial
	APM Pípiripau	Parcial
	APM Ribeirão do Gama	Parcial
Área de Relevante Interesse Ambiental		
	ARIE Capetinga-Taquara	Total
	ARIE JK	Parcial
Parques		
	Parque Corujas	Total
	Parque Ecológico Córrego do Onça	Total
	Parque Ecológico e Vivencial do Rio Descoberto	Parcial
	Parque Ecológico e Vivencial Ponte Alta do Gama	Total
	Parque Ecológico Luiz Cruls	Parcial
	Parque Ecológico Tororó	Total
	Parque Ecológico Veredinha	Total
	Parque Gatumé	Total
	Parque Lagoinha	Parcial
	Parque Nacional de Brasília	Parcial
	Parque Recreativo de Santa Maria	Total
	Parque Recreativo do Gama	Total
	Parque Urbano e Vivencial do Gama	Parcial
Reservas		
	Reserva Biológica da Contagem	Parcial
	Reserva Ecológica e Parque Recreativo do Gama	Parcial
	Reserva IBGE	Parcial
Estação Ecológica		
	Estação Ecológica do Jardim Botânico	Parcial
	Estação Ecológica Águas Emendadas	Parcial



Mapa 12- Inserção da área de estudo em Áreas de Proteção Ambiental.

4. METODOLOGIA

A abordagem metodológica é instruída preliminarmente no Capítulo 2, com a fundamentação teórica dos temas, uma vez que a teoria e o método estão estreitamente relacionados, sendo o “tratamento metodológico em uma pesquisa é subproduto direto da teoria” (Ross, 2008). Todavia, buscou-se permear a metodologia juntamente com os procedimentos técnico-operacionais e materiais utilizados, para se cumprir o objetivo do trabalho.

A metodologia adotada para a avaliação da aptidão ao desenvolvimento urbano dos terrenos adjacentes ao Anel Viário no Distrito Federal se baseou em diversas metodologias nacionais e internacionais consagradas em cartografia geotécnica.

As abordagens metodológicas de Souza (1992) e Diniz (1998) permitiram o planejamento dos trabalhos, quanto à finalidade, usuário, escala, critérios de classificação de terreno, critérios de avaliação de aptidão à urbanização e automação da cartografia geotécnica por meio da aplicação SIG.

A proposta metodológica de Zuquette (1987), elaborado no âmbito da Escola de Engenharia em São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC/USP), foi utilizada na definição de algumas das classes de documentos e das etapas da pesquisa em cartografia geotécnica: levantamento e análise de dados secundários (inventário), reconhecimento dos atributos (análise/diagnóstico) e identificação das unidades homogêneas (síntese/prognóstico).

A metodologia do IPT contribuiu com a objetividade na busca de respostas ao problema levantado nesta pesquisa. Desde o início, antes mesmo do levantamento de dados e produção cartográfica, questionou-se os problemas a serem solucionados e a necessidade do usuário da informação, ou seja, o planejador urbano. Nessa linha, foram definidas poucas classes de avaliação, de modo a atender a demanda do planejador urbano por produtos cartográficos claros, concisos e objetivos na resposta quanto à aptidão à urbanização.

A sistemática PUCE demarca duas fases metodológicas: primeiramente, a classificação do terreno, com a compartimentação da província (requisitos

geológicos), padrão (requisitos geomorfológicos), unidade (requisitos morfométricos) e componente (solos e vertentes); e em seguida, realiza-se a avaliação do terreno para fins de implantação de obras de engenharia e planejamento do uso do solo.

Conceitualmente, o trabalho procurou seguir o fluxo metodológico proposto por Diniz (1998), que compreende as demais metodologias, expresso no fluxograma da figura 14. Houveram adaptações de caráter tecnológico para se adequar as ferramentas e base de dados disponíveis para este trabalho.

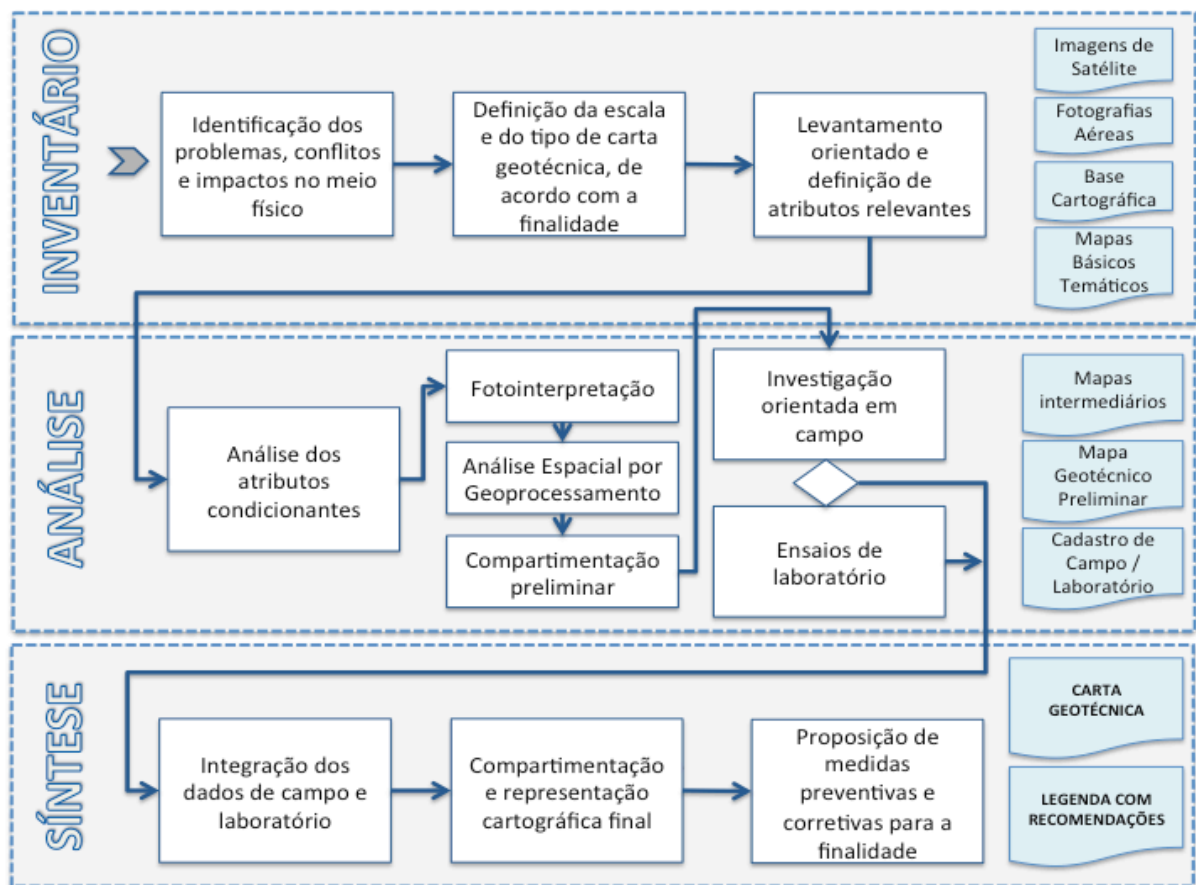


Figura 14 - Etapas metodológicas para Cartografia Geotécnica. Adaptado de Diniz (1998)

4.1. Etapas de Trabalho

4.1.1. Inventário de dados

Nessa etapa compreendem: (I) revisão bibliográfica, (II) levantamento de bases cartográficas e mapas temáticos sobre o meio físico do Distrito Federal junto à

instituições governamentais e de pesquisa e (III) coleta de informações em campo. Detalhadamente, as tarefas dessa etapa podem ser assim descritas:

- I. Pesquisa sobre os conceitos, técnicas e metodologias aplicadas neste estudo;
- II. Levantamento de informações pré-existentes:
 - Base cartográfica atualizada do DF (TERRACAP 2009), com dados vetoriais planialtimétricos na escala 1:10.000, referenciados pelo sistema geodésico SIRGAS 2000, para geração de modelos digitais de terreno - MDT;
 - Bases temáticas do meio físico, na escala 1:100.000, referenciados pelo sistema geodésico SIRGAS 2000, utilizadas para o qualificação do atributos do Meio Físico: Mapa Geológico do DF (ZEE-DF, 2012); Mapa da Geomorfologia (ZEE-DF, 2012); Mapa de Solos do DF (ZEE-DF, 2012); Mapa de Espessura de Solo (Aguiar, 1997); Mapa de Textura de Solos (Aguiar, 1997); Cadastro de Erosões do DF (Martins, 2005).
- III. Trabalho em campo: reconhecimento em campo dos padrões e feições típicas do relevo da área em estudo, ilustradas por fotos.

4.1.2. Análise dos dados

Essa etapa corresponde à seleção e reconhecimento dos atributos com base nas informações disponíveis em formato geoespacial (raster/vetorial). De acordo com Zuquette (1987), a análise do terreno pode ser realizada através de definição de classes naturais do terreno usando critérios baseados no reconhecimento das variações nas propriedades dos atributos do terreno:

a. Condições geomorfológicas: declividade, formas e dimensões das encostas/landforms / geoformas, amplitude de relevo.

b. Material inconsolidado: origem, profundidade, variação com a profundidade, resistência mecânica, textura, características físicas e químicas, mineralogia, condutividade hidráulica, erodibilidade, umidade, presença de matações, camadas compressíveis ou endurecidas, compacidade, expansibilidade.

c. Substrato rochoso: tipo rochoso, profundidade, grau de fraturamento, atitude, litologia, resistência, alterabilidade.

d. Condições hidrogeológicas: profundidade do nível d'água, áreas de recarga, descarga e acúmulo de águas, infiltração, escoamento superficial, movimento da água subterrânea, fontes naturais, poços rasos e profundos.

e. Processos geodinâmicos: movimentos de massa, subsidências, deposição, erosão, subsidências, alterações naturais nos canais de drenagem, sismicidade.

f. Feições do tecnógeno: áreas de aterros e entulhos, depósitos relacionados à exploração mineral, antigos depósitos de rejeitos e resíduos, áreas degradadas, processos geodinâmicos induzidos, obras que interferem no fluxo das águas.

g. Climáticos: pluviosidade, temperatura, vento (direção e intensidade), insolação e evapotranspiração.

h. Biológicos: valor econômico ou preservacionista, áreas de proteção ambiental, avaliação e dinâmica dos ecossistemas.

i. Antrópicos: uso do solo, valor das terras, tendência de crescimento, sistema viário, população.

A integração de dados geomorfométricos por lógica *fuzzy* originou as unidades de terreno utilizadas como classe para análise de suscetibilidade a processos do meio físico e aptidão à urbanização, na escala 1:10.000. Os critérios utilizados para qualificar as unidades de terreno se basearam em informações pré-existentes dos mapas temáticos, na escala 1:100.000, especificados na tabela 12.

Tabela 12 - Atributos para qualificação das Unidades de Terreno

CONDICIONANTES	ATRIBUTOS	Fonte
GEOLOGIA	Litologia	ZEE-DF, 2012
SOLOS	Espessura	Aguiar, 1997
	Textura	Aguiar, 1997
GEOMORFOLOGIA	Hipsometria	Dado primário
	Declividade	Dado primário
	Amplitude de relevo	Dado primário
HIDROGEOLOGIA	Nível Freático	Aguiar, 1997
	Domínios Hidrogeológicos	Gonçalves, 2007



4.1.3. Síntese dos dados

A partir das informações inventariadas é possível realizar o **diagnóstico geotécnico** para diversas finalidades como: adequabilidade para obras, exploração de recursos naturais, suscetibilidade de ocorrências de eventos perigosos e vulnerabilidades. Nessa etapa envolveu basicamente o geoprocessamento como ferramenta para integrar e analisar as informações produzidas obtidas na etapa anterior. Para tanto, o tratamento das informações foi feito por meio do Software *ArcGis*® (versão 10) fabricado pela *ESRI*™.

A base cartográfica planialtimétrica na escala de 1:10.000 constituída de curvas de nível com equidistância de 5 metros, pontos cotados e hidrografia foi utilizada para geração de modelo digital de terreno (MDT), que derivou em outros mapas como hipsométrico, declividade e amplitude de relevo. Conforme considera Meijerink (1998), os dados topográficos têm sido aplicados à caracterização de unidades da paisagem com base em variáveis morfológicas, estreitamente ligadas a feições geométricas da superfície sob análise.

Como apoio na produção cartográfica, utilizou-se imagens de satélite de alta resolução (*Quick Bird*) e ortofotos aéreas (ano de aquisição 2009), ambas imagens com resolução espacial de 1 metro, para obter referência visual da área em questão e confirmar alguns cruzamentos de informações da documentação cartográfica.

Corresponde às etapas de integração dos dados para obter o mapa de síntese, com procedimentos de análise espacial e álgebra de mapas, fundamentais para a confecção de um mapa geológico, conforme aponta Varnes (1974) segundo Zuquette & Nakazawa, "um mapa geotécnico requer, para sua realização, operações físicas de adição, seleção, generalização e transformações de informações especializadas, relativas à litologia, a estruturas dos solos e rochas, hidrogeologia, geomorfologia e processos geológicos" (Varnes, 1974).

O documento cartográfico final, representado pela Carta de Unidades Geotécnica, tem por finalidade "orientar, principalmente o planejador, em relação às diversas formas de ocupação do meio físico" (Zuquette, 1987). Essa fase da metodologia diz respeito a representação cartográfica com finalidades gerais baseadas nos atributos naturais do meio físico.



Salienta-se que há distinção de escala cartográfica, ou seja, nível de detalhamento da informação entre as unidades de terreno (UT) compartmentadas em 1:10.000, e os planos de informação utilizadas nas consultas para avaliação com base nos atributos obtidos na escala 1:100.000. Antecipadamente, já se prevê a possibilidade de discordância do nível de detalhe entre as unidades de terreno e os atributos temáticos, em função dessa diferença de escala.

Em linhas gerais, a operacionalização do trabalho em geoprocessamento consistiu em dois momentos principais: a delimitação das unidades de terreno por geomorfometria, e posterior, a avaliação utilizando como atributos o conhecimento do meio físico. A figura 15 mostra o fluxograma de trabalho realizado nessa pesquisa.

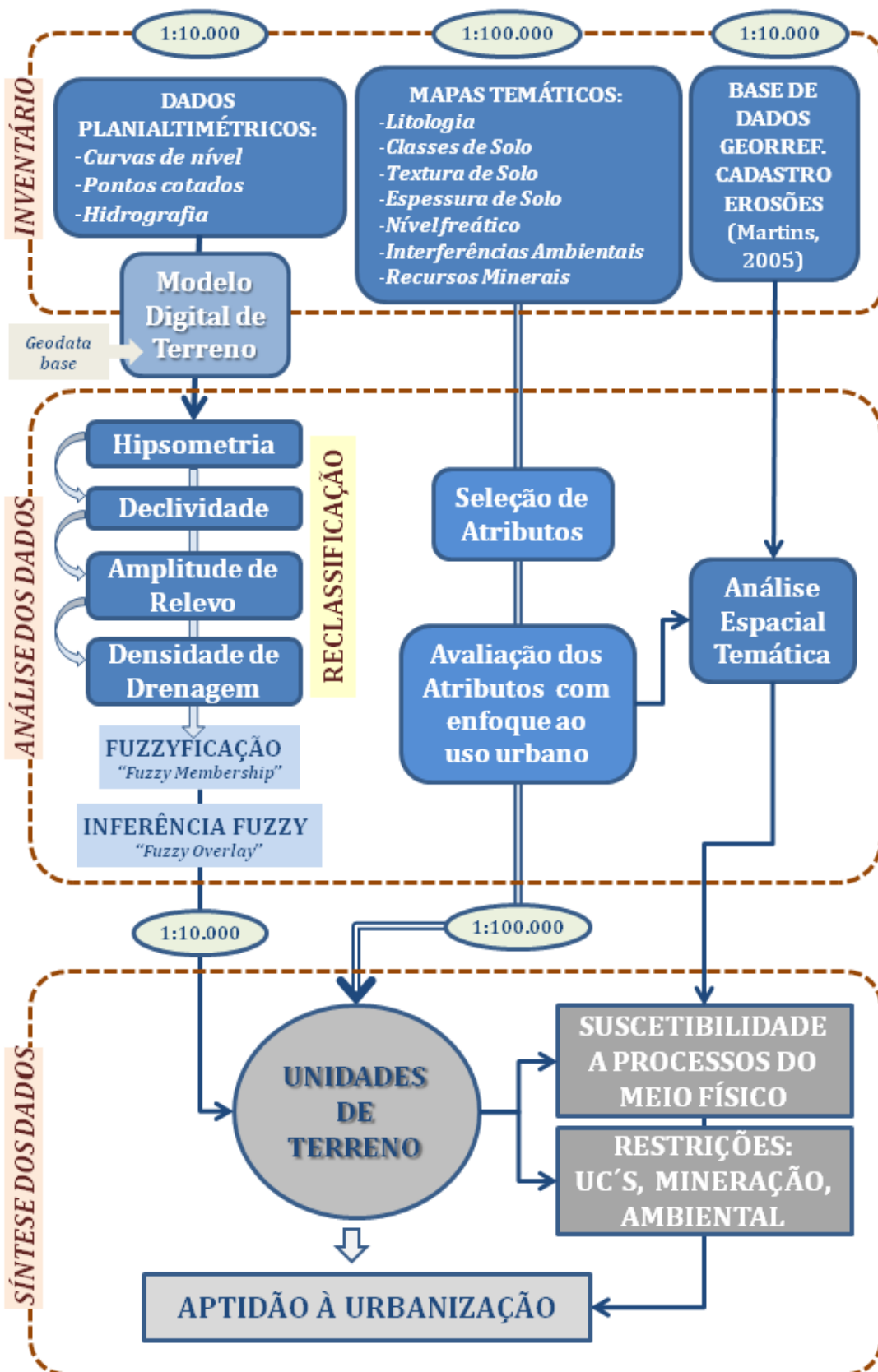


Figura 15 - Fluxograma geral da metodologia aplicada para aptidão à urbanização.

5. **Artigo: “MODELAGEM FUZZY DE DADOS GEOMORFOMÉTRICOS DOS TERRENOS ADJACENTES AO ANEL VIÁRIO DO DISTRITO FEDERAL: UMA ABORDAGEM TERRITORIAL”**

Pedro Rafael MANDAI¹ & Noris Costa DINIZ²

(1)TERRACAP- Agência de Desenvolvimento do Distrito Federal. SAM Bloco "F"
Edifício Sede - CEP 70.620.000 - Brasília DF. Endereço eletrônico:

pedro.mandai@terracap.df.gov.br

(2)Instituto de Geociências, Universidade de Brasília Campus Universitário
Darcy Ribeiro ICC - Ala Central - CEP 70.910-900 - Brasília DF. Endereço eletrônico: noris@unb.br

INTRODUÇÃO

ASPECTOS CONCEITUAIS

Landforms

Geomorfometria

Avaliação de Terrenos

Lógica Fuzzy

OBJETIVOS

ÁREA DE ESTUDO

Aspectos do Meio Físico

MÉTODOS, MATERIAIS E TÉCNICAS

ASPECTOS METODOLÓGICOS

MATERIAIS

Base de Dados Planialtimétricos

Ambiente de Integração dos Dados Geoespaciais

TÉCNICAS

Modelo Digital de Terreno

MODELAGEM FUZZY DOS DADOS GEOMORFOMÉTRICOS

Dados Geomorfométricos

Inferência Fuzzy

Operadores Fuzzy

ANÁLISES E RESULTADOS

CONSIDERAÇÕES FINAIS

AGRADECIMENTOS

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Artigo submetido para *Revista Geociências*, editada e publicada pelo Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista (UNESP)/Campus de Rio Claro.

Classificação Qualis CAPES B2.

RESUMO - Feições da superfície terrestre podem ser extraídas automaticamente com uso de dados geomorfométricos tal como hipsometria, declividade, amplitude do relevo e densidade de drenagem de bacia hidrográfica, a partir de MDT. O desafio proposto é representar as unidades de terreno geológico-geotécnicas da área no entorno do Anel Viário no Distrito Federal, com aplicação de uma metodologia adequada e uso de ferramentas e técnicas *fuzzy* que possibilitem uma visão integrada de diversos aspectos envolvidos, auxiliando na avaliação dos terrenos quanto à aptidão à urbanização.

Palavras-chave: Geomorfometria, *Fuzzy*, Anel Viário do DF, Cartografia Geotécnica, Ordenamento Territorial

ABSTRACT - Surface features can be extracted automatically using data geomorphometric as hypsometry, slope, amplitude of relief and drainage density watershed, from MDT. The challenge is to represent the field units of the geological and geotechnical area around the beltway in Distrito Federal, with application of an appropriate methodology and use of tools and fuzzy techniques that enable an integrated view of various aspects involved, assisting in the valuation of land as to the ability to urbanization.

Keywords: Geomorfometry, *Fuzzy*, Beltway, Engineering Geology, Land Planning

INTRODUÇÃO

O processo de ocupação territorial no Distrito Federal foi induzido, inicialmente, pelos fatores fisiográficos descritos por Belcher (1954), quando foram definidas as áreas propícias para a ocupação humana com a construção da nova capital. Com o território de 5.802 Km², sendo que aproximadamente 15% ocupado por assentamentos urbanos, o Distrito Federal ainda carece de novos estudos para subsidiar o desenvolvimento urbano, com responsabilidade e respaldo técnico-científico.

Diante do cenário de desenvolvimento econômico e crescimento populacional, novas áreas devem ser identificadas e avaliadas sob a ótica de

ocupação do meio físico, com uso de técnicas e metodologias ágeis que sejam fundamentadas em critérios e parâmetros fisiográficos, conjugados à condicionantes de processos do meio físico.

Para isso, o passo primordial é estabelecer compartimentos geológico-geotécnicos que possuam qualidades intrínsecas para ocupação humana, de modo a subsidiar o planejamento urbano. Esses espaços podem ser definidos a partir de critérios físicos da paisagem, representados por dados geomorfométricos. A geomorfometria se aplica a descrever divisões da superfície terrestre definidas exclusivamente pelos critérios de homogeneidade no que diz respeito a um dado parâmetro da superfície terrestre ou uma combinação de vários parâmetros (Drăgut & Eisank, 2011).

No presente trabalho, o principal desafio apresentado é identificar a série de locais na paisagem adjacente ao Anel Viário do DF, sobre a qual cada classe de terreno é definida por parâmetros geomorfométricos a partir de critérios de interesse para ocupação urbana. A utilização de técnicas *Fuzzy* na classificação de terrenos com fundamentação geomorfométrica é a hipótese a ser testada, a partir do pressuposto da utilização da inferência *Fuzzy* na representação de incertezas como intervalos finitos, como no caso parâmetros geomorfométricos. Alguns estudos já mostraram a potencialidade de métodos automatizados de reconhecimento de formas de relevo (Diniz, 1998; Burrough *et al.* 2000; Lollo, 2000; Vedovello, 2000; Conrad, 2007; Fischer, 2005; Smith *et al.* 2010).

ASPECTOS CONCEITUAIS

Landforms

Landform é um tipo de objeto geomorfológico (Schimidt & Dikau, 1999; MacMillan & Shary, 2009; segundo Evans, 2012), que possui uma terceira dimensão, portanto são objetos volumétricos (Evans, 2012). As feições do relevo são identificadas com base na análise geomorfométrica, e posteriormente individualizadas em unidades de mapeamento. As compartimentações fisiográficas são definidas por unidades homogêneas denominadas de diversas formas, com pequenas distinções metodológicas entre elas, mas que possuem o mesmo sentido

conceitual.

Em estudos cartográficos da superfície terrestre, recursos de sensoriamento remoto e fotointerpretação por estereoscopia são comumente utilizados na análise sistemática para delimitação de formas do relevo, porém a identificação visual costuma ser subjetiva. Por meio dessas ferramentas é possível extrair objetos de interesse para a construção de mapas temáticos, assim como, produzir dados qualitativos e quantitativos relacionados a geomorfologia da área em questão.

Lollo (2000) argumenta que o tempo gasto em fotointerpretação tem sido um dos principais obstáculos à utilização da técnica de avaliação de terrenos, e uma forma de equacionar esse inconveniente é a utilização de técnicas digitais de reconhecimento das formas de relevo, tornando o reconhecimento mais ágil.

Uma breve inspeção visual em detalhe de uma representação de relevo sombreado revela uma riqueza de informações sobre a paisagem, que muitas vezes vai além do detalhe disponível em mapas geomorfológicos feitos manualmente (Figura 16). A interpretação visual de modelos de relevo sombreado requer o direcionamento da iluminação disponíveis em *softwares* de processamento digital de imagens, sendo necessário o uso de múltiplas direções para identificar e destacar de feições do tipo textura, estrutura, densidade e padrão de relevo.

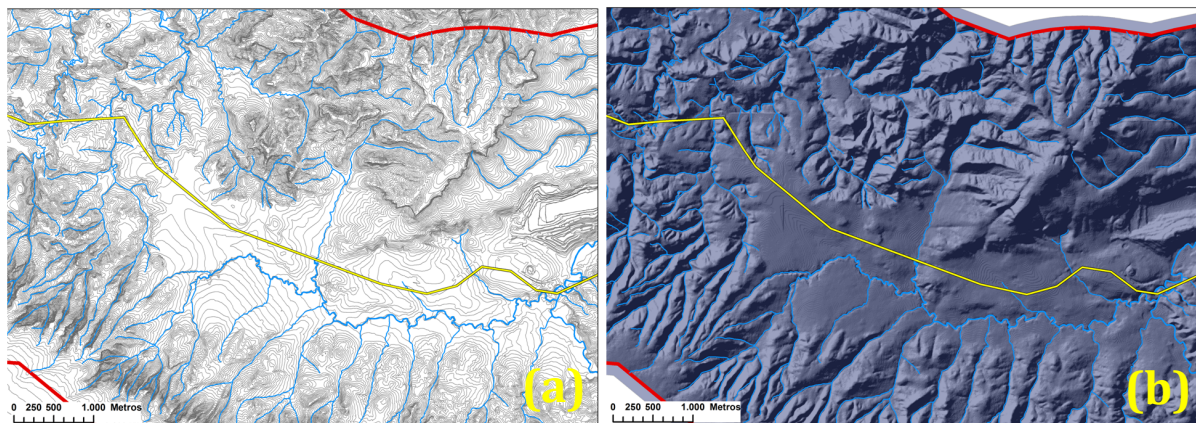


Figura 16 - (a) Curvas de nível na escala 1:10.000 em área do limite norte do DF, na escala de visualização 1:50.000. (b) Relevo sombreado demonstra a potencialidade de uso de produtos derivados de MDT para interpretação e análise das formas de relevo.

Geomorfometria

O uso de modelos digitais de terreno para descrição quantitativa e qualitativa da paisagem é o foco da geomorfometria (Pike et al. 2008). O nome

“geomorfometria” foi primeiramente usado por Von Humboldt em 1849 (Dikau *et al.*, 1995; segundo Seijmonsbergen *et al.* 2011), mas foram os primeiros modelos digitais de terreno nas décadas de 60 e 70 que motivaram pesquisadores a desenvolverem diversos métodos e aplicações (Seijmonsbergen *et al.* 2011). Pike *et al.* (2008) definem *Geomorfometria* como “quantificação topográfica onde o foco operacional é a extração de parâmetros da superfície terrestre e objetos a partir de modelos digitais de elevação (DEM)”. Com base nessa definição, a avaliação dos terrenos foi tratada.

Avaliação de Terrenos

As técnicas de avaliação de terreno fundamentam-se na morfometria das feições topográficas (Romão, 2006), que influencia diretamente, o escoamento superficial e subterrâneo de água e, por conseguinte, o potencial de erosão e a umidade do solo (Hutchinson, 1996). Portanto, ao buscar o entendimento da organização do relevo, sua constituição, formas de evolução e condições de equilíbrio, a geomorfologia descrita pelas feições topográficas permite “estabelecer fieis prognósticos sobre as potencialidades ofertadas ao uso urbano, bem como sobre as limitações impostas ao mesmo” (Saadi, 2004).

O sistema de terreno ou *landsystem* constitui a expressão física das condições de equilíbrio na superfície terrestre, ou seja, no substrato de todos os equipamentos implantados pelo homem. A inserção do conhecimento dos componentes do sistema geológico (rocha, solo e água) na cultura do planejamento territorial, busca estabelecer modos de ocupação e uso com maior equilíbrio com a geodinâmica da superfície terrestre.

A identificação das áreas aptas para urbanização está relacionada a parâmetros geomorfométricos, conforme fatores quantificados com relativa facilidade por recursos computacionais, que minimiza a subjetividade nas análises. Feições geomorfológicas podem ser mapeadas por parâmetros da superfície terrestre da mesma maneira que a cobertura da terra é mapeada por sensoriamento remoto multiespectral (Evans *et al.*, 2009). Segundo

Seijmonsbergen *et al.* (2011), feições geomorfológicas podem ser detectadas, isoladas, mapeadas e caracterizadas usando uma variedade de técnicas automatizadas. As abordagens de análise automatizada incluem:

a. Reproduzir métodos de mapeamento de interpretação visual em um modo automatizado, com rotina estabelecida para classes de feições de relevo (Hillier and Watts, 2004; *segundo* Seijmonsbergen *et al.* 2011);

b. Propor estatística robusta e objetivos métricos para otimizar o isolamento de feições individuais (Wessel, 1998; *segundo* Seijmonsbergen *et al.* 2011);

c. Usar algoritmos que encontre na paisagem por classes de feições usando escala-invariante ou parâmetros multi-escala (Behn *et al.* 2004; *segundo* Seijmonsbergen *et al.* 2011);

d. Simultaneamente usar parâmetros múltiplos de superfície terrestre para categorizar áreas dentro da paisagem em classes com propriedades distintas que descreva tipos de feição;

Na produção cartográfica, mesmo com procedimentos operacionais precisos, a definição de limites e espaços permanecem como uma incerteza considerável. Diante da alta densidade de dados, tais como em modelos digitais de terreno (MDT), é compreensível que há níveis de complexidade na classificação das formas de relevo. Identificar feições contrastantes como montanha e vales é relativamente fácil. Todavia, atribuir qualidades para feições menos contrastantes deixa muito espaço para a incerteza e discordância. Para solucionar esse tipo de situação, Evans (2012) sugere a aplicabilidade de inferência *fuzzy*.

Lógica Fuzzy

A lógica *Fuzzy* é a ferramenta capaz de capturar informações vagas, em geral descritas em linguagem natural e convertê-las para um formato numérico, de fácil manipulação pelos computadores de hoje em dia (Zadeh & Jamshidi, 1997), promovendo o tratamento quantitativo de vários conjuntos de dados. É indicada sempre que se tiver que lidar com ambigüidade, abstração e ambivalência em modelos matemáticos ou conceituais de fenômenos empíricos (Burrough & McDonnell, 1998).



O Modelo *Fuzzy* em geoprocessamento, descrito por Burrough (1989) fornece uma plataforma ideal para capturar o conhecimento implícito local e quantificar sistematicamente esse conhecimento ao expressá-la em termos de regras baseados no conhecimento das regras *Fuzzy*. Diversos autores demonstram a superioridade do método *Fuzzy* em relação a outros métodos convencionais de inferência espacial. Bispo *et al.* (2011) mostra que o método *Fuzzy* apresenta uma maior flexibilidade na identificação de áreas e na geração de cenários, comparativamente aos métodos booleano e bayesiano.

No contexto cartográfico, a lógica *Fuzzy* pode ser usada como uma técnica de análise de sobreposição ou integração para resolver aplicações de sobreposição tradicionais, tais como análise de seleção do local e os modelos de aptidão. Esse método é muito adequado para uso em geologia de engenharia, e mais especificamente na cartografia geotécnica ou geoambiental onde os problemas são comumente definidos por termos linguísticos para tratamento de imprecisão.

OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é aplicar e avaliar a modelagem por inferência espacial *Fuzzy* para compartimentação de unidades de terrenos, para finalidade de cartografia geotécnica, fundamentadas em geomorfometria. Para tanto, se faz uso de base planialtimétrica atualizada, para produção de dados geomorfométricos numa escala em detalhe de 1:10.000.

ÁREA DE ESTUDO

A área em questão corresponde ao entorno do Projeto do Anel Viário do DF, com um distanciamento bilateral (*buffer*) de três quilômetros a partir do traçado do novo sistema viário, que integra vias já existentes e curtos trechos a serem construídos, proposto como Anel Viário do DF (Figura 17). Esta área possui 1.545 km² e ocupa aproximadamente 26% do território do Distrito Federal. O espaço territorial ocupado pelo Projeto do Anel Viário e arredores circunda o núcleo urbanizado onde concentra-se maior parte da população do Distrito Federal, e abrange áreas representativas da geodiversidade existente no Distrito Federal.

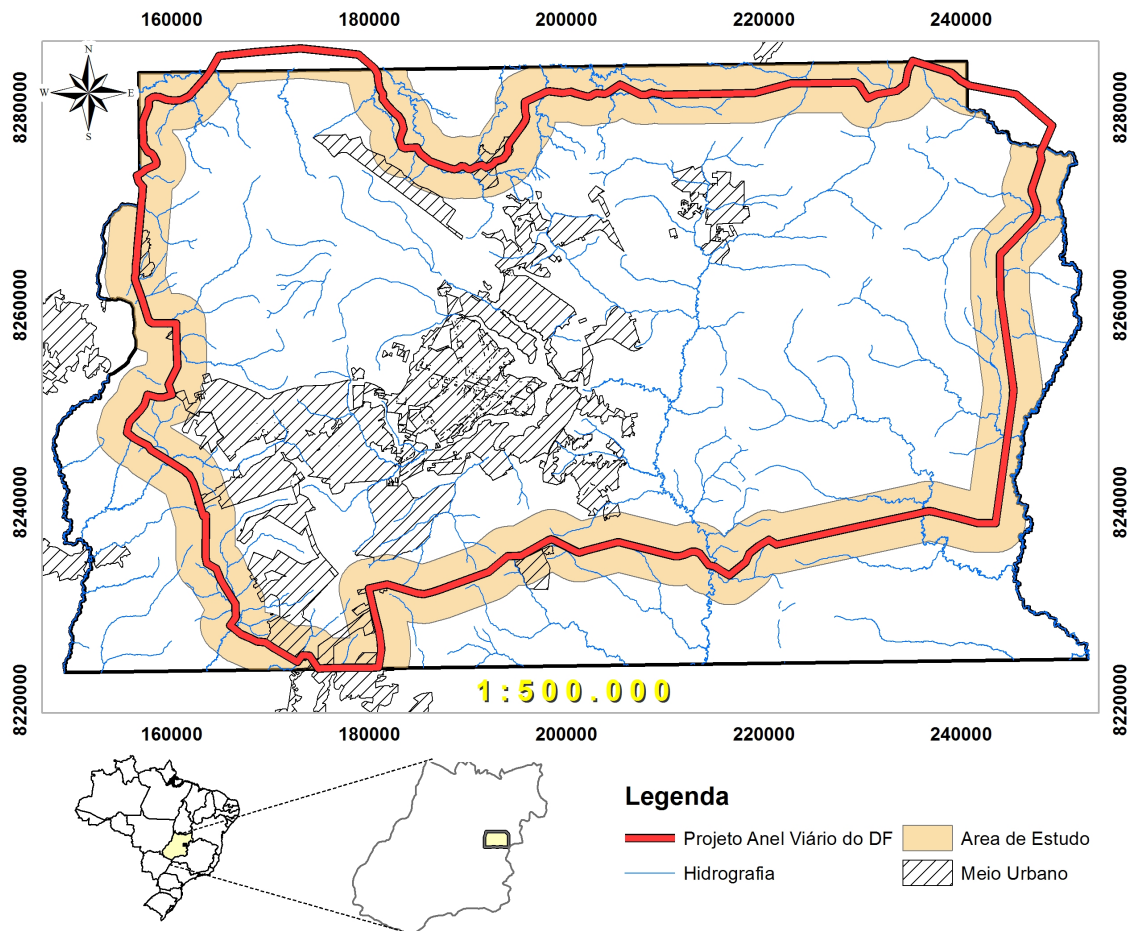


Figura 17 - Área de estudo: adjacências do Anel Viário do Distrito Federal

Aspectos do Meio Físico

A abrangência da área de estudo no espaço territorial compreende os quatro grupos geológicos já mapeados no Distrito Federal, associadas às diversas formas de relevo produzidas pela interação entre processos tectônicos, pedológicos e intempéricos.

O DF está inserido, geologicamente, no contexto da Faixa de Dobramento Brasília, na porção oriental da Província Estrutural do Tocantins (Almeida & Hasui 1984, Marini & Fuck 1981), estruturada com vergência para leste em direção ao Cráton São Francisco. A geologia do DF é representada por rochas metassedimentares do Grupo Paranoá, Canastra, Araxá e Bambuí. As rochas foram formadas em ambiente de deposição em margem continental passiva, por sedimentos terrígenos psamo-pelíticos e contribuição carbonática de idade

meso/neoproterozóica. Estratigraficamente estão invertidos pela ação tectônica de empurrões e cavalgamentos.

A compartimentação geomorfológica do território do DF inclui as Regiões de Chapadas, Regiões de Dissecção Intermediária, Regiões Dissecadas de Vales, Regiões de Rebordo e Regiões de Escarpas (Novaes Pinto, 1986ab, 1987 e 1994ab). Dentre os fatores responsáveis pela evolução morfodinâmica do Distrito Federal, destacam-se o clima, o tipo de vegetação, a evolução dos perfis de alteração, a estruturação neotectônica além de processos de incisão de vales nas amplas chapadas elevadas (Campos, 2004).

Campos (2004) atribui o controle da compartimentação e evolução geomorfológica ao substrato litológico. Todas as chapadas elevadas são controladas pela presença de tipos petrográficos atribuídos às unidades psamo-pelíticas do Grupo Paranoá. As Regiões de Dissecção Intermediárias são controladas por rochas pelíticas (e.x. Unidade das Ardósias e Grupo Bambuí). Os Vales Dissecados são condicionados por unidades muito impermeáveis, com pequena capacidade de infiltração e maior potencial erosivo, condicionados por rochas dos grupos Canastra, Araxá e unidade psamo pelito carbonatada do Grupo Paranoá. Os rebordos e escarpas são controlados pela região de transição ou contato brusco entre litologias com alto contraste de erodibilidade. Portanto a geologia, enquanto morfo-estrutura, é o principal condicionante das variações de altitude, incisão de vales, densidade, forma da rede de drenagem e, principalmente, da evolução morfodinâmica e da paisagem atual do Distrito Federal.

MÉTODOS, MATERIAIS E TÉCNICAS

ASPECTOS METODOLÓGICOS

A metodologia de classificação de terrenos está fundamentada na geomorfometria das feições topográficas, com a identificação de compartimentos do terreno discriminados pela similaridade das características fisiográficas. A classificação de terrenos com a utilização de dados geomorfométricos seguiu os princípios fundamentais pautados pelos diversos autores, quanto à

homogeneidade dos parâmetros geomorfológicos. A identificação das classes de terreno envolve a descrição, análise do relevo e extração de índices geomorfométricos, obtidas a partir da representação destes em meio computacional.

Como argumentação metodológica, buscou-se interpretações em referências de trabalhos científicos sobre o comportamento do meio físico diante das variáveis morfométricas e nos processos de dinâmica superficial em condições tropicais, já discutidas por Tricart (1957), Souza (1992), Lollo (1995, 2000), Vedovello (2000), Freitas (2000) e Caetano (2006). Ou seja, para discretizar as unidades de terreno ponderaram-se a relação entre os processos geodinâmicos associados aos atributos morfométricos e as características materiais do sistema físico. Essa argumentação é corroborada por Valeriano (2008), ao afirmar que diante do interesse específico do estudo e das condições locais de terreno, substrato e processos vigentes, as classes de forma de terreno podem ser reagrupadas em função de sua similaridade frente a esses aspectos.

A lógica *fuzzy* é uma técnica de análise espacial e foi utilizada como alternativa às análises tradicionais por lógica booleana. A lógica *fuzzy* aborda especificamente situações em que os atributos e a geometria dos dados espaciais não são precisos, tal como se observa as feições da superfície da terra, que possuem limites imprecisos e gradacionais. Diferentemente disso, a lógica booleana propõem limites bem definidos, representado numericamente como 0 e 1, onde cada célula está em uma classe ou não. Na lógica *fuzzy* não se considera a inserção em uma classe, mas permite definir o quão provável é que o fenômeno é um membro de um conjunto (ou classe). O principal valor do conceito *fuzzy* é o reconhecimento e mensuração de incerteza na classificação de pixels (Evans, 2012).

A figura 18 apresenta o fluxo metodológico aplicado para delimitação dos terrenos com uso de inferência *fuzzy* em dados geomorfométricos.

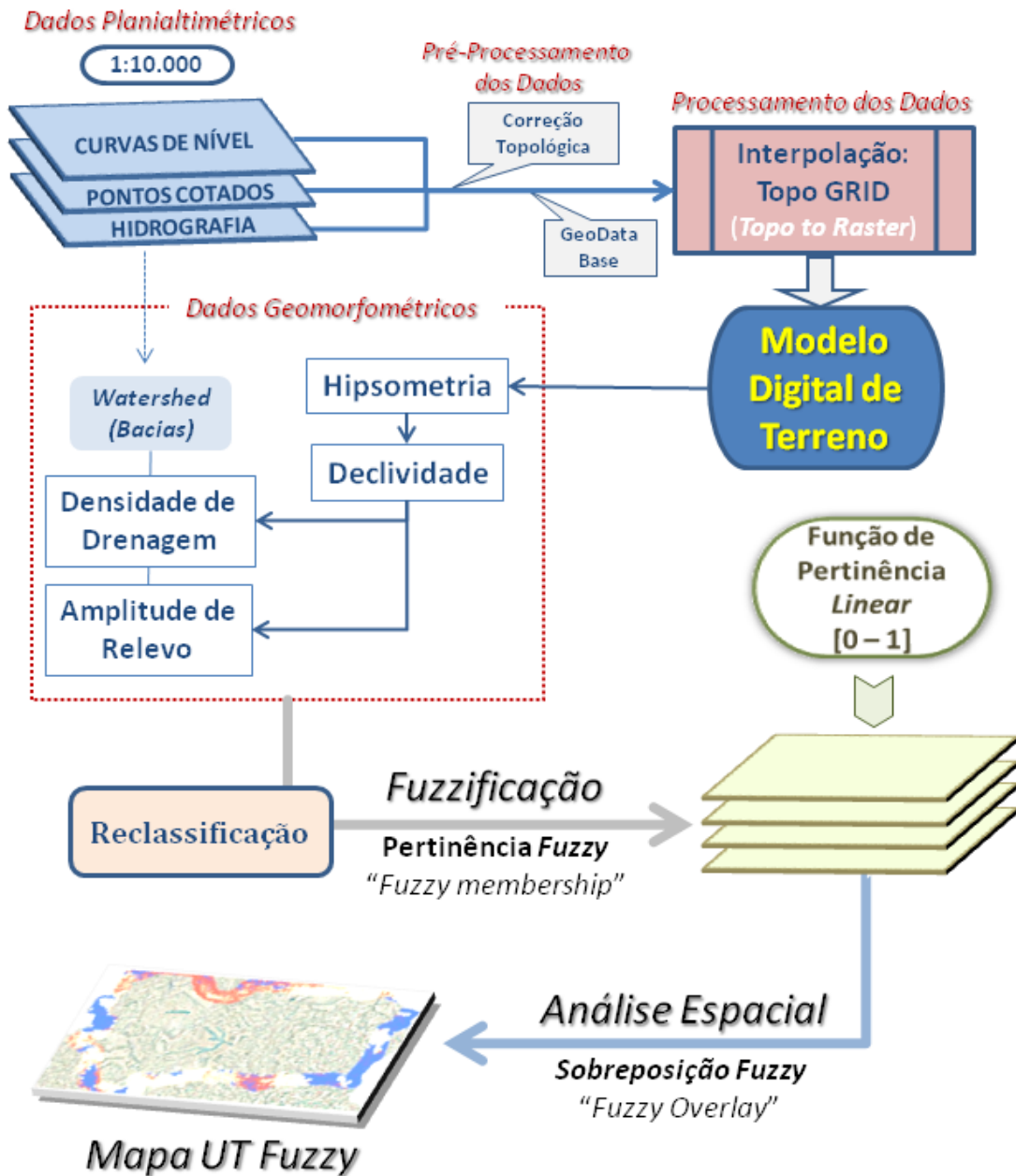


Figura 18 - Fluxo Metodológico para modelagem fuzzy em dados geomorfométricos.

MATERIAIS

Os dados topográficos são utilizados para a representação da superfície, com base nas variáveis morfológicas e feições geométricas. Para a descrição, análise geomorfológica e extração de índices geomorfométricos são necessários processamentos que incluam operações de geração de modelos digitais. A geração dos Modelos de Digitais de Elevação em meio computacional facilita o cálculo de diversos parâmetros morfométricos da superfície do terreno, tanto para a escala

local como para a regional (Shary *et al.*, 2002).

Base de Dados Planialtimétricos

A análise geomorfológica teve como elementos fundamentais na representação do relevo as curvas de nível, pontos cotados e hidrografia obtida no Mapeamento Aerofotogramétrico do Distrito Federal elaborado entre 2009 e 2010 pela Companhia Imobiliária de Brasília – TERRACAP. Este levantamento foi preparado com o referencial geodésico SIRGAS-2000,4, cuja aquisição dos dados foi por meio de vôo aerofotogramétrico digital com Ground Sample Distance – GSD de 0,25 metro pré-apoiado e com apoio básico e suplementar, restituição digital, em escala 1:10.000, com representação ancorada na NBR 15.777/2009.

Ambiente de Integração dos Dados Geoespaciais

O *software ArcGis© 10* (licença *ArcInfo*), fabricado pela *ESRI™*, foi utilizado nos procedimentos operacionais de normatização e integração dos dados geoespaciais, bem como, na interpolação dos dados planialtimétricos para geração do modelo digital de terreno. Os dados vetoriais planialtimétricos foram estruturados em banco de dados geográfico no formato *Geodatabase*, nativo da suíte *ArcGis Desktop* e utiliza o *Microsoft Access©* como plataforma dos dados.

Atualmente na versão 10 do *software ArcGis©* estão disponíveis ferramentas de análise espacial, baseadas na teoria de conjuntos *fuzzy* e é uma alternativa para a sobreposição ponderada e métodos de soma ponderada. O processo de inferência espacial dos dados geomorfológicos foi efetuado com a ferramenta *Spatial Analyst Tools → Overlay → Fuzzy Membership / Fuzzy Overlay*.

TÉCNICAS

Modelo Digital de Terreno

O procedimento para geração do MDT foi realizado a partir da interpolação das curvas de nível com equidistância de 5 metros e pontos cotados com distribuição aleatória não-regular. Esses dados vetoriais foram submetidos previamente ao controle de qualidade dos dados geoespaciais, ou seja, verificação da consistência topológica para a geração do modelo digital de terreno.

A interpolação é o procedimento de previsão ou estimativa de valores não conhecidos em torno de pontos medidos (Romão, 2006), tendo como princípio que para a estimativa de valores desconhecidos, os valores conhecidos no local, no seu entorno ou vizinhança são de maior relevância que aqueles mais distantes e pesos podem ser atribuídos aos pontos de acordo com a sua distância do ponto de valor conhecido (Burrough & McDonnell, 1998, Meijerink et al., 1994).

Na geração do modelo foi escolhido o interpolador TOPOGRID, que emprega o algoritmo desenvolvido por Hutchinson (1989). Esse método de interpolação possui a conotação de 'hidrologicamente consistente', e foi elaborado para produzir um acurado MDT que contenha as propriedades das drenagens e os dados de direção de fluxo, de modo a obter uma melhor representação da característica anisotrópica (ou direcional) do relevo, permitindo a imposição de linhas de drenagem que garante a integridade do declive do terreno na direção do escoamento superficial. Possibilita utilizar outras variáveis, tais como curvas de nível, hidrografia orientada, lagos, depressões naturais, além de pontos cotados e limites de interpolação. Reuter & Nelson (2009) afirmam que o Topogrid é o único método que suporta tanto dados de pontos e linhas, diretamente.

Em virtude da limitação de processamento do *hardware*, conjugado com a inoperância do algoritmo do *software* para cálculos em grandes volumes de dados planialtimétricos, no presente estudo, o produto foi gerado com resolução espacial (cela unitária) de 5 metros. Mesmo com valor de precisão do pixel de saída acima da resolução espacial desejada de 2,5 metros, em função da equidistâncias dos dados planialtimétricos de entrada, o resultado obtido não compromete a análise.

MODELAGEM FUZZY DOS DADOS GEOMORFOMÉTRICOS

Dados Geomorfométricos

Na morfometria, as características geomorfológicas são indicadores físicos representativos de parâmetros quantitativos. Neste trabalho a geomorfometria foi utilizada para caracterização da homogeneidade, quantificação das formas de relevo e reconhecimento de padrões de relevo.



A superfície terrestre pode ser descrita por diversos parâmetros associados, condicionada a finalidade da análise (Tabela 13). Neste caso, os parâmetros selecionados foram definidos para fins de aplicação em avaliação de terrenos para aptidão à urbanização. Alguns desses parâmetros já foram aplicados por outros autores com a mesma finalidade (Souza, 1992; Lollo, 1995; Lollo & Gandolfi, 1995; Vedovello, 2000).

Tabela 13 - Alguns parâmetros básicos da superfície terrestre. (Adaptado de Olaya, 2009)

<i>Parâmetros da Superfície</i>	<i>Tipo</i>	<i>O que isso descreve?</i>
Declividade	Local	Taxa de fluxo
Orientação de Vertente	Local	Direção de linha de fluxo
Curvatura Horizontal	Local	Mecanismo de acumulação
Curvatura Vertical	Local	Mecanismo de acumulação
Área de captação	Regional	Magnitude do fluxo
Hipsometria	Regional	Distribuição de valores
Altura de captação/inclinação	Regional	Características do fluxo
Insolação	Regional/Local	Intensidade da irradiação
Exposição visual	Regional	Extensão da área visível
Rugosidade	Local	Complexidade do terreno

Na escolha dos parâmetros buscou-se relacionar aos processos do meio físico associado à morfogênese, pedogênese e outros fatores condicionantes à ocupação urbana. Mesmo sendo uma variável de alto poder de identificação de unidades homogêneas (Doornkamp & King, 1971), a curvatura não foi utilizada em virtude da resolução espacial (5 metros) do modelo. O detalhamento obtido com efeito de 'microrelevo' não permite a aplicabilidade para este modelo (Evans, 2012), no qual foram analisados gradientes com distanciamento entre 1,5 e 10 metros e discutiu-se os efeitos de pequenas saliências e depressões que podem desfigurar a representação das formas de relevo.

A **elevação** representada pela hipsometria é o gradiente topográfico representado pela taxa de mudança da altitude as faixas de altitude do relevo.

A **declividade** representa a variação altimétrica do terreno Z em relação ao eixo X e ao eixo Y (Valeriano, 2008). Formado pela primeira derivação da superfície, seus valores podem variar de zero a infinito, embora também seja

expressa em graus, de 0° a 90°.

A **amplitude de relevo** é definida por Strahler (1952) como a diferença de altitudes entre o ponto mais baixo da bacia (foz) e o ponto de maior altitude, que corresponde à altura máxima da unidade em metros, entre seu topo e os vales maiores adjacentes (Ponçano, 1979; IPT,1981).

A **densidade de drenagem** é a razão entre o comprimento total dos canais de escoamento com a área da bacia hidrográfica. O cálculo da densidade de drenagem apresenta relação inversa com o comprimento dos rios. (Christofoletti, 1980).

Os parâmetros geomorfométricos utilizados foram quantificados em um sumário estatístico (Tabela 14), para melhor entendimento dos valores obtidos no tratamento dos dados.

Tabela 14 - Sumário Estatístico dos atributos geomorfométricos selecionados para delimitação de Classes de Terreno

<i>Atributos</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Média</i>	<i>Desvio Padrão</i>
Hipsometria (m)	731,89	1270,00	1000,94	219,68
Declividade (%)	0,00	650,07	325,03	265,40
Amplitude de Relevo (m)	0,00	542,00	271,00	221,27
Densid. de Drenagem (Km/km²)	0	650	325,00	265,36

Os valores foram reclassificados a partir de critérios de ocupação urbana. A reclassificação dos valores foi pautada em critérios, condicionantes legais, restritivos a ocupação urbana, mostrados na tabela 15.



Tabela 15 - Critérios para compartimentação das unidades de terreno, considerando limitante legal-administrativo e processos geodinâmicos.

CRITÉRIO/ PARÂMETRO	VALOR	REFERÊNCIA	PROCESSOS GEODINÂMICOS SUPERFICIAIS
<i>Declividade</i>	< 10% (10 – 30%) > 30%	Resolução CONAMA, nº 10/88 Lei 6766/79	Movimento Gravitacional de Massa Processo Erosivo
<i>Hipsometria</i>	< 850 m 850 – 1050 1050 - 1270	Análise histográfica de frequência dos dados altimétricos	Inundação Processo Erosivo
<i>Amplitude de Relevo</i>	0-150 150-300 >300	Mapeamento Geomorfológico de SP (Ponçano, 1979; IPT, 1981).	Processo Erosivo
<i>Densidade de Drenagem</i>	$Dd < 1,25 \text{ km/km}^2$ (Baixa) $1,25 \text{ km/km}^2 < Dd < 2,50 \text{ km/km}^2$ (Média) $Dd > 2,50 \text{ km/km}^2$ (Alta)	Hiruma & Ponçano (1994)	Inundação

Pertinência Fuzzy

Metodologias de Lógica Fuzzy podem fornecer um esquema para a representação e manipulação de incerteza, que está relacionada com a classificação de locais individuais de acordo com seus valores de atributo. Implementam-se as classes ou agrupamentos de dados com limites que não são bem definidas, ou que ficam definidos em uma série de variação de valores, de forma mais coerente aos fenômenos geodinâmicos. Por exemplo, neste modelo para avaliar a aptidão à

urbanização, a declividade é um critério de entrada, em que cada valor de declividade será transformado e atribuído um valor entre 0 e 1, que reflete a possibilidade do valor de declividade ser pertencente a classe de aptidão.

Os dados geomorfométricos possuem escalas de valores e unidades de medidas distintas. Assim, a padronização dos dados geomorfométricos para uma mesma escala de valores é necessária para amenizar essa condição. Os valores são sistematizados com base em funções de pertinência (curvas) que representam a variação dos valores de cada dado geomorfométrico em função da sua influência no processo de delimitação das unidades de terreno.

O processo de transformar os valores de entrada originais para a escala de 0 a 1 de pertinência é chamado *fuzzificação*. Cada critério utilizado na modelagem (hipsometria, declividade, amplitude de relevo e densidade de drenagem) possui valores numéricos mínimos e máximos que serão fuzzificados em valores contínuos de 0 a 1, através da ferramenta *fuzzy membership* no *ArcGis 10*.

Foram testadas as funções de pertinência (*Fuzzy Membership*) para avaliar o comportamento de cada dado geomorfométrico diante das curvas, de modo a reproduzir as superfícies da área de trabalho. De acordo com os produtos cartográficos derivados, as funções de pertinência mais coerentes foram *FuzzyLinear* e *FuzzyMSSmall*.

A *FuzzyLinear* se adequou aos parâmetros de amplitude de relevo e densidade de drenagem. Essa função de pertinência consiste em aplicar uma função linear entre o mínimo especificado pelo usuário e os valores máximos. Qualquer valor abaixo do mínimo será atribuído um valor zero (não é um membro) e qualquer valor acima do máximo de 1 (é um membro). Na figura 19 demonstra a aplicação da *FuzzyLinear* em que foi definido um mínimo de 30 e um máximo de 80. Qualquer valor abaixo de 30 será atribuído um zero e qualquer coisa acima de 80 um 1.

A função de pertinência *Fuzzy MSSmall* se adequou aos dados de hipsometria e declividade. É utilizado quando os menores valores de entrada são mais possíveis de pertencer ao conjunto. O ponto médio definido identifica o ponto de cruzamento (atribuído uma adesão de 0,5), com valores superiores ao ponto médio

com menor possibilidade de ser um membro do conjunto e os valores abaixo do ponto médio ter uma maior possibilidade de adesão. O parâmetro de propagação define a forma eo caráter da zona de transição (Figura 19).

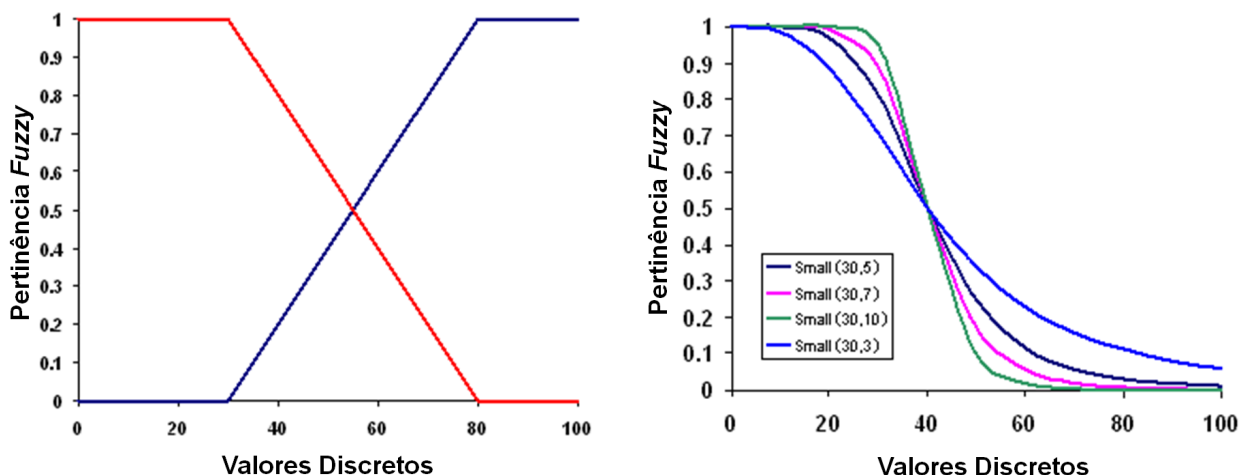


Figura 19 - Gráfico representativo da função de pertinência *Fuzzy Linear* e da função de pertinência *Fuzzy MSSmall*

Para efeito comparativo, nas figuras 20, 21 e 22, apresentam os dados geomorfométricos em recorte amostral na escala 1:25.000, aplicados antes e depois do processo de fuzzificação com as funções de pertinência *fuzzy*, e a tabela 16, apresenta o comparativo em termos numéricos.

Cada classe foi '*defuzzificada*', isto é, após receber valores contínuos no processo de fuzzificação por funções de pertinência, tornou a receber valores paramétricos. Esse procedimento é necessário para obter valores nítidos para interpretação dos dados de saída.

Convencionou-se designar os compartimentos geomorfométricos de UT-AV, como uma abreviatura de Unidade de Terreno do Anel Viário. Em área, obtiveram-se os seguintes valores: UT-AV-I corresponde a 47,82% da área total; UT-AV-II corresponde a 36,68% da área total; e UT-AV-III corresponde a 15,49% da área total

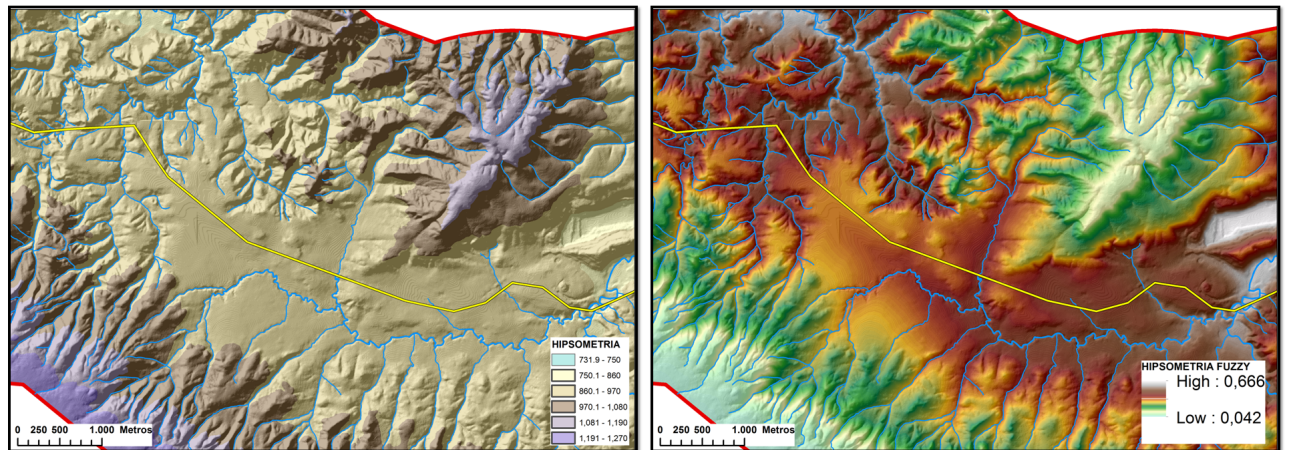


Figura 20 – Recorte amostral comparativo entre a ‘hypsometria booleana’ e a ‘hypsometria Fuzzy’

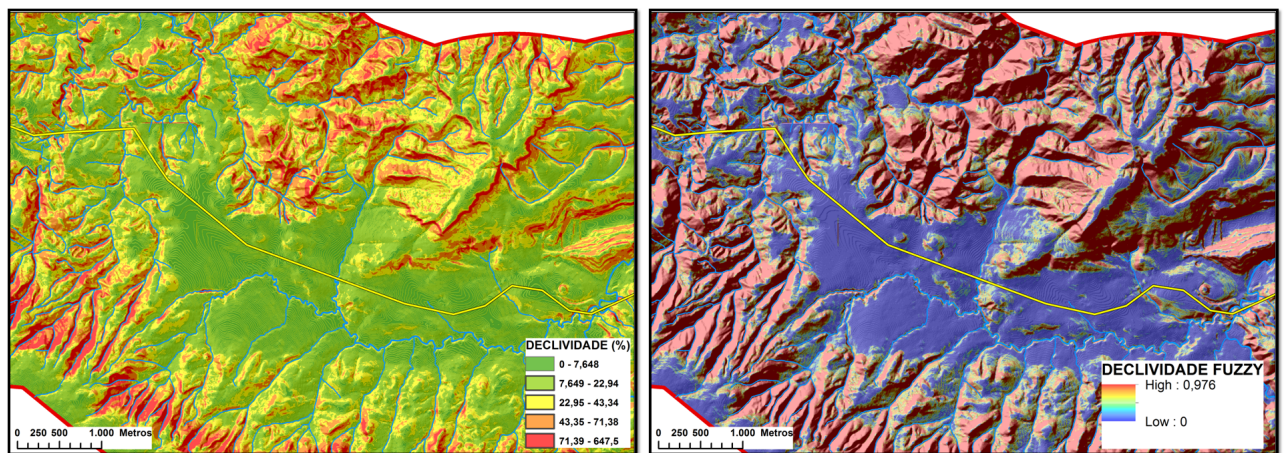


Figura 21 - Recorte amostral comparativo entre a ‘declividade booleana’ e a ‘declividade Fuzzy’

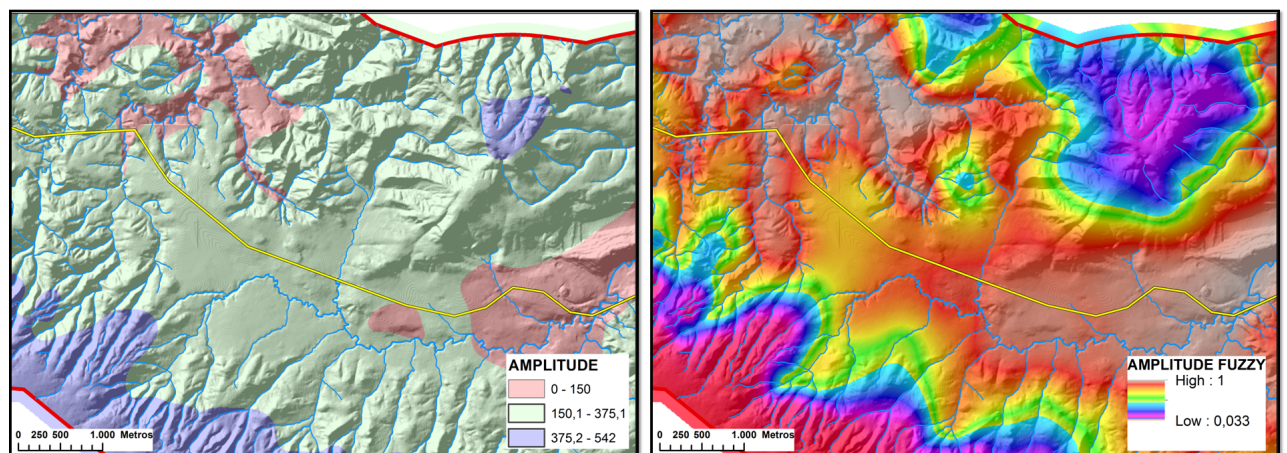


Figura 22 - Recorte amostral comparativo entre a ‘amplitude booleana’ e a ‘amplitude Fuzzy’

Tabela 16 - Comparativo entre os valores paramétricos e fuzzy

Variável Geomorfométrica	Índice	
	Paramétrico	Fuzzy
Hipsometria (<i>m</i>)	731,9 – 1270	[0,042 - 0,666]
Declividade (%)	0 – 647,52	[0 - 0,976]
Amplitude de Relevo (<i>m</i>)	0 – 542	[0,033 – 1]
Densidade de Drenagem (<i>km/km²</i>)	0 - 650	[0,0479 – 1]

Operadores Fuzzy

A lógica *fuzzy* explora a interação entre a possibilidade de um fenômeno pertencer a vários conjuntos, ao contrário das técnicas convencionais booleanas de sobreposição ponderada e soma ponderada, que se baseiam na idéia de que elementos mais favoráveis significam um resultado melhor. A ferramenta de análise de sobreposição *fuzzy* permite a análise da possibilidade de um fenômeno pertencer à conjuntos múltiplos em uma análise de sobreposição multicritério. Em sobreposição *Fuzzy*, geralmente um conjunto corresponde a uma classe.

Na ferramenta *Overlay Fuzzy* do *ArcGis 10*, existem técnicas específicas para investigar esta relação de pertencimento e quantificação da interação. Os métodos disponíveis são *FuzzyAnd*, *FuzzyOr*, *FuzzyProduct*, *FuzzySum*, e *FuzzyGamma*. Cada abordagem é baseada na teoria de conjuntos e é específico para análise de sobreposição *Fuzzy*. Cada método proporciona um aspecto diferente dos membros de cada célula pertencente a vários critérios de entrada múltiplos.

Desse modo foram combinados os dados geomorfométricos anteriormente fuzzyficados para se obter a análise de sobreposição *fuzzy*. O operador *FuzzyAnd* foi selecionado empiricamente, a partir da avaliação do mapa resultante da análise. No tipo de sobreposição *FuzzyAnd*, em cada célula, considera o valor mínimo dos membros *Fuzzy* dos rasters de entrada. O tipo de sobreposição *FuzzyAnd* retorna o valor mínimo da célula definido pela célula local. Esta técnica é útil quando você deseja identificar o mínimo denominador comum para a pertinência de todos os critérios de entrada.

ANÁLISES E RESULTADOS

Para demonstrar os valores dos parâmetros geomorfométricos correspondente às classes delimitadas foi utilizada a função *Zonal Statistic* no *ArcGis© 10*. A função *Zonal Statistic* resume os valores de uma quadrícula no interior das zonas de outro conjunto de dados e apresenta os resultados como uma tabela.

Em seguida os dados foram transportados para *Microsoft Office Excel*, onde foram gerados gráficos histográficos em coluna para comparar valores das diversas categorias. O histograma representa as frequências simples das classes, a partir de barras com mesma largura de base.

A interpretação dos histogramas é bastante simples e direta com a visualização de onde estão concentradas as maiores e menores frequências. Nos histogramas, as abscissas representam os parâmetros geomorfométricos agrupados por intervalos. Enquanto as ordenadas representa a número de ocorrência das unidades de terreno, expressa em contagem dos pixels.

Hipsometria - Este fator influencia na análise da energia do relevo, indicando condições mais propícias a dissecação para as áreas de maior altitude e de acumulação para as áreas de menor altitude. Conforme mostra a figura 23, no intervalo altimétricos de 731,89 a 850 metros, há a predominância da classe UT-AV-III, com valores duas vezes mais do que na classe UT-AV-II. Por sua vez, a classe UT-AV-I não há correspondente neste intervalo altimétricos. Diante desses resultados, e prevendo a suscetibilidade a inundação nas áreas mais baixas, infere-se, portanto que as classes UT-AV-II e UT-AV-III são suscetíveis à inundação principalmente quando estiver associada a superfícies planas e em alta densidade de drenagem.

Declividade - A declividade do terreno possui relação direta com processos do meio físico, sendo uma variável básica para a segmentação de áreas em procedimentos de planejamento territorial (Valeriano, 2008) Constitui um atributo do meio que influencia no comportamento de potencialidades e restrições, sendo intimamente ligado a questões de geologia de planejamento (Cottas, 1983), exercendo controle sobre: a erodibilidade, estabilidade de taludes, escoamento,

infiltração de água, e conseqüentemente na instalação de sistema de saneamento. A partir da análise do gráfico (Figura 24) que relaciona a declividade com as classes de unidade de terreno obtidas, percebe-se que há um nítido controle da declividade na classificação do terreno. O intervalo de baixa declividade, apta a urbanização, predomina nas classes UT-AV-I e UT-AV-II, tendo nessas mesmas classes, a ausência de valores em intervalos superiores a 10%. Enquanto isso, a classe UT-AV-III é representante único nas classes com declividades de 10 a 30%, e superiores a 30%.

Amplitude de Relevo - Quanto mais elevado o valor da amplitude, maior a energia cinética aplicada às vertentes e, conseqüentemente, maior é a capacidade de deslocamento de material, principalmente se associada a elevadas declividades e dissecação (Christofolletti,1980). Nota-se na área do gráfico (Figura 25), o predomínio da classe UT-AV-III no intervalo de amplitude de relevo superior a 300 metros, sendo esta classe ausente em baixa amplitude de relevo, inferior a 150 metros, em que é predominante a classe UT-AV-I. As demais classes se mantêm distribuídas, principalmente no intervalo entre 150 e 300 metros.

Densidade de Drenagem - A densidade de drenagem expressa o tempo de resposta necessário para o escoamento superficial em bacia hidrográfica, por isso é um fator essencial na análise morfométrica para avaliação de terrenos com fins de planejamento urbano. De acordo com Garcez & Alavarez (1998), se existir um número bastante grande de cursos de água numa bacia, relativamente a sua área, o deflúvio atinge rapidamente os rios, e, assim sendo, haverá provavelmente picos de enchentes altos e deflúvios de estiagem baixos. A inserção desse parâmetro fornece insumos para avaliar a susceptibilidade da unidade de terreno a inundações. Nota-se, na figura 26, que há o predomínio da UT-AV-III na classe de alta densidade de drenagem.

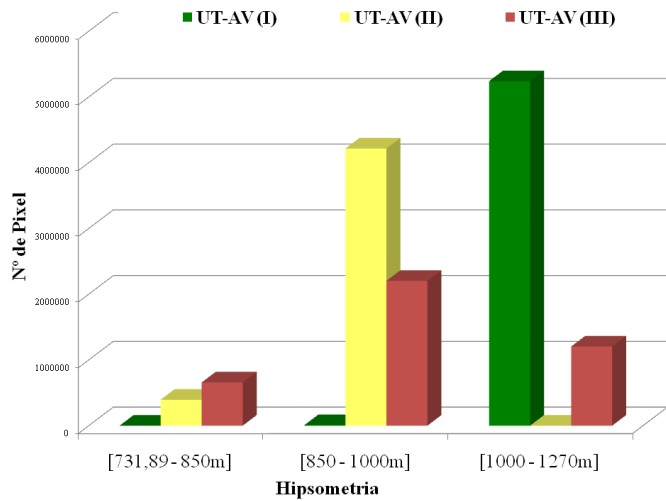


Figura 23 - Unidades de terreno por classes de hipsometria.

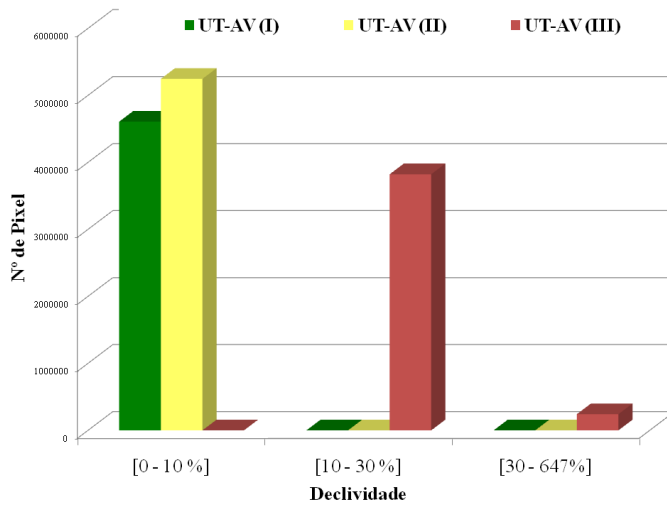


Figura 24 - Unidades de terreno por classes de declividade.

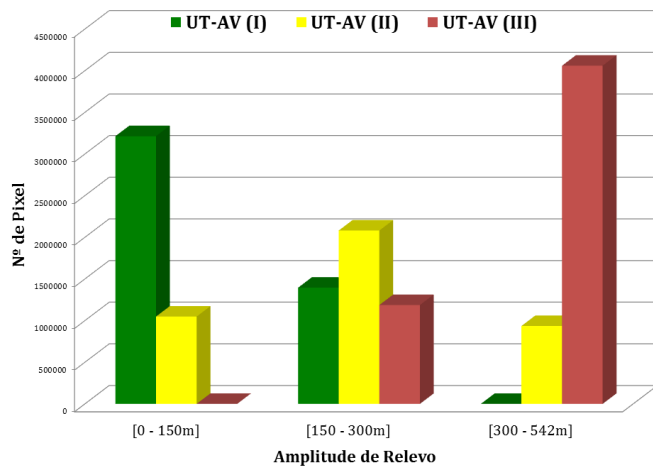


Figura 25 - Unidades de terreno por classes de amplitude de relevô.

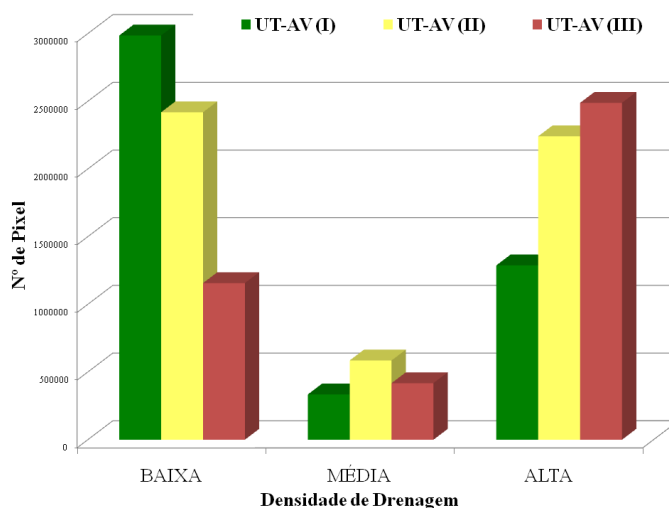


Figura 26 - Unidades de terreno por classes de densidade de drenagem

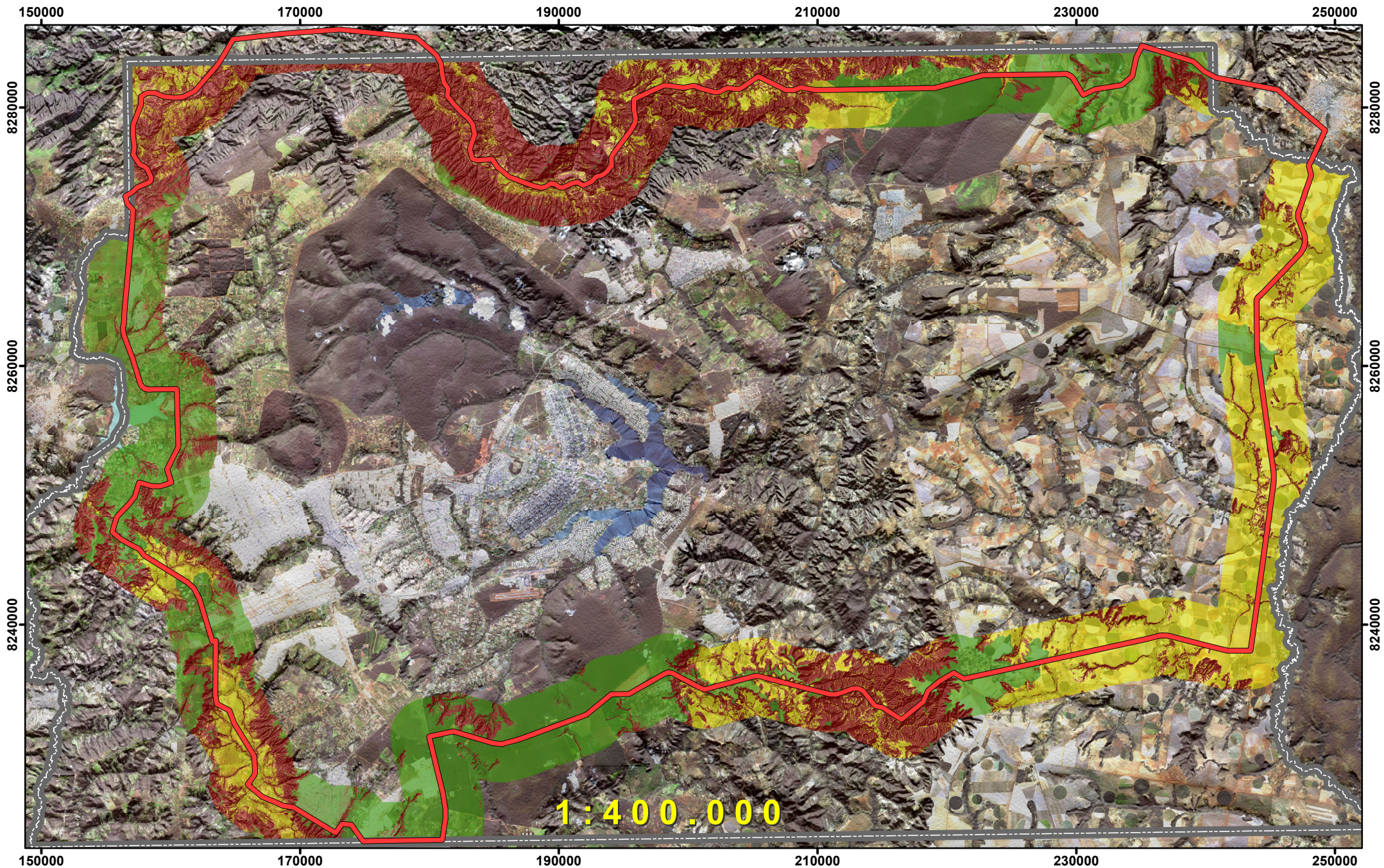
CONSIDERAÇÕES FINAIS

Empiricamente, o modelo obtido condiz com as características dos terrenos da área em estudo, em que, há um contraste mais acentuado na classe denominada UT-AV-III. As unidades UT-AV-I e UT-AV-II se diferenciam basicamente pelo nível altimétrico que ocupam. Essa distinção pode se refletir em aspectos litológicos e pedológicos, e conseqüentemente na avaliação de terreno para fins geotécnicos.

Mesmo com um resultado coerente, a metodologia ainda carece de maior aprofundamento, principalmente no uso das funções de pertinência e operadores *Fuzzy*. A simplicidade empregada na classificação em apenas três unidades permitiu encontrar um resultado modesto, porém eficaz.

Em pesquisas com enfoque na tecnologia *fuzzy*, em especial com uso do *ArcGis 10*, sugere-se o desenvolvimento de métodos de representação apropriados para extrair a homogeneidade do terreno, de modo que se possa trabalhar em áreas com maior diversidade de variáveis geomorfométricas.

Como em qualquer análise de sobreposição, cabe a análise interpretativa dos resultados. Os resultados obtidos demonstram que a classificação dos terrenos a partir da integração de dados geomorfométricos por inferência *fuzzy*, teve a declividade como principal componente de compartimentação, demonstrado na figura 27, com visões de autores em diversos intervalos de declividade.

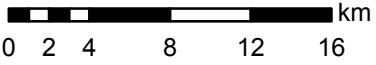


Este mapa é parte integrante da dissertação de mestrado de **Pedro R. Mandai**, sob orientação da Profa. Dra. **Noris Costa Diniz**.



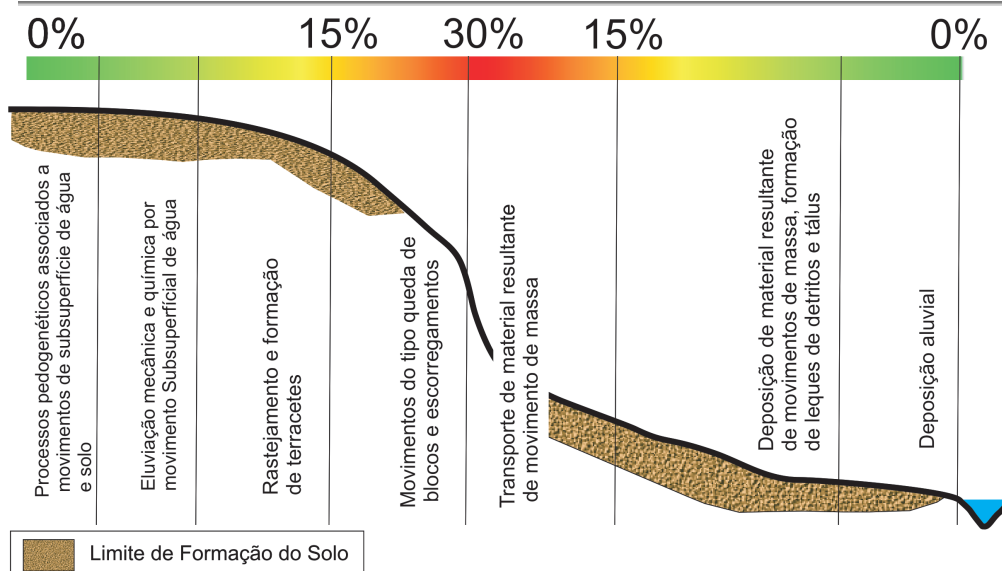
MAPA DE UNIDADES DE TERRENO ENTORNO DO ANEL VIARIO DO DF

Elaborado a partir dos dados geomorfológicos (1:10.000) integrados por inferência Fuzzy no software ArcGis 10. Imagem do Satélite ALOS, sensor AVNIR; Composição r3g2b1
 DATUM VERTICAL: Imbituba-SC / DATUM HORIZONTAL: SIRGAS/2000
 ESCALA DE OBTENÇÃO: 1:10.000 ESCALA DE REPRESENTAÇÃO: 1:400.000



LEGENDA

- Anel Viário
- Distrito Federal
- UT-AV (I)
- UT-AV (II)
- UT-AV (III)



Declividade (%)	Autor Proponente	Processos Geodinâmicos	Aspectos Funcionais	Observações quanto à ocupação
0 - 2	IPT (1984)	Inundação	Áreas muito planas e, quando próximas às drenagens, estão sujeitas à ocorrência de inundações	
	Souza (1992)	Erosão / Inundação	Não susceptível à erosão; Alta susceptibilidade de inundação em planícies de inundação, e média susceptibilidade fora de bacias de inundação	
0 - 3	Klingebiel e Montgomery (1961)	Erosão / MGM	Não susceptível à erosão, sem MGM	
0 - 5	Instituto Geológico (1993)	Erosão / MGM	Baixa susceptibilidade à erosão, sem MMG	Favorável à implantação de aeroportos locais, rodovias e ferrovias principais
2 - 5	IPT (1984)	Deposição / Erosão	Áreas de baixa declividade e onde se registram processos deposicionais. A partir desta inclinação o processo erosivo começa a ser significativo	
3 - 6	Klingebiel e Montgomery (1961)	Erosão / MGM	Baixa susceptibilidade à erosão, sem MMG	
0 - 8	Gonçalves (2007)	Infiltração	Taxa de infiltração: 95% da capacidade de retenção dos solos	
< 6	Souza (1992)	Erosão	Baixa susceptibilidade à erosão	
6 - 12	Klingebiel e Montgomery (1961)	Erosão / MGM	Moderada susceptibilidade à erosão, sem MMG	
	Souza (1992)	Erosão	Média susceptibilidade à erosão	
5 - 15	IPT / IG (1993)	MGM	Áreas propícias à ocorrência de processos de movimentos de massa e escorregamentos.	loteamentos perpendiculares às curvas de nível, limite para a implantação de projetos de engenharia pouco complexos
< 10	Souza (1992)	MGM	Estável	Adequado para escavabilidade em obras de engenharia; Adequado para aterros
8 - 15	Gonçalves (2007)	Infiltração	Taxa de infiltração: 70% da capacidade de retenção dos solos	Restrições quanto a escavabilidade
> 12	Souza (1992)	Erosão	Alta susceptibilidade à erosão	
10 - 20	Souza (1992)	MGM	Potencialmente instável	Instalação de aterros, com restrições
12 - 20	Klingebiel e Montgomery (1961)	Erosão / MGM	Moderada a alta susceptibilidade à erosão, sem MMG	
15 - 20	Instituto Geológico (1993)	Erosão / MGM	Moderada a alta susceptibilidade à erosão, sem MMG,	Lotes paralelos às curvas de nível; limite para a implantação de residências individuais e estradas
> 20	Souza (1992)	MGM	Pré-instável	
0 - 30	Lei 6766/79			Intervalo de declividade possível para parcelamento urbano, salvo se atendidas exigências específicas das autoridades competentes;
15 - 30	Gonçalves (2007)	Infiltração	Taxa de infiltração: 45% da capacidade de retenção dos solos	
20 - 30	Klingebiel e Montgomery (1961)	Erosão / MGM	Alta susceptibilidade à erosão, com MMG	Limite máximo para ocupação de encostas sem projetos especiais (Klingebiel e Montgomery, 1961); não é recomendável a instalação de aterros (Souza, 1992)
> 30%	Gonçalves (2007)	Infiltração	Taxa de infiltração: 5% da capacidade de retenção dos solos.	Inadequado para instalação de aterros (Souza, 1992)
30 - 60	Klingebiel e Montgomery (1961)	Erosão / MGM	Alta susceptibilidade à erosão, com MMG	
> 60%	Klingebiel e Montgomery (1961)	Erosão / MGM	Baixa susceptibilidade à erosão, com MMG	

Figura 27 - Processos geomorfológicos dominantes em uma vertente (Modificado de Clark & Small, 1982). Intervalo de classes de declividade de acordo com processos geodinâmicos.

AGRADECIMENTOS

À TERRACAP, pelo fornecimento matéria-prima para este trabalho a base planialtimétrica proveniente do *Mapeamento Aerofotogramétrico do Distrito Federal*, produzido entre 2009 e 2010.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BELCHER, D. J. 1956. Relatório Técnico sobre a nova capital da República. Rio de Janeiro: Imprensa Nacional. p. 291.
- BISPO, P. C.; ALMEIDA, C. M.; VALERIANO, M. M.; MEDEIROS, J. S.; CREPANI, E. 2011. Análise da Suscetibilidade aos Movimentos de Massa em São Sebastião-SP com o Uso de Métodos de Inferência Espacial. *Geociências*, v. 30, n. 3, p. 467-478.
- BURROUGH, P. A. 1989. Fuzzy mathematical methods for soil survey and land evaluation.. *Journal of Soil Science*. Blackwell Publishing Ltd. 10.1111/j.1365-2389.1989.tb01290.x
- BURROUGH, P. A & MCDONNELL, R., 1998. Principles of Geographical Information Systems, Oxford Expert Choice 1988, Decision Support Software, Inc., McLean, Virginia.
- BURROUGH, P. A., VAN GAANS, P. F. M., MACMILLAN, R. A., 2000. High-resolution landform classification using fuzzy k-means. *Fuzzy Sets and Systems* 113, 37–52. 17
- CAETANO, N.R. , 2006. Procedimentos Metodológicos para o Planejamento de Obras e Usos: Uma abordagem geotécnica e geoambiental. Rio Claro. 163 p. Tese (Doutorado em Geociências). Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Universidade Estadual Paulista.
- CAMPOS, J.E.G. 2004. Hidrogeologia do distrito Federal: subsídios para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos. *Rev. Bras. Geoc.*, 1:41-48.
- CHRISTOFOLETTI, A. 1980. Geomorfologia. São Paulo, Edgard Blucher, 2ª edição.
- CLARK, M.; SMALL, J., 1982. Slopes and weathering. Cambridge: Cambridge University Press. 112 p.
- CONRAD, O., 2007. SAGA — Entwurf, Funktionsumfang und Anwendung eines Systems für Automatisierte Geowissenschaftliche Analysen. Ph.D. thesis, University of Göttingen, Göttingen.
- COTTAS, L.R. 1983. Estudos Geológico-Geotécnicos aplicados ao planejamento urbano de Rio Claro/SP. São Paulo, 171P. (Tese - Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de Campinas.
- DRĂGUT, L. & EISANK, C., 2011. Object representations at multiple scales from digital elevation models. *Geomorphology*, 129: 183-189.
- DOORNKAMP, J. C. & KING, C. A. M. Numerical analysis in Geomorphology: An Introduction. London: Edward Arnold Ltd. 372p. 1971.
- EVANS *et. Al*, 2009. Applications in Geomorphometry. In: *Geomorphometry : concepts, software, applications* . Volume: 33, Publisher: Elsevier, Pages: 792 pages
- EVANS, I. S., 2012. Geomorphometry and landform mapping: What is a landform?.

Geomorphology 137 (2012) 94-106. Doi: 10.1016/j.geomorph. 2010.09.029

FISHER, P. F., WOOD, J., CHENG, T., 2005. Fuzziness and ambiguity in multi-scale analysis of landscape morphometry. In: Petry, F. E., Robinson, V. B., Cobb, M. A. (Eds.), *Fuzzy Modeling with Spatial Information for Geographic Problems*. Springer-Verlag, Berlin, pp. 209–232.

GARCEZ, L. N. & ALVAREZ G. A. 1998. *Hidrologia*. 2ª.ed. revista e atualizada. São Paulo: Editora Edgard Blucher.

HIRUMA S.T. & PONÇANO, W. L.. 1994. Densidade de Drenagem e sua Relação com Fatores Geomorfopedológicos na Área do Alto Rio Pardo, SP e MG. *Revista IG*. São Paulo, 15(112),49-57, jan/dez. 1994

HUTCHINSON, M. F. 1989. A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits. *Journal of Hydrology* 106: 211-232.

HUTCHINSON, M. F. 1996. A locally adaptive approach to the interpolation of digital elevation models. Disponível em : http://www.ncgia.ucsb.edu/conf/SANTA_FE_CD-ROM/sf_papers/hutchinson_michael_dem/local.html . Acessado em 09 de setembro de 2011.

IPT, INSTITUTO DE PESQUISA TECNOLÓGICA DO ESTADO DE SÃO PAULO. Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo. São Paulo: IPT, 1981

MACMILLAN RA & SHARY PA, 2009, Chapter 9 Landforms and landform elements in geomorphometry. In: Hengl T and Reuter HI (eds), *Geomorphometry-Concepts, Software, Applications. Developments in Soil Science, vol. 33*, Elsevier, Amsterdam, 227-254.

LODWICK, W. A., 2008. *Fuzzy surfaces in GIS and geographical analysis: theory, analytical methods, algorithms, and applications*. Boca Raton, CRC Press. 163 p.

LOLLO, J. A. DE. O Uso da Técnica de Avaliação do Terreno no Processo de Elaboração de Mapeamento Geotécnico: Sistematização e Aplicação na Quadrícula de Campinas. São Carlos, 19995. 253 p. 2v. Tese de Doutorado em Geotecnia. Escola de Engenharia de São Carlos-USP.

LOLLO, J. A DE. 2000. O uso de redes neurais artificiais como mecanismo de identificação de *Landforms*: princípios, metodologia e avaliação da eficácia. Tese de Livre Docência: Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita

OLAYA, V., 2009. Basic Land-Surface Parameters. In: *Geomorphometry : concepts, software, applications* . Volume: 33, Publisher: Elsevier, Pages: 792 pages

PIKE, R. J.; EVANS, I. S.; HENGL, T. Geomorphometry: a brief guide. In: HENGL, T.; REUTER, H. I. (Ed.). *Geomorphometry: concepts, software, applications*. New York: Elsevier, 2008. v. 33, p. 1-28. (Developments in Soil Science).

REUTER, H. I., & NELSON, A., 2009. Geomorphometry in ESRI Packages. In: *Development in Soil Science, Volume 33*. Elsevier B.V.

ROMÃO, P. A. 2006. Modelagem de terreno com base na morfometria e em sondagens geotécnicas - região de Goiânia - GO. Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 166p.

SCHIMIDT, J. & DIKAU, R. 1999. Extracting geomorphometric attributes and objects from digital elevation models – Semantics, methods, future needs. *GIS for Earth Surface Systems*



– Analysis and Modeling of the Natural Environment. Dikau, R. & Saurer, H. Borntraeger, (eds.). Stuttgart, 197 p.

SEIJMONSBERGEN, A.C., HENGL, T., ANDERS, N.S. 2011. Semi-automated identification and extraction of geomorphological features using digital elevation data. M. Smith, P. Paron, J. Griffiths (Eds.), *Geomorphological Mapping: Methods and Applications* Vol. 15 of *Developments in Earth Surface Processes*, Elsevier, Amsterdam .

SHARY, P. A., SHARAYA, L. S. & MITUSOV, A. V . 2002. Fundamental quantitative methods of land surface analysis. *Geoderma*, 107, 1 –32.

SMITH, M. J., PARON, P. AND GRIFFITHS, J. (eds) 2010. *Geomorphological Mapping: a professional handbook of techniques and applications*. *Developments in Earth Surface Processes*, Elsevier, in preparation.

STRAHLER, A.N., 1952. Dynamic basis of geomorfologia, *Geological Society of America Bulletin*, 63. 1952. 923-938 p.

VALERIANO, M. de M. , 2008. Dados topográficos. In: FLORENZANO, T. G. *Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais*. São Paulo: Oficina de Textos. cap. 3, p. 72-104.

VEDOVELLO, R. , 2000. *Zoneamentos Geotécnicos Aplicados à Gestão Ambiental, a partir de Unidades Básicas de Compartimentação – UBCs*. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Universidade Estadual Paulista, Rio Claro

ZADEH L.A & JAMSHIDI 1997. *Applications of Fuzzy Logic: Towards High Machine Intelligence Quotient Systems. Series on Environmental and Intelligent Manufacturing*. Prentice Hall, 448 p.

6. AVALIAÇÃO DOS TERRENOS EM TORNO DO ANEL VIÁRIO DO DF

Superada a fase de compartimentação dos terrenos em que a área de estudo foi segmentada em unidades por homogeneidade das características geomorfométricas, a seqüência metodológica indica a avaliação dos terrenos. A avaliação possui uma abordagem geológica-geotécnica dos terrenos para a caracterização dos materiais constituintes das unidades, de modo a integrar cada unidade de terreno em escala de 1:10.000 com os atributos extraídos dos mapas temáticos em escala de 1:100.000, e observações em campo.

Para efeito de análise e adequada aplicabilidade do método ao usuário-planejador, as unidades de terreno foram simplificadas em três classes. Essa providência é compreensível, na medida em que se considera a monotonia fisiográfica no território do DF, condicionadas basicamente a similaridade dos materiais constituintes, processos geológicos e condições climáticas incidentes.

A classificação restrita em três tipos de terreno permitiu a adoção de legenda semafórica (verde, amarelo e vermelho), e no caso, intuitivamente sinaliza ao leitor o significado de cada classe, traduzida em forma de suscetibilidade aos processos do meio físico e a aptidão à urbanização (tabela 17).

Tabela 17 - Legenda semafórica associada a suscetibilidade a processos, condição para ocupação urbana e aptidão à urbanização.

Legenda	Suscetibilidade	Ocupação Urbana	Aptidão
	Baixa	Com recomendações	Muito favorável
	Média	Com condicionantes	Medianamente favorável
	Alta	Restrição total	Não favorável

O produto final da avaliação é o mapa de aptidão à urbanização, que reúne informação sobre a suscetibilidade a processos do meio físico, elementos restritivos ao desenvolvimento urbano e a qualificação das unidades de terreno com relação aos atributos do meio físico, juntamente com as recomendações ao uso e ocupação dos terrenos mapeados.

6.1. Suscetibilidade a Processos do Meio Físico

A suscetibilidade indica a existência de condições predisponentes a um tipo de ocorrência de processos do meio físico. No caso em análise, os processos do meio físico relacionados com a aptidão urbana: suscetibilidade à processos erosivos, de modo quantitativo; suscetibilidade à movimentos gravitacionais de massa e inundação, de modo qualitativo.

A tabela 18 relaciona os fatores que influenciam na propagação de processos geológicos, e os locais preferenciais.

Tabela 18 - Processos geológicos, fatores naturais e locais propícios. Adaptado de Sobreira (2001)

Processos Geológicos	Fatores	Locais
Erosão	Morfologia das vertentes, atitude da rocha	Áreas impermeabilizadas com fluxo concentrado de águas pluviais
Queda de blocos, corridas, rastejos, deslizamentos	Descontinuidades proeminentes, águas superficiais, materiais com alto estado de alteração, cortes	Escarpas; Declividades superiores a 30%
Inundações	Construções próximas à calha do rio, assoreamento	Planícies aluvionares; baixa declividade; baixa amplitude de relevo; alta densidade de drenagem

A avaliação quanto à suscetibilidade, adaptado de Souza (1992), ocorreu de modo a designar as unidades de terreno em três classes: alta, média e baixa suscetibilidade, representado na legenda do mapa por cores semafóricas.

As cartas de suscetibilidade representam a incidência espacial dos perigos. Identificam e classificam as áreas com propensão para serem afetadas por um determinado perigo, em tempo indeterminado. A avaliação da suscetibilidade de uma área a determinado perigo efetua-se com base nos fatores de predisposição para a ocorrência dos processos, de forma qualitativa.

O comportamento do solo quanto à deformabilidade e resistência não fazem parte do escopo dessa avaliação de terrenos para suscetibilidade aos processos do meio físico. Isso se deve a carência de parâmetros geotécnicos (dados secundários) abrangentes para área em estudo, obtidos em ensaios de campo e de laboratório.

6.1.1. Processos Erosivos

A suscetibilidade à erosão foi abordada com base na compartimentação em áreas homogêneas em relação à predominância de processos erosivos na área adjacente ao Projeto do Anel Viário do DF.

Para tanto, utilizou-se do cadastro georreferenciado de erosões no Distrito Federal produzido por Martins (2005). Neste estudo foram levantadas e caracterizadas 1582 feições erosivas e áreas degradadas, destas, 570 estão inseridas na área de estudo, demonstrada numa amostra do banco de dados na Figura 28. Esse produto cadastral possibilita estabelecer o nível de criticidade das erosões, a partir da análise da ficha de campo cujos dados coletados indicam a possibilidade de progressão do processo erosivo.

The image shows a screenshot of a spreadsheet titled 'Cadastro_Erosao'. The table contains 570 rows of data. The columns are: Shape, SPRAREA, SPRPERIME, SPRROTULO, SPRNOME, USO LOC, USO ENT, BACIA, SUB BACI, CAUSAS, DREN REF, DENS DRE, DENS VEG, and AM. The data includes various erosion types such as 'cerrado, cascatera', 'estrad, cerrado', and 'chacara, estrada', with locations like 'Rio Descoberto', 'Rio Maranhão', and 'Vereda Grande'. The 'AM' column indicates the status of the erosion, with values like 'suave', 'moderada', and 'avanzada'.

Figura 28- Recorte da tabela cadastral de erosões (Martins, 2005)

O banco de dados cadastral classifica em categorias conforme a evolução do processo erosivo: famílias de ravinas, famílias de sulcos, ravinas e voçorocas. As ocorrências identificadas são locadas no mapa, juntamente com os atributos do meio físico em análise.

Foram destacadas as ocorrências interferentes com a área de estudo e posteriormente efetuados um agrupamento por cada unidade de terreno mapeado. O resultado, expresso na tabela 19, permite verificar quantitativamente a influência das classes de processos erosivos em cada unidade de terreno. Na tabela 20, estão relacionados às ocorrências de erosões a cada unidade de terreno, com valores de densidade (erosão por área). A tabela 21 apresenta alguns critérios de avaliação quanto à suscetibilidade a processos erosivos definidos por Souza (1992).

Tabela 19 - Ocorrências de processos erosivos na área de estudo, por classe do cadastro de erosões. Modificado de Martins (2005)

<i>UNIDADES DE TERRENO</i>	<i>FAMILIA DE RAVINAS</i>	<i>FAMILIA DE SULCOS</i>	<i>RAVINA</i>	<i>ÁREAS DEGRADADAS</i>	<i>VOÇOROCA</i>
UT-AV (I)	14477	15913	1639	5760	536
UT-AV (II)	4142	3457	1028	17430	355
UT-AV (III)	11833	11861	1995	18787	811

De acordo com os dados da tabela 21, na unidade UT-AV-I se concentram a maior parte dos núcleos urbanos na área de estudo. Os processos tecnológicos associados a dinâmica urbana estão diretamente vinculados a incidência de erosões em UT-AV-I. Esse fenômeno induzido é discutido por Arcaya (2007). A unidade UT-AV-II ocorre de forma contígua às áreas de declividade elevada, por isso também é atingida pela ação erosiva. A unidade UT-AV-III é caracterizada pela declividade acentuada, superior a 30%, com elevada taxa de fluxo associada ao escoamento superficial, em consequência disso é a classe de terreno mais suscetível à erosão.

Tabela 20 - Análise de frequência e densidade de feições erosivas nas unidades de terreno.

<i>UNIDADES DE TERRENO</i>	<i>TOTAL</i>	<i>ÁREA</i>	<i>DENSIDADE (Erosão/Área)</i>
UT-AV (I)	38325	737529,22	0,0520
UT-AV (II)	26412	565714,47	0,0467
UT-AV (III)	45287	238944,15	0,1895

Em escala de visualização a partir de 1:50.000 da Figura 29 é possível observar a distribuição das erosões na área de estudo, e constatar que o traçado das vias

existentes possuem estreita associação com as ocorrências de erosão lineares, paralelas aos locais pavimentados. Isso se deve aos fatores relacionados à construção das rodovias, como: a abertura de ‘caixas de empréstimo’ sem a devida recuperação ao longo da via; e o escoamento superficial concentrado pela impermeabilização da área pavimentada.

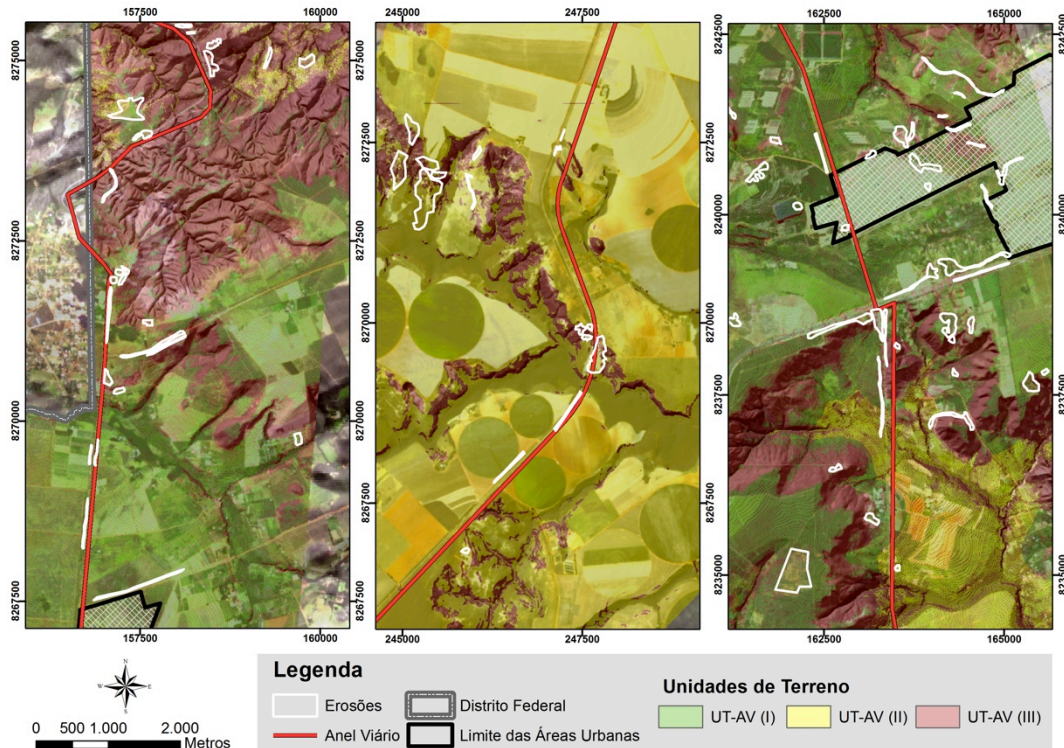


Figura 29 - Três cenas na escala 1:50.000 que ilustram os processos erosivos paralelos às rodovias.

A relação espacial também é verificada com áreas urbanas consolidadas interferentes com a área de estudo na Figura 30, que correspondem às cidades com expressiva concentração populacional no quadrante sudoeste do DF: Ceilândia, Samambaia, Recanto das Emas, Santa Maria, Gama e Brazlândia.

Ou seja, independentemente dos condicionantes do meio físico, a atividade antrópica se configura como o principal fator desencadeante dos processos erosivos nas unidades de terreno mapeadas, em função da inexistência de dispositivos adequados de detenção, retenção, dissipação de energia, adução, condução e lançamento das águas pluviais. Essa dedução é corroborada por Arcaya (2007).

Contudo, não se identificou a correlação existente entre os processos erosivos mapeados e a natureza do material constituinte em cada unidade, e sim uma

dependência direta com ações antrópicas. Infere-se, portanto, que a suscetibilidade dos solos da região aliada à acelerada urbanização e carência de sistemas de drenagem urbana provocaram impactos resultando em erosões e assoreamento dos corpos hídricos, sem que haja uma indução natural.

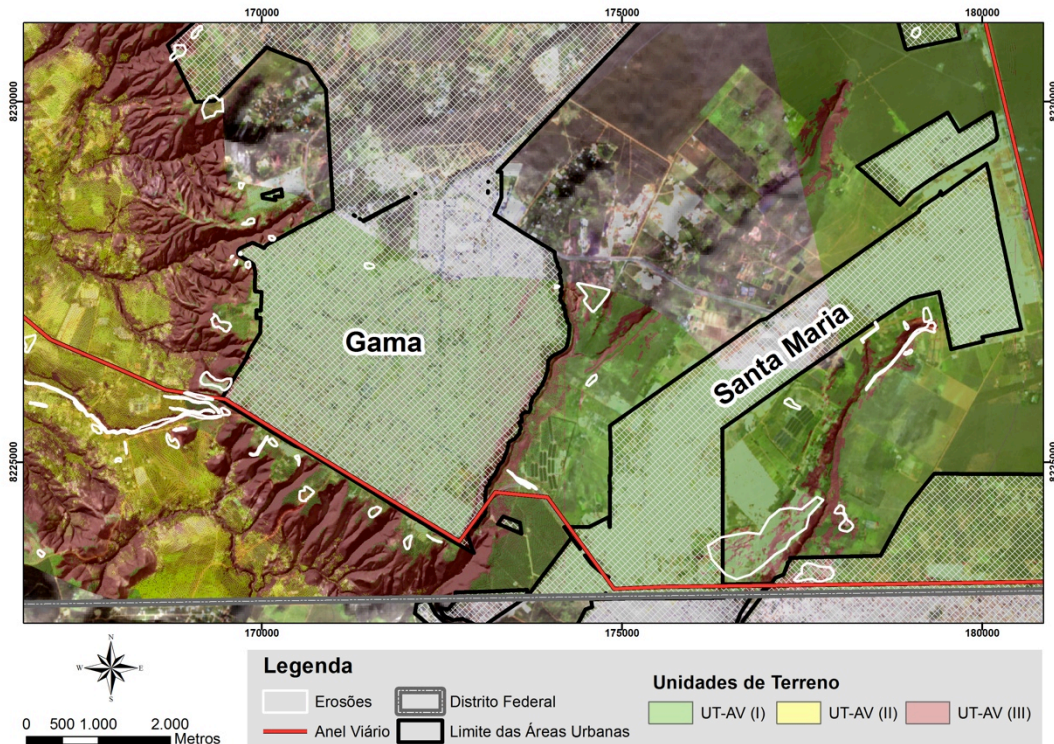


Figura 30 - Cartograma na escala 1:50.000 das cidades de Gama e Santa Maria e o intenso processo erosivo associado a urbanização conjugado com a declividade elevada.

Tabela 21 - Critérios de avaliação de suscetibilidade à processos erosivos, modificado de Souza (1992).

AVALIAÇÃO				
SUSCETIBILIDADE À PROCESSOS EROSIVOS				
TIPO	ATRIBUTO	CLASSES		
		ALTA	MÉDIA	BAIXA
EROSÃO	TIPO DE SOLO	Colúvio, aluvião, podzólico	Latossolo, areia quartzosa	Latossolo argiloso
	ESPESSURA DE SOLO	> 10 m	> 10 m	< 10 m
	TEXTURA	Arenoso	Silte e argila	Argiloso
	DECLIVIDADE	>30%	10 - 30%	<10%
	FORMA DE ENCOSTA	Convexa, combinada, côncava e coletora	Côncava/convexa	Convexa/côncava / Retilínea
	ÁGUA SUPERFICIAL	Escoamento superficial	Escoamento e infiltração	Infiltração

6.1.2. Movimento Gravitacional de Massa

O documento “*Diretrizes para Zoneamento de Susceptibilidade, Perigo e Risco de Deslizamento*” produzido pelo ‘Comitê Técnico em Deslizamentos e Taludes Artificiais’ (“JTC 1 - *Joint Technical Committee on Landslides and Engineered Slopes*”) é o trabalho mais atualizado no conhecimento sobre metodologia de análise e avaliações de perigos de deslizamentos no planejamento e uso do solo.

De acordo com as orientações do JTC-1 (2008), o inventário de deslizamentos é a base para todo o mapeamento, sendo fundamental que essa atividade seja realizada completamente. Com este objetivo, o inventário deverá ser em uma escala suficiente para o mapeamento de suscetibilidade e zoneamento de risco.

O zoneamento de deslizamentos para o planejamento de uso do solo é um instrumento necessário para o planejamento urbano por governos locais, mas também pode ser necessário para construtores, gerenciadores de áreas recreativas ou gestores da área de infra-estrutura (rodovias ou ferrovias).

Há situações que são mais suscetíveis à ocorrência de deslizamentos onde sua identificação subsidiaria o planejamento para construção e gerenciamento de risco de deslizamentos. A combinação da existência de uma área potencialmente sujeita ao deslizamento e a escala e tipo de construção na área determinará se o zoneamento de deslizamentos é necessário para o planejamento de uso do solo.

No caso da área em estudo, as situações topográficas, geológicas e de construção nas quais deslizamentos se configuram como um processo em potencial. Não há registros sistemáticos de deslizamentos que forneçam dados para a produção de mapas de deslizamento, mas condições geológicas e geomorfológicas são tais que os tornam possíveis, como em setores escarpados com declividade superiores a 50%, interferentes a contatos litológicos entre quartzito (topo) e metarritmito (encosta). A figura 31 mostra a cicatriz de deslizamento, no entanto, não há registro da data de ocorrência. Foram considerados os atributos da tabela 22 na avaliação.

Presume-se que o contato litológico entre quartzitos e metarritmitos, em chapadas elevadas e as escarpas respectivamente, sejam locais fontes de materiais suscetíveis ao movimento gravitacional de massa, e o sopé da encosta é o local suscetível ao recebimento do mesmo, como ilustra a figura 31, 32, 33 e 34. O desnível

entre topo e base é de até 370 metros em aproximadamente 5000 metros em extensão horizontal.

Tabela 22 - Critérios de avaliação de suscetibilidade à MGM – movimentos gravitacionais de massa, modificado de Souza (1992).

AVALIAÇÃO			
SUSCETIBILIDADE À MOVIMENTO GRAVITACIONAL DE MASSA			
ATRIBUTO	CLASSES		
	ESTÁVEIS	POTENC-INSTÁVEL	PRÉ-INSTÁVEL
DECLIVIDADE	< 10%	10 – 30%	> 30%
FORMA DA ENCOSTA	Convexa/retilínea	Côncava/convexa	Côncava/retilínea
SAZONALIDADE DE CHUVAS	Não	Sim	Sim (concentrada)
TIPO DE MATERIAL	Solo laterítico / Rocha sã	Saprolito	Solo laterítico/ saprolito
ESPESSURA DO MAT.CONOLIDADO	>5 metros	2 – 5 metros	< 2 metros
PROF.DO NÍVEL DE AGUA	>10 metros	3 – 10 metros	< 3 metros
DESCONTINUIDADE	Maciço	Foliação	Contato Geológico

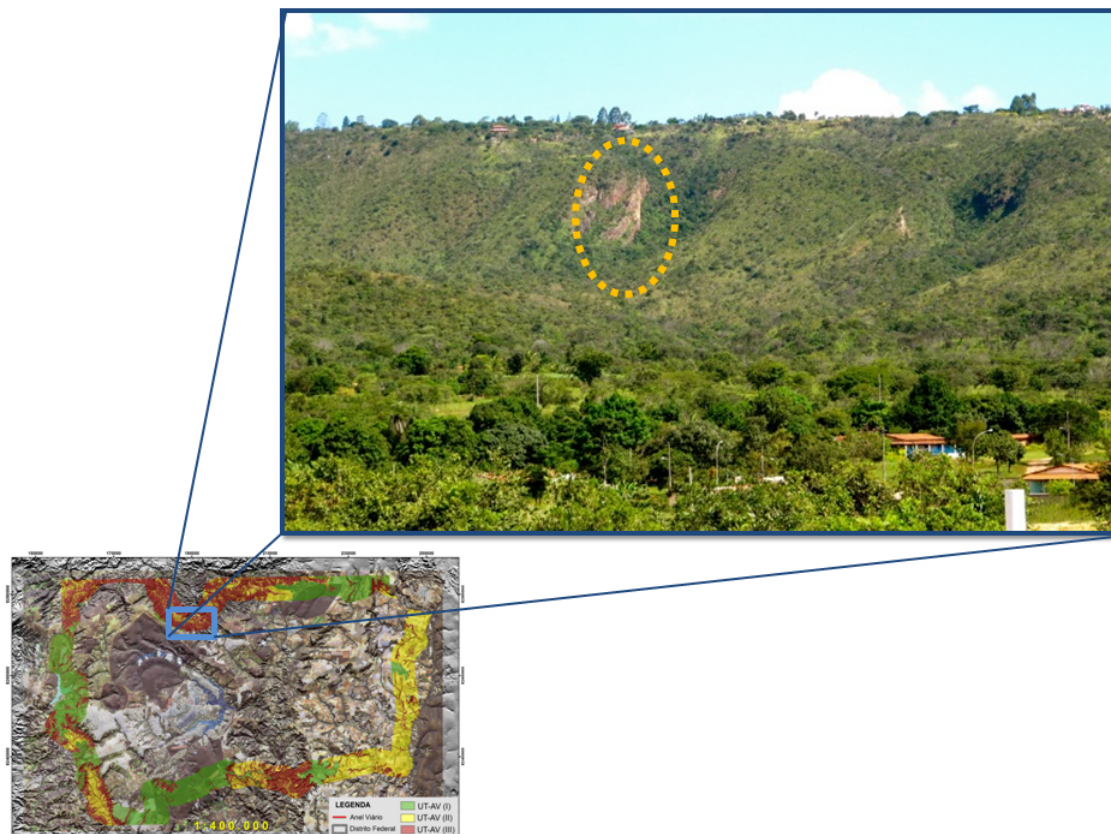


Figura 31- Cicatriz na encosta na UT-AV-III



Figura 32- Litologia em área com suscetibilidade a movimento gravitacional de massa



Figura 33 - Compartimentos geomorfológicos em área com suscetibilidade a movimento gravitacional de massa.

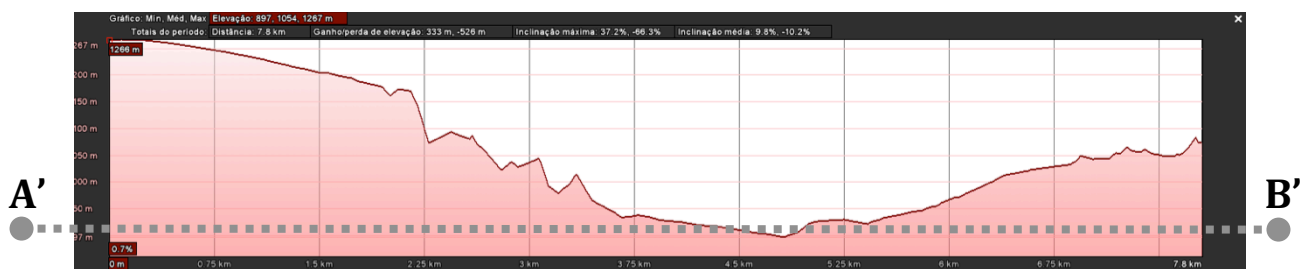


Figura 34 - Perfil da área com suscetibilidade a movimento gravitacional de massa

6.1.3. Inundação

Essa análise pretende apontar setores da área de estudo, que em virtude de características do terreno e concentração pluviométrica são indicativas de inundação. Porém essa análise é restrita e a intenção é tão somente indicar áreas potenciais para ocorrência de inundação, visto se tratar de uma análise complexa que envolve diversas variáveis hidrológicas para se obter um resultado com rigor técnico-científico.

Os critérios de avaliação (Tabela 23) foram baseados em Souza (1992), que teve a declividade dos compartimentos geomorfológicos, somada aos condicionantes climatológicos e de densidade de drenagem, como agentes deflagradores das inundações.

Na figura 35, no mesmo setor geográfico da figura 31, ilustra o contexto de suscetibilidade a inundação com a combinação entre os fatores morfológicos de alta declividade e alta densidade de drenagem, em zona com pluviometria elevada.

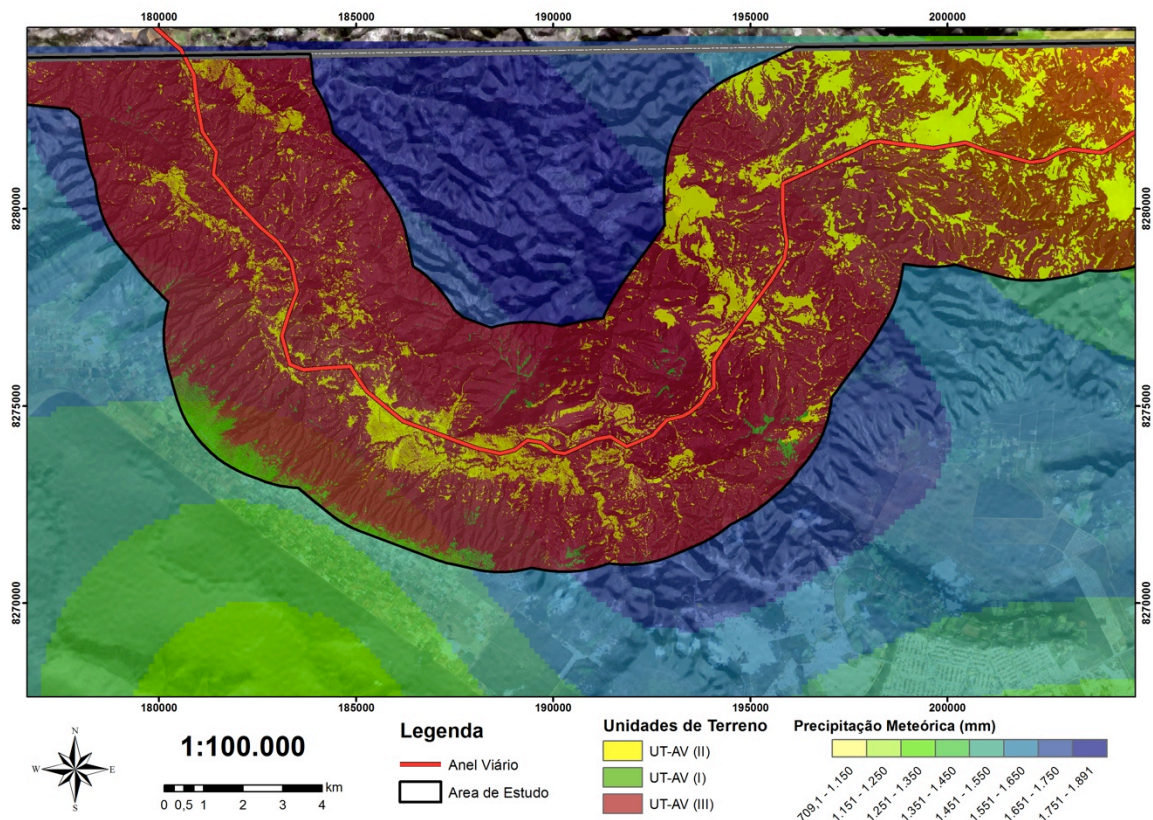


Figura 35 - Recorte (1:100.000) de uma área indicativa à suscetibilidade à inundação e a erosão, com alto índice de pluviosidade em terreno com declividade acentuada e densidade de drenagem elevada.

Tabela 23 - Critérios de avaliação de suscetibilidade à inundação, modificado de Souza (1992).

AVALIAÇÃO				
SUSCETIBILIDADE À INUNDAÇÃO				
TIPO	ATRIBUTO	CLASSES		
		MÉDIA	BAIXA	NULA
INUNDAÇÃO	DECLIVIDADE	0 - 2% nas planícies de inundação 0 - 2% fora das planícies de inundação	>2%	>10% encosta e topo
	TAXA DE ESCOAMENTO/ INFILTRAÇÃO	Predomínio da infiltração Equilíbrio infiltração/escoamento	Predomínio escoamento/ Infiltração	Escoamento
	BACIA DE CAPTAÇÃO	Grandes áreas muitos canais Grandes áreas poucos canais	Pequenas áreas poucos canais	Pequenas áreas sem canais

6.2. Atributos do Meio Físico para Avaliação de Terrenos

Uma vez reconhecidos os principais fatores determinantes de aptidão à urbanização, a partir de Souza (1992), Parizi (2003), Parizi & Diniz (2004), os atributos selecionados e adaptados para avaliação da aptidão ao desenvolvimento urbano, e têm como enfoque principal os parâmetros do meio físico para caracterização integrada das unidades de terreno.

A avaliação quantitativa foi efetuada por histograma zonal, com a ferramenta *Zonal Histogram* no *ArcGis 10* (*Spatial Analyst Tools* → *Zonal* → *Zonal Histogram*). O histograma zonal permite analisar a distribuição de freqüência dos valores de um conjunto de dados (número de pixels) dentro de uma classe de outro conjunto de dados. Neste caso, as classes relacionadas ao meio físico dentro das classes de terreno. Uma zona é definida como todas as áreas do plano de informação de entrada que têm o mesmo valor, sem que necessariamente as áreas sejam contíguas.

Foi considerada a preponderância de um intervalo de valores sobre outro do mesmo tema, visto que a combinação absoluta (100%) entre as classes de intervalo dos atributos é improvável.

6.2.1.Litologia

A **Litologia** reflete as características composicionais e estruturais que condicionam o uso do substrato rochoso na engenharia. A caracterização das propriedades físico-mecânicas deve conter as seguintes avaliações: alterabilidade, coesão (tenacidade, dureza e friabilidade) e descontinuidades estruturais.

Afeta diretamente o desenvolvimento urbano em termos de escavabilidade. Podendo ser classificada como rocha sã, alterada, mole e dura. Rochas “duras” são mais apropriadas para fundações, no entanto há o aumento do custo de escavações.

As características litológicas do substrato rochoso associadas à intensidade do intemperismo e à natureza da alteração e grau de fraturamento, condicionam a suscetibilidade erosiva do material.

Os dados utilizados nessa pesquisa são provenientes do mapeamento geológico de Campos (2012) e faz parte do ZEE-DF. A tabela 24 é um recorte amostral dos atributos do dado geoespacial.

Tabela 24 - Recorte amostral da tabela de atributos da geologia da área em estudo, com destaque para a litologia

ORJE	Sha	Id	unidades	código	rocha	grupo	Corleqenda	descrição
1	Poly	0	Grupo Bambuí - Topo	NPBT		Bambuí	cinza escuro	TOPO (inclui as formações Serra da Saudade e Três Marias): siltitos argilosos, folhelhos e camadas de arcósius.
2	Poly	0	Grupo Bambuí - Topo	NPBT		Bambuí	cinza escuro	TOPO (inclui as formações Serra da Saudade e Três Marias): siltitos argilosos, folhelhos e camadas de arcósius.
3	Poly	0	Calcifilitos	MNPccf	Calcifilitos	Canastra	azul marinho	filitos, calcifilitos e lentes de mármore finos.
4	Poly	0	Grupo Araxá: Xistos	NPa	xistos	Araxá	verde abacate	quartzo-muscovita xistos, muscovita-clorita xistos e lentes de quartzitos micáceos.
5	Poly	0	Ardósias	MNPpa	Ardósias	Paranoá	magenta	Unidade Ardósia: Ardósias roxas, com duas civagens ardósianas penetrativas.
6	Poly	0	Metarrimto Arenoso	MNPr3	Metarrimto	Paranoá	bege claro	Unidade Metarrimto Arenoso: Metarrimtos com camadas e bancos de quartzitos e metalamitos, com predominância de fácies psamíticas.
7	Poly	0	Filitos	MNPcf	Filitos	Canastra	cinza claro	fengita filitos, clorita filitos, quartzo filitos, fengita-clorita-filitos e lentes de quartzitos.
8	Poly	0	Grupo Bambuí Base	NPBb		Bambuí	azul médio	BASE (inclui as formações Sete Lagoas e Serra de Santa Helena): lentes de calcários micríticos, folhelhos, siltitos argilosos ricos em mica detrítica
9	Poly	0	Quartzitos Médios	MNPq3	Quartzitos	Paranoá	amarelo	Unidade Quartzito Médio: Quartzitos brancos, médios, silicificados, bem selecionados e puros.
10	Poly	0	Grupo Bambuí Base	NPBb		Bambuí	azul médio	BASE (inclui as formações Sete Lagoas e Serra de Santa Helena): lentes de calcários micríticos, folhelhos, siltitos argilosos ricos em mica detrítica
11	Poly	0	Grupo Bambuí Base	NPBb		Bambuí	azul médio	BASE (inclui as formações Sete Lagoas e Serra de Santa Helena): lentes de calcários micríticos, folhelhos, siltitos argilosos ricos em mica detrítica
12	Poly	0	Calcifilitos	MNPccf	Calcifilitos	Canastra	azul marinho	filitos, calcifilitos e lentes de mármore finos.
13	Poly	0	Grupo Bambuí Base	NPBb		Bambuí	azul médio	BASE (inclui as formações Sete Lagoas e Serra de Santa Helena): lentes de calcários micríticos, folhelhos, siltitos argilosos ricos em mica detrítica
14	Poly	0	Grupo Bambuí Base	NPBb		Bambuí	azul médio	BASE (inclui as formações Sete Lagoas e Serra de Santa Helena): lentes de calcários micríticos, folhelhos, siltitos argilosos ricos em mica detrítica
15	Poly	0	Ardósias	MNPpa	Ardósias	Paranoá	magenta	Unidade Ardósia: Ardósias roxas, com duas civagens ardósianas penetrativas.
16	Poly	0	Calcifilitos	MNPccf	Calcifilitos	Canastra	azul marinho	filitos, calcifilitos e lentes de mármore finos.
17	Poly	0	Grupo Bambuí Base	NPBb		Bambuí	azul médio	BASE (inclui as formações Sete Lagoas e Serra de Santa Helena): lentes de calcários micríticos, folhelhos, siltitos argilosos ricos em mica detrítica
18	Poly	0	Grupo Bambuí Base	NPBb		Bambuí	azul médio	BASE (inclui as formações Sete Lagoas e Serra de Santa Helena): lentes de calcários micríticos, folhelhos, siltitos argilosos ricos em mica detrítica
19	Poly	0	Filitos	MNPcf	Filitos	Canastra	cinza claro	fengita filitos, clorita filitos, quartzo filitos, fengita-clorita-filitos e lentes de quartzitos.
20	Poly	0	Grupo Bambuí Base	NPBb		Bambuí	azul médio	BASE (inclui as formações Sete Lagoas e Serra de Santa Helena): lentes de calcários micríticos, folhelhos, siltitos argilosos ricos em mica detrítica
21	Poly	0	Psamo-Pelto Carbonatada	MNPppc	Carbonatos	Paranoá	verde escuro	Unidade Psamo-Pelto-Carbonatada: Metassiltitos argilosos com lentes e camadas de quartzitos médios a grossos e lentes de rochas carbonáticas
22	Poly	0	Psamo-Pelto Carbonatada	MNPppc	Carbonatos	Paranoá	verde escuro	Unidade Psamo-Pelto-Carbonatada: Metassiltitos argilosos com lentes e camadas de quartzitos médios a grossos e lentes de rochas carbonáticas
23	Poly	0	Grupo Bambuí Base	NPBb		Bambuí	azul médio	BASE (inclui as formações Sete Lagoas e Serra de Santa Helena): lentes de calcários micríticos, folhelhos, siltitos argilosos ricos em mica detrítica
24	Poly	0	Filitos	MNPcf	Filitos	Canastra	cinza claro	fengita filitos, clorita filitos, quartzo filitos, fengita-clorita-filitos e lentes de quartzitos.
25	Poly	0	Grupo Bambuí Base	NPBb		Bambuí	azul médio	BASE (inclui as formações Sete Lagoas e Serra de Santa Helena): lentes de calcários micríticos, folhelhos, siltitos argilosos ricos em mica detrítica
26	Poly	0	Psamo-Pelto Carbonatada	MNPppc	Carbonatos	Paranoá	verde escuro	Unidade Psamo-Pelto-Carbonatada: Metassiltitos argilosos com lentes e camadas de quartzitos médios a grossos e lentes de rochas carbonáticas
27	Poly	0	Metarrimto Argiloso	MNPr4	Metarrimto	Paranoá	laranja	Unidade Metarrimto Argiloso: Metarrimtos com camadas centimétricas a decimétricas de quartzitos e metassiltitos.
28	Poly	0	Metarrimto Arenoso	MNPr3	Metarrimto	Paranoá	bege claro	Unidade Metarrimto Arenoso: Metarrimtos com camadas e bancos de quartzitos e metalamitos, com predominância de fácies psamíticas.
29	Poly	0	Quartzitos Médios	MNPq3	Quartzitos	Paranoá	amarelo	Unidade Quartzito Médio: Quartzitos brancos, médios, silicificados, bem selecionados e puros.
30	Poly	0	Quartzitos Grossos	MNPq2	Quartzitos	Paranoá	laranja claro	Quartzito Conglomerático: Quartzitos grossos com grânulos e seixos, brancos, silicificados, fraturados, maduros e puros.
31	Poly	0	Grupo Bambuí - Topo	NPBT		Bambuí	cinza escuro	TOPO (inclui as formações Serra da Saudade e Três Marias): siltitos argilosos, folhelhos e camadas de arcósius.

As informações obtidas nas análises do gráfico 1 e da tabela 25, referentes aos tipos de rocha por cada unidade de terreno, serão utilizadas na avaliação dos terrenos.

Tipos de Rochas

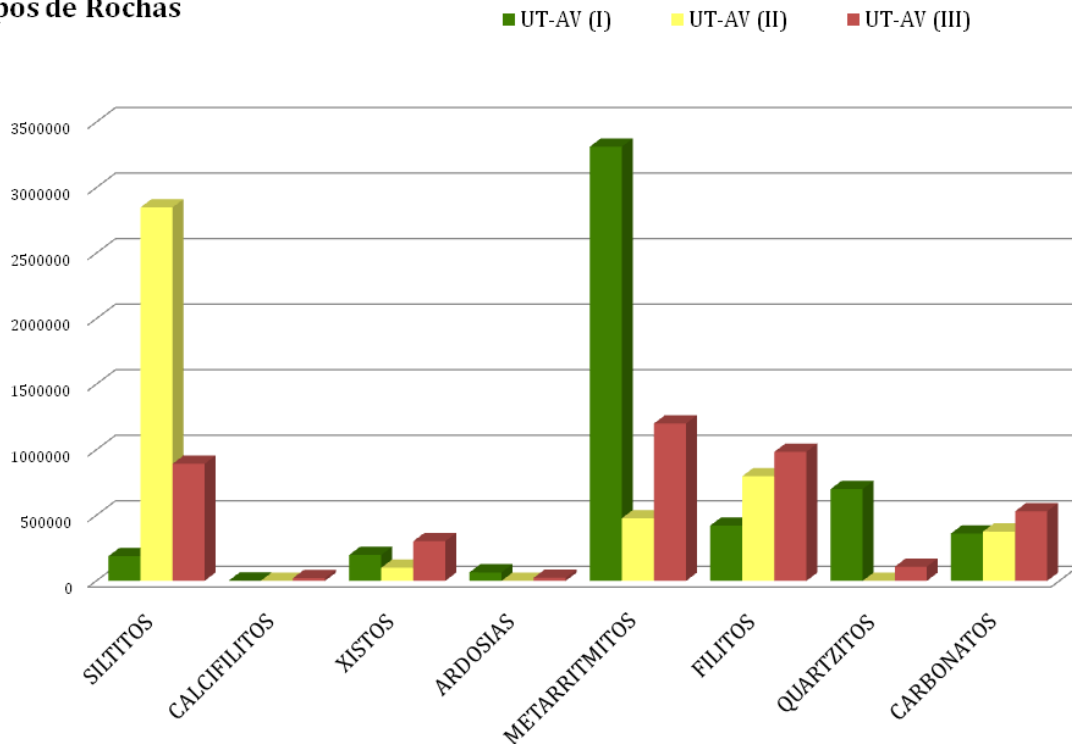


Gráfico 1- Histograma com os tipos de rochas nas unidades de terreno da área em estudo.

Tabela 25 - Dados quantitativos dos tipos de rocha nas Unidades de Terreno

LABEL	SILTITOS	CALCIFILITOS	XISTOS	ARDOSIAS	METARRITMITOS	FILITOS	QUARTZITOS	CARBONATOS
UT-AV (I)	187728 3,58%	1401 0,03%	197088 1,22%	64164 1,22%	3312365 63,15%	421371 8,03%	699858 13,34%	361127 6,89%
UT-AV (II)	2848860 61,92%	981 0,02%	99485 2,16%	0 0,00%	477752 10,38%	798306 17,35%	17 0,00%	375841 8,17%
UT-AV (III)	892573 21,97%	20385 0,50%	302116 7,44%	22828 0,56%	1200643 29,56%	984792 24,24%	107937 2,66%	530858 13,07%

6.2.2. Classes de Solos

As **classes de solo** fornecem informações sobre as formas de relevo e substrato rochoso. Através das características físicas e mecânicas dos solos é possível presumir informações relevantes para a cartografia geotécnica.

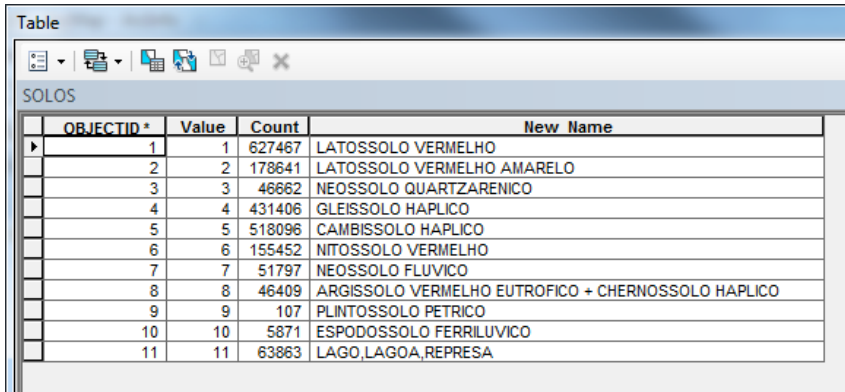
Martins *et al.* (2002) mostram a relação entre os solos e as formas de relevo da região da APA da Cafuringa, coincidente com a unidade UT-AV-III à norte da área de estudo (Tabela 26).

Tabela 26 - Relação entre os solos e as formas de relevo da região da APA da Cafuringa (Martins *et al*, 2002)

CLASSE DE SOLOS	CONTEXTO DA PAISAGEM	OCORRÊNCIA	Observações
Latossolo vermelho	<ul style="list-style-type: none"> Chapada Topos convexos Depressões cársticas 	Regolitos lateríticos	
Latossolo vermelho-amarelo	<ul style="list-style-type: none"> Chapada Abaciamentos (concavidades) Depressões 	Sedimentos argilosos	
Argissolo vermelho; Nitossolo; Chernossolo háplico	<ul style="list-style-type: none"> Serras Depressões 	Base de morros sobre rochas pelito-carbonatadas	As classes de solo são diferenciadas pela contribuição de carbonato do material de origem.
Argissolo vermelho-amarelo	<ul style="list-style-type: none"> Serras Depressões <p>* em locais com mais água</p>	Base de morros sobre rochas pelito-carbonatadas,	As classes de solo são diferenciadas pela contribuição de carbonato do material de origem.
Cambissolo	Em todos os contextos, exceto chapadas	Todos os materiais de origem da região	Relevo muito movimentado e dissecado.

Os dados utilizados nessa pesquisa são provenientes do mapa pedológico digital do DF de Reatto *et al.* (2004) na escala 1:100.000. A tabela 27 é um recorte amostral dos atributos dos dados geoespaciais.

Tabela 27 - Recorte amostral da tabela de atributos das classes de solos na área em estudo



OBJECTID*	Value	Count	New Name
1	1	627467	LATOSSOLO VERMELHO
2	2	178641	LATOSSOLO VERMELHO AMARELO
3	3	46662	NEOSSOLO QUARTZARENICO
4	4	431406	GLEISSOLO HAPLICO
5	5	518096	CAMBISSOLO HAPLICO
6	6	155452	NITOSSOLO VERMELHO
7	7	51797	NEOSSOLO FLUVICO
8	8	46409	ARGISSOLO VERMELHO EUTROFICO + CHERNOSSOLO HAPLICO
9	9	107	PLINTOSSOLO PETRICO
10	10	5871	ESPODOSSOLO FERRILUVICO
11	11	63863	LAGO,LAGOA,REPRESA

As informações obtidas nas análises do gráfico 2 e da tabela 28, referentes aos tipos de rocha por cada unidade de terreno, serão utilizadas na avaliação dos terrenos.

Tabela 28 - Dados quantitativos das classes de rocha nas Unidades de Terreno

LABEL	LATOSSOLO VERM.	LATOSSOLO VERM.AMAR	NEOSSOLO	GLEISSOLO	CAMBISSOLO	NITOSSOLO	NEOSSOLO	ARGISSOLO	PLINTOSSOLO	ESPODOSSOLO	LAGO
UT-AV (I)	3068787	1174089	35050	233989	607380	17391	0	0	85	3166	58961
	59,03%	22,58%	0,67%	4,50%	11,68%	0,33%	0,00%	0,00%	0,00%	0,06%	1,13%
UT-AV (II)	2518288	253869	0	129603	1139788	468374	35374	12081	0	0	0
	55,26%	5,57%	0,00%	2,84%	25,01%	10,28%	0,78%	0,27%	0,00%	0,00%	0,00%
UT-AV (III)	578157	298174	8723	54995	2227031	811675	14434	26858	24	2633	2545
	14,36%	7,41%	0,22%	1,37%	55,33%	20,16%	0,36%	0,67%	0,00%	0,07%	0,06%

Classes de Solos

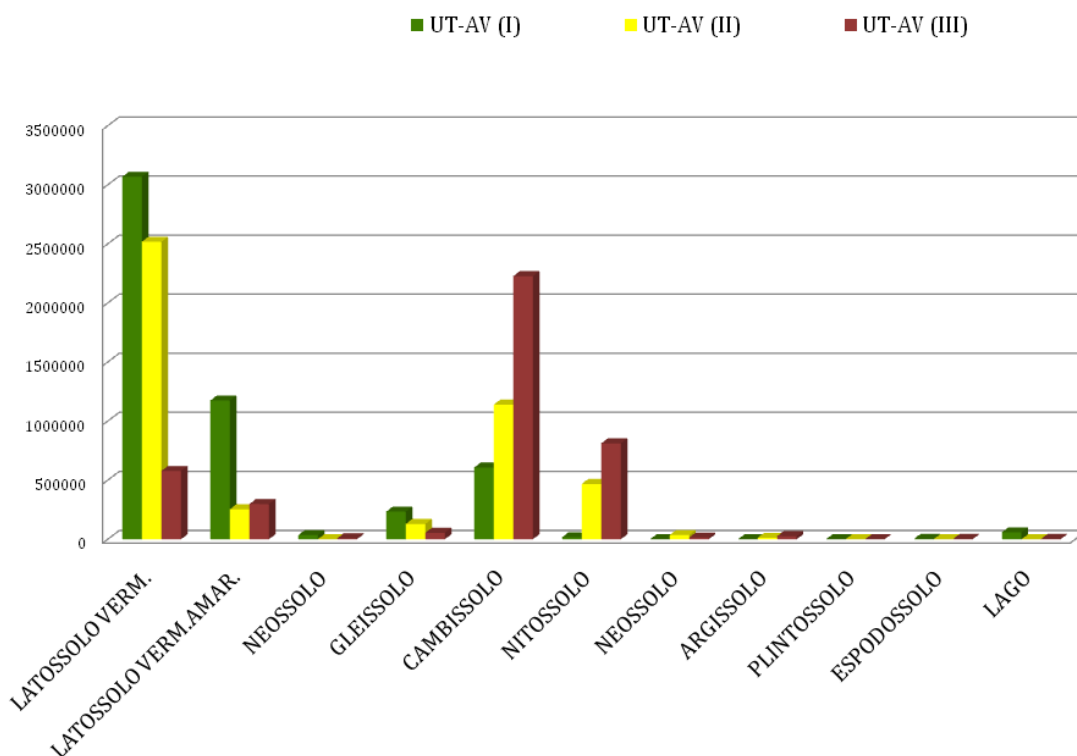


Gráfico 2 - Histograma com as classes de solo nas unidades de terreno da área em estudo.

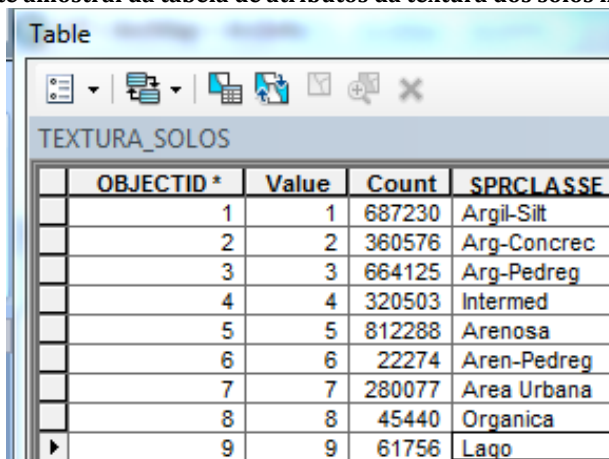
6.2.3. Textura de Solos

A **Textura** é um parâmetro do solo que refere às frações areia, silte e argila (Resende *et. al*, 2002). Relaciona-se com o conteúdo de água no solo e influi na capacidade de infiltração e absorção da água pluvial. Interfere diretamente na coesão entre as partículas do solo. Materiais arenosos são mais porosos e permeáveis e apresentam baixa suscetibilidade a deslizamentos e alta suscetibilidade à erosão. Já os materiais argilosos, embora possam apresentar boa porosidade, quando maciços

apresentam baixa permeabilidade e se mostram mais resistentes à erosão e muito mais suscetíveis aos deslizamentos

Os dados utilizados nessa pesquisa são provenientes do mapeamento geotécnico de Aguiar (1997) e faz parte da tese de doutorado “Zoneamento geotécnico geral do Distrito Federal”. A tabela 29 é um recorte amostral dos atributos do dado geoespacial.

Tabela 29 - Recorte amostral da tabela de atributos da textura dos solos na área em estudo



OBJECTID *	Value	Count	SPRCLASSE
1	1	687230	Argil-Silt
2	2	360576	Arg-Concrec
3	3	664125	Arg-Pedreg
4	4	320503	Intermed
5	5	812288	Arenosa
6	6	22274	Aren-Pedreg
7	7	280077	Area Urbana
8	8	45440	Organica
9	9	61756	Lago

As informações obtidas nas análises do gráfico 3 e da tabela 30, referentes a textura dos solos por cada unidade de terreno, serão utilizadas na avaliação dos terreno.

Tabela 30 - Dados quantitativos de textura dos solos nas Unidades de Terreno

LABEL	ARGILO_SILTOSO	ARGIL_CONCREC	ARGIL_PEDREG	INTERMED	ARENOSA	ARENO_PEDREG	AREA_URBANA	ORGANICA	LAGO
UT-AV (I)	3531274 67,37%	150967 2,88%	657274 12,54%	126661 2,42%	429599 8,20%	210 0,00%	248839 4,75%	37844 0,72%	58827 1,12%
UT-AV (II)	2296023 49,97%	135160 2,94%	1985773 43,22%	140062 3,05%	26348 0,57%	10423 0,23%	0 0,00%	844 0,02%	0 0,00%
UT-AV (III)	830271 20,48%	67167 1,66%	2815721 69,46%	48674 1,20%	240000 5,92%	11592 0,29%	30945 0,76%	6733 0,17%	2873 0,07%

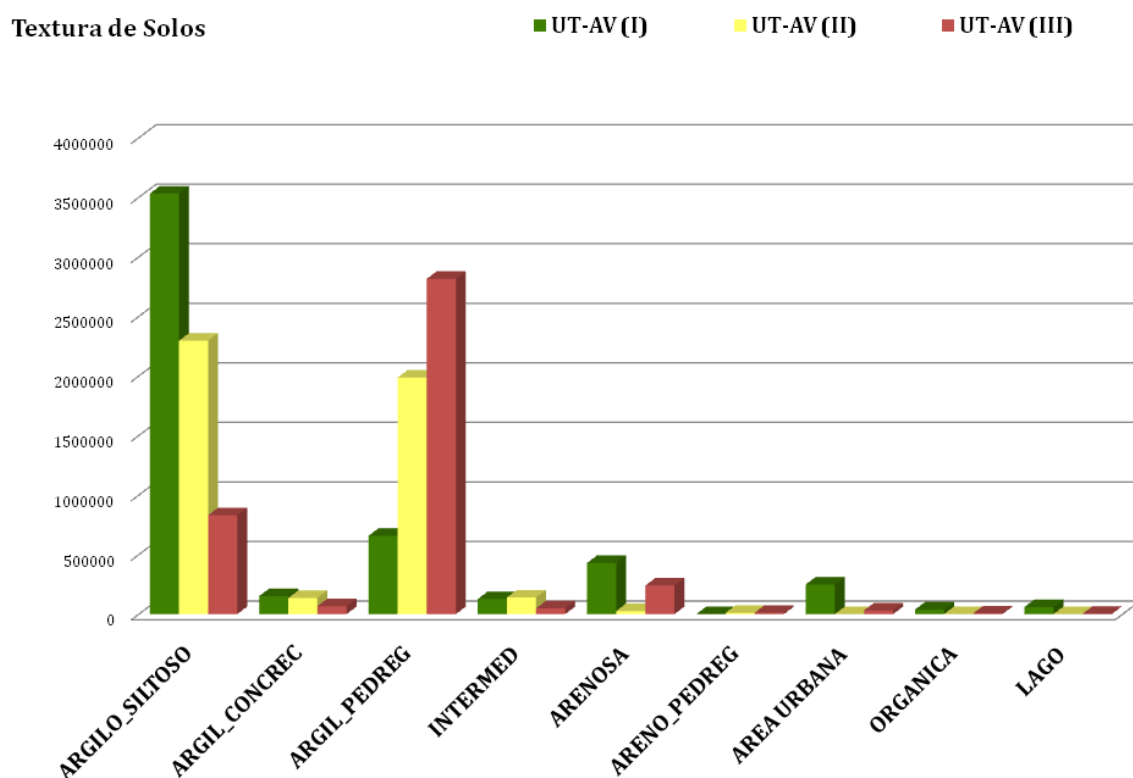


Gráfico 3 - Histograma com as texturas de solo nas unidades de terreno da área em estudo.

6.2.4. Espessura de Solos

A **Espessura** é uma propriedade do solo, sob o ponto de vista de processos do meio físico, relacionada ao comportamento erosivo. Solos rasos permitem rápida saturação hídrica dos horizontes superficiais, com propensão a enxurradas, e conseqüentemente, ao desenvolvimento de processos erosivos. Solos profundos apresentam maior capacidade de infiltração das águas pluviais, com condições menos erosíveis. Na avaliação ao desenvolvimento urbano, a profundidade dos solos condiciona a viabilidade de estruturas enterradas.

Os dados utilizados nessa pesquisa são provenientes do mapeamento geotécnico de Aguiar (1997) e faz parte da tese de doutorado “Zoneamento geotécnico geral do Distrito Federal”. A tabela 31 é um recorte amostral dos atributos do dado geoespacial.

As informações obtidas nas análises do gráfico 4 e da tabela 32, referentes a espessura dos solos por cada unidade de terreno, serão utilizadas na avaliação dos terreno.

Tabela 31 - Recorte amostral da tabela de atributos da espessura dos solos da área em estudo.

OBJECTID*	Value	Count	SPRCLASSE
1	1	550300	5 - 10m
2	2	720594	0 - 2m
3	3	719827	2 - 5m
4	4	282615	Area Urbana
5	5	135316	10 - 20m
6	6	245939	> 20m
7	7	106724	Lago

Tabela 32 - Dados quantitativos de espessuras de solo nas Unidades de Terreno

LABEL	0 - 2 m	2 - 5 m	5 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m	AREA URBANA	LAGO
UT-AV (I)	853075 16,27%	212267 4,05%	2409450 45,96%	1255505 23,95%	191800 3,66%	251972 4,81%	68011 1,30%
UT-AV (II)	1945498 42,34%	249620 5,43%	2356045 51,28%	11798 0,26%	0 0,00%	0 0,00%	31840 0,69%
UT-AV (III)	3051288 75,26%	203455 5,02%	634423 15,65%	81431 2,01%	47846 1,18%	30245 0,75%	5427 0,13%

Espessura de Solos

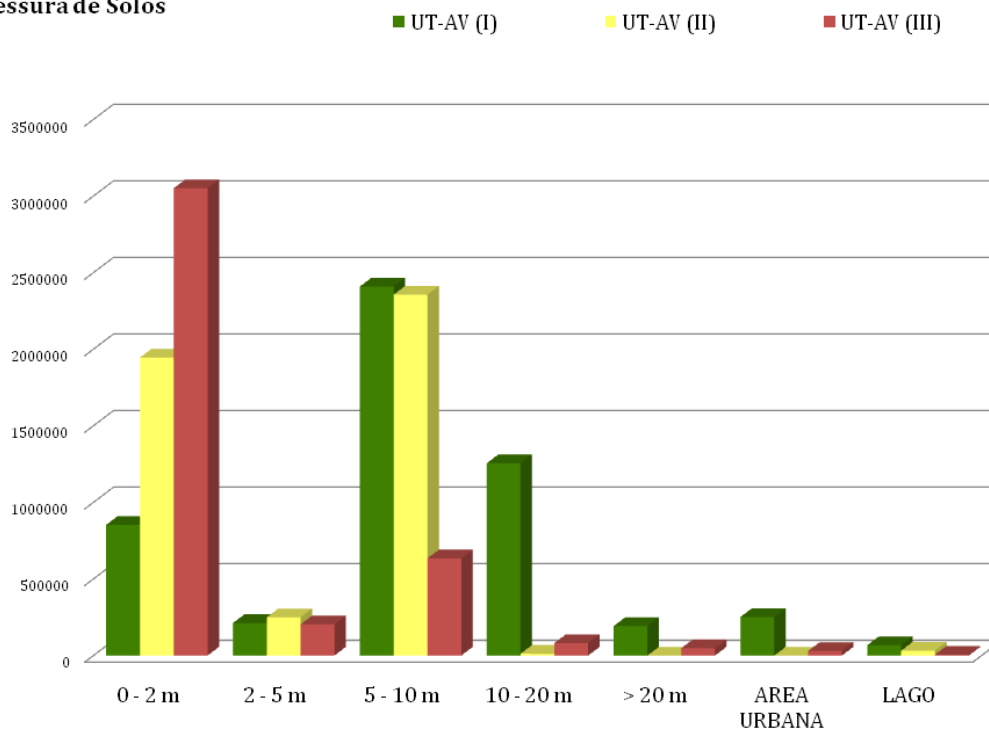


Gráfico 4 - Histograma com as espessuras de solo nas unidades de terreno da área em estudo.

6.2.5. Nível Freático

O *Nível freático* é a superfície da zona saturada pela água. Pode ser percebido por uma gama de propósitos aplicados à cartografia geotécnica e geoambiental. Pelo enfoque ambiental, tem conotação sobre a vulnerabilidade do aquífero a contaminação. Pelo enfoque da geotecnia, diz respeito à possibilidade de obras escavadas. Pelo enfoque dos processos geológicos, é um importante fator em erosões, deslizamentos e inundações.

Os dados utilizados nessa pesquisa são provenientes do mapeamento geotécnico de Aguiar (1997) e faz parte da tese de doutorado “Zoneamento geotécnico geral do Distrito Federal”. A tabela 33 é um recorte amostral dos atributos do dado geoespacial.

Tabela 33 - Recorte amostral da tabela de atributos do nível freático da área em estudo.

OBJECTID *	Value	Count	SPRCLASSE
1	1	117746	1_3m
2	2	594973	3_10m
3	3	591452	10_30m
4	4	154110	>30m
5	5	475950	0_1m
6	6	280312	Urbano
7	7	78178	Lago

As informações obtidas nas análises do gráfico 5 e da tabela 34, referentes ao nível freático por cada unidade de terreno, serão utilizadas na avaliação dos terreno.

Tabela 34 - Dados quantitativos do nível freático nas Unidades de Terreno

LABEL	0 - 1m	1 - 3m	3 - 10m	10 - 30m	> 30m	Urbano	Lago
UT-AV (I)	231353 4,41%	423524 8,08%	2002939 38,21%	2109604 40,24%	157723 3,01%	248950 4,75%	68014 1,30%
UT-AV (II)	70706 1,54%	269014 5,85%	2112857 45,98%	1730744 37,67%	405723 8,83%	0 0,00%	5740 0,12%
UT-AV (III)	144012 3,55%	358610 8,85%	1353842 33,39%	1435933 35,42%	726622 17,92%	31066 0,77%	4036 0,10%

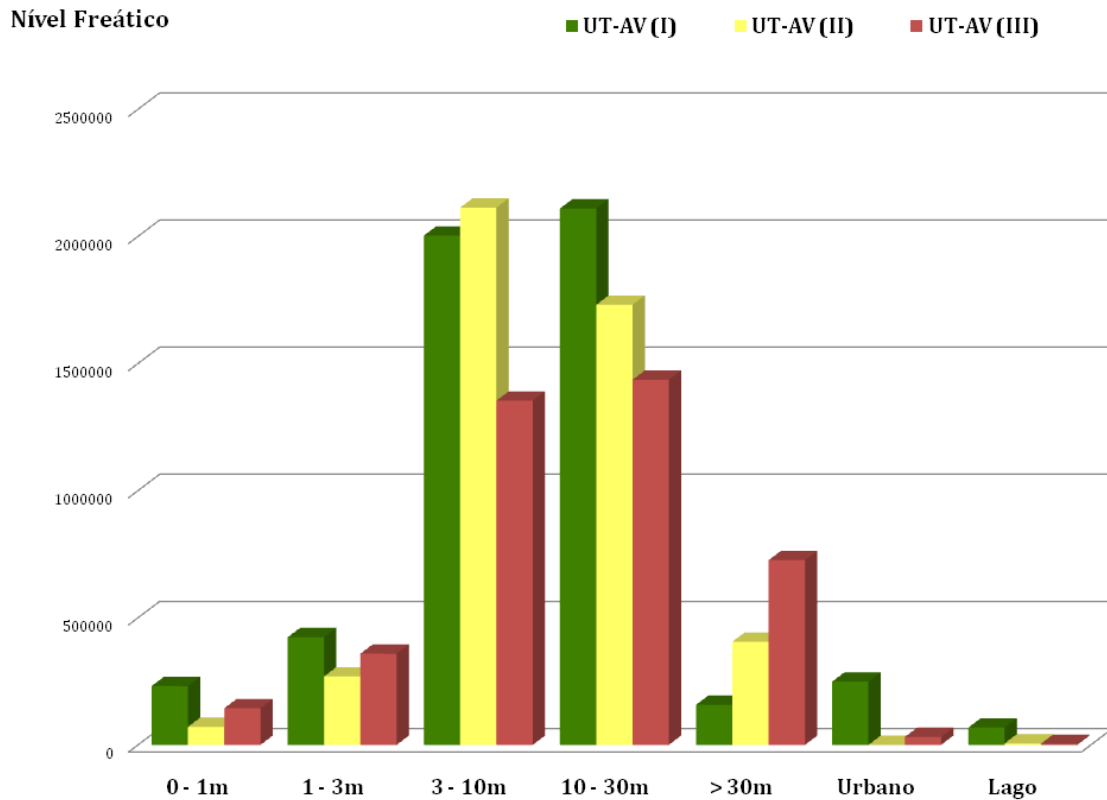


Gráfico 5 - Histograma com o nível freático nas unidades de terreno da área em estudo.

6.3. Análise das Unidades de Terreno

6.3.1.UT-AV-I

6.3.1.1.Caracterização e Avaliação da UT-AV -I

A unidade UT-AV-I está posicionada nas porções mais altas da área em estudo, em topos de chapadas formados pelos metarritmitos e quartzitos do Grupo Paranoá. Abrangem também as áreas no contexto de bordas de chapada, como o divisor entre as bacias dos Rios São Bartolomeu e Preto, embasada sob os filitos do Grupo Canastra. Ocorre também na Bacia do Descoberto, em metarritmitos argilosos e em pequena parte de xistos do Grupo Araxá.

A UT-AV-I corresponde a amplas formações de concreções ferruginosas e possui relação mútua com as formas de relevo em chapadas elevadas acima da cota de 1000m, sendo que as crostas ferruginosas atuam como cobertura resistente à dissecação fluvial. Em campo, observa-se a presença das carapaças lateríticas na sustentação em bordas de chapada, mantendo preservadas as superfícies reliquias de aplainamento. Abaixo do perfil laterítico, o manto de alteração saprolítico tende a



ser suscetível à erosão, sendo comum, a aceleração dos processos erosivos em áreas onde há o decapeamento dessa crosta ferruginosa.

Apresenta cobertura de solos constituída majoritariamente por latossolos (> 80%), textura argilo-siltosa (67%) e espessura superior a 5 metros (74%). De modo geral, a superfície é aplainada, com gradientes de declividade inferiores a 10% e amplitude de relevo entre 0 e 150 metros. Sob o ponto de vista geomorfológico, os terrenos da unidade UT-AV-I apresentam melhores condições a urbanização na circunvizinhança do Anel Viário.

Tabela 35 - Síntese da caracterização da Unidade UT-AV -I

PARÂMETROS E ATRIBUTOS		UNIDADES DE TERRENO	
		UT-AV -I	
ÁREA	Km ²	738,82	
	%	47,82%	
GEOLOGIA	<i>Grupo</i>	Paranoá	
	<i>Litotipos</i>	Metarritmitos (65%) Quartzitos (14%)	
GEOMORFOLOGIA	<i>Tipo de Vertentes</i>	Predominante retilíneo-planar	
	<i>Declividade</i>	0 a 10 %	
	<i>Altimetria</i>	Predominante entre 1000 e 1270 m	
	<i>Amplitude</i>	Predominante entre 0 e 150 m	
SOLOS	<i>Classe</i>	Latossolo vermelho (59%) e Latossolo vermelho-amarelo (23%)	
	<i>Textura</i>	Argilo-siltosa (67%)	
	<i>Espessura</i>	5 – 10 m (46%) e 10 – 20 m (24%)	
HIDROGEOLOGIA	<i>Domínio</i>	R3/Q3 (44%) e R4 (33%)	
	<i>Nível Freático</i>	10 – 30m (40%); 3 – 10m (38%)	

6.3.1.2. Recomendações ao Uso e Ocupação da UT-AV -I

Principalmente nas porções centro-oeste da área de estudo, os terrenos de superfície aplainada UT-AV-I transitam bruscamente com os terrenos dissecados da UT-AV-III. Esse contraste no relevo deve ser tratado sob o olhar da geologia de engenharia.

A UT-AV-I são áreas preferenciais para a infiltração das águas da chuva, e também são áreas com melhor aptidão ao uso urbano. A ocupação urbana do solo é impactante para as condições hidrológicas, enquanto não permite a infiltração natural das águas no solo. A consequência desse fato é aumento do escoamento superficial e posterior lançamento dos efluentes em cursos d'água, no caso em questão, a concentração do fluxo sob a unidade de terreno contígua (UT-AV-III).

Diante disso, a erosão é o principal processo geodinâmico atuante na unidade, e configura perigo (*hazard*) à ocupação urbana, principalmente quanto ao lançamento das águas pluviais. Os projetos de drenagem pluvial nesta unidade de terreno devem considerar as características do terreno, e adequar os dispositivos urbanos a essa condição do meio físico para controle da erosão urbana.

A remoção das crostas lateríticas em forma de cascalho para uso como agregados na construção civil deve ser acompanhado de recuperação da área degradada visto que os solos abaixo do nível laterítico são propensos ao desenvolvimento de erosões, em razão da diferença de resistência entre esses materiais ao intemperismo.

6.3.2. UT-AV-II

6.3.2.1. Caracterização e Avaliação da Unidade UT-AV -II

A unidade UT-AV -II está inserida em contexto de transição de formas dissecadas e superfícies planas a suave-ondulado, sendo entremeada por cursos d'água perenes e intermitentes de baixa densidade e padrão dendrítico. A porção mais representativa dessa unidade está a leste na área de estudo, limitada pelos rebordos da bacia do rio São Bartolomeu, em extensas superfícies tabulares. Está posicionada altimetricamente abaixo da unidade UT-AV-I cerca de 100 a 200 metros.

A UT-AV-II está presente também no fundo do vale do Rio Maranhão ao norte da

área de estudo, dominado pela UT-AV-III. Essas pequenas porções comprimidas entre o relevo de morros e de morrotes estão na parte mais baixa do DF, entalhado em cotas entre 650 e 700 metros e com alta densidade de drenagem. Combinado a isso, de acordo com o mapa de isoietas de precipitação, também é onde se concentra o maior índice pluviométrico. Diante disso, especialmente no período chuvoso entre novembro e fevereiro, as porções deste compartimento possuem suscetibilidade à inundação, assoreamento e atingimento por materiais provenientes de movimentos gravitacionais.

Em setores da UT-AV-II marcados pelas bacias dos rios Corumbá e Descoberto, os terrenos são rebaixados em níveis inferiores a 1000 metros, e que recebem a carga de sedimentos e eflúvios das porções superiores do relevo. A montante desses setores da UT-AV-II, no contexto das bacias dos rios Corumbá e Descoberto, estão às cidades de Ceilândia, Samambaia, Recanto das Emas e o Gama.

As rochas predominantes na Unidade UT-AV-II são do topo e da base do Grupo Bambuí, representados por siltitos, e seguido pelos filitos do Grupo Canastra (Gráfico 4). Ambas são tipos de rochas constituídos por material pelítico de granulometria fina, de natureza metassedimentar. Quando afetado pelas intempéries, ocorre a desagregação superficial ao longo dos planos de fraqueza dessas rochas, conhecida como empastilhamento. Assim, siltitos e filitos associados a vertente podem promover a desagregação do material que é facilmente carregado e depositado nas partes baixas.

Os latossolos são predominantes na Unidade UT-AV-II, com textura argilo-siltosa e espessura de solos superiores a 5 metros. Com proporções significativas estão os cambissolos e nitossolos, que confere a estes terrenos características limitantes à ocupação urbana, como pedregosidade e espessura de solos inferiores a 2 metros.

Tabela 36 - Síntese da caracterização da unidade UT-AV -II

PARÂMETROS E ATRIBUTOS		UNIDADES DE TERRENO UT-AV -II
ÁREA	Km²	566,70
	%	47,82%
GEOLOGIA	Grupo	Grupo Bambuí e Grupo Canastra
	Litotipos	Siltitos (62%) Filitos (17%)
GEOMORFOLOGIA	Tipo de Vertentes	Predominante retilíneo-planar
	Declividade	0 – 10%
	Altimetria	Predominante entre 850 a 1000 m
	Amplitude	Predominante entre 150 – 300 m
SOLOS	Classe	Latosolos (61%); Cambissolo (25%)
	Textura	Argilo-siltoso (50%); Argilo-pedregosa (43%)
	Espessura	5 – 10 metros (51%)
HIDROGEOLOGIA	Domínio	Bambuí (59%) e PPC (17%)
	Nível Freático	3 – 10m (46%); 10 – 30m (37%)

6.3.2.2. Recomendações ao Uso e Ocupação da Unidade UT-AV -II

Nas porções de cambissolos e nitossolos próximos aos cursos d'água e em rebordos, os atributos do meio físico qualificam essa unidade para uso urbano com restrições. Obras enterradas são pouco indicadas nesse contexto de pedregosidade acentuada e solos rasos.

A ocupação dessas áreas deve ser considerada a partir da observação das unidades adjacentes. Especialmente, a UT-AV-II mantém relações de contigüidade com terrenos da UT-AV-III, com quebras negativas de relevo entre essas unidades de declividade contrastante. Por isso, os processos erosivos tendem a ocorrer nessas

encostas onde há o incremento da energia no escoamento superficial concentrado e difuso. O recebimento de materiais transportados, líquidos ou sólidos, deve ser considerado na avaliação do uso dos terrenos de UT-AV-II.

6.3.3.UT-AV-III

6.3.3.1.Caracterização e Avaliação da Unidade UT-AV -III

A unidade UT-AV-III corresponde às áreas com topografia mais acidentadas e desnivelada no DF, com até 400 metros de gradiente. Está inserido no contexto de dissecação em setores da bacia do Rio Maranhão e do São Bartolomeu, a norte e a sul do DF, respectivamente. É limitada por planaltos da unidade UT-AV-I e patamares da UT-AV-II, com limites abruptos e marcados por vertentes íngremes e rebordos erosivos, sendo entalhada por rede de drenagem de alta densidade e padrão dendrítico e treliça. Possui alta amplitude de relevo (>300m), alta declividade (>30%), e as áreas com menores cotas altimétricas (<850m) está localizado no extremo norte do DF e no curso do Rio São Bartolomeu.

Está embasada em rochas com variedade composicional, porém com grau relativamente elevado de erodibilidade diante ao intemperismo. Os litotipos dominantes na área são filitos (Grupo Canastra), metarritmito argiloso (Grupo Paranoá) e Carbonatos (Grupo Paranoá). O potencial erosivo dos filitos é atribuído a sua foliação em alto ângulo, o que confere maior erodibilidade em relação aos metarritmitos argilosos. As rochas de composição carbonáticas têm maior alterabilidade em função da reatividade química dos minerais calcícticos e dolomíticos. A maior parte do calcifilito mapeado no DF está neste compartimento.

Ocorre a formação de espessos horizontes de plintossolo, especialmente nos domínios de filitos e siltitos, cujas concreções conferem pedregosidade na textura dos solos. Isso se deve ao alto conteúdo de ferro nesse litotipos, presentes na composição da clorita⁶ e ilita⁷.

⁶ Fórmula Geral da clorita- $(\text{Mg,Al,Fe})_6(\text{Mg,Al,Fe})_6(\text{Si,Al})_8\text{O}_{20}(\text{OH})_{16}$

⁷ Fórmula Geral da ilita- $\text{K}_{1,5-1,9}\text{Al}_{4-x}(\text{Fe,Mg})_x(\text{Si}_{6+y}\text{Al}_{2-y})\text{O}_{20}(\text{OH})_4$



Tabela 37 - Síntese da caracterização e avaliação da UT-AV-III

PARÂMETROS E ATRIBUTOS		UNIDADES DE TERRENO UT-AV -III
ÁREA	Km ²	239,35
	%	15,49%
GEOLOGIA	<i>Grupo</i>	Grupos Paranoá, Canastra e Bambuí
	<i>Litotipos</i>	Metarritmitos (30%); Filitos (24%); Siltito (22%) e Carbonatos (13%)
GEOMORFOLOGIA	<i>Tipo de Vertentes</i>	Predominante côncavo-divergente
	<i>Declividade</i>	> 10%
	<i>Altimetria</i>	Predominante entre 850 a 1000 m
	<i>Amplitude</i>	Predominante entre 300 a 542 m
SOLOS	<i>Classe</i>	Cambissolo (55%); Nitossolo (20%)
	<i>Textura</i>	Argilo-pedregoso (69%); Argilo-siltoso (21%)
	<i>Espessura</i>	0 – 2 metros (75%)
HIDROGEOLOGIA	<i>Domínio</i>	PPC (34,93%); R4 (20,74%); F (19,28%)
	<i>Nível Freático</i>	Maior que 3 metros

6.3.3.2. Recomendações ao Uso e Ocupação

Deve-se ser respeitada a restrição à ocupação em setores dessa unidade em virtude da atuação dos processos do meio físico relacionados à alta declividade. Assim sendo, a UT-AV-III apresenta alta suscetibilidade aos processos erosivos, movimento de massa e inundação.

Devido à ocorrência de rochas carbonáticas e lentes calcárias, as principais indústrias de cimento estão localizadas nesse compartimento, assim como outras atividades minerárias de agregados para construção civil (brita) e insumos agrícolas (calcário dolomítico). Recomenda-se que o planejamento territorial considere essa área como reserva estratégica dessas substâncias minerais necessárias para viabilização do desenvolvimento urbano.

De acordo com o mapa de nível freático (Aguiar, 1997), em uma restrita porção localizada na bacia do rio São Bartolomeu a profundidade do nível d'água é inferior a 1 metro. Esse tipo de situação de fragilidade ambiental agrava a suscetibilidade a inundação no local, sendo recomendável manter a área desocupada com a criação de unidade de conservação.

A beleza cênica da região permite a exploração de atividades pouco impactante e preservacionista, como turismo e criação de unidades de conservação.

6.4. Elementos Restritivos ao Desenvolvimento Urbano

Algumas características do terreno como encostas íngremes, áreas com relevância ambiental ou com destinação de outros interesses, podem levar a uma inaptidão de um local para determinado uso. Essas características devem ser incluídas em uma avaliação de aptidão à urbanização, para que o resultado final esteja mais próximo da realidade político-administrativa do espaço estudado. A tabela 36 sintetiza alguns elementos restritivos ao desenvolvimento urbano em questão.

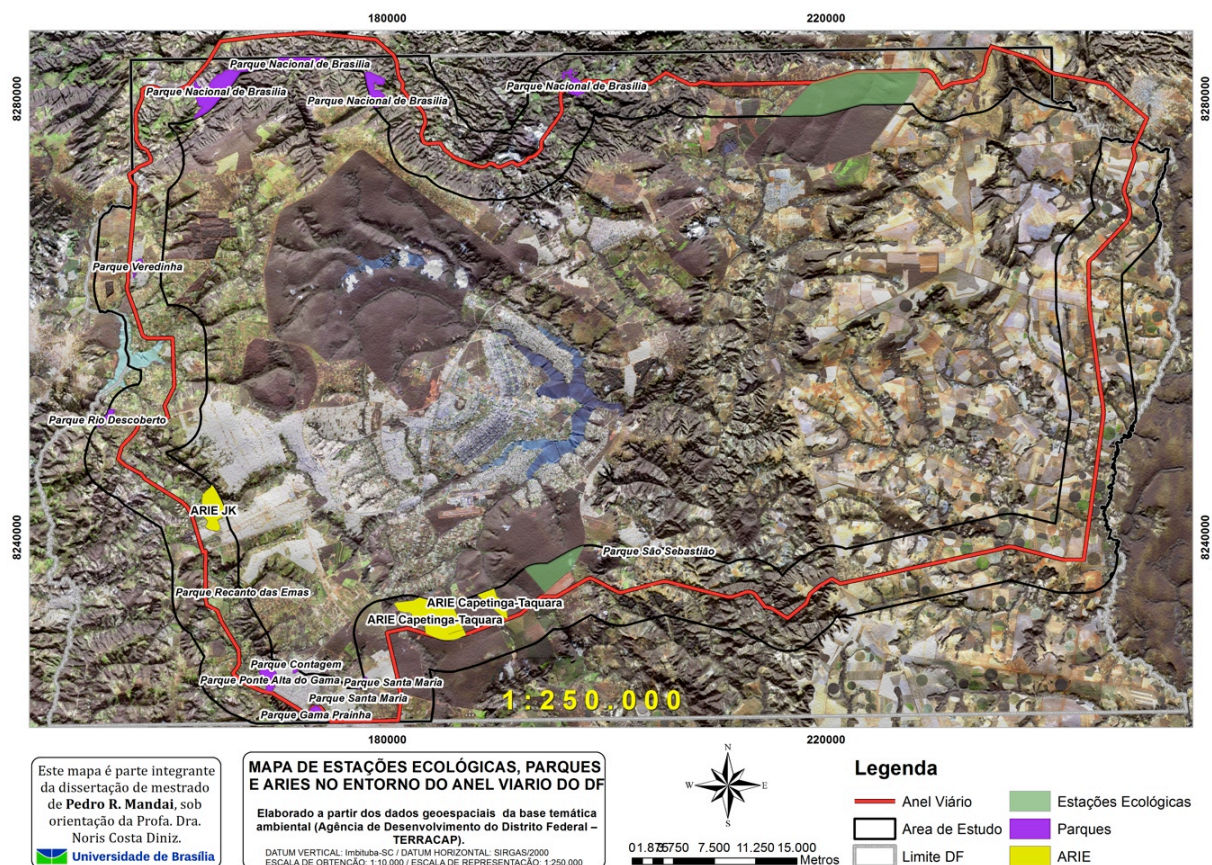
Tabela 38 - Modificado e adaptado de Parizi (2003) e Parizi & Diniz (2004).

ATRIBUTO	OBSERVAÇÕES COM BASE NA LEGISLAÇÃO
Declividade dos terrenos	*Áreas com declividades maiores que 10% em Áreas de Proteção Ambiental, não devem ser objeto de parcelamento urbano. **Áreas com declividades maiores que 30% não devem ser ocupadas, segundo a Lei Lehman (6766/79)
Mananciais	Parcelamento do solo nestes locais não será permitido.
Áreas de Preservação Permanente	O Código Florestal Brasileiro considera permanente independente de demarcação, as áreas de preservação de mangues, restingas, as encostas de elevada declividade, as matas ciliares e os picos de morros.
Unidades de Conservação Ambiental e Áreas Correlatas	Áreas definidas pelo Poder Público, com o objetivo de proteção, preservação, conservação ou controle ambiental dos ecossistemas, estejam eles ocupados ou não, além das áreas onde o Poder Público restringe algumas atividades ou define parâmetros para a evolução do processo de uso e ocupação do solo e da qualidade do meio ambiente.

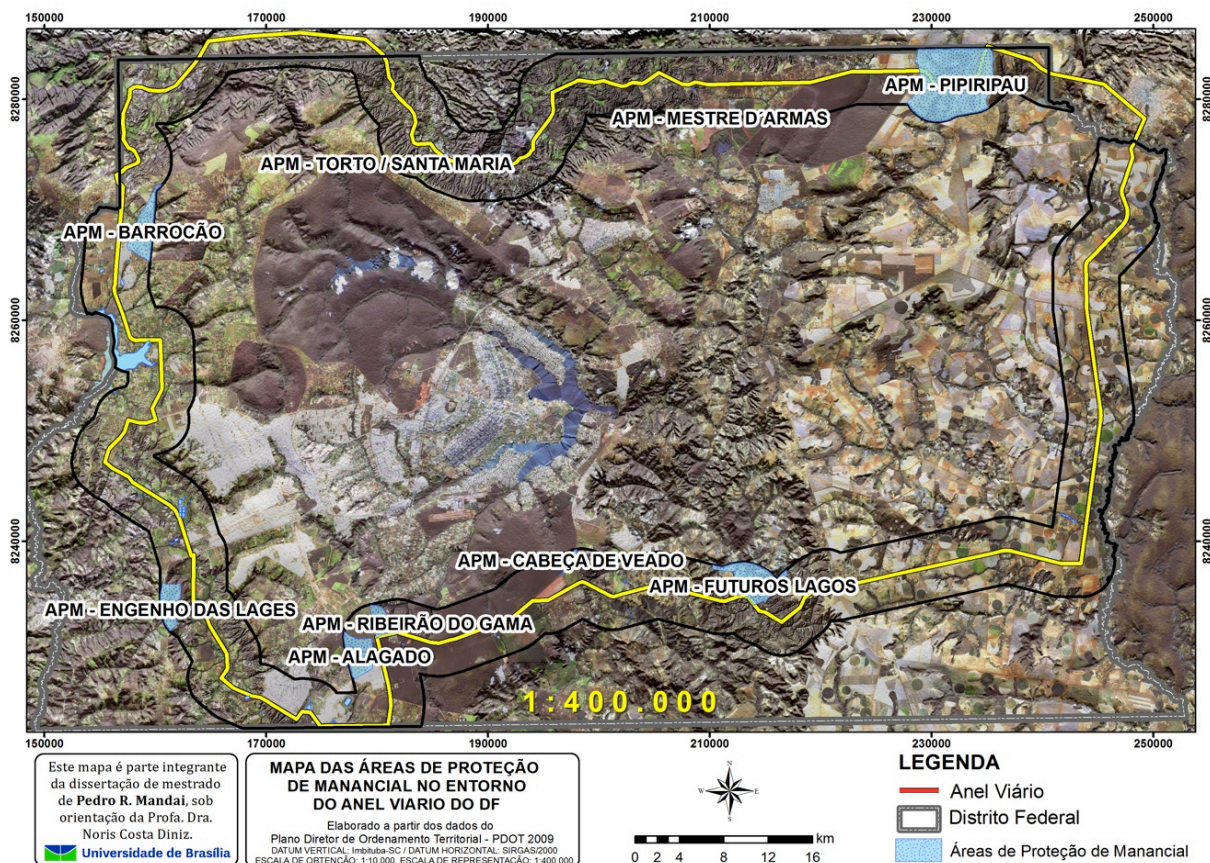
Jazidas Minerais	Controle sobre o aproveitamento de recursos minerais no contexto do planejamento territorial, de modo que harmonize os interesses de expansão urbana e o potencial mineral das localidades
Áreas com alta suscetibilidade a processos do meio físico	Erosão: avaliada de modo quantitativo, a partir do cadastro de inventário de erosões
	Movimento Gravitacional de Massa: avaliada de modo qualitativo, por análise geomorfológica local
	Inundação: avaliada de modo qualitativo, por análise geomorfológica local.

6.4.1. Unidades de Conservação

Os aspectos restritivos legais estão apresentados e descritos no item 2.3 – Meio Sócio-Ambiental. Por meio dos mapas 11, 12 e 13, verifica-se a inserção de unidades de conservação (Área de Proteção Ambiental – APA, parques, Áreas de Relevante Interesse Ecológico - ARIE, Áreas de Proteção de Manancial- APM) na área de estudo.



Mapa 13 - Mapa dos parques, ARIEs- Áreas de Relevante Interesse Ecológico e estações ecológicas na área em estudo



Mapa 14 - Mapa das Áreas de Proteção de Manancial- APM, na área em estudo.

6.4.2. Declividade

Esse elemento restritivo foi de fundamental importância na análise, agindo como “condicionante protagonista” na delimitação das unidades de terreno, e definiu a compartimentação em duas classes aptas, e outra inapta ao desenvolvimento urbano.

As altas declividades apresentam risco para a estabilidade das obras e edificações, independentemente do tipo de solo, além de dificuldades e altos custos para implantação de infraestrutura. Esse impedimento está previsto na Lei Federal 6766/79, que dispõe sobre parcelamento de solo, conforme transcrito:

**Parágrafo único - Não será permitido o parcelamento do solo:
- em terrenos com declividade igual ou superior a 30% (trinta por cento); salvo se atendidas exigências específicas das autoridades competentes;**

Conforme foi apresentado no sub-tópico 6.3.1- *Unidades de Conservação*, a área em estudo está majoritariamente inserida em espaços protegidos, denominados

Áreas de Proteção Ambiental (APA). Assim, portanto, a área está subjugada ao um conjunto de leis que disciplinam o uso do solo nessas áreas inseridas em APA. A resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA, nº 10/88, conceitua e atribui competências às Áreas de Proteção Ambiental (APA), e trás as restrições atribuídas à declividade do terreno passível de urbanização, de acordo com artigo 8.º, conforme transcrito abaixo:

Art. 8.º. Nenhum projeto de urbanização poderá ser implantado numa APA sem a prévia autorização de sua entidade administradora, que exigirá:

(...)

f) traçado de ruas e lotes comercializáveis com respeito à topografia com inclinação inferior a 10% (dez por cento);

(...)

Sob o aspecto direto da urbanização, a Resolução CONAMA n.º 10/1988⁸ faz uma série de exigências a projetos de urbanização, com destaque o item que trata da declividade de lotes e arruamentos.

Art. 8º - Nenhum projeto de urbanização poderá ser implantado numa APA, sem a prévia autorização de sua entidade administradora, que exigirá:

a) Adequação com o zoneamento ecológico-econômico da área;

b) Implantação de sistema de coleta e tratamento de esgotos;

c) Sistema de vias públicas sempre que possível e curvas de nível e rampas suaves com galerias de águas pluviais;

d) Lotes de tamanho mínimo suficiente para o plantio de árvores em pelo menos 20% da área do terreno;

e) Programação de plantio de áreas verdes com uso de espécies nativas;

f) Traçado de ruas e lotes comercializáveis com respeito à topografia com inclinação inferior a 10%.

Para constar, são expostas as tabelas 40 e 41, que mesmo não tendo sido utilizados os valores na compartimentação dos terrenos, vale como referência de autores sobre o uso da variável ‘declividade’ em estudos de planejamento urbano e territorial.

⁸ Resolução CONAMA Nº 010 de 14 de dezembro de 1988

A tabela 40 foi elaborada por Mascaró (2003) e expõem a declividade frente aos equipamentos urbanos e demais fatores relacionados ao sistema urbano, como: escoamento pluvial, quanto ao custo da obra de implantação do sistema pluvial; aproveitamento do sítio, quanto ao uso construtivo do local adequado; traçado das vias urbanas, quanto a otimização das vias de circulação.

Tabela 39 - Implicações da declividade no sistema urbano (Mascaró, 2003). Extraído de Costa (2008)

Declividade	Escoamento de água	Aproveitamento dos sítios	Circulação de pedestres
I < 2%	Sujeito a alagamentos em inclinações inferiores a 2%	Dificuldades de drenagem. Deverão ser pavimentados parcialmente.	Pedestres e deficientes circulam confortavelmente. Pavimentos baixo atrito.
2% < I < 7%	Água não acumulará. Caimento natural.	Ideais para qualquer uso.	
7% < I < 10%	O terreno deve ser protegido por vegetação	Com restrições. Para construções – cortes e aterros para patamares.	Deficientes ainda circulam, mas com dificuldade crescente
7 % < I < 13%		Acima de 10% não permitido traçado de ruas e lotes comercializáveis em APAs.	Pedestres circulam bem em rampas, pavimentos com atrito razoável
13% < I < 15%		Resolução CONAMA n° 10/88- Art. 8º.	Pedestres ainda podem circular, pavimentos com atrito muito forte. Rampas mais curtas.
15 % < I < 20%		Art. 6º - Não são permitidas as atividades de terraplenagem.	
20 % < I < 40%		Lei Federal 6766/79 – restrição à ocupação de áreas	Caminhos com tramas de escadas intercaladas com patamares ou rampas

Outra referência importante em estudo de planejamento urbano por critérios do meio físico é a tabela 41 de Zuquette (1987), cujas classes de declividade são utilizadas para recomendação ao uso do solo em estudos de zoneamento regional e planejamento urbano.

Tabela 40 - Limites críticos frente à ocupação do meio físico (Zuquette, 1987)

Classes (%)	Ocupações do Meio Físico
0 – 2	Aeroportos internacionais e locais; redes ferroviárias principais.
2 – 5	Estradas principais, maquinário agrícola de plantio e cultivo; erosão começa a ser significativa; densidade elevada de ocupação com habitações.
5 – 10	Desenvolvimento urbano e industrial em grande escala, máximo para redes de sistema de saneamento, máximo absoluto para ferrovias.
10 – 15	Máximo para residências convencionais e para estradas em perímetro urbano; desenvolvimento urbano; tratores com esteiras e tratores padrões.
15 – 20	Absoluta para residências, máquinas e estradas; habitações individuais.
> 20	25 Máximo para estruturas de engenharia.
	45 Máximo para operar veículos tracionados.

6.4.3. Áreas de Preservação Permanente

Ao sobrepor o plano de informação referente à APP de hidrografia, cuja lei atual (Código Florestal Brasileiro⁹) estabelece o distanciamento mínimo de 30 metros em cursos d'água, verifica-se que a UT-AV-III e APP de hidrografia são entidades coincidentes, com restrição total à ocupação. O mapa de unidades de terreno apresenta a classe UT-AV-III com alta suscetibilidade e totalmente restrito a ocupação. Pondera-se, portanto, que a restrição à ocupação é intrínseca a esta unidade. A figura 37 ilustra essa condição na qual a APP de hidrografia (cursos d'água) está inteiramente inserida na UT-AV-III. Desse modo, nessa avaliação foi descartada a necessidade de análise específica em APP de hidrografia, ao considerar que a restrição já está contemplada na UT-AV-III.

Da mesma forma, ao simular a aplicação de APP de Topo de Morro, definida pela Resolução CONAMA n.º 303/2006¹⁰ como “áreas delimitadas a partir da curva de nível correspondente a dois terços da altura mínima da elevação em relação a base”, verifica-se que interfere com extensas áreas urbanas do DF (Figura 38). Portanto, ponderou-se que não cabe essa análise restritiva por não se enquadrar numa questão plausível de ser realizada. Outro ponto a se ponderar na análise a APP Topo de Morro, é que se essa restrição for adotada, outras áreas desfavoráveis a ocupação urbana serão induzidas a ocupações irregularmente.

As áreas com declividade superior a 45 graus ou 100% de declividade, conforme disposto no artigo 3º da Resolução CONAMA 303/2002, que define áreas “*em encosta ou parte desta, com declividade superior a cem por cento ou quarenta e cinco graus na linha de maior declive*”. Este tipo de APP está ligado às porções do DF onde a quebra do relevo ocorre de forma mais abrupta e cuja ocupação normalmente é reduzida em função dos solos normalmente mais rasos e de difícil acesso. Considerando o relevo do DF é na sua maior parte formado por planaltos, este tipo de APP representa apenas 1% do total de APP mapeadas para todo o DF. Compulsoriamente, a classe de declividade limite definida pela Resolução CONAMA 303/2002, que é de 100% está inclusa na restrição descrita na Lei Federal n.º 6766/79, que é de 30%.

⁹ Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965

¹⁰ Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente

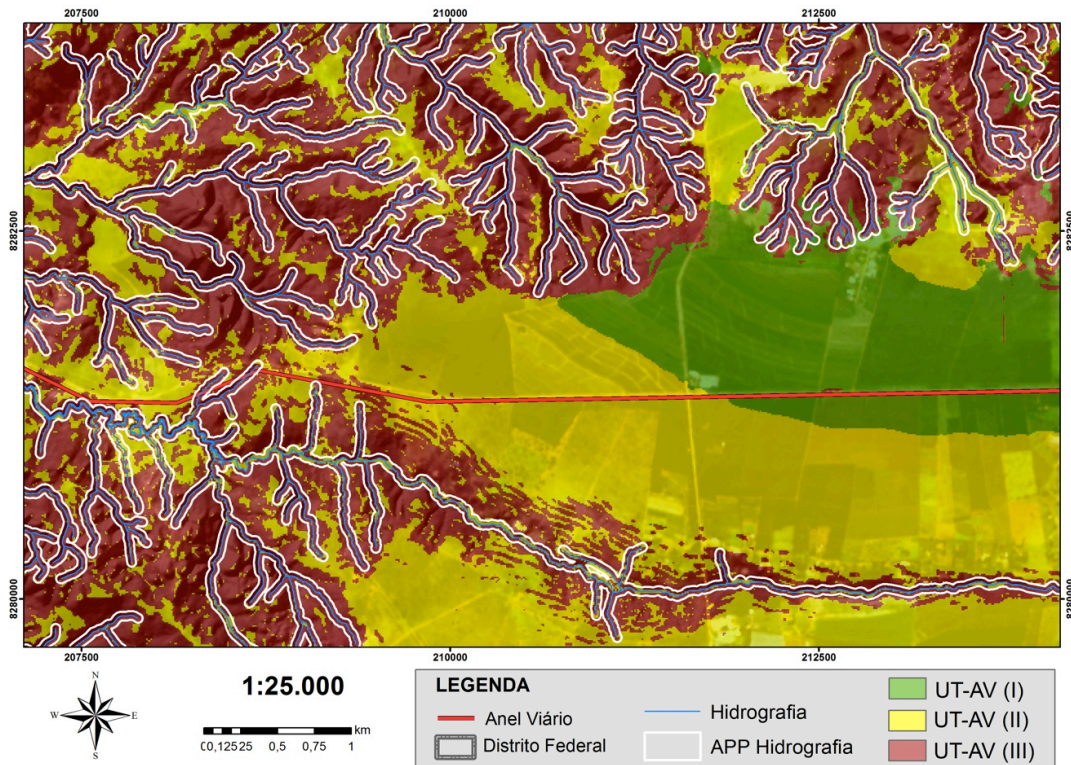


Figura 36 - Sobreposição da APP de hidrografia no mapa de Unidades de Terreno. Verifica-se que as áreas com restrição total à ocupação são coincidentes, APP e UT-AV-III.

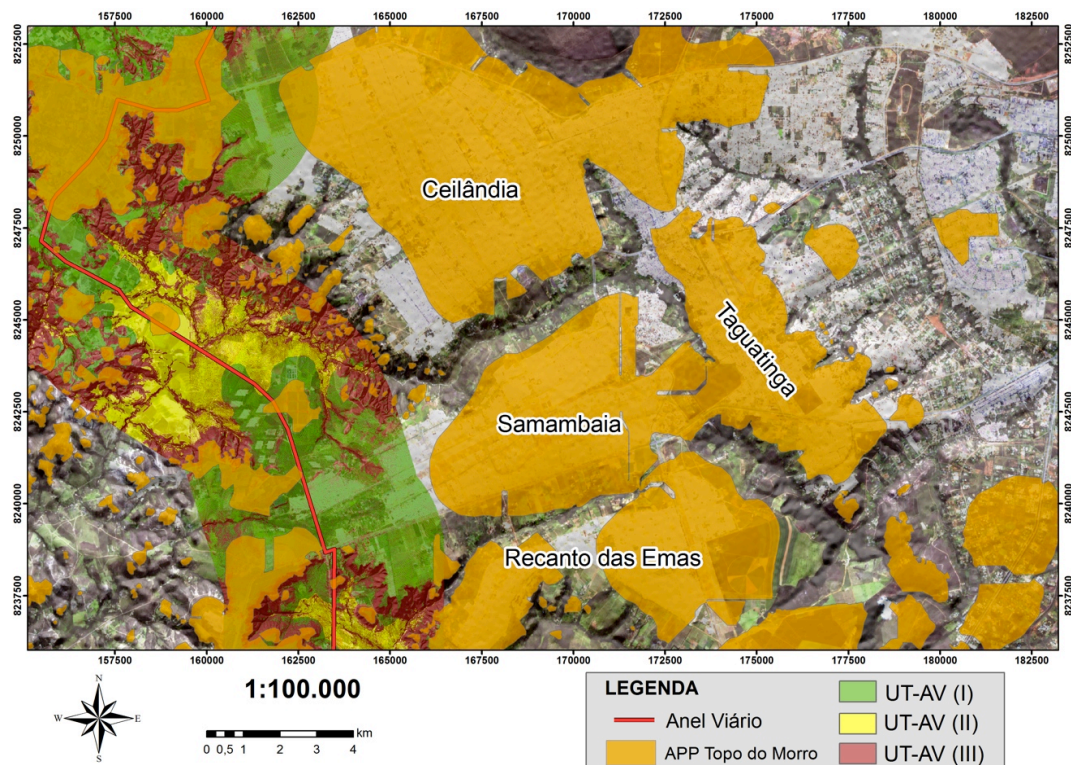


Figura 37 - As APPs de “topo de morro”, como descrito na Resolução Conama n.º 303/2002, abrangem importantes áreas urbanas alocadas em altos topográficos. Ponderou-se, portanto, a inaplicabilidade deste elemento restritivo no contexto deste estudo.

6.4.4. Recursos Minerais

A ocorrência de recursos minerais no DF está condicionada a própria constituição dos materiais formadores dos tipos rochosos encontradas na região, ou seja, metassedimentos variados e seus produtos de alteração. A utilização destes materiais se limita ao uso como agregados para construção civil e outros derivados de rochas calcárias.

Devido à localização dos empreendimentos de mineração ser em função da disponibilidade dos recursos minerais, a atividade mineraria têm como características a sua rigidez locacional, ou seja, são fixos em locais determinados pelos fatores geológicos da área. Assim mesmo, o uso do solo por atividade mineraria não pode ser considerado como permanente de modo a inutilizar a área, visto que após exaurir o recurso e devida recomposição topográfica e recuperação ambiental, a mesma poderá ter outro uso.

Diante dessa característica faz-se necessário o estabelecimento de regras e procedimentos que consigam harmonizar a convivência do uso e ocupação do solo com outras atividades, como a ocupação urbana que tem como característica o uso permanente da superfície. A base para uma avaliação e definição de parâmetros eficazes para o estabelecimento de tais regras e procedimentos se faz por meio da modelagem do chamado OTG- Ordenamento Territorial Geomineiro, que incluem lavras e reservas minerais com necessidades e particularidades técnicas envolvidas no planejamento territorial.

Na presente análise teve como propósito apontar áreas com potencialidade para exploração mineral, tendo como base a publicação do Desempenho do Setor Mineral no Distrito Federal, elaborada pela Superintendência do DNPM/GO, consultou-se os dados e informações relativas ao ano - base de 2010 - exercício: 2011. Esta publicação demonstra a potencialidade com base nos levantamentos estatísticos em quantidade e valor, e utilizada nesta análise como indicador da existência de jazidas minerais.

Tabela 41 - Recursos minerais existente no DF e respectivos valores de reservas (DNPM, 2012).

<http://www.dnpm.gov.br/go/conteudo.asp?IDSecao=614>

SUBSTÂNCIAS	UNID.	RESERVAS			
		Medidas	Teor	Indicada	Inferida
Água Mineral	l/h	429.036			
Areia	m ³	14.577.853	-	4.310.007	1.277.380
Argila p/ Cerâmica Branca	t	2.034.678	-	-	256.000
Argila p/ Cerâmica Vermelha	t	379.232	-	102.355	765.379
Argila p/Cimento	t	221.154.960	-	12.098.336	12.721.916
Britas	t	468.007.588	-	229.632.694	308.187.218
Calcário p/ Cimento	t	435.239.731	-	166.337.348	273.330.779
Cascalho	t	1.985.161		1.345.944	388.440
Ferro p/ Cimento	t	2.818.880	42,70% Fe ₂ O ₃	987.616	
Saibro	t	1.550.464			

Tabela 42 - Dados de produção e venda dos recursos minerais no DF (DNPM, 2012).

SUBSTÂNCIA	PRODUÇÃO		VENDA	
			Quantidade	Valor
Água mineral	l	60.723.744	60.723.744	12.437.009,10
Areia	m ³	390.521	376.095	7.308.337,81
Argila p/ cimento	t	169.452	169.452	2.261.219,23
Brita	t	1.148.212	1.148.212	23.091.556,07
Calcário p/ cimento	t	1.529.035	1.529.035	25.006.120,28
DISTRITO FEDERAL				70.104.242,49

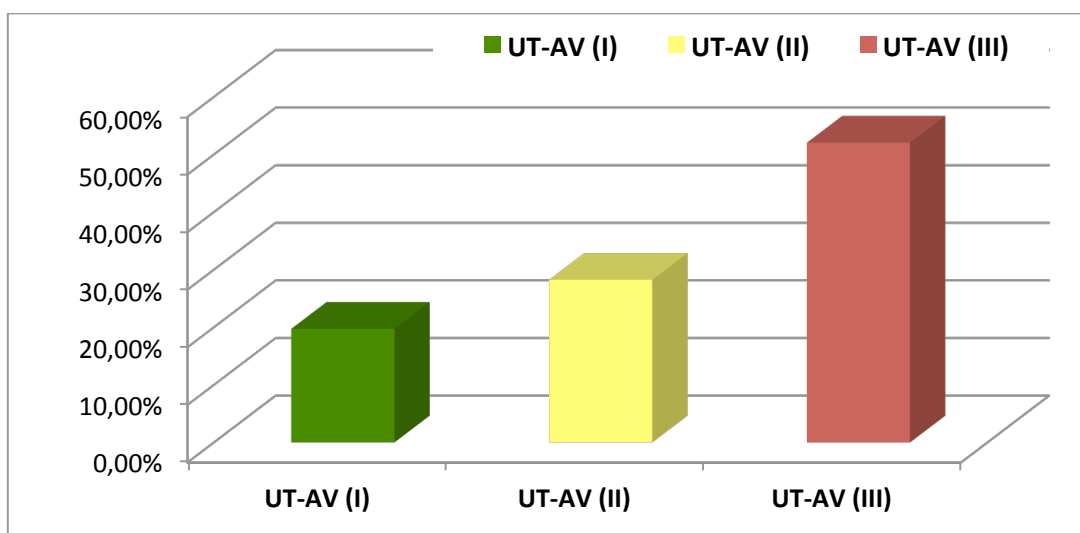


Gráfico 6 - Porcentagem dos títulos minerários por unidade de terreno do Anel Viário.

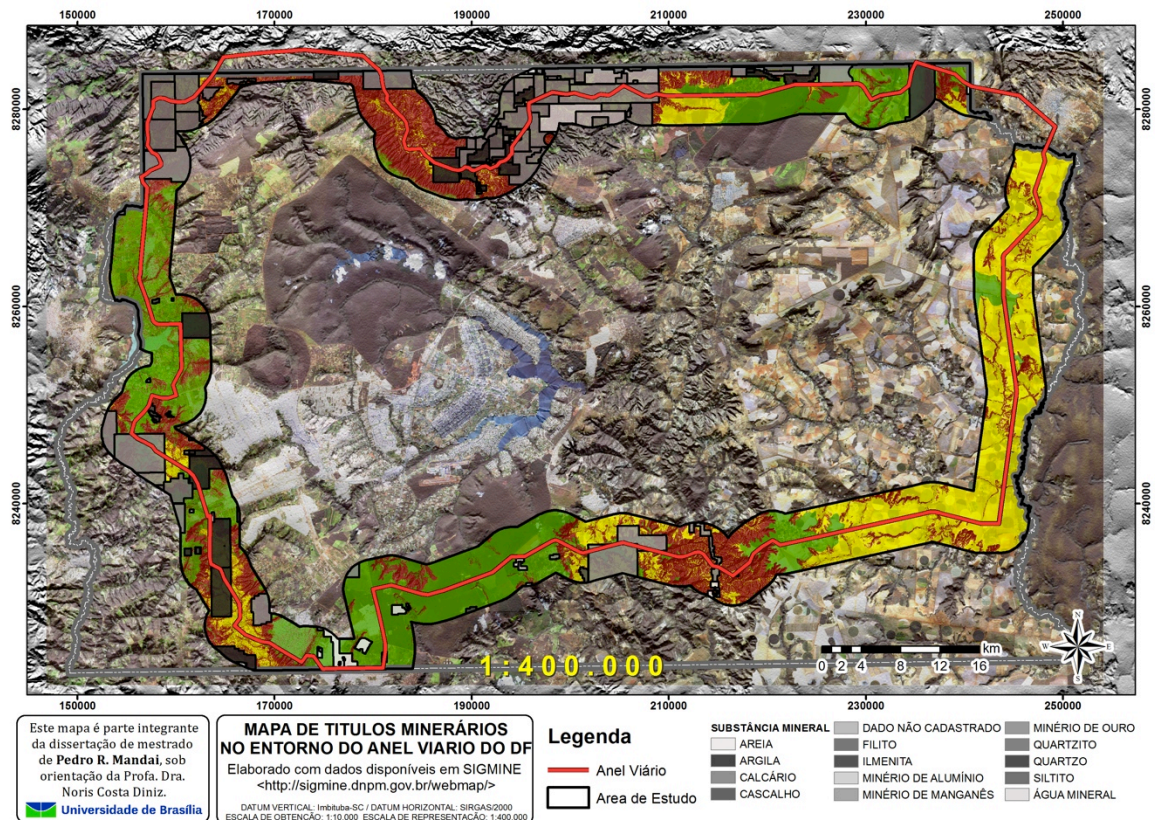


Figura 38 - Títulos minerários por unidades de terreno do Anel Viário.

Recursos Minerais

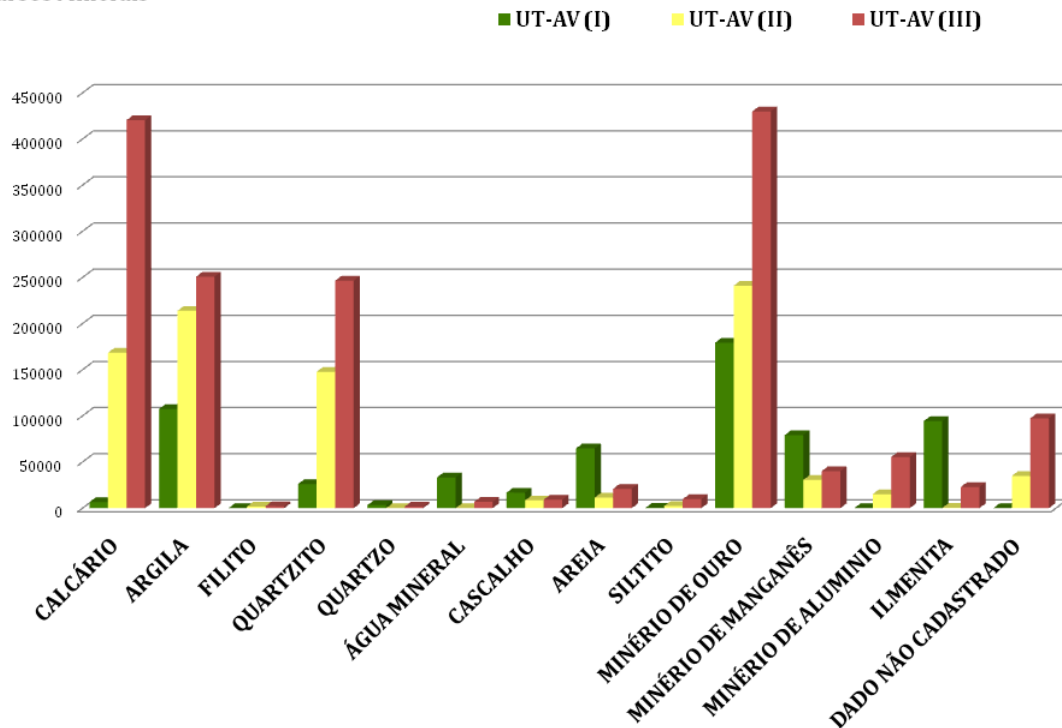


Gráfico 7 - Substâncias minerais por unidade de terreno, na área em estudo.

6.4.5. Áreas Urbanas Consolidadas

Os dados utilizados nessa análise das áreas urbanas são do ano de 2004 provenientes da Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Habitação – SEDHAB. A unidade UT-AV-I apresenta predominância absoluta as áreas ocupadas por uso urbano. Esse resultado é evidente, uma vez que as cidades ocupam preferencialmente superfícies planas em locais altos, características descritas pela UT-AV-I.

A ocupação urbana em áreas com declividade superiores a 10% (UT-AV-III) mostra que mesmo sendo um limitante em termos legais, o uso urbano é persistente em áreas dessa categoria, fundamentalmente em parcelamentos de solo irregulares.

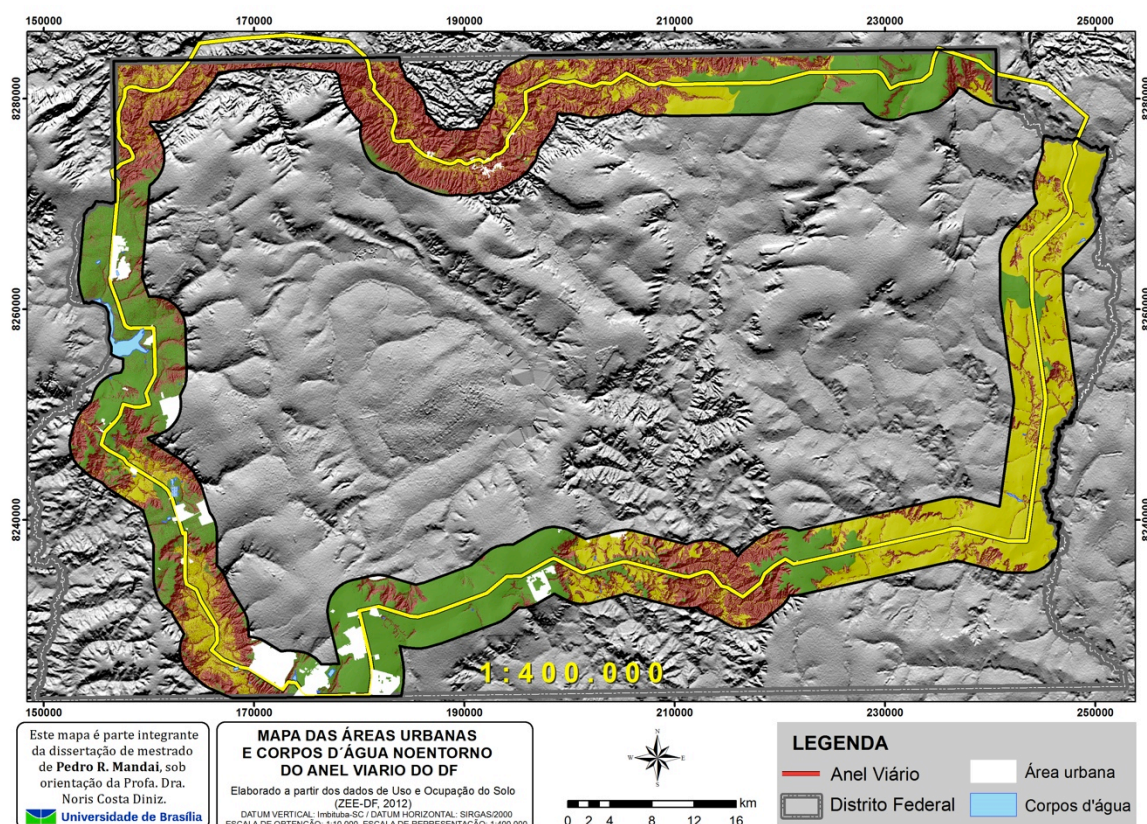


Figura 39- Mapa das áreas urbanas e corpos d'água no entorno do Anel Viário do DF.

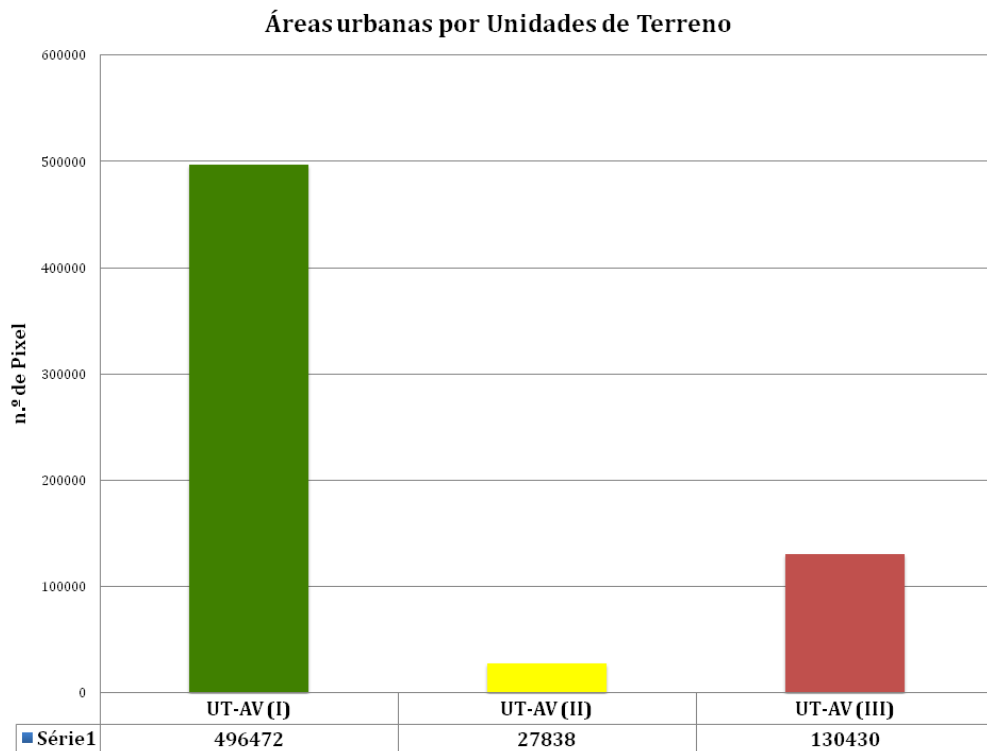


Gráfico 8 - Áreas urbanas por Unidades de Terreno

6.5. Aptidão à Urbanização

Uma das principais preocupações do planejamento territorial é a designação correta de locais adequados para usos do solo. Avaliações de aptidão inevitavelmente podem ter interpretações subjetivas, em caso de critérios não paramétricos. Na idealização das unidades de terreno apresentadas no Capítulo 5, foram considerados parâmetros geomorfométricos de modo a compatibilizar com os interesses para aptidão à urbanização por meio de dados objetivos e respaldado por critérios técnicos.

A carta geotécnica aplicada na avaliação de terrenos para parcelamento de solo urbano será aqui denominada simplesmente de Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização. É um instrumento básico para cumprir a determinação da Medida Provisória 547/2011¹¹. Essa carta é uma síntese das recomendações para aplicação no desenvolvimento urbano, com base nas unidades de terreno em escala 1:10.000 delimitado com parâmetros geomorfométricos, em atributos do meio físico e seus

¹¹ Art.3º, § 2º: Os municípios incluídos no cadastro deverão: (...) inciso V - elaborar carta geotécnica de aptidão à urbanização, estabelecendo diretrizes urbanísticas voltadas para a segurança dos novos parcelamentos do solo urbano.

processos correlatos. Sua leitura é dirigida aos profissionais sem conhecimento geológico-geotécnico, e de forma pragmática em legenda semafórica, visa subsidiar com informações para uso em projeto de expansão urbana e planejamento territorial (tabela 44 e 45).

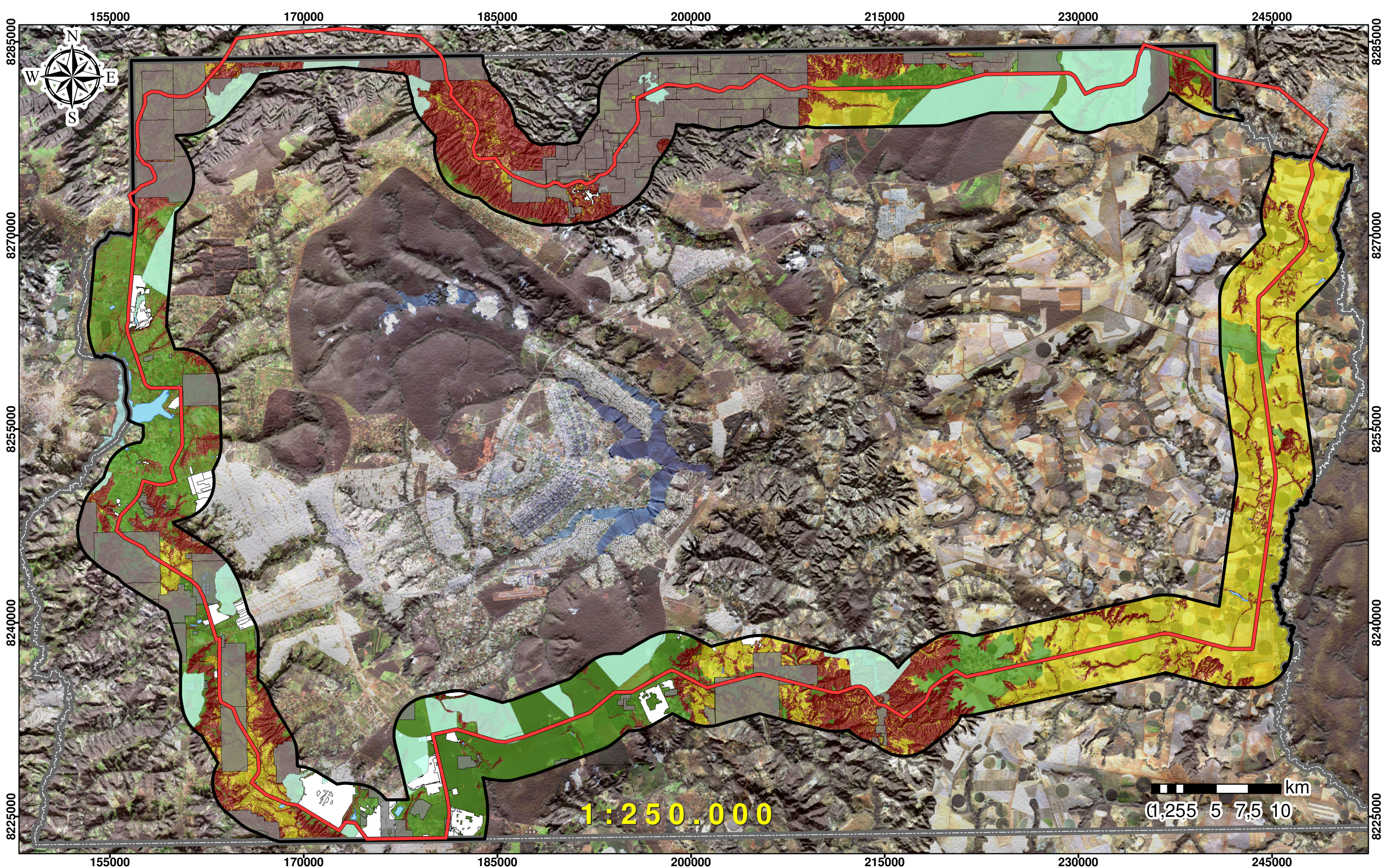
- **UT-AV-I: Unidades APTAS de uso intensivo (VERDE):** não há limitações ou exigências especiais, em termo de processos naturais do meio físico. Características: baixa declividade (< 10%), litologias resistentes, solos profundos e nível freático profundo (> 10 m).
- **UT-AV-II: Unidades APTAS com restrições, de uso parcialmente restritivo (AMARELO):** setores com a implantação de infraestrutura é prioritária para prevenção de riscos, sendo necessários estudos específicos para assentamento urbano. média declividade (< 10%), litologias com resistência média, solos duros, maciços rochosos fraturados, alteração, e nível freático superior a 10 m.
- **UT-AV-III: Unidades INAPTAS, de uso totalmente restritivo (VERMELHO):** não é recomendável a intervenção urbana. Características: alta declividade (> 10%), litologias pouco resistentes, maciços rochosos alterados, fraturado e nível freático superficial.

Tabela 43 - Avaliação de Terrenos: Aptidão à urbanização. Adaptado de Souza (1992)

		UT-AV-I	UT-AV-II	UT-AV-III	
PARÂMETROS GEOMORF.	<i>Hipsometria</i>	1000 – 1270 m	850 – 1000 m	850 – 1000 m	
	<i>Declividade</i>	0 -10%	0 -10%	> 10%	
	<i>Amplitude de Relevo</i>	0 – 150 m	150 -300 m	300 – 542 m	
	<i>Densidade de Drenagem</i>	Baixa	Baixa / Alta	Alta	
ATRIBUTOS DO MEIO FÍSICO	<i>Litologia</i>	Metarritmito	Siltitos	Metarritmito / Filito/Silito/Carbon.	
	<i>Classes de solos</i>	Latossolos	Latossolos	Cambissolo	
	<i>Textura de solos</i>	Argilo-siltosa	Argilo-siltoso / Argilo- pedreg.	Argilo-pedregoso	
	<i>Espessura de solos</i>	5 – 20 m	5 – 10 m	0 – 2 m	
	<i>Nível Freático</i>	10 – 30 m	3 – 30 m	> 3 m	
USO	ATRIBUTOS	CLASSES			
		APTO	APTO com restrições	INAPTO com recomendações	
ASSENTAMENTOS RESIDENCIAIS		Áreas com as melhores condições para o nível de profundidade, a obra e a fundação	Áreas de porções de perfil raso de solo. Suscetibilidades associada à proximidade com a UT-AV-II	Áreas com suscetibilidade a erosão, deslizamento, inundação. Solos rasos ou problemas de escavabilidade.	
	ESCAVABILIDADE	MATERIAL	Inconsolidado	Solo residual	Rocha alterada / Rocha aflorante
		PROF. ROCHA	>5m	2-5m	0 - 2m
		PROF. N.A	> 5 m	1- 3 m	0 - 1m
		DECLIVIDADE	<10%	< 10%	>10%
		EQUIPAMENTO	Manual ou mecânico comum	Mecânico comum	Mecânico pesado ou explosivo
OBRAS ENTERRADAS		TIPO DE MATERIAL	Solo residual maduro e/ou jovem com perfil espesso	Solo residual jovem ou saprólito com intercalações de blocos de rocha	Saprolito / Rocha Sã
		PROF.TOPO ROCHOSO	> 5 m	2 - 5 m	0 - 2 m
		NÍVEL D'ÁGUA	> 10 m	3- 10 m	0 - 1m

Tabela 44 - Quadro síntese com as suscetibilidades e recomendações ao loteamento urbano.

Unidades de Terreno	Problemas existentes e/ou esperados	Recomendações ao loteamento urbano
UT-AV - I	Erosão associada a processos tecnológicos em contexto urbano.	<ul style="list-style-type: none"> - Implantação do loteamento por bacia de drenagem; - Cabeceiras e linhas de drenagens desocupadas, utilizando como área verde; - Disciplinamento das águas pluviais, por estruturas de captação e condução das águas pluviais. - Lançamento de drenagem pluvial com dispositivos dissipadores de energia, retentores e detentores para infiltração natural; - Evitar traçado de vias perpendiculares às curvas de nível; - Evitar movimentação de terra próxima às drenagens naturais; - Obras de terraplanagem simultaneamente com as obras de drenagem; - Proteção contra assoreamento das redes de drenagem durante a execução das obras - Evitar obras em períodos chuvosos; - Manter cobertura vegetal nos lotes desocupados.
UT-AV-II	Escavabilidade Inundação / Alagamento	<ul style="list-style-type: none"> - Evitar posicionar projetos com sub-solos em porções onde ocorrem cambissolo e nitossolo; - Direcionamento das águas pluviais em ambiente urbano para locais adequados; - Dispositivos de drenagem pluvial, com retenção, detenção e infiltração das águas; - Eliminar o estrangulamento das drenagens;
UT-AV-III	Erosão Movimento Gravitacional de Massa Inundação	<p>Restrição total ao uso e ocupação urbana nesta unidade</p> <p>Recomendação: manter a área como unidade de Conservação</p>



Este mapa é parte integrante da dissertação de mestrado de **Pedro R. Mandai**, sob orientação da Profa. Dra. **Noris Costa Diniz**.



MAPA DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO ENTORNO DO ANEL VIÁRIO DO DF

DATUM VERTICAL: Imbituba-SC / DATUM HORIZONTAL: SIRGAS/2000
 ESCALA DE OBTENÇÃO: 1:10.000 ESCALA DE REPRESENTAÇÃO: 1:250.000

LEGENDA

- Anel Viário
- Distrito Federal
- APTA com recomendações
- APTA com restrições
- INAPTA
- Área urbana
- Mineração
- Ambiental
- Corpos d'água

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

*“Conhecer o sistema geológico é como conhecer a nossa casa.
Sabemos onde estão, para que servem e
como funcionam todas as suas dependências.
Quem conhece a própria casa não atropela cristaleiras.”*

Edésio Teixeira de Carvalho
(In *GEOLOGIA URBANA PARA TODOS*, 1999)

7.1. Discussões gerais

A área de estudo, definida pelo buffer de 3 km do eixo da rodovia, possui geometria regular dentro do limite do DF. Foi sugerida desta maneira para testar a metodologia de delimitação de terreno com uso de inferência *fuzzy* em geomorfometria, como condicionantes de processos do meio físico. Em termos práticos, a área foi avaliada de modo a abranger diversos contextos, para compartimentação de Unidades de Terreno, e ainda, que incluam elementos realísticos (unidades de conservação, jazidas minerais, áreas urbana, etc.) para aplicação dos métodos e técnicas em planejamento físico-territorial.

As etapas metodológicas propostas nesse estudo, com a classificação por inferência *fuzzy* e avaliação de terrenos, permitiu traçar um panorama diagnóstico dos terrenos adjacentes ao Anel Viário do DF, com base nos aspectos geológico-geotécnicos em vistas da aptidão à urbanização. Para isso foram empregadas contribuições metodológicas já aplicadas e difundidos pela comunidade acadêmica.

A **metodologia IAEG** permitiu o entendimento sobre a finalidade, o conteúdo e a escala da carta geotécnica, bem com, a apresentação de forma a facilitar a leitura por profissionais de outras áreas.

A **metodologia PUCE** foi útil no conceito de compartimentação e classificação de terreno, baseada em sistemas de terreno, por critérios fisiográficos e associativos entre os componentes do meio físico.

A **metodologia IPT** serviu na abordagem direta e objetiva ao buscar atender a demanda do usuário (planejador urbano), com o estabelecimento de critérios focados

em processos do meio físico e seus problemas decorrentes, aplicados à aptidão à urbanização.

As **metodologias EESC/USP e Diniz (1998)** orientaram a seqüência operacional em cartografia geotécnica com as fases de levantamento de dados, avaliação e análise, e também na percepção dos atributos que compõem o meio físico.

A **metodologia de Souza (1992)** permitiu abordar o trabalho em termos de usuário, finalidade e escala da cartografia geotécnica, e foi fundamental para a obtenção dos atributos de formas de relevo, aqui denominado como parâmetros geomorfométricos, aplicados na compartimentação das unidades de terreno. Essencialmente, a metodologia de Souza (1992) mostrou a aplicabilidade do conhecimento geomorfológico na cartografia geotécnica, ao englobar os materiais e processos formadores dos terrenos, além de fornecer critérios de avaliação de suscetibilidade e aptidão, como condicionantes para ocupação.

Ao aplicar esse conjunto de metodologias e técnicas, este trabalho cumpriu o objetivo ao fornecer subsídio da gestão do uso e da ocupação do espaço em torno do anel viário do Distrito Federal, principalmente na classificação, caracterização e avaliação dos terrenos.

O uso da inferência *fuzzy* em dados geomorfométricos é principal desafio deste trabalho, e revelou a eficiência e relevância da técnica na segmentação de terrenos a partir da modelagem digital, ao conduzir a homogeneidade geomorfométrica por regras de operações *fuzzy* para classificar as unidades de terreno, conforme os critérios estabelecidos.

A seleção de parâmetros geomorfométricos, critérios de reclassificação e atributos de avaliação dos terrenos foram obtidos por levantamento bibliográfico de diversos autores da cartografia geotécnica, nacional e internacional, e de diversos trabalhos das geociências aplicados no DF, e proveu argumentos para os resultados robustos.

De um modo geral, a compartimentação dos terrenos em três classes atendeu a expectativa gerada pelo conhecimento empírico do meio físico no DF e em observações de campo. O mapa de unidades de terreno está compatível com a compartimentação geomorfológica do DF, organizada pela estratificação altimétrica

em macrounidades, segundo Pinto (1994). Numa visão reducionista, pode-se inferir que: a unidade UT-AV-I corresponde com a região de chapada. A unidade UT-AV-II corresponde com as áreas de dissecação intermediária. E a unidade UT-AV-III têm correspondência com a região dissecada de vales.

Nos resultados obtidos pela geomorfometria, destacam-se a delimitação dos terrenos inaptos, denominados **UT-AV-III**. Essa classe é marcada por geoformas com declividade acima de 10%, altimetria abaixo da cota de 1000 metros, amplitude de relevo superior a 300 metros e alta densidade de drenagem, e revela que processos geodinâmicos superficiais são atuantes neste compartimento geológico-geotécnico com maior energia de escoamento superficial e transporte de materiais. Dessa forma, portanto, as áreas que interferem com essa unidade podem ser desconsideradas para fins de parcelamento urbano pelos instrumentos de planejamento territorial no DF.

Os terrenos aptos (**UT-AV-I**) e aptos com restrições (**UT-AV-II**) se aproximam pelas características geomorfométricas, particularmente na declividade abaixo de 10%. No entanto, há peculiaridades envolvidas por processos geodinâmicos superficiais. A unidade *UT-AV-I* ocupa áreas acima de 1000 metros de altitude e possui amplitude de relevo inferior a 150 metros, por isso é considerado apto para ocupação urbana. É suscetível a processos erosivos associados a ações antrópicas. Enquanto a unidade *UT-AV-II* ocupa o extrato altimétrico entre 850 e 1000 metros, e amplitude de relevo que pode variar entre 150 a 300 metros. Por estar localizado em um nível altimétrico inferior à *UT-AV-I*, os terrenos da unidade *UT-AV-II* recebem o fluxo hídrico e de sedimentos transportados à montante. Ocorre em contigüidade com os terrenos *UT-AV-III*, e conseqüentemente os processos do meio físico também podem ocorrer de modo conjugado. A unidade *UT-AV-II*, portanto é suscetível a processos do meio físico, e por isso, a aptidão ao desenvolvimento urbano deve ser considerado com recomendações à ocupação.

Ao empregar uma abordagem objetiva e simplificada, alinhado com o usuário-planejador, o estudo apresentou consistência para utilização extensiva em classificação e avaliação de terreno. Isso porque o estabelecimento dos parâmetros e atributos na classificação e avaliação, embasados pelo conhecimento do meio físico e

aspectos relativos à finalidade da carta geotécnica, garante que o resultado final seja coerente com a realidade.

A utilização de dados geoespaciais com escalas cartográficas distintas mostrou-se eficaz. Neste caso, os dados planialtimétricos em 1:10.000 para a compartimentação de unidades de terreno, e os atributos do mapas temáticos em 1:100.000 usados na caracterização e avaliação das unidades de terreno. A correspondência encontrada entre unidades de terrenos (1:10.000) e fatores do meio físico (1:100.000) comprovam essa eficácia. Como exemplo, na UT-AV-III as classes de solos são cambissolos (55%) e nitossolos (20%), a textura dos solos predominante é argilo-pedregosa (69%) e espessura dos solos com 0 a 2 metros (75%). O conhecimento empírico de áreas com declividade acentuada, como é o caso da UT-AV-III, nos dizem que há aderência significativa dos atributos do meio físico nas unidades de terreno mapeadas, mesmo em escalas tão distintas.

O avanço do conhecimento em todos os campos da ciência depende de dados legados e informações produzidas anteriormente. Nesse sentido, a utilização do banco de dados das feições erosivas foi fundamental para a análise de frequência e de suscetibilidade nas unidades de terreno mapeadas. Os resultados obtidos permitiram avaliar, a partir das ocorrências de erosões, o comportamento e predisposição de cada unidade frente ao desenvolvimento de processos erosivos.

7.2. Vantagens e limitações

- ◆ A metodologia automatizada por sistema analítico em meio digital é eficiente para compartimentação de terrenos morfoesculturados em metassedimentos de baixo grau.
- ◆ Os recursos computacionais em constante desenvolvimento são capazes de fornecer modelo digital de terreno acurado para aplicações diversas em cartografia geotécnica, com possibilidades múltiplas no futuro;
- ◆ A abordagem da classificação de terrenos com o auxílio de operadores *fuzzy* possibilitou a organização e disposição das variáveis em função de suas próprias características intrínsecas.

- ◆ As técnicas de fotointerpretação podem ser complementadas pela geomorfometria na extração de feições do terreno e de relevo. Novas tecnologias em sensoriamento remoto, como o LiDAR (*“Light Detection And Ranging”*), podem oferecer dados precisos e de rápida obtenção para estes fins.
- ◆ O desenvolvimento de uma estrutura de gerenciamento dos dados geoespaciais, em formato geodatabase, permitiu a organização hierárquica dos objetos de dados por classes de feições. O armazenamento em conjunto de dados na estrutura do geodatabase garantiu o estabelecimento de relações espaciais e topológicas para as análises espaciais avançadas com ferramentas *fuzzy*.
- ◆ A utilização de curvatura vertical e curvatura horizontal na fase de classificação dos terrenos não foram convenientes, visto que os resultados obtidos não ficaram adequados na representação das superfícies, com informações truncadas sobre feições no terreno. A hipótese é que a escala dos dados planialtimétricos primários (1:10.000) não permite a obtenção de um modelo para curvatura, a partir dos algoritmos do *software ArcGis*;
- ◆ A orientação de vertente (*Aspect*) não foi considerada na análise por não fornecer informações relevantes sob o aspecto da compartimentação de terreno e processos geodinâmicos associados;
- ◆ No estudo foi avaliada a suscetibilidade quanto a processos do meio físico relacionados à erosão, movimento gravitacional de massa e inundação. Em metodologias mais atuais para avaliação de suscetibilidade é necessária a realização de inventários, com o levantamento espacial de todas as ocorrências existentes. No caso do presente trabalho, apenas a suscetibilidade a processos erosivos pôde ser avaliação sob esse aspecto metodológico. As ocorrências de movimento gravitacional de massa e inundações/enchentes no DF são pouco documentadas, por isso ainda é tratado de modo incipiente no meio acadêmico, no entanto, o tema deve ser considerado para registros e ampliação do conhecimento dos processos do meio físico no Distrito Federal.

- ◆ Verificou-se que as ações antrópicas é o principal processo da dinâmica superficial, na forma de: movimentação e desestruturação dos materiais geológicos, alteração no escoamento das águas superficiais e subsuperficiais, impermeabilização do solo, remoção da cobertura vegetal.

7.3. Recomendações e desenvolvimentos futuros

- ◆ Mesmo sendo uma técnica difundida em outros ramos das geotecnologias, como na geofísica, a aplicação lógica *fuzzy* ainda carece de estudos em cartografia geotécnica, especialmente, na modelagem de terrenos com uso de dados geomorfométricos;
- ◆ O conhecimento da utilização de técnicas *fuzzy* na segmentação de terrenos pode ser enriquecido com a aplicação em outros contextos morfoestruturais e morfoesculturais, para avaliar a eficácia da técnica na delimitação de geoformas em terrenos menos monótonos e mais complexos;
- ◆ O desenvolvimento de algoritmos computacionais acessíveis para análises geomorfométricas que permitam a utilização de curvatura de vertente de modo satisfatório em diferentes níveis de escala;
- ◆ É premente a necessidade de novas campanhas de mapeamento para geração de informações primárias em geologia, geomorfologia e pedologia, para avaliação resultante de cartas geotécnicas, em escala adequada à Lei 12.608/2012, sendo maior ou igual a 1:10.000.
- ◆ Na fase de elaboração do projeto básico de implantação do empreendimento, há necessidade de detalhamento das condições geotécnicas. Amostragem e ensaios geotécnicos de outras propriedades do material inconsolidado, como densidade textural, tropia, permeabilidade, resistência a erosão e plasticidade/ruptibilidade. Estas traduzem diretamente o comportamento do meio físico, frente à implantação de uma obra.
- ◆ Estudos específicos frente aos custos de implantação de infra-estrutura deveram ser elaborados e confrontados com aspectos do meio físico para a economicidade de um projeto de parcelamento de solo urbano.
- ◆ Apesar de não pertencer ao escopo deste trabalho, recomenda-se a não

interferência pelo sistema viário em áreas de sensibilidade ambiental, designadas como unidades de conservação. São elas: no quadrante noroeste, inserida na unidade UT-AV-III, que abrange a APA da Cafuringa; e parte do quadrante nordeste, inserida na unidade UT-AV-I, interferente com a Estação Ecológica Águas Emendadas. A alegação é que obras viárias, no momento da implantação com cortes, aterros, retificações de drenagem e canalizações, e durante a operação das vias, constituem uma alteração significativa na paisagem natural. Como alternativa ao desenvolvimento do projeto do Anel Viário, recomenda-se a implantação de via dupla pelo trajeto leste e sul da área em estudo.

A inclusão de novas técnicas que visem otimizar a análise e reduzir as subjetividades, como operações automatizadas para compartimentação de terreno, devem ser tratadas como uma tendência na aplicação em cartografia geotécnica. Neste estudo, as metodologias e técnicas aplicadas mostram esse potencial para o planejamento do uso e ocupação do entorno do anel viário, com uso de lógica *fuzzy* em dados geomorfométricos. A identificação de terrenos por critérios de homogeneidade das características fisiográficas juntamente dos atributos do meio físico permitem uma ampla idéia dos terrenos, para fins de planejamento físico-territorial.

A concepção sobre o uso do conhecimento do meio físico em planejamento de novos assentamentos urbanos é um feito de caráter preventivo de problemas futuros, de modo a desonerar gastos públicos. Essa cultura de planejamento em projetos é imprescindível para o aperfeiçoamento da gestão de infraestrutura e ordenamento territorial no Brasil.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu A. E. S., 2007. Mapeamento Geotécnico para Gestão Municipal – Abordagem Combinando Três Métodos Distintos e sua Aplicação em Analândia (SP). Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 204 p.
- Aguiar, R.L. 1997. Zoneamento geotécnico geral do Distrito Federal. São Carlos, 2v. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2 v.
- Alexandre, C., Silva, J.R.M., 2009. Influência da morfologia do terreno nas características do solo em terrenos agrícolas do Alentejo: aplicação de classificações geomorfométricas. *Rev. de Ciências Agrárias*, jan. 2009, vol.32, no.1, p.407-422. ISSN 0871-018X.
- Allen, W. B., Liu, D., Singer, S., 1993. *Acessibility measures of U.S. Metropolitan Areas. Transportation Research. Part B, Methodological*, 27(6): 439-50
- Almeida, F.F.M. & Hasui, Y. 1984. O Pré-Cambriano do Brasil. São Paulo: Edgard Blücher Ltda., 501 p.
- Anon, 1976. The preparation of maps and plans in terms of engineering geology. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 5, 293-382.
- Araki, M.S. 1997. Aspectos Relativos às Propriedades dos Solos Porosos Colapsíveis do Distrito Federal. Dissertação de Mestrado, Publicação GDM 040A/97. Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília-DF. 121 p.
- Arcaya, S. G. C., 2007. Avaliação dos fatores condicionantes dos processos erosivos no Distrito Federal. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília. 189 p.
- Arenas-Rios, M. 2012. Estudo Cartografia geotécnica e visões fractais da geometria do relevo. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 128 p.
- Bathrellos, G.D., Gaki-Papanastassiou, K., Skilodimou, H.D., Chousianitis, K.G., 2011. Potencial suitability for urban planning and industry development using natural hazard maps and geological-geomorphological parameters. *Environ Earth Sc.* DOI 10.1007/s12665-011-1263-x
- Belcher, D. J. 1954. O relatório técnico sobre a nova capital: Relatório Belcher. Brasília, DF: CODEPLAN.
- Beaven, P. J. , Lawrance, C. J. 1973. The Application of Terrain Evaluation to Road Engineering. *In:Conference on Road Engineering in Asia and Australasia held at Kuala Lumpur.* Reprint from the 11th-16th June
- Brasília 1960 - 2010 : passado, presente e futuro / Francisco Leitão (organizador)... [et al.] – Brasília : Secretaria de Estado de Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente, 2009. 272 p.
- Burrough, P.A.; MacDonell, R.A. 1998. Principles of Geographic Information Systems, Oxford: Oxford University Press, 333 p
- Camapum, J. C., Neto, M. P. C., Aguiar, L.A., 2009. Livro Comemorativo dos Vinte Anos do Programa de Pós-Graduação em Geotecnia da Universidade de Brasília , Editora FT, Brasília, 470 p.



- Campos, J.E.G, 2012. *Meio Físico do Distrito Federal. In: Zoneamento Ecológico-Econômico do Distrito Federal. SEDUMA (Ed.) 156 p.*
- Campos, J.E.G; Dardenne, M.A; Martins-Ferreira, M.A.C; Freitas-Silva, F.H. Geologia do Grupo Paranoá na porção externa da Faixa Brasília. Submetido à Revista Brasileira de Geociências em Junho de 2011.
- Campos, J.E.G. & Freitas-Silva, F.H. 1998. Hidrogeologia do Distrito Federal. 1998. In: Inventário hidrogeológico e dos recursos hídricos superficiais do Distrito Federal. Brasília: Iema/Sematec/UnB. Parte IV. 85p.
- Campos, J.E.G. & Freitas-Silva, F.H. 2001. Geologia, hidrogeologia, solos e geomorfologia da Bacia do Lago Paranoá. In: Fonseca. F.O. (Org.). Olhares sobre o Lago Paranoá. Brasília: Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos – Semarh, p. 55-79.
- Cardoso, F.B.F. 1995 *Análise Química, Mineralógica e Micromorfológica de Solos Tropicais Colapsíveis e o Estudo da Dinâmica do Colapso*. Dissertação de Mestrado em Geotecnia. Departamento de Engenharia Civil, UnB, 140p.
- Cardoso F. B. da F., Martins, E. de S., Carvalho J. C. de. 2002. A influência da mineralogia na evolução micromorfológica do colapso em saprólito e latossolo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados. 28 p.
- Carneiro, P. J. R.. 1999. Mapeamento Geotécnico e Caracterização dos Materiais Naturais de Construção do Distrito Federal: uma Base de Dados para o Planejamento e Gestão. Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília-DF, 209 p.
- CODEPLAN, 1977. Plano Estrutural de Organização Territorial do DF - PEOT. Brasília: V.2
- CODEPLAN - Companhia de Desenvolvimento do Planalto. Atlas do Distrito Federal; vol.I. Brasília. 1984.
- CODEPLAN, 2009. Indicadores Sociodemográficos Prospectivos para o Distrito Federal : 1991-2030 / Companhia de Planejamento do Distrito Federal. – Brasília.
- Costa, R. A. 2003. O estudo geomorfológico como subsídio ao ordenamento territorial. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOGRAFIA, 2., 2003, Uberlândia. Perspectivas para o cerrado no século XXI. Uberlândia: Instituto de Geografia/UFU. p. 1-17.
- Costa, M.H.C., 2008. Urbanismo sustentável em Áreas de Proteção Ambiental - O caso da drenagem urbana no Setor de Mansões Park Way, em Brasília DF. Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo. Faculdade de Arquitetura. Universidade de Brasília.
- Costa, L., 1987. Brasília Revisitada 1985-87: Complementação, Preservação, Adensamento e Expansão Urbana. Brasília-DF.
- Cruls, Luiz. Relatório Cruls - Relatório da Comissão Exploradora do Planalto Central do Brasil, Edições do Senado Federal, 22, Distrito Federal, Brasília, 2003 (7ª edição); 27 fotografuras, 17 mapas do Atlas dos itinerários, perfis longitudinais e da zona demarcada (1894) e diversas tabelas. 380 pag.
- Culshaw, M G, Jackson P D e McCain D M. 1987. Geophysical mapping techniques in environmental planning in Culshaw M G, Bell F G, Cripps A C and O'Hara M (ed) *Planning and Engineering Geology* (Geological Society Special Publication No 4) pp 171-177



- Dai F.C.; Lee C.F.; Zhang X.H., 2001. GIS based geo-environmental evaluation for urban land-use planning: a case study. *Eng Geol* 61:257–271
- Dardenne, M. A. 1978. Síntese sobre a estratigrafia do Grupo Bambuí no Brasil Central. In: CONGR. BRAS. GEOC., 30. Recife, 1978. Anais, Recife, SBG. v. 2. p. 597-
- Dearman, W. R. & Matula, M. 1977. Environmental aspects of engineering geological mapping. *Bull. Int. Assoc. Engng Geol.* No. 14, 141–146.
- Dearman, W.R., 1991. Engineering Geological Mapping. British Library Cataloguing Publication Data. Butterworth & Heinemama, London, Uk, 415 p.
- Diniz, N. C., 1998. Automação da cartografia geotécnica: uma ferramenta de estudos e projetos para avaliação ambiental. Tese de Doutorado. Departamento de Transportes. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2v.
- Drägut, L., Eisank, C., 2011. Object representations at multiple scales from digital elevation models. *Geomorphology* 129 (2011) 183–189
- Elis, V.R.; Zuquette, L.V. 2002. Caracterização geofísica de áreas utilizadas para disposição de resíduos sólidos urbanos. *Revista Brasileira de Geologia, São Paulo (SP)*, v. 32, n. 1, p. 119-134.
- EMBRAPA, 1978. Levantamento de reconhecimento dos solos do Distrito Federal, *Boletim Técnico*, v. 53, 455 p.
- Faria, A. 1995. Estratigrafia e sistemas deposicionais do Grupo Paranoá nas áreas de Cristalina, Distrito Federal e São João D'Aliança-Alto Paraíso de Goiás. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 199p.
- Fornasari Filho, N. et al. 1992. Alterações no meio físico decorrentes de obras de engenharia. São Paulo: IPT. 165p. (IPT. Publicação, 1972; Boletim, 61). 165p.
- Forster A., Culshaw M. G. 1987. Proceedings of the UNESCO Subcommission for Maps on Environmental Geology International Symposium on Geological mapping in the service of environmental planning (May 1986, Trondheim, Norway). Engineering geological maps as an aid to planning. In press.
- Freitas, C. G. L. de. 2000. Cartografia geotécnica de planejamento e gestão territorial: proposta teórica e metodológica. Tese de Doutorado - Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo. 238 f.
- Freitas-Silva, F.H. & Campos, J.E.G, 1999. Geologia do Distrito Federal, In: Inventário Hidrogeológico e dos Recursos Hídricos Superficiais do Distrito Federal, J.E.G. Campos & F.H. Freitas-Silva, (coords.), cap. 1, 45 p., CDROM, Sematec, GDF.
- Freitas-Silva, F.H. & Campos, J.E.G. 1997. Hidrogeologia e Recursos Hídricos Superficiais do Parque Nacional de Brasília. Brasília. 25p.
- 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. 86p.
- Gonçalves, T.D., 2007. Geoprocessamento como ferramenta de apoio à gestão dos recursos hídricos subterrâneos do Distrito Federal. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília. Brasília – DF, 88 p.
- Governo do Distrito Federal — Departamento de Urbanismo. Plano de Ordenamento Territorial do



Distrito Federal — Secretaria de Obras e Serviços Públicos - Brasília, 1992.

Governo do Distrito Federal — IPDF Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal — documento técnico. Brasília. 1997 e Lei Complementar Nº 17, de 28 de janeiro de 1997.

Grant, T. K. 1970. Terrain Evaluation. A logical extension of engineering geology. In: Proceedings of the 1st I.A.E.G. Congresso Paris, 2: 971-980.

Grant, T.K. , 1975. The PUCE Programme for terrain evaluation for engineering purposes. I-Principles. Division of applied geomechanics technical paper No.15. CSIRO. Australia. 32p.

Grant, T.K., Finlayson, A. 1978. The application of terrain analysis to urban and regional planning. III International Congress of the IAEG, Madrid. p. 79-91.

Griffiths, J.S. & Stokes, M., 2008. Engineering geomorphological input to ground models: an approach based on Earth systems. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, 41, 73-91.

Griffiths, J. S., Stead, D., Giles, D. P. & Stokes, M. 2010. Preliminary Report on IAEG Commission 22: Landscape Evolution and Engineering Geology. The Eleventh IAEG Congress, Auckland, New Zealand.

Grinover, L., 1989. O planejamento físico-territorial e a dimensão ambiental. Cadernos FUNDAP, São Paulo, v.9, n.16, p.25-32.

IAEG, 1992. Statutes of the International Association of Engineering Geology and the Environment. Newsletter, no 19, Paris, dezembro de 1992.

IBGE/Cidades@. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Estimativa da população 2006*. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>. Consulta em: 03/12/2011.

IBGE. Dados do Censo 2010 publicados no Diário Oficial da União do dia 04/11/2010. Consultado no dia 23 de janeiro de 2012. Disponível em: http://www.censo2010.ibge.gov.br/dados_divulgados/index.php

INMET. Gráfico Pluviométrico da série histórica entre 1961-1990. Consultado no dia 15 de setembro de 2011. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/html/clima/graficos/index4.html>

Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT. Ordenamento Territorial Geomineiro. Disponível em: http://www.ipt.br/solucoes/90-ordenamento_territorial_geomineiro.htm. Acessado em 23/01/2012.

Infanti, N. Jr. 1976. Geologia de Planejamento: escopo e metodologia. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, I, ABGE, Rio de Janeiro, *Anais...* Rio de Janeiro, v.3, p. 373-382.

Iwasa, O.Y., Fendrich, R., 1998. Controle da Erosão Urbana – Geologia de Engenharia, Oliveira S. A. & Brito S. A. (eds.), Associação Brasileira de Geologia de Engenharia - ABGE, São Paulo, Brasil, pp. 271- 281.

JTC-1 - Technical Committee on Landslide and Engineered slopes .2008. Guideline for susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning. Engineering Geology 102(2008):83-84; doi:0.1016/j.enggeo.2008.03.009. Disponível: <http://www.geoforum.com/itc1>

Kurtener, D., Badenko, V., 2000. A GIS methodological framework based on fuzzy sets theory for land use management. Journal of the Brazilian Computer Society



- Lang, R.E., Dhavale, 2005. Beyond Megalopolis: Exploring America's New "Megapolitan" Geography. Metropolitan Institute at Virginia Tech, Census Report 05:01, July 2005.
- Lollo, José Augusto de, . 1995. O uso da técnica de avaliação do terreno no processo de elaboração de mapeamento geotécnico : sistematização e aplicação na Quadrícula de Campinas (SP). Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo , 267 p.
- Machado, M. A. Mandai, P. R, Roig, H.L., 2007. Reservas Estratégicas de 'Depósitos Minerais de Uso Imediato na Construção Civil' para emprego em obras públicas no DF. 10º SGCO - Simpósio de Geologia do Centro-Oeste. Pirenópolis, 2007.
- Marini, O.J.; Fuck, R.A. & Danni, J.C. 1981. A evolução geotectônica da faixa Brasília e do seu embasamento. In: Simpósio sobre o Cráton do São Francisco e suas Faixas Marginais, 1, 1981, Salvador, Anais Salvador:SBG, p. 100-113.
- Martins, E.
S. 2000. Petrografia, mineralogia e geomorfologia de rególitos lateríticos no Distrito Federal. Tese (Doutorado em Geologia), UnB: Brasília, DF, 196 p.
- Martins, E. S., Reatto, A., Farias, M. F. R., Silva, A. V., Bloise, G. L. F., Spera, S. T., de Carvalho Jr. O.A., Guimarães, R. F., 2002. As relações da geologia com os solos da APA de Cafuringa, DF, Escala 1:100.000. Boletim de pesquisa e desenvolvimento. EMBRAPA Cerrados; 62; 35 p.
- Martins, E.S.; Reatto, A.; de Carvalho Jr.; O.A. & Guimarães, R.F. 2004. Evolução geomorfológica do Distrito Federal. Documentos, Embrapa Cerrados, n. 122, p. 1-57.
- Martins, E. O. 2005. Cadastro Georreferenciado de erosões no Distrito Federal. Dissertação de Mestrado, Publicação no G.DM-139/2005, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 114p
- Martins, E. S., Reatto, A., de Carvalho Jr. O.A., 2008. Mapeamento da Superfície Basal do Manto de Intemperismo pelo Comportamento da Resistividade Elétrica do Distrito Federal
- Mascarenha, M.M.A., Guimarães, R.C. & Camapum de Carvalho, J. 2003. Influência do recarregamento nos resultados de provas de carga em estacas escavadas assentes em solos porosos colapsíveis. XII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, São Paulo, SP, 3: 1617-1626.
- Mascaró, J. L. 2003. Loteamentos urbanos. Porto Alegre: L. Mascaro, 242p.
- Matula, M. 1976. Environmental aspects of eng. geological mapping. In: INTERNATIONAL GEOLOGIC CONGRESS, 25., Sydney.
- Matula, M. 1979. Regional Engineering geological mapping for planning purposes. Boletim da IAEG 19: 18-24.
- Meijerink, A.M.J., 1988. Data acquisition and data capture through terrain mapping units. ITC Journal, Wagenigen, v.1988, n.1, p.23-44.
- Novaes Pinto, M. ,1987. Superfícies de aplainamento do Distrito Federal. Revista Brasileira de Geografia, v. 49, p. 9-27.
- Novaes Pinto, M. , 1994. Caracterização geomorfológica do Distrito Federal. In: M. Novaes Pinto (Org.), Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas. 2a. ed., Brasília: UnB/SEMATEC, cap. 9, p. 285-344.



- Parizi, C.C. 2003. Metodologia para avaliação de áreas para implantação de empreendimentos habitacionais de interesse social baseada em análise multi-critério e cartografia geotécnica. Dissertação de Mestrado, IPT, São Paulo/SP.
- Parizi, C.C. & Diniz, N.C. 2004 . Metodologia para avaliação de áreas para a implantação de habitação de interesse social. In: Pejon, O. & Zuquete, L.V. (Eds.) *Cartografia Geotécnica e Geoambiental: conhecimento do meio físico: base para a sustentabilidade*. São Carlos, ABGE/UFSCAR, p. 57-62.
- Paula, B. L. de; Cerri, L, E. da. S. 2008. Proposta de representação cartográfica para cartas geotécnicas. Revista Geotecnia, São Paulo, n. 112, p. 11-126.
- Pejon, O. J. 1992. Mapeamento geotécnico da folha de Piracicaba-SP (escala 1:100.000): estudo de aspectos metodológicos, de caracterização e de apresentação dos atributos. 2v. 224p. Tese Doutorado em Geotecnia- Departamento de Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- Pike, R.J. , Evans, I.S., Hengl, T., 2008. Geomorphometry: A Brief Guide; CHAPTER 1.
- Pimentel, M.M.; Heaman, L. & Fuck, R.A. 1993. A idade do metarriolito da seqüência Maratá, Grupo Araxá, GO: estudo geocronológico pelos métodos U-Pb em zircão, Rb-Sr e Sm-Nd. Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 64, p. 19-28.
- Pires Neto, A. G. ; Yoshinaga, S. Y. 1995 . O Planejamento Territorial No Instituto Geológico: Revisão e Avaliação da Experiência. REVISTA DO IG, SAO PAULO, SP, p. 37-43.
- Ponçano, W.L.; Carneiro, C.D.R.; Bistrichi, C.A.; Almeida, F.F.M.; Prandini, F.L. 1981. *Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo*. São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, v.1, 94p (Publicação IPT n° 1183, Monografias 5).
- Prandini, F.L. 1974. Geological-geotechnical factors conditioning environmental degradation. In: International Congress of the International Association of Engineering Geology, 2, São Paulo, 1974. *Proc...*, São Paulo, IAEG. V3, p. 168-175.
- Prandini, F.L. 1976. O Brasil e a geologia no planejamento territorial e urbano. 1a In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, I, Rio de Janeiro, 1976. *Anais*, Rio de Janeiro, ABGE. V3, p. 354-370.
- Prandini, F. L.; Nakazawa, V. A.; Freitas, C. G. L. de. , 1991. A cartografia geotécnica nos planos diretores regionais e municipais. São Paulo: IPT (Apostila do curso de geologia aplicada a problemas ambientais).
- Prandini, F.L. & Nakazawa, V.A. 1994. A contribuição das geociências na viabilização das cidades. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 38, SBG, Balneário Camboriú, Boletim de Resumos Expandidos... v.1, p.
- 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.
- Reatto, A.; Martins, E. de S.; Farias, M. F. R.; Silva, A. V. da; Carvalho Júnior, O. A. de. 2004. Mapa pedológico digital – SIG atualizado do Distrito Federal escala 1:100.000 e uma síntese do texto explicativo Planaltina : Embrapa Cerrados, 31 p..
- Rêgo, M. C. A. 1997. Mapeamento Geotécnico da porção sul da área de proteção ambiental da bacia do Descoberto. Dissertação de mestrado em Geotecnia. Universidade de Brasília. 130p.



- Resende, M.; Curi, N.; Rezende, S. B.; Corrêa, G. F. 2002. Pedologia: base de distinção de ambientes. Viçosa: NEPUT. p. 151.
- Riché, G.R. 1989. Stratification du melier exemple de ouriours. Les Cahiers de la recherche de développement.nº24.
- Romão, P. A, 1995. Mapeamento Geotécnico da Região de Águas Claras (DF): Utilização de Recursos de Geoprocessamento. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília-DF, 169 p.
- Ross, J. L. S. Geomorfologia: ambiente e planejamento. São Paulo: Contexto, 2008.
- Santos, A. R, 2008. Diálogos Geológicos: é preciso conversar mais com a Terra. Editora Nome da Rosa. ISBN: 978-85-86872-45-7. 184 p.
- Santos Filho, A. P. 2000. Uso de Geoprocessamento na Distribuição Espacial das Características e Classes Geotécnicas de Solos do Distrito Federal. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília-DF, 179p.
- SEDUMA/GDF – Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente - Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal, Lei Complementar Nº 803, de 25 de abril de 2009: documento técnico da redação final. Brasília, 2009.
- Silva, S. F. e Pejon O. J.. 2004. Utilização de inferência de lógica Fuzzy na elaboração de documentos cartográficos In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental , 5, São Carlos, SP. Anais. São Carlos, SP: SUPREMA, 7p. v. 1.
- Silva, C. P. L.. 2007. Cartografia Geotécnica de Grande Escala: Estudo de Caso Brasília - Área Tombada pela Unesco. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília-DF, 106 p.
- Shi Y.W. 1993. Urban land use suitability assessment: a case study of Anshan City, China. China Soc Land Sci, 7(5):28-32
- Sobreira, F.S. 2001. Suscetibilidade a processos geológicos e suas conseqüências na área urbana de Mariana, MG. Geo.Br. Disponível em [HTTP://www.dageo.ufop.br/geobr](http://www.dageo.ufop.br/geobr).
- Souza, N.C.D.C. 1992. Mapeamento Geotécnico Regional da Folha de Aguai : com base na compartimentação por formas de relevo e perfis típicos de alteração. São Carlos : EESC/USP. 1992. 2.v. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- Souza, N. M.. 1998. Uso de lógica difusa em cartografia geotécnica In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica, 3, Florianópolis,SC. Anais. Florianópolis,SC, 13p. v. 1.
- Strata Engenharia Ltda, 2009. "Estudos de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental -EVTEA, Estudos de Impacto Ambiental – EIA e seu respectivo Relatório de Impacto Ambiental – RIMA e dos Projetos Executivos de Engenharia das Rodovias integrantes do Anel Viário do Distrito Federal". Departamento de Estradas e Rodagens, DER-DF.
- Trentin, R. 2007. Definição de Unidades Geoambientais na Bacia Hidrográfica do Rio Itu, Oeste do Rio Grande do Sul. Dissertação de Mestrado em Geografia – Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, 140f.
- United Nations Population Funds, 2011. The State of world population 2011, Unleashing the potencial of urban growth. New York.



- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2011. World Population Prospects: The 2010 Revision. New York
- Vedovello, R. , 2000. Zoneamentos Geotécnicos Aplicados à Gestão Ambiental, a partir de Unidades Básicas de Compartimentação – UBCs. / Tese de Doutorado. Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Universidade Estadual Paulista, Rio Claro
- Verstappen, H. T. 1983. Applied geomorphology: Geomorphological surveys for environmental development. Elsevier. ITC. Amsterdam.
- UNESCO/IAEG, 1976. Engineering geological mapping. A guide to their preparation. Commission on Engineering Geological Maps of the IAEG. Earth Sciences, 15. The Unesco Press.
- Volpe, L. L. 2009. Análise da paisagem no entorno dos eixos viários: o exemplo do Rodoanel Mário Covas na RMSP. 2009. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo. 211f.
- Zadeh, L.A., 1965. Fuzzy Sets. *Information Control*, 8:338--353, 1965.
- Zoneamento Ecológico-Econômico da Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno, ZEE-RIDE. 2003. Coordenado por Cássio Roberto da Silva. – Rio de Janeiro: CPRM / EMBRAPA / SCO-MI.
- Zuquette, L. V., 1987. Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para condições brasileiras. (Tese de Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos - USP, São Carlos.
- Zuquette, L. V. 1993. Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio físico: fundamentos e guia para elaboração. Tese (Livre Docência) São Carlos – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo – USP.

**“AVALIAÇÃO DA APTIDÃO À URBANIZAÇÃO COM USO DE INFERÊNCIA
FUZZY EM DADOS GEOMORFOMÉTRICOS:
SUBSÍDIOS PARA O PLANEJAMENTO TERRITORIAL
EM TORNO DO ANEL VIÁRIO DO DF”**

MANDAI, P. R., 2012

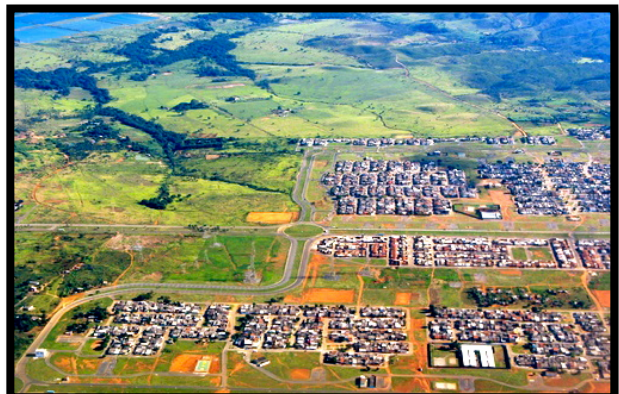
APÊNDICES

- A. Fotos de campo da área**
- B. Tabelas de metadados**
- C. Cenas da área em estudo**
- D. Tabelas com procedimentos operacionais para geração de dados geomorfométricos**

APÊNDICE A

Fotos ao longo do trajeto do Anel Viário do DF

UT-AV-I



**Fotos ao longo do trajeto do Anel Viário do DF
(Bacia do Rio Preto, leste do DF)**

UT-AV-II



**Fotos ao longo do trajeto do Anel Viário do DF
(Bacia do Rio São Bartolomeu)**

UT-AV-III



**Fotos ao longo do trajeto do Anel Viário do DF
(Bacia do Rio Maranhão, norte do DF)**

UT-AV-III



APÊNDICE B

APÊNDICE

DADOS GEOESPACIAIS UTILIZADOS NA AVALIAÇÃO EM SIG.

(FASE INVENTÁRIO)

ORIGEM	TIPO DE ARQUIVO	FORMATO	TIPO DE FEIÇÃO	NOME	ESCALA / RESOLUÇÃO	DATUM/ PROJEÇÃO	DESCRIÇÃO
ZEE-DF	Shapefile	Vetorial	Polígono	Geologia	1:100.000	SIRGAS UTM	Mapa geológico do DF, atualização de Freitas & Campos (1998)
	Shapefile	Vetorial	Polígono	Geomorfologia	1:100.000	SIRGAS UTM	Mapa geomorfológico do DF, atualização de Novaes Pinto (Campos, 2012)
EMBRAPA	Shapefile	Vetorial	Polígono	Pedologia	1:100.000	SIRGAS UTM	Mapa pedológico digital (EMBRAPA, 2004)
TERRACAP	Shapefile	Vetorial	Linhas	Altimetria_linear	1:10.000	SIRGAS UTM	Curvas de nível utilizadas para gerar o MDT
	Shapefile	Vetorial	Pontos	Altimetria_pontual	1:10.000	SIRGAS UTM	Pontos cotados utilizados para gerar o MDT
	Shapefile	Vetorial	Linhas	Hidrografia_linear	1:10.000	SIRGAS UTM	Hidrografia utilizada para gerar o MDT
IBGE	GEOTIFF	Raster	Imagem	OIM_DF_avnir_312	10 metros	SIRGAS UTM	Imagem do Satélite ALOS, sensor AVNIR Composição colorida r3g2b1 (
INPE	GEOTIFF	Raster	MDE	SRTM	30 m	SIRGAS UTM	MDE de dados SRTM, WGS 84.
Aguiar (1997)	Shapefile	Vetorial	Polígono	Textura de Solos	1:100.000	SIRGAS UTM	Base de Dados do Doutorado: "Zoneamento Geotécnico Geral do Distrito Federal"
	Shapefile	Vetorial	Polígono	Espessura de Solos	1:100.000	SIRGAS UTM	Base de Dados do Doutorado: "Zoneamento Geotécnico Geral do Distrito Federal"
	Shapefile	Vetorial	Polígono	Nível Freático	1:100.000	SIRGAS UTM	Base de Dados do Doutorado: "Zoneamento Geotécnico Geral do Distrito Federal"
Martins (2005)	Shapefile	Vetorial	Polígono	Cadastro Georreferenciado de Erosões	1:10.000	SIRGAS UTM	Base de Dados do Mestrado: "Cadastro Georreferenciado das Erosões no DF"

[* Os planos de informação dos mapas básicos temáticos foram previamente cortados (Clip) conforme a área do estudo

** A geometria das feições foram submetidas a correção topológica]

DADOS GEOESPACIAIS GERADOS NA ANÁLISE EM SIG
(FASE ANÁLISE)

<i>ORIGEM</i>	<i>TIPO DE ARQUIVO</i>	<i>FORMATO</i>	<i>TIPO DE FEIÇÃO</i>	<i>NOME</i>	<i>ESCALA / RESOLUÇÃO</i>	<i>DATUM/ PROJEÇÃO</i>	<i>DESCRIÇÃO</i>
<i>Curvas de Nível, Pontos Cotados e Hidrografia</i>	<i>Personal GeoDatabase Raster Dataset</i>	<i>Raster (.img)</i>	<i>Imagem</i>	<i>MDE</i>	<i>1:10.000</i>	<i>SIRGAS UTM</i>	<i>Produto de interpolação TOPOGRID</i>
<i>MDE</i>	<i>Personal GeoDatabase Raster Dataset</i>	<i>*GeoTiff</i>	<i>Imagem</i>	<i>Hipsometria</i>	<i>1:10.000</i>	<i>SIRGAS UTM</i>	<i>Fatiamento do MDE</i>
<i>MDE</i>	<i>Personal GeoDatabase Raster Dataset</i>	<i>*GeoTiff</i>	<i>Imagem</i>	<i>Declividade</i>	<i>1:10.000</i>	<i>SIRGAS UTM</i>	<i>1ª Derivada de MDE</i>
<i>MDE</i>	<i>Personal GeoDatabase Raster Dataset</i>	<i>*GeoTiff</i>	<i>Imagem</i>	<i>Watershed (Bacias)</i>	<i>1: 10.000</i>	<i>SIRGAS UTM</i>	<i>Gerado a partir do <u>FlowDirection</u></i>
<i>MDE + Bacias + Hidrografia</i>	<i>Personal GeoDatabase Raster Dataset</i>	<i>*GeoTiff</i>	<i>Imagem</i>	<i>Amplitude de Relevo</i>	<i>1:10.000</i>	<i>SIRGAS UTM</i>	<i>-</i>

DADOS GEOESPACIAIS GERADOS NA ANÁLISE EM SIG
(FASE ANÁLISE)

<i>ORIGEM</i>	<i>TIPO DE ARQUIVO</i>	<i>FORMATO</i>	<i>TIPO DE FEIÇÃO</i>	<i>NOME</i>	<i>ESCALA / RESOLUÇÃO</i>	<i>DATUM/ PROJEÇÃO</i>	<i>DESCRIÇÃO</i>
<i>MDE</i>	<i>Personal GeoDatabase Raster Dataset</i>	<i>*GeoTiff</i>	<i>Imagem</i>	<i>Hipsom_Reclass</i>	<i>1:10.000</i>	<i>SIRGAS UTM</i>	<i>Reclassificação</i>
<i>MDE</i>	<i>Personal GeoDatabase Raster Dataset</i>	<i>*GeoTiff</i>	<i>Imagem</i>	<i>Decliv_Reclass</i>	<i>1:10.000</i>	<i>SIRGAS UTM</i>	<i>Reclassificação</i>
<i>MDE</i>	<i>Personal GeoDatabase Raster Dataset</i>	<i>*GeoTiff</i>	<i>Imagem</i>	<i>Bacias_Reclass</i>	<i>1: 10.000</i>	<i>SIRGAS UTM</i>	<i>Reclassificação</i>
<i>MDE + Bacias + Hidrografia</i>	<i>Personal GeoDatabase Raster Dataset</i>	<i>*GeoTiff</i>	<i>Imagem</i>	<i>Amplit_Reclass</i>	<i>1:10.000</i>	<i>SIRGAS UTM</i>	<i>-</i>

APÊNDICE

- DADOS GEOESPACIAIS GERADOS NA ANÁLISE EM SIG.

(FASE SÍNTESE – “Fuzzy Membership”)

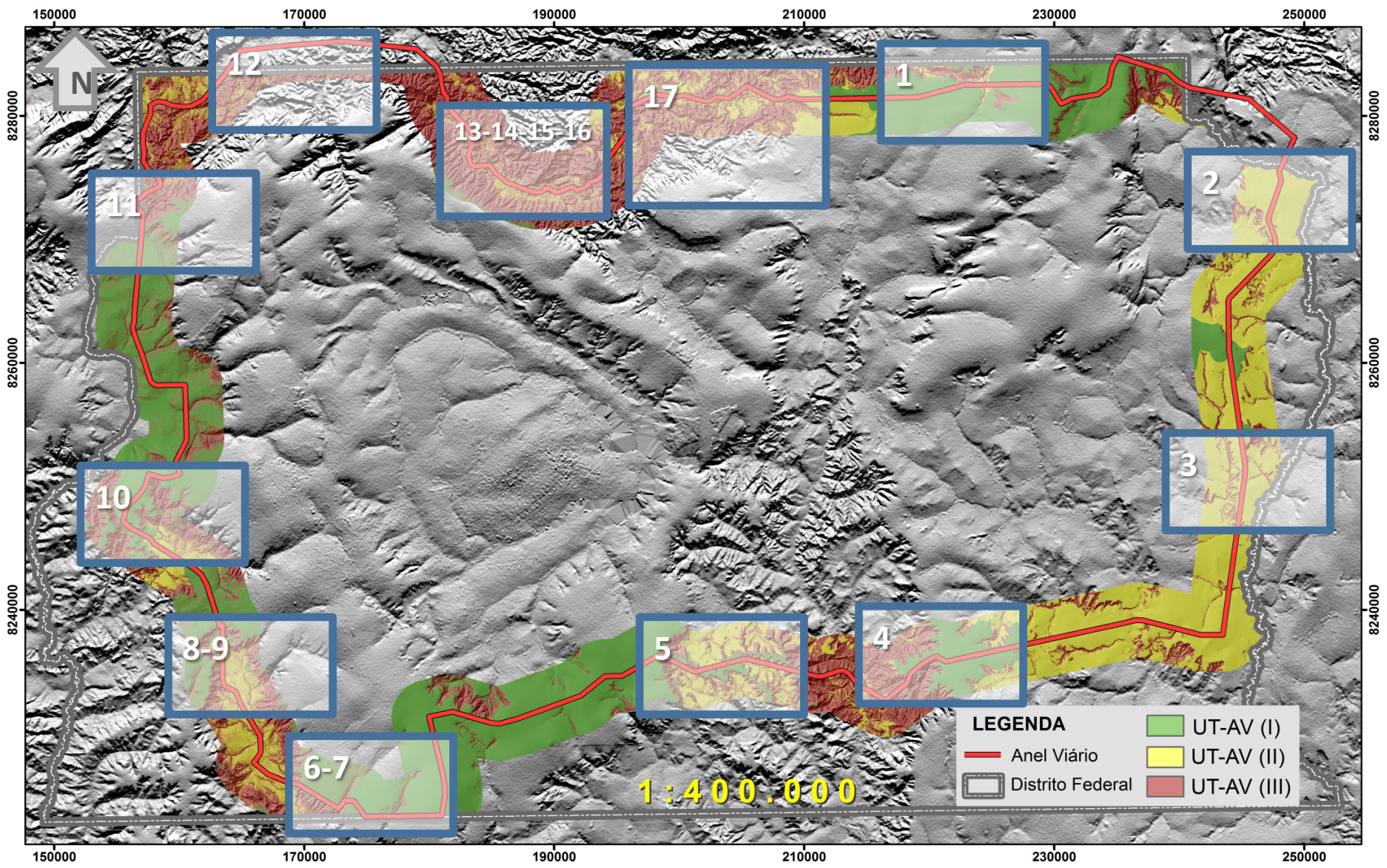
<i>ORIGEM</i>	<i>TIPO DE ARQUIVO</i>	<i>FORMATO</i>	<i>TIPO DE FEIÇÃO</i>	<i>NOME</i>	<i>ESCALA / RESOLUÇÃO</i>	<i>DATUM/ PROJEÇÃO</i>	<i>DESCRIÇÃO</i>
<i>Hipsom_Reclass</i>	<i>Personal GeoDatabase Raster Dataset</i>	<i>Raster (.img)</i>	<i>Imagem</i>	<i>Hipsometria_Fuzzy</i>	<i>1:10.000</i>	<i>SIRGAS UTM</i>	<i>Fuzzy MSSmall</i>
<i>Decliv_Reclass</i>	<i>Personal GeoDatabase Raster Dataset</i>	<i>Raster (.img)</i>	<i>Imagem</i>	<i>Declividade_Fuzzy</i>	<i>1:10.000</i>	<i>SIRGAS UTM</i>	<i>Fuzzy MSSmall</i>
<i>Amplitud_Reclass</i>	<i>Personal GeoDatabase Raster Dataset</i>	<i>Raster (.img)</i>	<i>Imagem</i>	<i>Amplitude_Fuzzy</i>	<i>1:10.000</i>	<i>SIRGAS UTM</i>	<i>Fuzzy Linear</i>
<i>Bacias_Reclass</i>	<i>Personal GeoDatabase Raster Dataset</i>	<i>Raster (.img)</i>	<i>Imagem</i>	<i>Densidade de Drenagem_Fuzzy</i>	<i>1:10.000</i>	<i>SIRGAS UTM</i>	<i>Fuzzy Linear</i>

- DADOS GEOESPACIAIS GERADOS NA ANÁLISE EM SIG.

(MAPA FINAL – “Fuzzy Overlay”)

<i>ORIGEM</i>	<i>TIPO DE ARQUIVO</i>	<i>FORMATO</i>	<i>TIPO DE FEIÇÃO</i>	<i>NOME</i>	<i>ESCALA / RESOLUÇÃO</i>	<i>DATUM/ PROJEÇÃO</i>	<i>DESCRIÇÃO</i>
<i>(Hipsometria_Fuzzy)+ (Declividade_Fuzzy)+ (Amplitude_Fuzzy)+ (Densidade de Drenagem_Fuzzy)+ (Amplitude de Relevo_Fuzzy)</i>	<i>Personal GeoDatabase Raster Dataset</i>	<i>Raster (.img)</i>	<i>Imagem</i>	<i>UT_AV</i>	<i>1:10.000</i>	<i>SIRGAS UTM</i>	<i>Operador FuzzyAnd Mapa de Unidades de Terreno (UT-AV-I; UT- AV-II, UT-AV-III)</i>

APÊNDICE C





Estação Ecológica Águas Emendadas

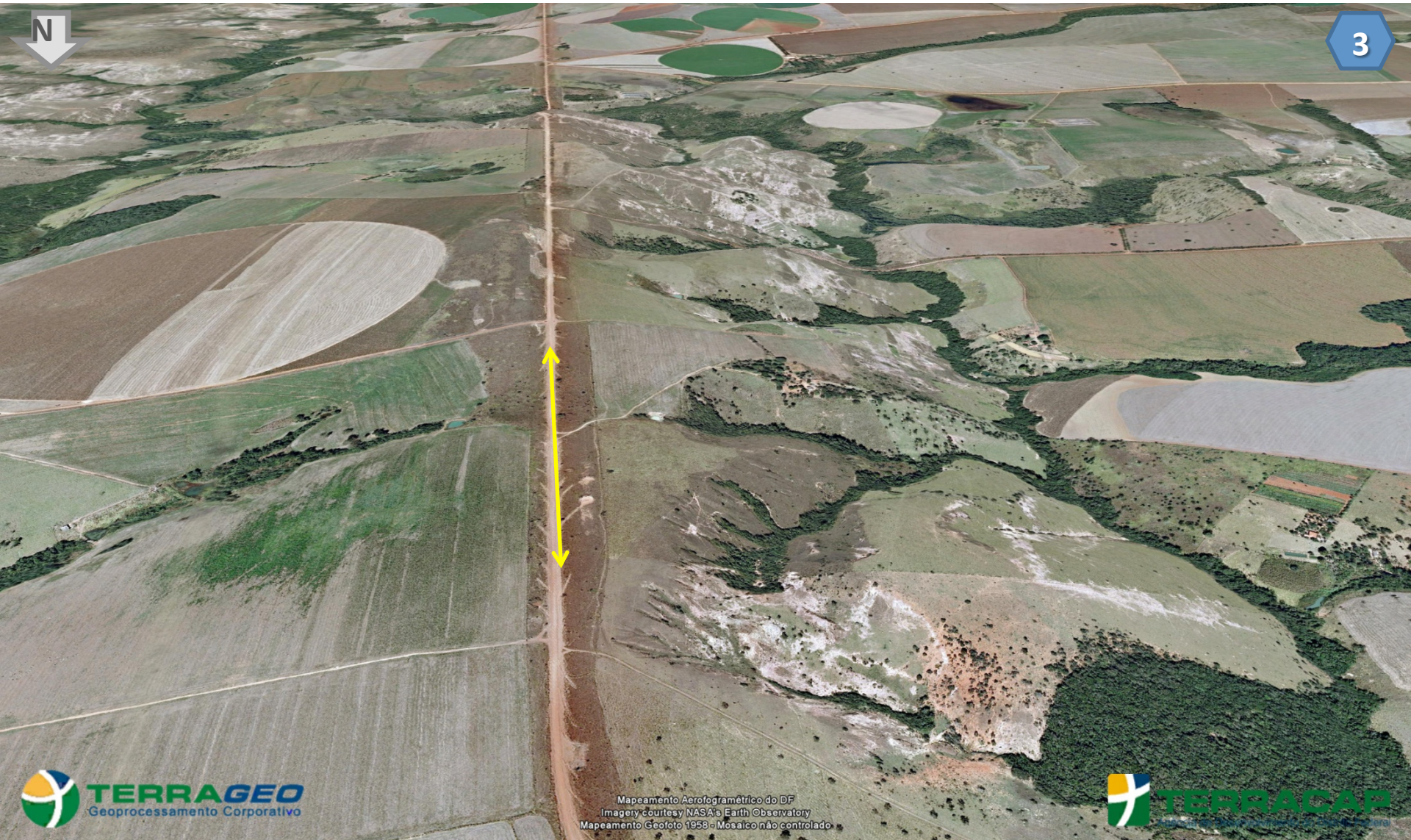
Planaltina - DF

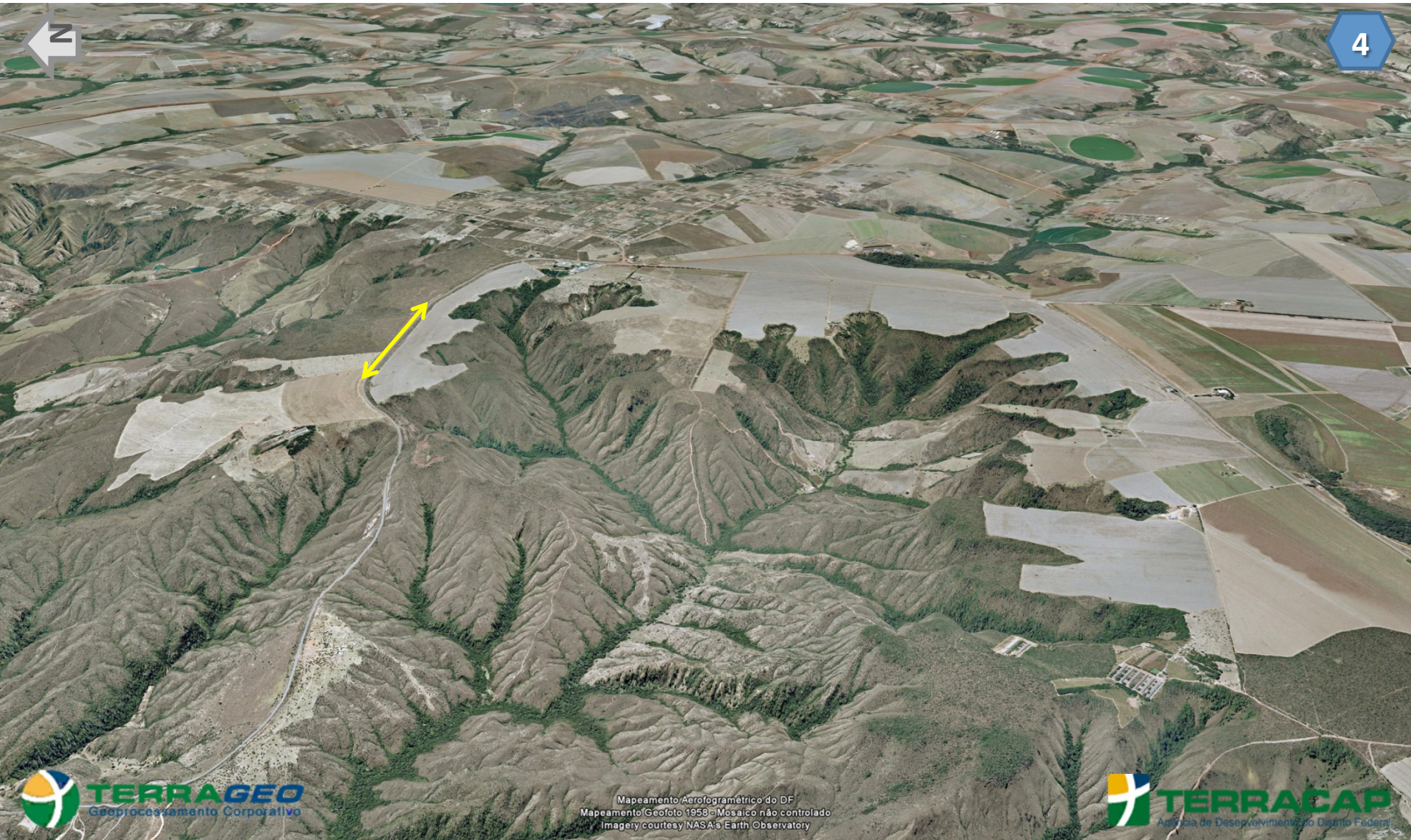
Planaltina - GO



N

2









Santa Maria

Gama





Gama



Recanto das Emas





Samambaia

Recanto das Emas

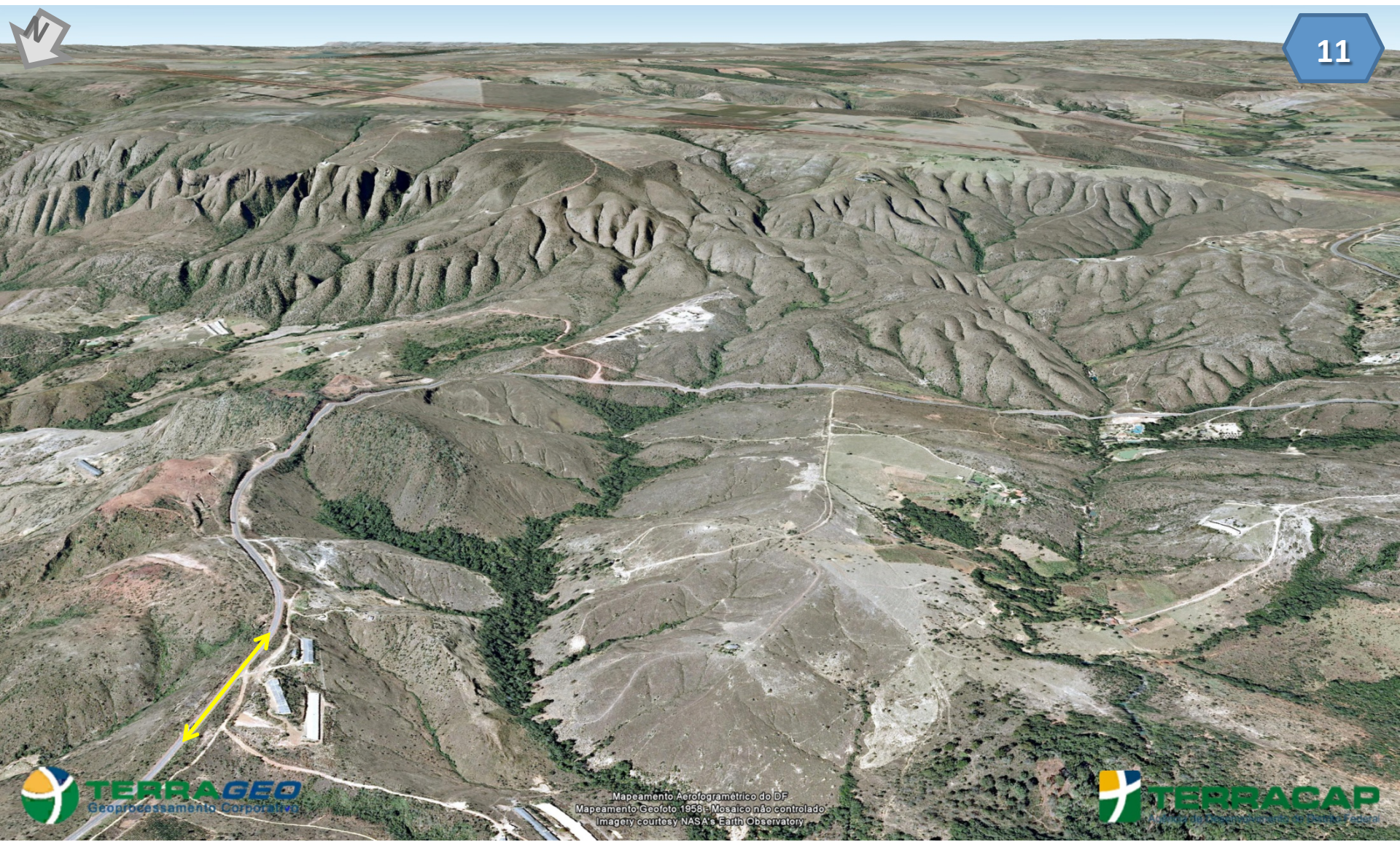
9

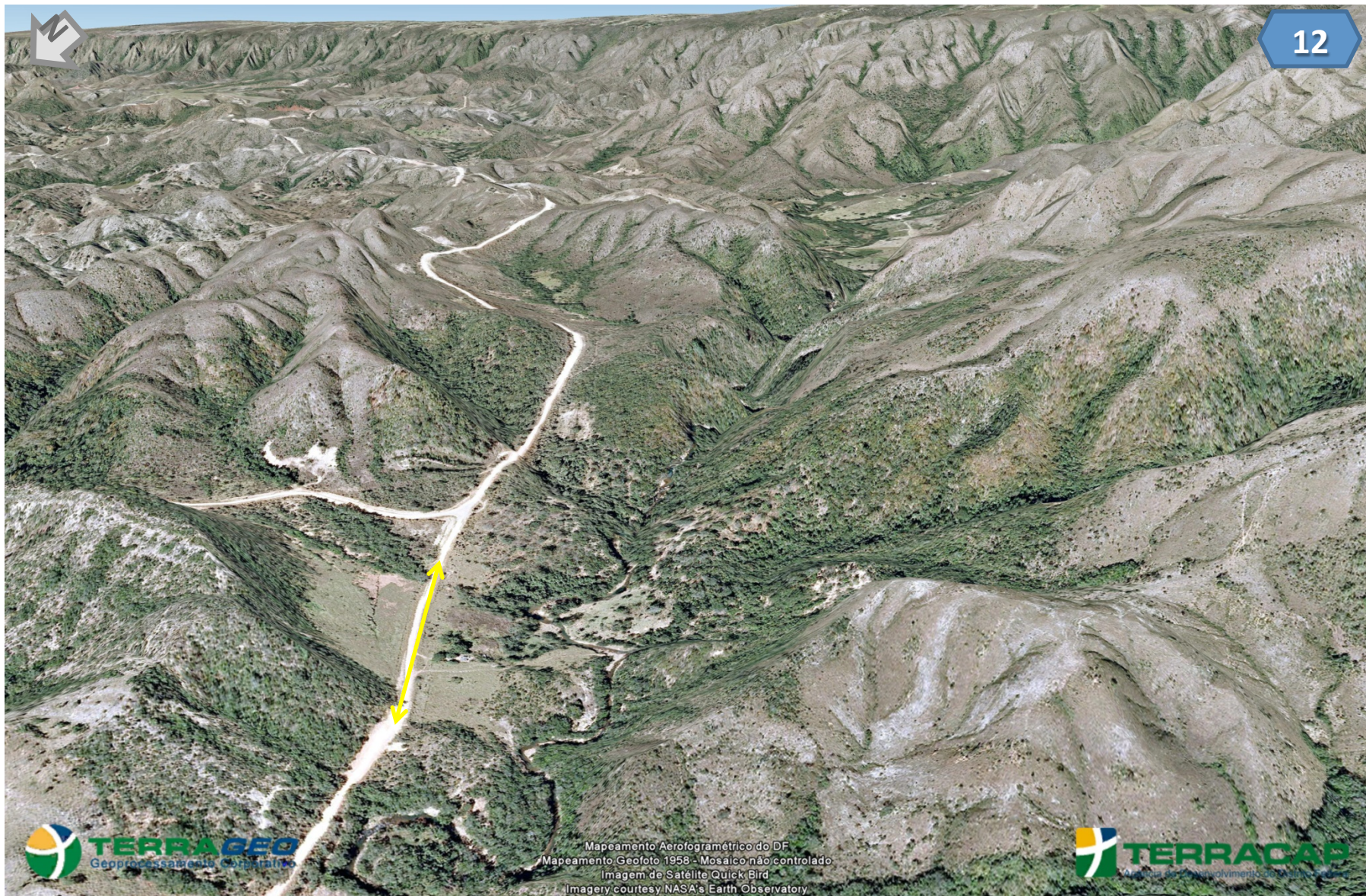


Ceilândia

Samambaia







An aerial photograph of a mountainous valley. The terrain is rugged with green vegetation and brownish soil. A dirt road winds through the valley, leading to a small village with several buildings. A yellow arrow points to a specific location on the road. In the background, there are large, rounded hills under a clear blue sky. A white arrow in the top left corner points towards the top of the image.

Bairro Fercal



Bairro Fercal



Bairro Fercal



Bairro Fercal

Indústria de Cimento



Plano de Piloto

Parque Nacional de Brasília

Sobradinho

Indústrias de Cimento

APÊNDICE D

Tabela - Referências para o cálculo de Densidade de Drenagem por Bacias hidrográficas

BACIA HIDROGRÁFICA	ÁREA DA BACIA (A)	COMPRIMENTO DE DRENAGEM (Lt)	DENSIDADE DE DRENAGEM (Dd = Lt / A) x 1000
São Bartolomeu	306857020,8	8180,439	2,665
Preto	401504540,3	5512,198	1,372
Maranhão	451943183,6	160907,073	35,603
Lago Paranoá	56700176,39	550,457	0,970
Descoberto	254188779,2	4749,100	1,868
Corumbá	155176133,6	3504,722	2,258

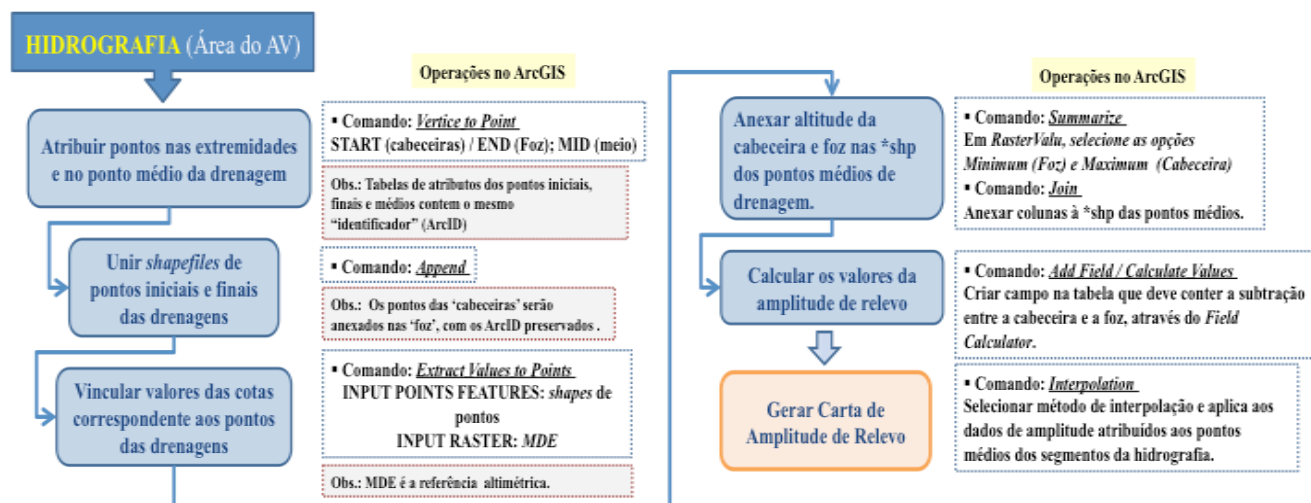


Figura - Procedimento operacional para geração de mapa de amplitude de relevo

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade de Brasília. Acervo 1002220.

Mandai, Pedro Rafael.
M271a Avaliação da aptidão à urbanização com uso de inferência fuzzy em dados geomorfométricos : subsídios para o planejamento territorial em torno do anel viário do Distrito Federal / Pedro Rafael Mandai. -- 2012.
xv, 160 f. : il. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) - Universidade de Brasília, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geociências Aplicadas, 2012.
Inclui bibliografia.
Orientação: Noris Costa Diniz.

1. Geomorfologia - Distrito Federal (Brasil). 2. Sistemas difusos. 3. Geomorfologia - Sistema viário. 4. Política urbana. 5. Política ambiental. I. Diniz, Noris Costa.
II. Título.

CDU 551.4