

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

**CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA DE GRANDE ESCALA:  
ESTUDO DE CASO SETOR HABITACIONAL ASA TAQUARI**

**BRUNO RODRIGUES DE OLIVEIRA**

**ORIENTADOR: NEWTON MOREIRA DE SOUZA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM GEOTECNIA**

**PUBLICAÇÃO: G.DM-305/2018**

**BRASÍLIA / DF: JUNHO / 2018**

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

**CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA DE GRANDE ESCALA:  
ESTUDO DE CASO SETOR HABITACIONAL ASA TAQUARI**

**BRUNO RODRIGUES DE OLIVEIRA**

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

**APROVADA POR:**

---

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

---

**LUIS FERNANDO MARTINS RIBEIRO, DSc. (ENC/UnB)**  
**(EXAMINADOR INTERNO)**

---

**JOSÉ CAMAPUM DE CARVALHO DSc. (ENC/UNB)**  
**(EXAMINADOR SUPLENTE)**

**DATA: BRASÍLIA/DF, 15 DE JUNHO DE 2018.**

## FICHA CATALOGRÁFICA

OLIVEIRA, BRUNO RODRIGUES

Cartografia geotécnica de grande escala: estudo de caso setor habitacional Asa Taquari [Distrito Federal 2018.

xxviii, 144 p, 297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Geotecnia, 2018)

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília.

Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1.Cartografia geotécnica

2.Compartimentação Fisiográfica

3.Ensaio in situ

4.Planejamento Urbano

I. ENC/FT/UnB

II. Título (Série)

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

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

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Bruno Rodrigues de Oliveira

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO: Cartografia geotécnica de grande escala: estudo de caso setor habitacional Asa Taquari

GRAU / ANO: Mestre / 2018

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

---

Bruno Rodrigues de Oliveira  
Rua Lorenzo Fernandes, 58, Apartamento 101  
CEP: 21675-530 –Rio de Janeiro/RJ – Brasil

## DEDICATÓRIA

*Aos Meus Pais, Mario Marques de Oliveira Filho e  
Elisabete Rodrigues de Oliveira e minha irmã Sílvia Rodrigues de Oliveira.*

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais e minha irmã pelo apoio e pelos ensinamentos.

Para Gabriela Branquinho, minha companheira que está sempre ao meu lado, me apoiou durante todo a execução do trabalho e acreditou em mim.

Ao Professor Newton, agradeço a sua orientação, transferência de conhecimento, respeito e paciência. Muito obrigado pela oportunidade de ser seu orientando, pelo apoio e por acreditar no meu trabalho.

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Geotecnia da Universidade de Brasília pela estrutura e oportunidade de realização desta pesquisa e aos professores pelos conhecimentos transmitidos.

Agradeço a Manu, a Fabiane, Michele e ao Eleudo pela amizade e boa convivência na sala de geoprocessamento e fora dela.

Agradeço ao Capes pelo apoio financeiro.

Agradeço a colaboração da empresa Embre Ltda cedendo dados de campo para a pesquisa.

Por fim, agradeço as pessoas que não citei, mas que, de alguma forma, contribuíram com esta pesquisa. Muito obrigado.

## RESUMO

Um processo de planejamento urbano adequado versa no parcelamento do solo baseado em cartas geotécnicas que apresentem as potencialidades, limitações e diretrizes para ocupação dos terrenos visando orientar o processo de urbanização e mitigar possíveis impactos negativos que podem ser provocados no meio ambiente.

A Lei nº 12.608/2012 (BRASIL, 2012) determina instrumentos de caráter preventivo, dentre eles, o mapeamento das áreas em risco a movimentos gravitacionais de massa e inundação e a elaboração de cartas geotécnicas de aptidão à urbanização, ambos produtos cartográficos de grande escala.

No Brasil, as cartas geotécnicas aplicadas ao planejamento urbano são produtos cartográficos de grande escala e tem a sua elaboração dificultada pela falta de informações preexistentes em quantidade e qualidade adequada. Sendo assim, torna-se necessário a aplicação de uma metodologia de aquisição de dados que permita a compatibilização dos dados fundamentais para o nível de detalhamento requerido para a elaboração dos produtos cartográficos requisitados pelo poder público (Suscetibilidade, Aptidão a Urbanização e Risco) e que permita a compreensão da geodinâmica do local investigado.

Nesta pesquisa foi proposta uma metodologia para a elaboração de cartas geotécnicas de grande escala em ambiente SIG utilizando o método de detalhamento progressivo e o sistema de avaliação de terrenos, com base na fotointerpretação de imagens de sensoriamento remoto e na compartimentação fisiográfica, em investigações geotécnicas *in situ* utilizando o permeâmetro Guelph, levantamentos geofísicos (eletrorresistividade) e mapeamento geológico-geotécnico.

A aplicação da metodologia permitiu a elaboração de três cartas geotécnicas com o nível de detalhamento adequado ao planejamento urbano: suscetibilidade, aptidão a urbanização e risco.

## ABSTRACT

An adequate urban planning process consist of the land subdivision based on geotechnical maps that present potentialities, limitations and guidelines for occupation of terrains, aiming to guide the urbanization process and mitigate possible negative impacts that may be caused in the environment.

Law n° 12,608/2012 (BRASIL, 2012) determines preventive instruments, among them, the mass movements and floods risk mapping, and the development of geotechnical maps for urban planning, both large-scale cartographic products.

In Brazil, geotechnical maps for urban planning are large-scale cartographic products and their elaboration are obstructed by the lack of preexisting information in an adequate quantity and quality. Therefore, it's necessary to apply a methodology of data acquisition that allows the the fundamental data to be compatible with the level of detail required for the elaboration of the cartographic products required by the public authority (Suscetibility, Suitability for Urbanization and Risk) and that allows the understanding of the geodynamics of the site investigated.

In this research was proposed a methodology for the elaboration of large geotechnical maps in GIS environment using the progressive-detailed method and the land evaluation system, based on the photointerpretation of remote sensing images and the physiographic compartmentalization, in geotechnical investigations in situ measurements using the Guelph Permeameter, geophysical surveys (electroresistivity) and geological-geotechnical mapping.

The application of the methodology allows the elaboration of three geotechnical maps with the adequate level of detail for urban planning: susceptibility, suitability for urbanization and risk.

# ÍNDICE

DEDICATÓRIA.....	iv
AGRADECIMENTOS.....	v
RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
LISTA DE TABELAS .....	x
LISTA DE FIGURAS .....	xii
LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURA E ABREVIACÕES .....	xiv
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. JUSTIFICATIVA .....	2
1.2. OBJETIVOS .....	2
1.3. ESCOPO DA DISSERTAÇÃO.....	3
1.4. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	4
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	5
2.1. PRINCÍPIOS DA CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA.....	5
2.2. UNIDADES DE MAPEAMENTO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO .....	7
2.2.1. CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA PARA O PLANEJAMENTO URBANO ...	8
2.3. MÉTODO DE ELABORAÇÃO DE CARTAS GEOTÉCNICAS.....	11
2.3.1. METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DE TERRENOS.....	11
2.3.2. METODOLOGIA DE DETALHAMENTO PROGRESSIVO .....	12
2.4. TÉCNICAS PARA AQUISIÇÃO E INTERPRETAÇÃO DE DADOS.....	15
2.4.1. ESTUDO DE ESCRITÓRIO.....	16
2.4.2. INTERPRETAÇÃO DE PRODUTOS DE SENSORIAMENTO REMOTO..	17
2.4.3. MAPEAMENTO GEOLÓGICO APLICADO A ENGENHARIA .....	21
2.4.4. ELABORAÇÃO DE MODELOS GEOLÓGICOS APLICADOS A ENGENHARIA.....	22
2.4.5. MAPEAMENTO COM MÉTODOS GEOFÍSICOS .....	25
2.4.5.1. MÉTODO DE ELETORRESTIVIDADE – TÉCNICA DO CAMINHAMENTO ELÉTRICO .....	26
2.4.6. MAPEAMENTO COM MÉTODOS DE INVESTIGAÇÕES DIRETAS.....	29
2.4.6.1. TÉCNICAS E QUANTIDADE DE AMOSTRAGEM .....	30
2.4.6.2. PERMEAMETRO GUELPH .....	32
2.4.7. GEOPROCESSAMENTO E SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS.....	35
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	36
3.1. MATERIAIS .....	36
3.1.1. BASE DE DADOS UTILIZADA .....	36
3.1.2. PROGRAMAS COMPUTACIONAIS UTILIZADOS .....	36
3.1.3. EQUIPAMENTOS UTILIZADOS .....	38
3.2. MÉTODOS .....	38
3.2.1. ESTRUTURA METODOLÓGICA .....	38
3.2.2. DEFINIÇÃO DE ESCALA.....	40
3.2.3. ELABORAÇÃO DE CARTAS ANALÍTICAS .....	41
3.2.4. INTERPRETAÇÃO DE PRODUTOS DE SENSORIAMENTO REMOTO..	48
3.2.5. COMPARTIMENTAÇÃO FISIAGRÁFICA .....	49
3.2.6. ELABORAÇÃO DO MODELO CONCEITUAL .....	50
3.2.7. PLANEJAMENTO DO MAPEAMENTO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO ...	51
3.2.8. PLANEJAMENTO DOS LEVANTAMENTO DE DADOS GEOFÍSICOS ..	52
3.2.9. PROCESSAMENTO E INTERPRETAÇÃO DE DADOS GEOFÍSICOS .....	52



3.2.10.	PLANEJAMENTO E INTERPRETAÇÃO DAS INVESTIGAÇÕES DIRETAS	
	54	
3.2.11.	ELABORAÇÃO DO MODELO OBSERVACIONAL .....	55
3.2.12.	AVALIAÇÃO DAS UNIDADES DE TERRENO PARA O PLANEJAMENTO	
URBANO	56	
4.	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	60
4.1.	GEOLOGIA.....	60
4.2.	PEDOLOGIA .....	64
4.3.	GEOMORFOLOGIA .....	67
4.4.	ÁGUAS SUBTERRÂNEAS .....	69
4.5.	ÁGUAS SUPERFICIAIS E ÁREAS AMBIENTALMENTE PROTEGIDAS	72
5.	RESULTADOS e DISCUSSÕES .....	76
5.1.	MAPAS FUNDAMENTAIS DA ÁREA DE ESTUDO .....	76
5.2.	CARTAS ANALÍTICAS .....	82
5.3.	RELAÇÃO ENTRE ESCALA E NÚMERO DE OBSERVAÇÕES .....	94
5.4.	LOCALIZAÇÃO DAS INVESTIGAÇÕES REALIZADAS E DOS PONTOS	
VISITADOS	95	
5.5.	RESULTADO DOS LEVANTAMENTOS GEOFÍSICOS .....	100
5.6.	RESULTADO DAS INVESTIGAÇÕES GEOTÉCNICAS .....	101
5.7.	CARTAS DAS UNIDADES DE TERRENO DA ÁREA DE ESTUDO .....	107
5.7.1.	AVALIAÇÃO DAS UNIDADES DE TERRENO PARA O PLANEJAMENTO	
URBANO	121	
6.	CONCLUSÕES.....	131
6.1.	CONCLUSÕES .....	131
6.2.	SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS .....	134
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	135

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Tipos de produtos cartográficos aplicados ao planejamento urbano com suas respectivas escalas de mapeamento, aplicações legais, informações básicas e tipos de processos geodinâmicos passíveis de identificação. Modificado de Sobreira e Souza (2012) e Nogueira e Canil (2017).....	14
Tabela 2.2: Parâmetros medidos, propriedades físicas e aplicações geotécnicas de alguns dos métodos geofísicos mais utilizados na engenharia civil. Modificado de Anderson e Croxton (2008). .....	25
Tabela 2.3: Potencial de aplicação em geotecnia de alguns dos métodos geofísicos mais utilizados na engenharia civil. Modificado de Anderson (2008). .....	26
Tabela 2.4: Valores da escala de trabalho, área de influência, distância entre as sondagens e número de investigações por km <sup>2</sup> para as propostas compiladas. ....	31
Tabela 2.5: Valores da escala de trabalho, área de influência, distância entre as observações e número de observações por km <sup>2</sup> para as propostas compiladas. ....	32
Tabela 2.6: Valores de $\alpha$ de acordo com as características dos solos. Fonte: Gomes (2012)..	34
Tabela 3.1: Resumo dos dados compilados com suas respectivas escalas, formatos e fontes.	36
Tabela 3.2: Etapas de mapeamento com suas respectivas áreas mapeadas e escalas. ....	40
Tabela 3.3: Parâmetros e índices morfométricos selecionados, contendo o modo de cálculo e influência possível acerca da suscetibilidade a inundações. Fonte: Modificado de Bitar et al. (2014). .....	46
Tabela 3.4: Classes atribuídas durante a reclassificação da amplitude de relevo e da densidade de drenagem. ....	49
Tabela 3.5: Exemplo de tabela de atributos de um PI cadastral das unidades de mapeamento do modelo conceitual. ....	50
Tabela 3.6: Exemplo de planilha com a organização dos dados levantados em campo. ....	51
Tabela 3.7: Faixas de condutividade hidráulica saturada (cm/s) e suas respectivas classe de permeabilidade. ....	55
Tabela 3.8: Grau de erodibilidade em função dos tipos de solos. Retirado de Silva e Oliveira (2015). .....	56
Tabela 3.9: Critério adotado na definição classes de suscetibilidade a erosão laminar (SEL). Retirado de Silva e Oliveira (2015).....	56
Tabela 3.10: Critério adotado na definição classes de suscetibilidade a erosão. ....	57
Tabela 4.1: Resumo das características dos aquíferos do Distrito Federal com detalhe para os aquíferos que ocorrem na área de estudo em negrito. Modificado de Gonçalves, (2016). .....	70
Tabela 4.2: Resumo das informações obtidas nas estações pluviométricas e fluviométricas consultadas. ....	73
Tabela 5.1: Faixas de declividade com suas respectivas áreas em km <sup>2</sup> e em porcentagem e considerações sobre o uso e ocupação. ....	82
Tabela 5.2: Variáveis morfométricas e grau de suscetibilidade a inundações pelo método proposto por Bitar et al. (2014). ....	89
Tabela 5.3: Quantidade mínima de pontos por km <sup>2</sup> a ser considerado na elaboração de mapeamentos geotécnicos baseada nos autores enumerados nas tabelas 2.4 e 2.5.....	95
Tabela 5.4: Tabela com a localização e as demais informações dos ensaios de infiltração realizados.....	95
Tabela 5.5: Tabela com a localização das investigações preexistentes compiladas. ....	97
Tabela 5.6: Comparação entre a proposta obtida a partir da análise da bibliografia e o número de investigações executadas. ....	98
Tabela 5.7: Valores de condutividade hidráulica saturada para profundidades entre 20 e 25 cm calculados pelos métodos de Elrick et al. (1989) e Reynolds e Elrick (1985). ....	102

Tabela 5.8: Valores de condutividade hidráulica saturada para profundidades entre 45 e 60 cm calculados pelos métodos de Elrick et al. (1989) e Reynolds e Elrick (1985). .....	103
Tabela 5.9: Coeficientes de correlação entre a condutividade hidráulica saturada e as variáveis analisadas para cada tipo de solo.....	104
Tabela 5.10: Parâmetros geotécnicos para os principais tipos de solos encontrados na área de estudo e as unidades correspondentes. Modificado de Delgado (2007) e Silva Junior et al. (2016). .....	111
Tabela 5.11: Quadro síntese das características do meio físico das unidades de terreno de média escala. ....	112
Tabela 5.12: Quadro síntese das características do meio físico das unidades de terreno de semidetalhe.....	117
Tabela 5.13: Quadro síntese das características do meio físico das unidades de terreno de detalhe. ....	119
Tabela 5.14: Informações acerca dos fenômenos geodinâmicos, antrópicos e das áreas de proteção ambiental e permanente em cada unidade de terreno de média escala.....	123
Tabela 5.15: Recomendações e limitações para uso e ocupação das unidades de terreno.....	124
Tabela 5.16: Informações acerca dos fenômenos geodinâmicos, antrópicos e das áreas de proteção ambiental e permanente em cada unidade de terreno de semidetalhe. ....	126

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Mapa de localização da área de estudo.....	4
Figura 2.1: Análise da textura e do relevo proposta por Zaine (2011).....	19
Figura 2.2: Análise das estruturas geológicas e complementar proposta por Zaine (2011).....	20
Figura 2.3: Exemplo da atualização de um modelo geológico conceitual para um modelo observacional com base em investigações geológico-geotécnicas. ....	23
Figura 2.4: Processo de elaboração do modelo geológico observacional. Modificado de Parry et al. (2014). ....	24
Figura 2.5: Parâmetros usados na definição da resistividade elétrica de um paralelepípedo (Retirado de SEIMETZ, 2012).....	27
Figura 2.6: Valores de resistividade elétrica para algumas rochas e materiais. Retirado de Seimetz (2012). ....	27
Figura 2.7: Disposição no campo do arranjo dipolo-dipolo mostrando os dipolos transmissores e receptores, a profundidade teórica de investigação e as linhas de fluxo de corrente e equipotenciais. Retirado de Borges (2002). ....	28
Figura 2.8: Da esquerda para direita: Permeâmetro Guelph instalado em campo (Acervo pessoal). Trados que acompanham o equipamento para a perfuração dos furos (Acervo pessoal). Esquema de funcionamento de um Permeâmetro Guelph (Retirado de SANTOS, 2005).....	33
Figura 2.9: Bulbo saturado e não saturado ao redor do furo de sondagem durante o ensaio a carga constante Fonte: Retirado de Soto et al. (2009).....	33
Figura 3.1: Fluxograma mostrados os procedimentos realizados em cada etapa da metodologia utilizada. ....	39
Figura 3.2: Áreas mapeadas com os respectivos níveis de detalhamento. ....	41
Figura 3.3: Processo realizado para elaboração do Modelo Numérico de Terreno (MNT) e dos Modelo Numérico de Terreno Hidrologicamente Consistente (MNTHC). ....	42
Figura 3.4: Processo realizado para elaboração da carta de declividade. ....	42
Figura 3.5: Processo realizado para elaboração da hipsometria e das curvas hipsométricas...	43
Figura 3.6: Processo realizado para elaboração da imagem sombreada. ....	43
Figura 3.7: Classes de curvatura com as respectivas representações gráficas e faixas utilizadas no fatiamento. Fonte: Modificado de Shoeneberger & Wysocki (2008). ....	44
Figura 3.8: Processo realizado para elaboração do PI curvatura e do cálculo das variáveis morfométricas.....	45
Figura 3.9: Processo realizado para o cálculo das variáveis hidrológicas. ....	47
Figura 3.10: Processo realizado para o cálculo do potencial de recarga.....	48
Figura 3.11: Janela de inserção das elevações obtidas a partir do MNT. ....	53
Figura 3.12: Janela do programa RES2DINV para retirada dos pontos com medidas anômalas. ....	53
Figura 4.1: Coluna estratigráfica com breve descrição litológica das unidades presentes na região do Distrito Federal. Fonte: Modificado de Freitas-Silva e Campos (1998).....	61
Figura 4.2: Trecho da coluna estratigráfica do Grupo Paranoá na área-tipo de Alto Paraíso de Goiás/Distrito Federal mostrando as formações que ocorrem na área de estudo. Fonte: Modificado de Campos et al. (2013). ....	61
Figura 4.3: Mapa geológico e principais compartimentações estruturais do Distrito Federal. Modificado de MARTINS <i>et al.</i> (2004).....	63
Figura 4.4: Mapa pedológico do Distrito Federal. Modificado de Reatto et al. (2004). ....	66
Figura 4.5: Mapa geomorfológico do Distrito Federal. Fonte: Modificado de ZEE (2011)...	68
Figura 4.6: Mapa hidrogeológico do Distrito Federal. Modificado de Campos e Freitas-Silva (1998). ....	71
Figura 4.7: Precipitação pluviométrica máxima, média e mínima mensal de Brasília entre 1971 e 2016. ....	72

Figura 4.8: Precipitação pluviométrica máxima e média diária de Brasília entre 1971 e 2016.	73
Figura 4.9: Carta de localização da hidrografia e das restrições ambientais na área de estudo.	75
Figura 5.1: Carta geológica da área de estudo. Modificado de Freitas e Silva (1998).	77
Figura 5.2: Carta de profundidade e textura de solo da área de estudo. Modificado de ZEE (2011).	79
Figura 5.3: Carta geomorfológica da área de estudo. Modificado de ZEE (2011).	81
Figura 5.4: Carta de declividade da área de estudo.	83
Figura 5.5: Curva hipsométrica elaborada para a área de estudo.	84
Figura 5.6: Carta de hipsometria da área de estudo.	85
Figura 5.7: Carta de curvatura de terreno da área de estudo.	87
Figura 5.8: Carta da altura vertical da drenagem mais próxima da área de estudo.	88
Figura 5.9: Gráfico com as áreas em km <sup>2</sup> e porcentagem para os intervalos de fluxo acumulado para cada um dos métodos.	90
Figura 5.10: Carta de fluxo acumulado da área de estudo elaborada utilizando o método D8.91	
Figura 5.11: Carta de fluxo acumulado da área de estudo elaborada utilizando o método MDF.	92
Figura 5.12: Carta de potencial de recarga da área de estudo.	93
Figura 5.13: Relação entre o número de investigações por km <sup>2</sup> e a escala de mapeamento geotécnico.	94
Figura 5.14: Carta de localização das investigações diretas e indiretas, além dos dados preexistentes dentro e no entorno da área de estudo.	99
Figura 5.15: Seções obtidas pelo processo de inversão dos dados de eletrorresistividade levantados em campo no local da Seção 1. (a) Seção com os dados medidos em campo; (b) Modelo matemático elaborado pelo programa RES2DINV para o processo de inversão; (c) Seção invertida pelo programa RES2DINV utilizando o método dos mínimos quadrados...	100
Figura 5.16: Seções obtidas pelo processo de inversão dos dados de eletrorresistividade levantados em campo no local da Seção 2. (a) Seção com os dados medidos em campo; (b) Modelo matemático elaborado pelo programa RES2DINV para o processo de inversão; (c) Seção invertida pelo programa RES2DINV utilizando o método dos mínimos quadrados...	101
Figura 5.17: Gráfico de dispersão das condutividades hidráulicas calculadas pelos métodos de Reynolds & Elrick (1985) e Elrick et al. (1989) para cada tipo de solo.	104
Figura 5.18 Gráficos de dispersão entre a condutividade hidráulica de cada tipo de solo (LVA, LV e CX) e a distância euclidiana da drenagem mais próxima, distância da quebra de relevo e altura vertical da drenagem mais próxima.	105
Figura 5.19: Gráficos de dispersão relacionando o volume de água (cm <sup>3</sup> ) com a precipitação acumulada de 24h e 48h.	106
Figura 5.20: Carta de unidades de terreno de média escala da área de estudo.	108
Figura 5.21: Áreas das unidades de terreno em média escala com as respectivas porcentagens dentro da área de estudo.	109
Figura 5.22: Carta de unidades de terreno da área de semidetalhe.	116
Figura 5.23: Carta de unidades de terreno em escala de detalhe da área de estudo.	118
Figura 5.24: Carta síntese de suscetibilidade a fenômenos geodinâmicos da área de estudo.	122
Figura 5.25: Carta de aptidão a urbanização da área de semidetalhe.	125

## LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURA E ABREVIACÕES

2D	Duas dimensões
3D	Três dimensões
Ac	Área de contribuição
$\alpha$	Parâmetro alpha
ANA	Agencia Nacional de Águas
APA	Área de Proteção Ambiental
APP	Área de Proteção Permanente
ARINE	Áreas de Regularização Fundiária de Interesse Específico
b	Espessura saturada do aquífero
c	Coesão
C	Fator de forma
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
cm	Centímetro (s)
cm <sup>3</sup>	Centímetro (s) cúbico (s)
CMD	Chuva máxima diária
CX	Cambissolos
D8	Algoritmo determinístico 8
Dd	Densidade de drenagem
DF	Distrito Federal
DH	Disponibilidade Hídrica
DPI	Divisão de Processamento de Imagens
dv	Distância euclidiana entre os extremos do canal
$\Delta A$	Seção transversal paralelepípedo de material condutor
$\Delta a$	Relação entre amplitude
$\Delta L$	Comprimento paralelepípedo de material condutor
$\Delta R$	Resistência elétrica do paralelepípedo de material condutor
$\Delta V$	Diferença de potencial
e	Índice de vazios
E	Leste
EESC	Escola de Engenharia de São Carlos
EW	Leste-Oeste
FA	Fluxo Acumulado
FOSM	<i>First Order Second Moment</i>
GPR	<i>Ground Penetration Radar</i>
GNU	Licença Pública Geral
Gs	Peso específico relativo dos sólidos do solo
H	Altura de água constante no furo de sondagem
HAND	<i>Height Above the Nearest Drainage</i>
Hi	Solos hidromórficos
I	Reservatório interno
IAEG	<i>International Association for Engineering Geology and the Environment</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
Ic	Índice de circularidade
IE	Reservatório interno e externo
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IP	Índice de Plasticidade
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
Is	Índice de sinuosidade

$F_x$	Plintossolos
$k$	Condutividade hidráulica
$K$	Fator geométrico
$K_a$	Curvatura total acumulada
$K_{fs}$	Condutividade hidráulica saturada medida <i>in situ</i>
$k_g$	Curvatura gaussiana total
$k_h$	Curvatura horizontal
$k_v$	Curvatura vertical
km	Quilômetro (s)
km <sup>2</sup>	Quilômetro (s) quadrado (s)
$k_{max}$	Curvatura (s) máxima (s)
$k_{med}$	Curvatura (s) média (s)
$k_{min}$	Curvatura (s) mínima (s)
LEGAL	Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico
LV	Latossolos Vermelho
LVA	Latossolos Vermelho-Amarelo
m	Metro (s)
m <sup>2</sup>	Metro (s) quadrado (s)
m <sup>3</sup>	Metro (s) cúbico (s)
MDT	Modelo digital de terreno
MFD	<i>Multiple Flow Direction</i>
mm	Milímetro (s)
MNT	Modelo Numérico de Terreno
MNPparc	Formação Ribeirão Contagem
MNPpart	Formação Ribeirão do Torto
MNPpasmn	Formação Serra da Meia Noite
MNTHC	Modelos Numéricos de Terreno Hidrologicamente Consistentes
N	Norte
$\eta$	Porosidade
NA	Nível de Água
NE	Nordeste
$\eta_e$	Porosidade efetiva
NS	Norte-Sul
NW	Noroeste
NVe	Nitossolo Vermelho
O	Oeste
OSGeo	<i>Open Source Geospatial Foundation</i>
$\phi_{Gm}$	Potencial matricial de fluxo
PDI	Processamento Digital de Imagens
PI	Plano de informação
PNPDEC	Política Nacional de Proteção e Defesa Civil
PR	Potencial de Recarga
PUCE	<i>Patterns Units Components Evaluations</i>
PVA	Argissolo Vermelho-Amarelo
PVAe	Argissolo Vermelho
Q	Vazão
QGIS	Quantum GIS
R1	Taxa de infiltração da primeira carga
R2	Taxa de infiltração da segunda carga
RA	Região administrativa

Rr	Relação de relevo
RUE	Neossolos Flúvico
RTI	Rede Triangular Irregular
RQd	Neossolo Quartzarênico
$\rho$	Resistividade elétrica
$\rho_a$	Resistividade aparente
S	Sul
S	Potencial máximo de retenção após o escoamento superficial iniciar
SE	Sudeste
SEL	Suscetibilidade a Erosão Laminar
SW	Sudoeste
SICAD	Sistema Cartográfico do DF
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
SPT	Sondagem a percussão
Sr	Grau de saturação
TIN	<i>Triangulated Irregular Network</i>
TMU	Unidades de mapeamento de terrenos
USGS	<i>United States Geological Survey</i>
VANT	Veículos Aéreos Não Tripulados
W	Oeste
wL	Limite de liquidez
wP	Limite de plasticidade
ZCVS	Zona de Conservação da Vida Silvestre
ZEE	Zoneamento Ecológico Econômico
ZEIS	Zonas Especiais de Interesse Social
ZERMOS	Zonas Expostas aos Riscos de Movimento do Solo
ZPVS	Zona de Preservação da Vida Silvestre



# 1.INTRODUÇÃO

O processo de urbanização é uma das modificações mais radicais do meio físico feita pelo homem pois solicita do meio físico uma série de demandas como agregados para construção civil, disponibilidade de águas superficiais e subterrâneas e áreas adequadas para ocupação, demandas estas que ocasionam em uma série de modificações (retirada de vegetação, impermeabilização do solo, entre outras), que caso sejam realizadas sem um devido planejamento podem acarretar diversos problemas associados a geodinâmica do local.

Um processo de planejamento urbano adequado consiste no parcelamento do solo fundamentado em cartas geotécnicas que apresentem as aptidões, limitações e possíveis impactos que podem ser provocados no meio ambiente a partir do processo de urbanização.

Santos (2017) ressalta que a cartografia geotécnica se destaca quando utilizada para fins de prevenção e planejamento, visto que as cartas geotécnicas fornecem aos administradores públicos informações sobre as limitações de áreas susceptíveis a fenômenos geodinâmicos e orienta a forma de ocupação em áreas que apresentem algum tipo de restrição.

No Brasil, as cartas geotécnicas que tem como finalidade auxiliar no planejamento da expansão da área urbana são produtos cartográficos de grande escala e que tem a sua elaboração dificultada pela falta de informações com o nível de detalhamento adequado. Como a cartas geotécnicas dependem da quantidade e da qualidade da informação disponível, para se atingir um nível de detalhamento, adequado para a elaboração de produtos cartográficos, é indispensável a utilização de uma abordagem de investigação que permita a obtenção de informações de uma maneira rápida e representativa.

Na área urbanizada já consolidada, a carência dessas informações pode ser mitigada pela elaboração de um banco de dados composto por investigações executadas para implementação de empreendimentos dentro da área urbana. Todavia, no processo de escolha de locais adequados para a expansão urbana, a disponibilidade de informações normalmente se restringe a levantamentos sistemáticos com baixos níveis de detalhamento, adequados somente para planejamentos regionais, além do fato de que normalmente as áreas a serem investigadas possuem grandes extensões.

Sendo assim, torna-se necessário a aplicação de uma metodologia de aquisição de dados que permita a compatibilização dos atributos fundamentais para o nível de detalhamento requerido pelos produtos cartográficos de grande escala que permita a compreensão da geodinâmica do local investigado auxiliando assim na elaboração dos produtos cartográficos que permitam a prevenção frente aos desastres naturais requisitados pelo poder público.

## **1.1.JUSTIFICATIVA**

A Lei nº 12.608/2012 (BRASIL, 2012a) institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC) que tem como objetivo integrar-se às políticas de ordenamento territorial, desenvolvimento urbano, saúde, meio ambiente, mudanças climáticas, gestão de recursos hídricos, geologia, infraestrutura, educação, ciência e tecnologia e às demais políticas setoriais, tendo em vista a promoção do desenvolvimento sustentável (BRASIL, 2012a).

A lei supracitada também determina instrumentos para a PNPDEC de forma a direcionar os esforços de gerenciamento de risco de desastres para o âmbito preventivo, com intuito de criar uma cultura nacional de prevenção de desastres. Dentre as ações para a prevenção de desastres estão incluídos o mapeamento das áreas em risco a movimentos gravitacionais de massa e inundação e a elaboração de cartas geotécnicas de aptidão à urbanização, ambos produtos cartográficos de grande escala. Segundo Diniz e Freitas (2013), os produtos supracitados não só fornecem subsídio ao parcelamento do solo no processo de uso e ocupação de novas áreas, mas também para a recuperação de locais que já foram parcelados e apresentam urbanização precária e/ou situações de risco.

A alteração da Lei nº 12.340/2010 (BRASIL, 2010), pelo artigo 22 da Lei nº 12.608/2012 (BRASIL, 2012a), estabelece que os municípios devem elaborar a carta geotécnica de aptidão à urbanização, definindo diretrizes urbanísticas voltadas para a segurança dos novos parcelamentos do solo. Esta carta geotécnica deve ser inserida nos planos diretores dos municípios, os quais devem ser revisados pelo menos a cada dez anos segundo a Lei nº 10.257/2001, art. 39 (BRASIL, 2001). Para os municípios que não possuem um Plano Diretor, as cartas devem ser inseridas quando os seus respectivos planos forem elaborados.

Com a implementação desta política pública no País, várias metodologias de elaboração de cartas geotécnicas com a finalidade de planejamento urbano estão sendo desenvolvidas por instituições de ensino e pesquisa. Esta pesquisa visa colaborar para o aperfeiçoamento dessas metodologias apresentando uma proposta metodológica para a aquisição das informações no nível de detalhamento adequado.

## **1.2.OBJETIVOS**

O objetivo geral desta pesquisa foi desenvolver uma metodologia para a elaboração de cartas geotécnicas de grande escala com base em investigações geotécnicas *in situ*, levantamentos geofísicos e no mapeamento geológico geotécnico. Os objetivos específicos são os seguintes:

- Buscar técnicas adequadas para o planejamento e execução dos mapeamentos e investigações geotécnicas;
- Buscar técnicas para a elaboração de modelos conceituais para o entendimento da geodinâmica do local em estudo;
- Elaboração de modelos bidimensionais (mapas) a partir dos resultados obtidos nos levantamentos e investigações de campo; e
- Apresentar uma proposta metodológica para elaboração de cartas de grande escala baseada em mapeamentos e investigações de campo.

### **1.3.ESCOPO DA DISSERTAÇÃO**

Visando cumprir os objetivos definidos na seção 1.2, a dissertação está organizada em seis tópicos, os quais serão descritos sucintamente a seguir.

O Capítulo 1 contém a introdução, objetivos, localização da área de trabalho e escopo da dissertação.

O Capítulo 2 contém a revisão bibliográfica sobre os princípios de cartografia geotécnica e sua aplicação em áreas urbanas, os métodos de elaboração de cartas geotécnicas, das técnicas de aquisição e interpretação de dados, dos métodos de investigação e da utilização dos Sistema de Informações Geográficas.

O Capítulo 3 apresenta os materiais e métodos utilizados na pesquisa. Informações acerca dos dados compilados, dos programas computacionais e equipamentos utilizados são apresentados em materiais, seguido pelo detalhamento da metodologia de aquisição, tratamento e modelagem dos dados na parte de métodos.

O Capítulo 4 apresenta a caracterização da área de estudo acerca das temáticas relevantes a pesquisa.

No Capítulo 5 são apresentados os resultados obtidos: mapas fundamentais da área de estudo; cartas derivadas; carta de localização das investigações geotécnicas e geofísicas; resultados dos mapeamentos e investigações realizadas; e as cartas geotécnicas da área de estudo.

No Capítulo 6 são apresentadas as conclusões inerentes aos assuntos tratados nos capítulos anteriormente descritos, como também estão presentes algumas sugestões para pesquisas futuras. Por fim são listadas as referências bibliográficas utilizadas no decorrer da pesquisa.

## 1.4. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo escolhida foi a Asa Taquari, também conhecida como Serrinha do Paranoá, e está localizada no Distrito Federal (DF) e definida pelo retângulo envolvente cuja coordenada sudoeste é  $47^{\circ} 54' 10''$  O  $15^{\circ} 48' 9''$  S e a coordenada nordeste é  $47^{\circ} 43' 38''$  O  $15^{\circ} 39' 24''$  S. A área, com cerca de 60 km<sup>2</sup>, engloba a região administrativa (RA) do Varjão e parte das RA do Paranoá, Lago Norte e Itapoã sendo limitada a noroeste pela DF 005, a norte e leste pela DF 001 e a sul e oeste pelo Lago Paranoá (Figura 1.1).

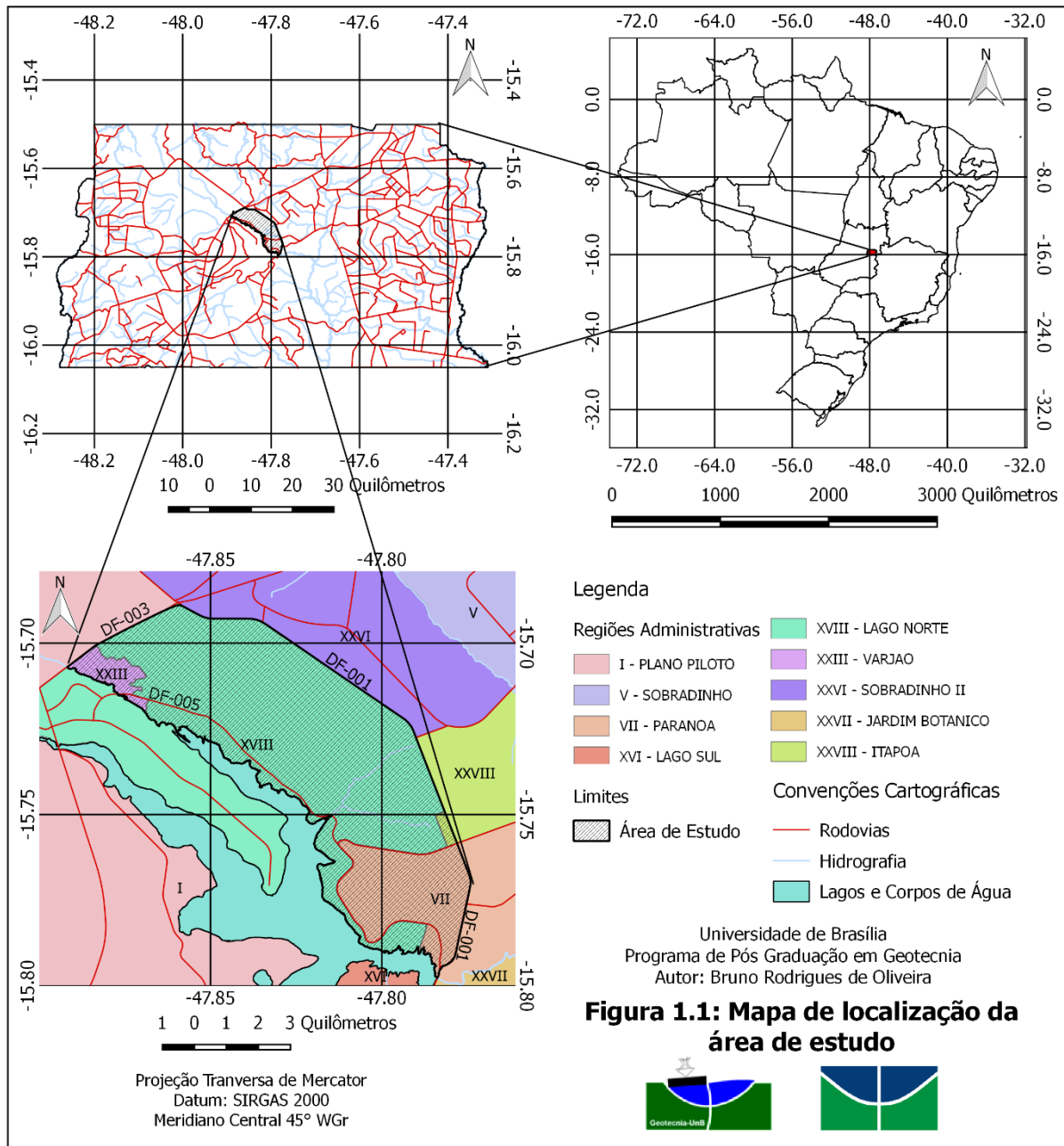


Figura 1.1: Mapa de localização da área de estudo.

## **2.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Neste capítulo serão revisados os princípios de cartografia geotécnica e sua aplicação em áreas urbanas, alguns métodos de elaboração de cartas geotécnicas, das técnicas de aquisição e interpretação de dados, dos métodos de investigação e Sistema de Informações Geográficas (SIG).

### **2.1.PRINCÍPIOS DA CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA**

Os termos cartografia e mapeamento geotécnico são encontrados frequentemente e tratados como similares, entretanto o mapeamento geotécnico consiste no processo de aquisição de informações enquanto a cartografia é a representação gráfica dos produtos do mapeamento como ressalta Wolski (1997).

Segundo Prandini et al. (1995), as cartas geotécnicas são produtos da aplicação dos conhecimentos geológicos na solução de problemas relacionados ao uso e cobertura do solo além de servir como subsidio para a elaboração de medidas preventivas ou corretivas visando reduzir problemas ambientais e riscos aos empreendimentos. Diniz e Freitas (2013) definem a carta geotécnica como a síntese do conhecimento sobre o meio físico e seus processos atuantes de modo a subsidiar o estabelecimento de medidas para a adequada ocupação do solo sendo composta por uma carta síntese, quadro-legenda e texto explicativo. É importante que os produtos cartográficos estejam claros e objetivos e sirvam de orientação para fases posteriores de investigações.

As cartas geotécnicas têm como objetivo fornecer informações dos componentes do meio físico e do ambiente que sejam significativos ao objetivo da carta e que auxiliem a harmonizar a relação entre o homem e o meio ambiente sem gerar impactos negativos à ambas as partes.

Segundo *International Association for Engineering Geology and the Environment* (IAEG, 1976) e Dearman (1987, 1991) os componentes do meio físico relevantes ao planejamento urbano, construção civil e mineração que são apresentados nas cartas geotécnicas são os tipos de rochas e solos, as condições hidrológicas, hidrogeológicas e geomorfológicas e fenômenos geodinâmicos.

A classificação das rochas e solos deve se basear no princípio de que as propriedades geotécnicas no estado atual são dependentes dos efeitos combinados da gênese e diagênese, do histórico de metamorfismo e tectônismo sofrido pelos materiais e dos processos de alteração vigentes. As rochas são classificadas baseadas na sua gênese, na presença de estruturas, na

mineralogia e no tamanho predominante dos grãos, enquanto os solos utilizam-se parâmetros como textura, coloração, umidade, consistência, entre outras características (DEARMAN, 1991). Além das características supracitadas Griffiths (2001) sugere a inserção do grau de intemperismo e alteração e quando possível informações sobre condições subsuperficiais nas cartas geotécnicas.

Nas condições hidrológicas e hidrogeológicas observa-se a infiltrabilidade, a profundidade do nível de água e sua variação sazonal, a distribuição das águas superficiais e subterrâneas, as direções de fluxo, qualidade da água, entre outras (DEARMAN, 1991; GRIFFITHS, 2001). A avaliação das condições supracitadas é de extrema relevância visto que a presença de águas superficiais e subterrâneas influenciam na alteração nas propriedades das rochas e solo, no movimento de encostas, no desenvolvimento de condições cársticas, na expansão ou colapso de solos e até na durabilidade de sistemas de estabilização de encostas ou de obras subterrâneas. A água subterrânea também influencia na escolha de métodos construtivos para uma obra de engenharia em que existam condições de fluxo e pressão que possam levar a instabilizações.

As condições geomorfológicas apresentam uma relação com a geologia e a geotecnia, auxilia na compreensão de processos hidrológicos e de formação de paisagem além da natureza dos materiais inconsolidados (GRIFFITHS, 2016). Nos mapeamentos geomorfológicos é possível identificar as relações entre as condições geomorfológicas observadas em superfície e o substrato rochoso, a influência dessas condições na hidrogeologia e nos processos geodinâmicos como erosões e movimentos gravitacionais de massa, e obter informações acerca de inundações, presença de formações cársticas, formas das encostas, entre outros. Os processos geodinâmicos também devem ser apresentados nas cartas geotécnicas, visto que são elementos importantes no planejamento do uso e ocupação (DEARMAN, 1991; GRIFFITHS, 2001).

As cartas geotécnicas são categorizadas, segundo a IAEG (1976), em função da sua finalidade (específica ou multifinalidade), conteúdo (analítico, sintético, auxiliares e complementares) e escala (grande, média e pequena). Dearman (1991) apresenta uma modificação dessa classificação nos quais as cartas podem ser abrangentes, apresentando diversas características relevantes da geologia de engenharia, ou especializadas (também chamados de temáticas) em que só é apresentado um único componente do meio físico. As cartas abrangentes são apresentadas em escalas pequenas e médias enquanto as cartas especializadas são elaborados em escalas grandes e médias podendo também serem exibidas em pequenas escalas quando possuem caráter informativo.

## 2.2.UNIDADES DE MAPEAMENTO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

A IAEG (1976) utiliza uma hierarquia de unidades de mapeamento para fins de engenharia baseada na litologia e na origem das rochas, sendo subdivididas em: suíte litológica; complexo litológico; tipo litológico; tipo de geologia de engenharia. Para cada unidade de mapeamento a IAEG (1976) propõe um método de delimitação e caracterização das unidades de mapeamento. Quanto a quantidade de investigações a IAEG define como requerimento a coleta de no mínimo uma amostra indeformada por litologia sendo o padrão e espaçamento das investigações condicionados pela geologia e raramente por uma malha pré-definida.

Dearman (1991) propõe uma modificação na nomenclatura proposta pela IAEG (1976) na qual a suíte litológica, complexo litológico, tipo litológico e tipo de geologia de engenharia recebem os nomes de grupo de engenharia, formação de engenharia, tipo litológico e tipo de engenharia respectivamente. O grau de homogeneidade é diferente do adotado na classificação geológica visto que o mapeamento geológico geotécnico tem como foco o reconhecimento de unidades de mapeamento com as mesmas propriedades de engenharia.

O grupo de engenharia é uma unidade de mapeamento, formada por uma associação de formações de engenharia, somente utilizada em mapas com escalas inferiores a 1:200.000 e que apresenta informações sobre as propriedades de engenharia de uma maneira generalizada. A subdivisão entre os grupos se baseia nas condições paleogeográficas e tectônicas e as unidades são delimitadas a partir de mapas geológicos preexistentes, levantamentos de campo e fotogeologia e caracterizada por dados preexistentes.

A formação de engenharia é composta por associações de tipos litológicos que apresentem mesmas características do estado físico. Por esse motivo, só é possível apresentar as propriedades físicas e mecânicas para tipo litológico e não para essa unidade como um todo. As escalas para essa unidade de mapeamento variam entre 1:10.000 e 1:200.000. Esta unidade é delimitada a partir de fotointerpretação e caracterizada por sondagens, geofísica, petrografia e determinação de índice físicos.

O tipo litológico é uma unidade de mapeamento para escalas entre 1:5.000 e 1: 10.000 e considerada homogênea em termos de composição mineralógica, textura e estrutura. É delimitada a partir de petrografia e caracterizada por sondagens, geofísica, ensaios *in situ* e investigação sistemática em laboratório.

O tipo de engenharia por sua vez, é uma unidade de mapeamento para escalas maiores que 1:5.000, delimitada com base em características que reflitam o estado físico tais como, o grau de alteração, frequência e padrão de descontinuidades, resistência e consistências e caracterizada pelas suas propriedades físicas e mecânicas

### **2.2.1.CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA PARA O PLANEJAMENTO URBANO**

Para fins de planejamento, a escala da cartografia geotécnica é comumente definida pelas solicitações do poder público gestor que por sua vez define a finalidade da carta (DINIZ, 2012).

A elaboração de cartas geotécnicas, cuja finalidade é o planejamento urbano, é comumente realizada nas escalas 1:100.000 até 1:10.000, usualmente em locais em que a atividade de expansão ocorre de forma desordenada ou inadequada ou em locais com muitos dados de investigações disponíveis, entretanto a utilização de escalas entre 1:2.500 e 1:1.000 é a mais recomendada (DEARMAN, 1991).

DEARMAN (op cit.) ressalta que os mapas em escalas menores que 1:100.000 são suficientes para representar condições geológicas simples, mas mapas geológico-geotécnicos nessa escala raramente são utilizados para fins de engenharia, exceto para definições de traçado de obras lineares.

Pradini et al. (1995) apresenta uma proposta de elaboração de cartas geotécnicas em 5 etapas: Formulação de uma hipótese ou um modelo inicial orientativo; Análise dos fenômenos e os potenciais impactos e causas; Mapeamento, identificação e caracterização dos compartimentos ou unidades de terreno homogêneas; Proposição de medidas corretivas; e Representação.

A primeira etapa consiste na identificação dos fenômenos geodinâmicos e hidrodinâmicos e no mapeamento de possíveis problemas baseado nas formas de uso e ocupação do solo. A segunda etapa versa na identificação e análise das possíveis causas (naturais e/ou antrópicas) responsáveis pelos fenômenos. A terceira etapa consiste no estabelecimento das principais evidências acessíveis à investigação das características de interesse a serem mapeadas, na definição de critérios de correlação, extrapolação e interpretação dos dados coletados cujo resultado é a representação espacial dos elementos ou parâmetros selecionados.

A quarta etapa consiste na proposição de medidas preventivas e corretivas e no estabelecimento de diretrizes para o uso e cobertura do solo enquanto na quinta etapa é feita a representação cartográfica com uma linguagem adequada ao planejador. O autor ressalta a importância da participação da equipe técnica municipal na elaboração da carta e do quadro legenda.

Ferreira Gomes et al. (2001) sugere uma proposta de padronização metodológica para elaboração de cartas geotécnicas aplicadas ao planejamento que consiste na sobreposição de três produtos cartográficos: mapa topográfico, com a malha viária; mapa geotécnico ou



litogenético; e mapa de zoneamento geotécnico. O autor define que os mapas topográficos tenham escalas entre 1:10.000 e 1:5.000, dos quais são elaborados os mapas geotécnicos e posteriormente os mapas de zoneamento geotécnico. Além dos componentes do meio físico relevantes para a cartografia geotécnica, parâmetros secundários como a permeabilidade podem ser utilizados para caracterizar as zonas geotécnicas.

Segundo o autor, a metodologia é de simples implementação em plataformas SIG e de fácil compreensão por todos os tipos de profissionais além de permitir a inserção de novos parâmetros. Todavia o mesmo ressalta que a inserção de parâmetros qualitativos pode gerar uma subjetividade quanto a escolha dos índices a serem atribuídos a cada uma das classes de aptidão dos terrenos propostas.

Chaminé et al. (2016) exhibe um fluxograma conceitual para elaboração de mapas geológico-geotécnicos para geologia urbana e planejamento municipal que consiste na compilação de dados cartográficos e nas investigações geotécnicas seguida de estudos de escritório. Os dados são inseridos em um banco de dados e utilizados para a elaboração de cartas derivadas, modelos conceituais e zoneamentos geotécnicos, e que por meio de análises espaciais integradas no ambiente SIG elabora-se as cartas geotécnicas para fins de planejamento urbano.

Sobreira e Souza (2012) propõem a utilização da metodologia de detalhamento progressivo, proposta por Cerri et al. (1996), aplicada ao planejamento e ordenamento urbano. Essa metodologia é discutida e aplicada por diversos autores (DINIZ, 2012; SOBREIRA e SOUZA, 2012; 2014; 2015; DINIZ et al., 2016; NOGUEIRA e CANIL, 2017) e consiste essencialmente em três produtos cartográficos distintos (susceptibilidade, aptidão a urbanização e risco), cada um com seu respectivo nível de detalhamento.

A carta de susceptibilidade é o produto de menor detalhamento, podendo ser elaborada em escalas iguais ou maiores que 1:25.000, e tem como objetivo identificar áreas adequadas e com restrições à ocupação sendo mais utilizadas no planejamento regional.

Dai et al. (2002) e Sobreira e Souza (2012, 2014) relatam que para cartografia de susceptibilidades a processos geodinâmicos, a utilização de escalas menores que 1:25.000 não permitem a identificação e caracterização de eventos pontuais e não possuem precisão para gerar um modelo numérico de terreno (MNT) com a precisão adequada.

As cartas de aptidão a urbanização são comumente elaboradas na escala de 1:10.000 visando dar suporte aos projetos de urbanização e consolidação urbana dos municípios. São instrumentos elaborados para estimular o desenvolvimento urbano em locais seguros, combatendo a ocupação de áreas ambientalmente vulneráveis e de risco (BRESSANI e COSTA, 2015).

As cartas de risco são elaboradas em escalas maiores ou igual a 1:2.000 tendo como objetivo reduzir ou eliminar as situações de risco em curto prazo. As cartas devem estar associadas a soluções de engenharia, intervenções estruturais ou não estruturais subsidiando instrumentos de planejamento e gestão de risco (SOBREIRA e SOUZA, 2012).

Sobreira e Souza (2015) apresentam conceitos, metodologia e procedimentos para a elaboração de cartas geotécnicas aplicadas ao planejamento urbano, também baseado no método do detalhamento progressivo supracitado. Moraes et al. (2015) apresentam uma adaptação da metodologia proposta por Sobreira e Souza (2014) e a sua aplicação no município de Magé no Rio de Janeiro.

O Serviço Geológico do Brasil (CPRM) publicou uma nota explicativa em 2014 (BITAR, 2014) para a elaboração de cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações e uma versão preliminar do manual de mapeamento de perigo e risco a movimentos gravitacionais de massa em 2018 (CPRM, 2018). Bressani e Costa (2015) ressaltam que a suscetibilidade dos terrenos aos movimentos de massa avaliada é a natural e que existe uma dificuldade de considerar os efeitos da ocupação na avaliação de suscetibilidade.

Batista et al. (2015) discute a iniciativa do Governo Federal no apoio à elaboração das cartas geotécnicas de aptidão a urbanização frente aos desastres e apresenta uma síntese da metodologia recomendada pelo Ministério das Cidades, detalhada no documento técnico da publicação de Coutinho (2013).

No Brasil a elaboração de cartas geotécnicas aplicadas ao planejamento territorial foi fortemente incentivadas pelo Governo Federal nos últimos anos, mas a eficácia da utilização dessas cartas, segundo Xavier et al. (2015), depende dos seguintes fatores: disponibilidade de dados em escalas adequadas ao planejamento do uso e ocupação; aproximação entre as equipes de mapeamento e planejamento; qualificação das equipes de planejamento de forma que seja realizada uma correta utilização das cartas geotécnicas e produtos derivados; da compreensão da relação entre uso do solo versus características físicas; e do caráter predominantemente orientativo das cartas geotécnicas por parte das equipes de mapeamento.

Barella (2016) relata que no Brasil a maioria das abordagens se concentra em escalas menores ou igual a 1:50.000 apesar de existirem trabalhos em escalas maiores como é o levantamento que está sendo elaborado pelo CPRM nas escalas de 1:25.000 e 1:10.000.

As principais causas das escalas menores que 1:50.000 são a concentração de produção principalmente acadêmica e a falta de bases cartográficas com detalhamento maior que 1:50.000. Por exemplo, as cartas geológicas quase sempre possuem escalas menores que 1:50.000, as cartas topográficas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)

apresentam escalas inferiores a 1:25.000 e levantamento de reconhecimentos de solos estão disponíveis, em sua maioria, em escalas menores que 1:100.000.

## **2.3.MÉTODO DE ELABORAÇÃO DE CARTAS GEOTÉCNICAS**

A cartas geotécnicas podem ser elaboradas por uma série de metodologias, cada uma com seus respectivos procedimentos, parâmetros necessários e finalidades. Quanto as sistemáticas internacionais podemos citar a IAEG (*International Association of Engineering Geology*), a ZERMOS (Zonas Expostas aos Riscos de Movimento do Solo) e a P.U.C.E. (*Patterns, Units, Components, Evaluations e Terrain evaluation*) enquanto nas nacionais temos EESC/USP (Escola de Engenharia de São Carlos/USP - Departamento de Geotecnia), IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo) e o Detalhamento Progressivo. Entretanto somente serão abordadas na revisão as metodologias do Detalhamento Progressivo, direcionada ao planejamento urbano, e de avaliação de terrenos pois serão as metodologias utilizadas no trabalho.

### **2.3.1.METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DE TERRENOS**

Uma das formas de se estudar o meio físico é compartimentá-lo, separando-o em áreas homólogas, o que permite a síntese das informações, agrupando-as dentro dessas áreas (OLIVEIRA, 2004).

A metodologia de avaliação de terrenos consiste na aquisição de atributos que caracterizam as unidades de mapeamento de terrenos (TMU's). As TMU's são constituídas por uma associação natural em termos de geologia, geomorfologia e tipos de solos (MARETTI, 1998 apud OLIVEIRA, 2004) e são definidas a partir de mapas específicos preexistentes, da fotointerpretação de imagens de sensoriamento remoto e de levantamentos de campo (DINIZ, 2012).

Segundo Diniz e Freitas (2013), “a delimitação de unidades do terreno deve ter em conta as diferenças de atributos ou parâmetros do meio ambiente (físico, biótico e antrópico), os quais induzem ou condicionam o desenvolvimento de processos e fenômenos (...). Assim, até para expressar a suscetibilidade a processos do meio físico, sua abordagem deve envolver também aspectos dos meios biótico e antrópico, relativos à ocupação (...).”

Vedovello e Mattos (1998) consideram que apenas um ou alguns elementos do meio físico são responsáveis por variações fisiográficas significativas em determinada etapa de mapeamento. Deste modo, a definição da escala de trabalho permite direcionar a análise fisiográfica do terreno para as feições condicionantes do relevo que predominam na área

estudada. Sendo assim, a seleção de feições fisiográficas serve para identificar unidades com associações específicas das formas de ocorrência dos vários aspectos do ambiente (ZAINE, 2011).

Para Zaine (2011), a técnica de avaliação de terrenos consiste na compartimentação dos mesmos em áreas com características fisiográficas homogêneas e distintas daquelas observadas em áreas adjacentes, com a determinação de classes em diferentes escalas. As feições fisiográficas são oriundas da relação entre os processos geológicos e entre os materiais constituintes sendo que o embasamento rochoso tem grande influência nos tipos de solo e no comportamento do relevo (RODRIGUES, 2012).

Deste modo, a partir do conceito de similaridade dos componentes da paisagem (BOURNE, 1931 apud ZUQUETTE e GANDOLFI, 2004), é possível afirmar que terrenos similares devem apresentar propriedades semelhantes para os materiais geológicos que os constituem.

Uma série de técnicas podem ser utilizadas na avaliação de terrenos, entre elas o mapeamento geomorfológico, o mapeamento geológico e geológico-geotécnico, a análise e interpretação de imagens de sensoriamento remoto e elaboração de modelos numéricos de terreno (MNT) a partir de levantamentos aéreos por escaneamento a laser ou a partir de uma nuvem de pontos obtidos por Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) (ZUQUETTE e GANDOLFI, 2004; GRIFFITHS, 2017).

As avaliações de terreno podem ser aplicadas em diversas finalidades, como por exemplo, projetos de rodovias (LAWRANCE et al., 1993), adutoras de óleo e gás (FOOKES et al., 2001; CHARMAN et al., 2005; SWEENEY, 2017), e planejamento urbano (SOUZA, et al., 1993; SOUZA, et al., 1998a; OLIVEIRA, 2004; DINIZ, 2012; PILACHEVSKY et al., 2015; DINIZ et al., 2016; CORRÊA et al., 2017). Devido a sua importância, o sistema de avaliação de terrenos foi estabelecido como um componente essencial do mapeamento geológico-geotécnico (DEARMAN, 1991).

### **2.3.2.METODOLOGIA DE DETALHAMENTO PROGRESSIVO**

A elaboração de cartas geotécnicas utilizando o método de detalhamento progressivo é realizada em três etapas sucessivas, de modo que cada fase determina o nível de aprofundamento necessário ao desenvolvimento da fase subsequente. Zaine (2000) denominou as etapas como 1ª Etapa ou Etapa geral, 2ª Etapa ou Etapa intermediária e 3ª Etapa ou Etapa de detalhe.

Na 1ª Etapa ou Etapa geral, os mapeamentos são realizados em escalas entre 1:50.000 e 1:25.000 abordando principalmente a caracterização do meio físico a partir de diversos produtos cartográficos em diferentes escalas, com eventuais levantamentos em campo. Nesta etapa somente está previsto a qualificação dos atributos com densidade de 1 amostragem por km<sup>2</sup>, enquanto que as quantificações são realizadas somente quando viável e para aspectos mais gerais como nível freático ou a espessura de unidades de cobertura.

Na 2ª Etapa ou Etapa intermediária adotam-se escalas de mapeamento entre 1:25.000, caso a 1ª etapa tenha sido 1:50.000, e 1:10.000, caso a 1ª etapa tenha sido 1:25.000, nas áreas selecionadas a partir do mapa da 1ª etapa. A caracterização realizada na etapa anterior é detalhada, sendo necessário apresentar as limitações, potencialidades e eventuais problemas geológico-geotécnicos identificados na área de estudo. Neste nível de mapeamento a quantificação dos atributos é recomendada.

Na 3ª Etapa ou Etapa de detalhe são selecionados locais para realização de estudos específicos em escalas maiores que 1:5.000. A quantificação de atributos nessa etapa é indispensável menos quando o conhecimento acumulado permita a subsidiar a elaboração de projetos para a implantação de novos empreendimentos.

O objetivo da etapa geral é a caracterização do meio físico com a identificação de suas limitações e potencialidades diante das necessidades impostas pelo uso urbano do solo enquanto a etapa intermediária, é fornecer subsídios para adequado planejamento e gestão do uso urbano do solo. Já a etapa de detalhe tem como objetivo fornecer subsídios a elaboração de projetos de obras de engenharia, sanar problemas já instalados e/ou a implantação de novos empreendimentos (ZAINE, 2000).

De Freitas (2009) ressalta a importância da escala que ele chama de “regional”, que varia de 1:50.000 a 1:25.000, para o conhecimento da geologia de uma área ou volume do terreno em que será executada uma obra ou um estudo, que ele chama de escala “local”. Mesmo que as observações que foram utilizadas para a elaboração do mapeamento “regional” não tenham sido feitas no volume em estudo, elas facilitam a compreensão da geologia encontrada na “escala local”.

Sobreira e Souza (2012) propuseram que o modelo do detalhamento progressivo seja seguido também em práticas de planejamento e ordenamento urbano, com os níveis hierárquicos representados pela suscetibilidade (Etapa Geral), aptidão à urbanização (Etapa Intermediária) e risco (Etapa de Detalhe). A Tabela 2.1 apresenta um resumo da proposta dos autores supracitados com algumas modificações.

Tabela 2.1: Tipos de produtos cartográficos aplicados ao planejamento urbano com suas respectivas escalas de mapeamento, aplicações legais, informações básicas e tipos de processos geodinâmicos passíveis de identificação. Modificado de Sobreira e Souza (2012) e Nogueira e Canil (2017).

Produto	Escala de mapeamento	Aplicação	Informações básicas	Processos geodinâmicos passíveis de identificação
Cartas de Suscetibilidade	1:25.000 ou maior	Ordenamento Territorial	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Classificação dos terrenos quanto ao grau de probabilidade de ocorrência de processos geodinâmicos e hidrodinâmicos</li> <li>✓ Zoneamento de unidades de terreno levando em conta os diferentes tipos e suscetibilidade a processos geodinâmicos;</li> <li>✓ Adequabilidade da ocupação em cada unidade de terrenos (zonas favoráveis, aceitáveis e desfavoráveis);</li> <li>✓ Propostas de ações relacionadas à ocupação, valores ambientais e subsídios gerais para a legislação municipal;</li> <li>✓ Indicação de áreas que precisam de detalhamento para avaliação geotécnica voltada à aptidão urbanística, devido a restrições a loteamentos, necessidades de obras de infraestrutura viária, saneamento e drenagem, e riscos potenciais a desastres naturais.</li> </ul>	Movimentos gravitacionais de massa, inundações/enchentes, corridas de detritos, erosões, assoreamento, processos costeiros e sismos induzidos.
Cartas de Aptidão à Urbanização	1:10.000 ou maior	Planejamento Urbano/Plano Diretor	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Classificação dos terrenos em unidades geotécnicas (caracterização, potencialidades e limitações, e diretrizes para ocupação)</li> <li>✓ Avaliação de perigo em áreas ocupadas com riscos potenciais frente a desastres naturais.</li> <li>✓ Normas para loteamentos em áreas de média suscetibilidade a processos geodinâmicos, necessitando de estudos de avaliação geotécnica;</li> <li>✓ Informações detalhadas para expansão urbana;</li> </ul>	Movimentos gravitacionais de massa translacionais, inundações/enchentes/alagamentos, corridas de detritos, erosões lineares de grande porte (ravinas e voçorocas), assoreamento, subsidências e colapsos, queda e rolamento de blocos rochosos e processos costeiros.
Cartas de Riscos Geológicos	1:2.000 ou maior	Planejamento Urbano/Planos Municipais de Redução de Riscos/Planos Preventivos de Defesa Civil	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Avaliação das condições de vulnerabilidade (grau de perda ou dano de um elemento ou conjunto de elementos, associado a uma ameaça ou processo, com uma dada intensidade ou magnitude de ocorrência) das ocupações sob risco;</li> <li>✓ Zoneamento/Setorização de graus de risco (análise de perigo e vulnerabilidade).</li> <li>✓ Indicação de medidas estruturais</li> <li>✓ Elaboração de sistema de gestão de risco com ações estruturais e não estruturais.</li> </ul>	Movimentos gravitacionais de massa – translacionais, rotacionais, em cunha, inundações/enchentes/alagamentos, corridas de lama e detritos, rastejo, erosões lineares (sulcos, ravinas e voçorocas), solapamentos de margem, assoreamento, subsidências e colapsos, expansão de terrenos, queda e rolamento de blocos rochosos e processos costeiros.

As cartas de suscetibilidade apontam áreas adequadas e com restrições à ocupação e são úteis no planejamento regional, servindo não só para fins de ocupação urbana, mas também para outros usos, pelo menos em uma análise preliminar (SOBREIRA e SOUZA 2012). As cartas devem englobar regiões extensas e são úteis em abordagens mais gerais. Macedo e Bressani (2013) ressaltam que esses produtos cartográficos têm caráter informativo e consultivo, não sendo recomendado a sua aplicação no âmbito estatutário.

As cartas de aptidão à urbanização têm detalhe suficiente para embasar instrumentos como leis de uso e ocupação do solo ou mesmo planos diretores, em seus aspectos mais detalhados, mas principalmente, devem dar suporte aos projetos de urbanização e consolidação urbana dos municípios (SOBREIRA e SOUZA 2012).

As cartas de risco buscam a mitigação ou erradicação das situações de risco em curto prazo e a elas devem também estar associadas soluções de engenharia, intervenções estruturais ou não estruturais subsidiando instrumentos de planejamento e gestão de risco (SOBREIRA e SOUZA 2012).

## **2.4.TÉCNICAS PARA AQUISIÇÃO E INTERPRETAÇÃO DE DADOS**

A maior parte das situações de engenharia está subdividida em três etapas de trabalho: estudos de escritório, os quais incluem a interpretação de imagens de sensoriamento remoto e a compilação e análise dos dados preexistentes; o mapeamento de reconhecimento no campo; e a interpretação e preparação dos mapas finais (GRIFFITHS, 2001). Inclui-se também, entre as duas últimas etapas, a execução de investigações geológico-geotécnicas e ensaios de laboratório nos mapeamentos elaborados em grandes escalas de detalhamento.

Independente das técnicas utilizadas para a aquisição de dados, a grande dificuldade está na variabilidade das propriedades da rocha e do solo, frequentemente gradacionais, podendo ocorrer tanto verticalmente como horizontalmente (DEARMAN, 1991). Segundo Borges et al. (2015) a escolha dos métodos de investigação, de uma maneira geral, depende da variabilidade do parâmetro investigado. Quanto maior a variabilidade o mais adequado é utilizar ensaios mais rápidos, baratos e em maior quantidade enquanto ensaios mais complexos devem estar restritos a unidades geotécnicas conhecidos como áreas chaves.

As ferramentas comumente utilizadas para a investigação do meio físico são imagens provenientes do sensoriamento remoto, métodos geofísicos, mapeamentos e sondagens mecânicas além dos ensaios de laboratório e de campo.

Dos métodos supracitados, segundo Souza et al. (1998b) o mapeamento, as sondagens mecânicas e os ensaios *in situ* são considerados métodos diretos de investigação pois as

características do maciço são observadas diretamente no local investigado. O sensoriamento remoto e os métodos geofísicos são considerados métodos indiretos pois utilizam as propriedades dos materiais e feições topográficas e morfológicas para determinar indiretamente a distribuição espacial e as propriedades dos corpos geológicos em subsuperfície.

#### **2.4.1. ESTUDO DE ESCRITÓRIO**

O estudo de escritório é um passo fundamental em qualquer tipo de programa de investigações. Nesta etapa são compiladas todas as informações disponíveis na região e seu entorno que sejam pertinentes e auxiliem na compreensão da dinâmica do local. Isso inclui informações acerca da geologia, geomorfologia, pedologia, hidrogeologia, entre outros dependendo da finalidade do produto.

West (1986) sugere a compilação de informações sobre a litologia e suas estruturas, tipos de solos, águas subterrâneas, formas de relevo e fenômenos geodinâmicos para a elaboração de cartas geotécnicas.

Dentre os dados a serem compilados inclui-se produtos cartográficos, relatórios técnicos, produtos de sensoriamento remoto, resultados de pesquisas e investigações geológico-geotécnicas.

Para a avaliação de terrenos os dados mínimos são mapas topográficos, geológicos, pedológicos e fotografias aéreas. Com base nos dados compilados podem ser gerados cartas derivadas, para finalidades específicas, por meio de simplificações e combinações das informações ou algoritmos computacionais disponíveis nos Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

Segundo Herbert et al. (1987) e Charman (2001) o objetivo dos estudos de escritório é realizar uma avaliação preliminar das condições do terreno baseado em informações preexistentes. Os autores ainda ressaltam que esse objetivo pode ser alcançado a um baixo custo e em fases iniciais de investigação.

Os estudos de escritório associados com visitas de reconhecimento não fornecem somente interpretações dos dados compilados, mas permite identificar aspectos que necessitem de estudos adicionais (SHILSTON et al., 2012). West (1986) resalta que a importância de compreender os objetivos dos estudos de escritório senão as investigações posteriores podem deixar de identificar feições importantes para o estudo.



## **2.4.2.INTERPRETAÇÃO DE PRODUTOS DE SENSORIAMENTO REMOTO**

A fotointerpretação de imagens provenientes do sensoriamento remoto permite a rápida aquisição de uma grande quantidade de informação a baixo custo, além de otimizar os levantamentos de campo posteriores.

Segundo Thornburn (1965), a utilização de fotos aéreas pode requerer um décimo do tempo gasto em levantamentos de campo e apresentar um acurácia de até 85% nos locais em que geologia não é complexa. A utilização imagens de sensoriamento remoto são particularmente úteis na preparação de mapas base para interpretação de terrenos em áreas não desenvolvidas (CHARMAN, 2001).

A fotointerpretação utiliza-se de dois métodos distintos: o método comparativo, também conhecido como método das chaves, e o método dedutivo (ou da análise lógica). O método das chaves se baseia na elaboração de padrões comparativos, ou seja, na busca por feições similares às conhecidas em uma imagem.

No método dedutivo, são seguidos os conceitos apresentados por Guy (1966) e Riverau (1970), posteriormente sistematizados por Soares e Fiori (1976) com algumas modificações para mapeamentos geológicos (NADALIN, 2016). Soares et. al. (1978) e Veneziani e Anjos (1982) adaptaram essa metodologia para ser aplicada para mapeamentos geológicos utilizando imagens de sensoriamento remoto.

A fotointerpretação consiste inicialmente na identificação de feições, seguindo para a análise das relações entre elas e finalmente para a atribuição de significado as feições identificadas. Soares e Fiori (1976) define os três processos supracitados como fotoleitura, fotoanálise e fotointerpretação.

A fotoleitura é o reconhecimento e identificação dos elementos nas imagens, dos objetos correspondentes e sua repartição. Nesta etapa são identificados os objetos de interesse como, por exemplo, áreas devastadas, erosões, estradas e caminhos, áreas urbanas, morros e rios.

Na fotoanálise são estudadas as relações entre as imagens e a realização de associações e ordenação das partes da imagem. Neste caso as partes da imagem são chamadas de elementos texturais, definido por Rivereau (1970) como a menor superfície contínua e homogênea distinguível na imagem, sendo passível de repetição com formas e dimensões definidas. A análise dos elementos de drenagem, formas de terreno, fenômenos geodinâmicos, vegetação é feita separadamente com base na textura, que é o padrão de arranjo dos elementos texturais, e na estrutura, que é o padrão de organização espacial dos elementos texturais.

Nesta etapa, a rede de drenagem é avaliada quanto a densidade de textura de drenagem, sinuosidade, angularidade, tropia, assimetria e lineações de drenagem. Ao se traçar a rede de

drenagem é possível identificar feições como cristas e vales, fornecendo uma percepção tridimensional da área de estudo. As principais propriedades de textura e estrutura das formas de relevo são: densidade de textura de relevo; quebras positivas e negativas; assimetria; lineações e alinhamentos de relevo; e formas de encostas.

A fotointerpretação é o estudo da imagem visando a descoberta e a avaliação por métodos indutivos, dedutivos e comparativos do significado, função e relação dos objetos identificados na imagem. A partir do agrupamento de áreas com repetição de elementos texturais e estruturas são delimitadas as zonas fotolitológicas ou homólogas.

Segundo Soares e Fiori (1976) existem uma série de relações genéricas entre as propriedades da imagem e do objeto que podem auxiliar na interpretação e entre os fatores que controlam a textura e a estrutura dos elementos nas imagens, podem ser destacados os fatores:

- Morfogenéticos que são responsáveis pelos processos de elaboração das formas do relevo e da drenagem sendo eles o clima, a tectônica e a dinâmica da superfície;
- Litológicos que são relacionados às propriedades físico-químicas dos maciços rochosos e/ou do solo como a erodibilidade, permeabilidade, plasticidade e a ruptibilidade; e
- Deformacionais que correspondem às feições expressas no relevo e na drenagem e são resultantes das deformações impostas ao substrato rochoso, como foliações e fraturamentos.

Sendo assim, o método dedutivo consiste em uma importante técnica de fotointerpretação que faz uso da análise lógica de elementos texturais e estruturais, associando a formas de relevo e drenagem, que posteriormente são interpretados quanto aos seus significados geológicos específicos.

Zaine (2000) e Zaine (2011) propuseram uma metodologia de mapeamento geológico-geotécnico para o planejamento urbano utilizando técnicas de fotointerpretação, baseado em Soares e Fiori (1976).

Em Zaine (2011) o autor apresentou quadros sínteses com os critérios de análise da textura e do relevo (Figura 2.1) e análise das estruturas geológicas e complementar (Figura 2.2) que permitem a correlação entre os elementos de imagem e as propriedades geológico-geotécnicas do terreno.

Coelho (2015) enumera uma série de estudos geológico-geotécnicos aplicados na avaliação do meio físico, realizados a partir de técnicas de fotointerpretação e levantamentos

de campo, e ressalta o elevado custo benefício da utilização dessa metodologia visto o custo relativamente baixo de aquisição e ao grande volume de informações passível de ser obtida.

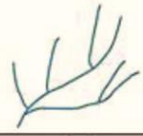



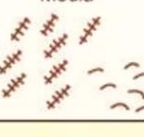

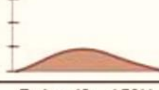
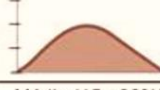









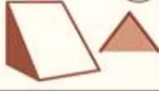

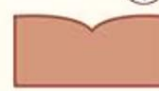






1. Análise da densidade textural		CLASSES		
Elementos de análise	Elementos de drenagem e relevo	Baixa (0 a 5/10 km <sup>2</sup> )	Média (5 a 30/10 km <sup>2</sup> )	Alta (> 30/ km <sup>2</sup> )
Critérios de análise	Densidade dos elementos de drenagem			
	Densidade dos elementos do relevo (dissecação e rugosidade do terreno)	Baixa (mais lisa) 	Média 	Alta (mais rugosa) 
Propriedade a ser interpretada	PERMEABILIDADE (intergranular)	Alta (Permeável)	Média	Baixa (Pouco permeável a impermeável)
APLICAÇÕES Informações interpretadas por esta análise	Relação escoamento superficial/infiltração	Baixa	Média	Alta
	Espessura e características do manto de alteração	Grande (Espesso; > 5m)	Média	Pequena (Raso/rocha aflorante)
2. Análise das formas e características do relevo		CLASSES		
Elementos de análise	Declives, vertentes, topos, vales, rupturas de declive (quebras de relevo), cristas e escarpas			
Critérios de análise	a) Amplitude local (variações de cotas na unidade)	Pequena (0 a 100 m) 	Média (100 a 300 m) 	Grande (> 300 m) 
	b) Declividade	Baixa (0 - 15%) 	Média (15 - 30%) 	Alta (> 30%) 
	c) Forma de encosta / vertente (* representação em planta)	Convexa  	Côncava  	Retilínea  
	d) Forma do vale (* representação em planta)	Aberto  		Fechado  
	e) Forma do topo	Aplainados 	Arredondados 	Angulosos 
	f) Feições particulares de relevo	Identificar e descrever. Associar modelos geológicos já conhecidos <small>*Consultar quadros Howard (1967); Soares e Fioni (1976); Nunes et. al. (1995)</small>		
Propriedades a serem interpretadas	Solubilidade	Não solúvel		Solúvel
	Resistência à erosão natural (dureza)	Baixa (Pouco resistente)	Média (Resistência média)	Alta (Muito resistente)
APLICAÇÕES Informações interpretadas por esta análise	Profundidade do topo rochoso	Profundo	Intermediário	Raso a sub aflorante
	Espessura de materiais inconsolidados	Espesso	Intermediário	Delgado a inexistente
	Grau de escavabilidade	Pouco resistente	Resistência média	Muito resistente
	Potencial a erosão linear (induzida)	Médio a alto	Médio a alto	Médio a baixo
Registros de processos geológicos	Potencial a movimentos gravitacionais de massa	Baixo	Médio a Alto	Alto

Figura 2.1: Análise da textura e do relevo proposta por Zaine (2011).

3. Análise das estruturas geológicas		CLASSES			
Elementos de análise	Linhas de rupturas de declive (positivas = proeminentes; negativas = reentrâncias) Lineações e alinhamentos de relevo (traços de foliação e camadas), drenagem e traços de fratura				
Critérios de análise	a) Tropa	Não orientada 	Pouco orientada 	Orientada 	Muito orientada 
	b) Assimetria de relevo e drenagem (geometria das camadas)	Muito assimétrico 	Assimétrico 	Pouco assimétrico 	Simétrico 
	c) Regra dos Vs	Horizontal a sub 	Mergulho p/ montante 	Mergulho p/ jusante 	Vertical a sub 
	d) Sinuosidade* (drenagem)	Curvos/dendríticos 	Mistos 	Retilíneos não paralelos/ espaçados 	Retilíneos paralelos/ adensados 
	e) Padrões reconhecidos e anomalias	Identificar e descrever. Associar à modelos geológicos já conhecidos. <small>*Consultar quadros Howard (1967); Soares e Fiori (1976); Nunes et. al. (1995)</small>			
Propriedades a serem interpretadas	Planos de estratificação e foliação metamórfica	Ausentes a pouco marcantes	Espaçados	Adensados	
	Composição e estrutura	Homogênea	Mista	Heterogênea	
	Plasticidade/ruptibilidade (foliação x fraturas)	-	Rúptil	Dúctil	
	Grau de faturamento	Baixo	Médio	Alto	
APLICAÇÕES Informações interpretadas por esta análise	Permeabilidade Fissural	Baixa	Média	Alta	
	Partição em blocos: possibilidade de queda de blocos	Baixa	Média	Alta	

4. Análise complementar		CLASSES		
Elementos de análise	Tons de cinza ou coloração; vegetação e uso do solo; feições de processos geológicos			
Critérios de análise	Tons de cinza *	branco a cinza claro	cinza médio	cinza escuro a preto
	Coloração*	Claros, amarelados, róseos		Verdes escuros a pretos
Propriedades a serem interpretadas	Solos derivados de rochas básicas/ácidas ou arenosas/argilosas	Solos ácidos/ arenosos	Solos básicos/argilosos	
	Presença de água/umidade no solo	Solos secos	Solos úmidos	Corpos d'água**
	Cobertura vegetal	Sem vegetação a pastagem	Rasteiras e arbustivas	Arbóreas (florestas e reflorestamento)
APLICAÇÕES Informações interpretadas por esta análise	Solo exposto	Presente		Ausente
	Afloramentos e blocos rochosos	Presente		Ausente
	Presença de N.A. raso/aflorante	Profundo (> 5m)	Variável	Raso (aflorante < 2m)

\* A análise deve considerar os diferentes tipos de uso do solo.  
\*\* Corpos d'água podem apresentar tons claros quando ocorre a reflexão da luz.

Figura 2.2: Análise das estruturas geológicas e complementar proposta por Zaine (2011).

### **2.4.3.MAPEAMENTO GEOLÓGICO APLICADO A ENGENHARIA**

O mapeamento geológico aplicado a engenharia é o procedimento para caracterizar, classificar, hierarquizar e delimitar em detalhe as características dos terrenos e segue as mesmas regras básicas e utiliza as mesmas técnicas do mapeamento geológico convencional, as quais são discutidas em Barnes e Lisle (2004) e Nadalin (2016). Chaminé et al. (2016) afirma que o mapeamento desempenha um papel central na geologia urbana aplicada às investigações geotécnicas *in situ*, modelagem de terreno, recursos naturais, zoneamento de perigos geológicos e para fins de planejamento.

Majorbanks (2010) diz que a produção de mapa geológico é um processo de resolução de problemas e que é melhor solucionado pelo método de múltiplas hipóteses de trabalho proposto pelo geólogo Thomas Chrowder Chamberlin em 1897.

A teoria consiste em que os levantamentos de campo não devem ser iniciados antes da realização de um estudo de escritório para a concepção de ideias ou hipóteses sobre a área de estudo. As hipóteses são utilizadas para a escolha dos locais nos quais serão realizadas observações com o objetivo de testar essas hipóteses. Nos estágios iniciais do mapeamento é comum que existem várias hipóteses vigentes e caso uma observação não se encaixe, torna-se necessário a reavaliação e formulação de novas hipóteses. A cada etapa de mapeamento as estimativas vão ficando mais precisas e o padrão de investigação vai sendo direcionado para áreas chave. A sequência de mapeamento depende da geologia da região e no caso dos mapas geológicos aplicado a engenharia deve se considerar temáticas como a geomorfologia e os tipos de solos.

Antes de iniciar o mapeamento é necessário definir o objetivo do mesmo, que por consequência determinará os tipos de informações que devem ser coletadas (para atender aos requisitos da pesquisa), a escala do mapeamento que será realizado e quais os métodos a serem utilizados para a coleta de dados adicionais.

Griffiths (2001) sugere a inserção do mapeamento geológico-geotécnico em todas as campanhas de investigações, e que se utilizado em conjunto com outras técnicas de avaliação de terreno formaria a base do modelo geológico conceitual proposto por Fookes (1997). A combinação entre o mapeamento e as investigações geotécnicas teria como produto um modelo de terreno atualizado com detalhamento suficiente para ser utilizados em projetos de engenharia.

O autor ressalta que mesmo existindo uma grande disponibilidade de dados ou que o objetivo seja a elaboração de mapas de pequena escala visando auxiliar no planejamento, é necessário a coleta de informações adicionais por meio de mapeamento (GRIFFITHS, 2001).

#### **2.4.4.ELABORAÇÃO DE MODELOS GEOLÓGICOS APLICADOS A ENGENHARIA**

A elaboração e utilização de modelos geológicos aplicados a engenharia deveria ser uma atividade fundamental na elaboração de estudos e projetos geotécnicos (PARRY et al., 2014). O modelo permite antecipar possíveis problemas geológicos a partir de uma melhor compreensão do meio físico e contribui para um planejamento mais eficiente de uma de campanha de investigações, com objetivo de reduzir os números de investigações sem a perda de qualidade no modelo final.

Sobreira e Souza (2015) sugerem a elaboração de um modelo inicial orientador, antes da elaboração das cartas, baseado em trabalhos de campo de forma a subsidiar tanto o planejamento das etapas de investigações posteriores quanto as metodologias de abordagem. O modelo inicial orientador tem uma finalidade semelhante ao modelo geológico conceitual, que se elaborado a partir de informações preexistentes na bibliografia pode otimizar bastante os levantamentos posteriores. Segundo Sullivan (2010), os modelos são a base para a definição do escopo, da metodologia e da eficiência das investigações de qualquer projeto geotécnico.

Os modelos geológicos aplicados a engenharia, ou modelos de geologia de engenharia, são uma aproximação das condições geológicas, em qualquer escala, criada com o propósito de solucionar um problema de engenharia que deve ser averiguado por meio de algum tipo de investigação (PARRY et al., 2014).

No âmbito da engenharia geotécnica, Knill (2003) separa os modelos em geológicos, de terreno e geotécnicos. O modelo geológico é baseado em conhecimento geológico e não apresenta informações sobre a condição de engenharia dos materiais, sendo considerado inadequado para fins de engenharia. O modelo de terreno, ou *ground model*, consiste no modelo geológico com parâmetros de interesse da engenharia. O modelo geotécnico é um ajuste do modelo do terreno a partir da aplicação de modelos matemáticos ou físicos para se obter uma solução para algum problema de engenharia.

Já a Comissão 25 da IAEG (PARRY et al., 2014) divide os modelos de geologia de engenharia em dois tipos: o conceitual, observacional e analíticos. Os modelos conceituais são baseados em conceitos geológicos e no conhecimento da distribuição, geometria e na relação entre as unidades geológicas. São modelos elaborados a partir do entendimento do contexto geológico regional acrescido de conhecimentos da geologia local e da experiência dos problemas geológicos que podem ser esperados a partir dessas informações.

Os modelos observacionais são modelos baseados na distribuição espacial das unidades e dos processos geológicos observados e medidos a partir de investigações de superfície e/ou

de sub superfície. Os conceitos geológicos utilizados na elaboração do modelo continuam os mesmos, mas agora com a distribuição e geometria mais detalhadas. Os modelos observacionais podem ser apresentados em formas de boletins de sondagem (unidimensional), seções geológicas ou mapas (bidimensional) e bloco diagramas (tridimensional). Os modelos analíticos, por sua vez, são semelhantes aos modelos geotécnicos propostos por Knill (2003). A Figura 2.3 apresenta um exemplo da atualização de um modelo conceitual para um modelo observacional.

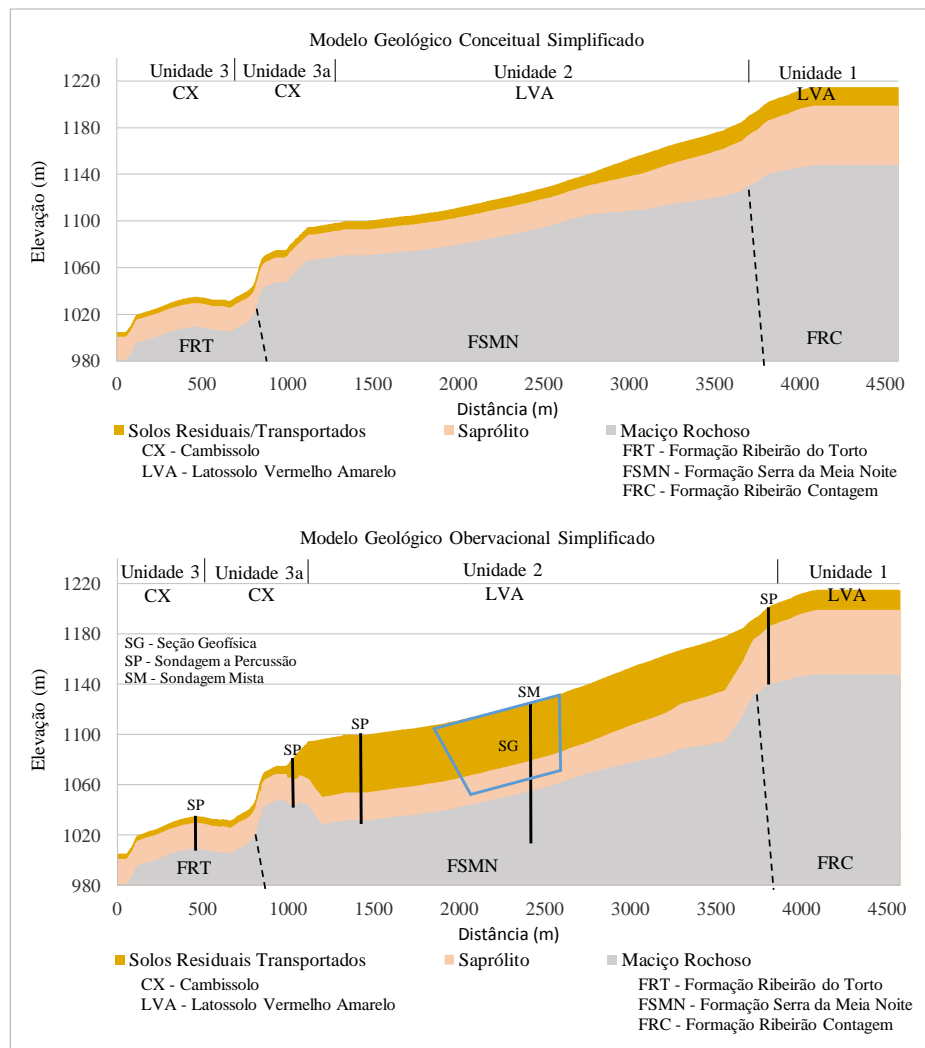


Figura 2.3: Exemplo da atualização de um modelo geológico conceitual para um modelo observacional com base em investigações geológico-geotécnicas.

A transição de um modelo conceitual para um modelo observacional é subdividida em dois estágios (Figura 2.4). O estágio 1 consiste na identificação dos processos geológicos e demais características relevantes para o estudo e na delimitação das unidades geotécnicas. Parry et al. (2014) sugere que as unidades sejam delimitadas utilizando os processos de agrupamento e/ ou divisão propostos por Varnes (1974). O estágio 2 envolve a análise e interpretação das

observações e investigações realizadas visando definir a distribuição espacial das unidades geotécnicas.

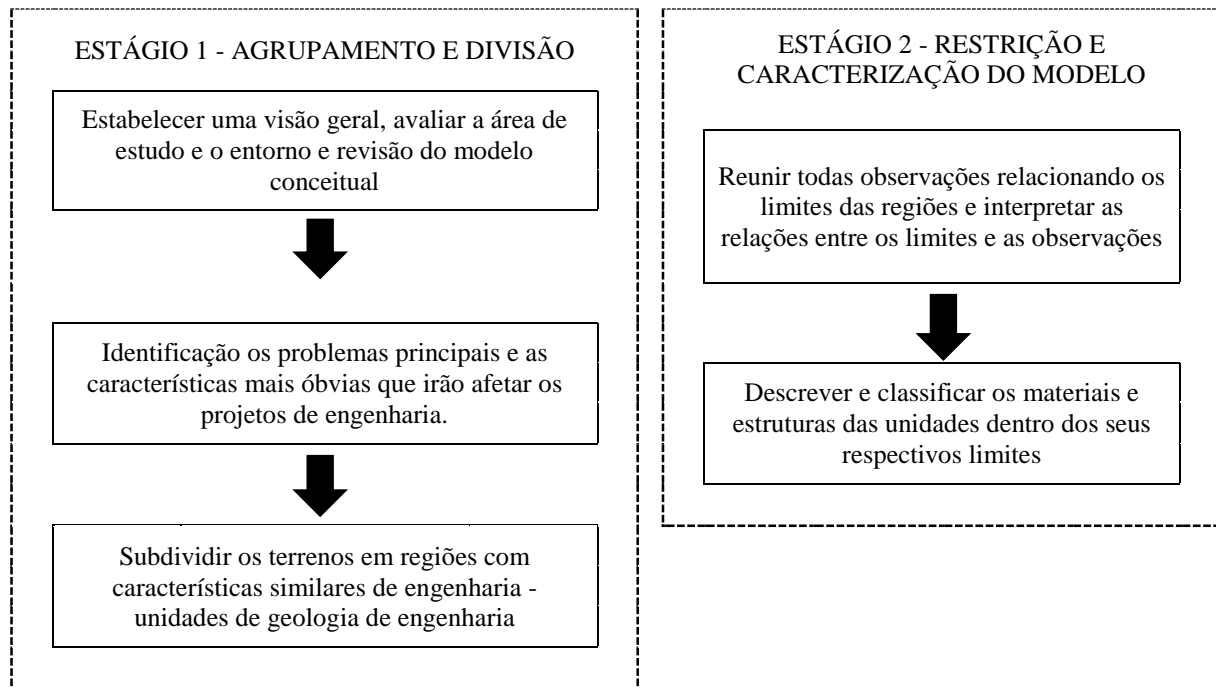


Figura 2.4: Processo de elaboração do modelo geológico observacional. Modificado de Parry et al. (2014).

Durante a elaboração dos modelos, em cada uma das etapas, são introduzidos erros e incertezas. O erro é a diferença entre um resultado individual e o valor real medido (ISO, 2000 apud CLARKE, 2014) e a incerteza pode ser definida como aquilo que não se sabe (FUNTOWICZ e RAVETZ, 1990 apud PARRY et al., 2014). As incertezas podem ser agrupadas em: erros quantificáveis, os quais estão relacionados erros de medidas ou dos próprios dados; incertezas computacionais associadas algoritmos matemáticos de extrapolação ou de interpolação; e incertezas de interpretação geológica que inclui as incertezas referentes a interpretação dos dados, teorias geológicas aplicadas, conhecimento da área e experiências do profissional (CLARKE, 2004).

Clarke (op. cit.) apresenta uma proposta que avalia a confiança do modelo utilizando a quantidade, qualidade das investigações atribuindo valores para cada uma dessas categorias e posteriormente utilizando um ábaco para o cálculo da confiabilidade. Sandersen (2008) apresenta uma proposta de avaliação de incertezas geológicas qualitativa na qual o profissional elabora diversas seções a partir do modelo geológico, atribuindo um grau de incerteza para cada uma e projeta esses valores na forma de alinhamentos em um mapa permitindo assim uma visão geral da incerteza. A avaliação da confiança da interpretação geológica gera produtos mais rigorosos e permite aos usuários que avaliem a aplicabilidade da aquela informação ao propósito das suas respectivas pesquisas.



## 2.4.5. MAPEAMENTO COM MÉTODOS GEOFÍSICOS

Os métodos geofísicos são amplamente utilizados na geologia de engenharia por serem ensaios de rápida execução, de maior amplitude da cobertura dos levantamentos e sem a perturbação do meio físico (KEAREY et al., 2002). Segundo Sirles (2006), esses métodos são mais econômicos e rápidos de obter informações de subsuperfície, especialmente em grandes áreas de estudo. Os principais objetivos dos levantamentos geofísicos são a investigação geológica, avaliação de recursos naturais, detecção de vazios e artefatos enterrados e determinação de parâmetros de engenharia (DARRACOTT e MCCANN, 1986; ANON, 2015).

Os métodos mais utilizados na geologia de engenharia são os potenciais, geoeletricos e sísmicos sendo os dois últimos mais aplicados a engenharia civil. Entretanto a utilização de métodos geofísicos está fortemente condicionada com a propriedade física a ser avaliada e com o objetivo do estudo (Tabela 2.2 e Tabela 2.3).

Tabela 2.2: Parâmetros medidos, propriedades físicas e aplicações geotécnicas de alguns dos métodos geofísicos mais utilizados na engenharia civil. Modificado de Anderson e Croxton (2008).

<b>Método geofísico</b>	<b>Parâmetros medidos</b>	<b>Propriedades físicas</b>	<b>Propriedades físicas do modelo (Aplicação geotécnica)</b>	<b>Modelo típico elaborado (Aplicação geotécnica)</b>
Eletrorresistividade	Diferença de potencial em resposta a uma corrente induzida	Resistividade elétrica	Modelo da variação da resistividade elétrica com a profundidade com limites de camadas interpretadas	Perfil geológico e hidrogeológico
Sísmica de Refração Rasa	Tempo de viagem das ondas sísmicas refratadas	Velocidade acústica (função do módulo elástico e densidade)	Modelo da variação da velocidade acústica com a profundidade com limites de camadas interpretadas	Perfil geológico
Radar de Penetração no Solo (GPR)	Tempo de viagem e amplitudes dos pulsos de energia eletromagnética	Constante dielétrica, permeabilidade magnética, condutividade e velocidade eletromagnética	Modelo da variação da velocidade eletromagnética com a profundidade com limites de camadas interpretadas	Perfil geológico

É importante ressaltar que os métodos geofísicos não são substitutos para investigações diretas, mas funcionam como um complemento para um programa bem planejado de investigações diretas, pois oferece uma visão volumétrica de subsuperfície ao invés de uma medida pontual. A utilização dos métodos geofísicos antes de uma campanha de investigações diretas pode otimizar bastante o plano de investigações (KEAREY et al., 2002).

Tabela 2.3: Potencial de aplicação em geotecnia de alguns dos métodos geofísicos mais utilizados na engenharia civil. Modificado de Anderson (2008).

Aplicação	Eletrorresistividade	Sísmica de Refração Rasa	Radar de Penetração no Solo (GPR)
Mapeamento litológico (Profundidades menores que 9 metros)	Pouco aplicado	Muito aplicado	Muito aplicado
Estimativa do teor de argila de minerais	Pouco aplicado	-	-
Mapear o topo do lençol freático	Muito aplicado	Muito aplicado (ondas P)	Muito aplicado
Mapear o topo rochoso (Profundidades menores que 9 metros)	Pouco aplicado	Muito aplicado	Muito aplicado
Delineando mergulho acentuado de contatos geológicos (Profundidades menores que 9 metros)	Muito aplicado	Muito aplicado	Muito aplicado
Estimativa das propriedades <i>in situ</i> da rocha (saturação, porosidade e permeabilidade)	Muito aplicado	-	-
Estimativa das propriedades <i>in situ</i> da rocha (Módulo de Young e cisalhamento)	-	Muito aplicado	-

Por ser um método de aquisição indireta de informação é fundamental a realização de investigações diretas para auxiliar na interpretação dos resultados obtidos. McDowell et al. (2002) ressalta que a interpretação dos resultados geofísicos não pode ser feita de maneira confiável sem um modelo observacional para orientar as interpretações e que os resultados devem ser utilizados para refinar o modelo observacional e não gerar um modelo geofísico que diverge daquele modelo.

Anderson (2008) recomenda que durante a elaboração de um programa de investigações geofísicas é necessário considerar alguns pontos chave como: as propriedades de interesse; a escolha dos métodos que respondem a essa propriedade; o custo benefício; a acessibilidade ao local a ser investigado; a resolução espacial e capacidade de identificação dos alvos das investigações; e os métodos utilizados para auxiliar na interpretação (ex.: sondagens mecânicas, modelos geológicos de terreno, etc.).

#### 2.4.5.1.MÉTODO DE ELETORRESTIVIDADE – TÉCNICA DO CAMINHAMENTO ELÉTRICO

O método da eletrorresistividade é baseado na determinação da propriedade física da resistividade elétrica (inverso da condutividade elétrica), medida na superfície a partir da diferença de potencial gerada por uma corrente artificial induzida no solo. Para um paralelepípedo de material condutor com resistência elétrica  $\Delta R$ , comprimento  $\Delta L$  e área de seção transversal  $\Delta A$  (Figura 2.5), a resistividade  $\rho$  é dada pela Equação 2.1.

$$\rho = \frac{\Delta R \Delta A}{\Delta L}$$

Equação 2.1

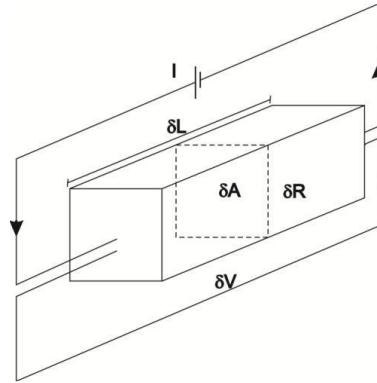


Figura 2.5: Parâmetros usados na definição da resistividade elétrica de um paralelepípedo (Retirado de SEIMETZ, 2012).

Silva (2004) define a resistividade elétrica ( $\rho$ ) como sendo a dificuldade que os materiais apresentam em conduzir uma corrente elétrica, dependendo da natureza e do estado físico do material. Nos solos e rochas a resistividade depende primariamente da porosidade, fraturamento, grau de saturação e a salinidade da água dos vazios (SILVA, 2011), sendo os dois últimos mais importantes, o que a torna uma das propriedades físicas mais variáveis. Sendo assim a resistividade não é um parâmetro que possa definir o tipo de rocha ou solo devido à grande variação das faixas de resistividade como mostra a Figura 2.6.

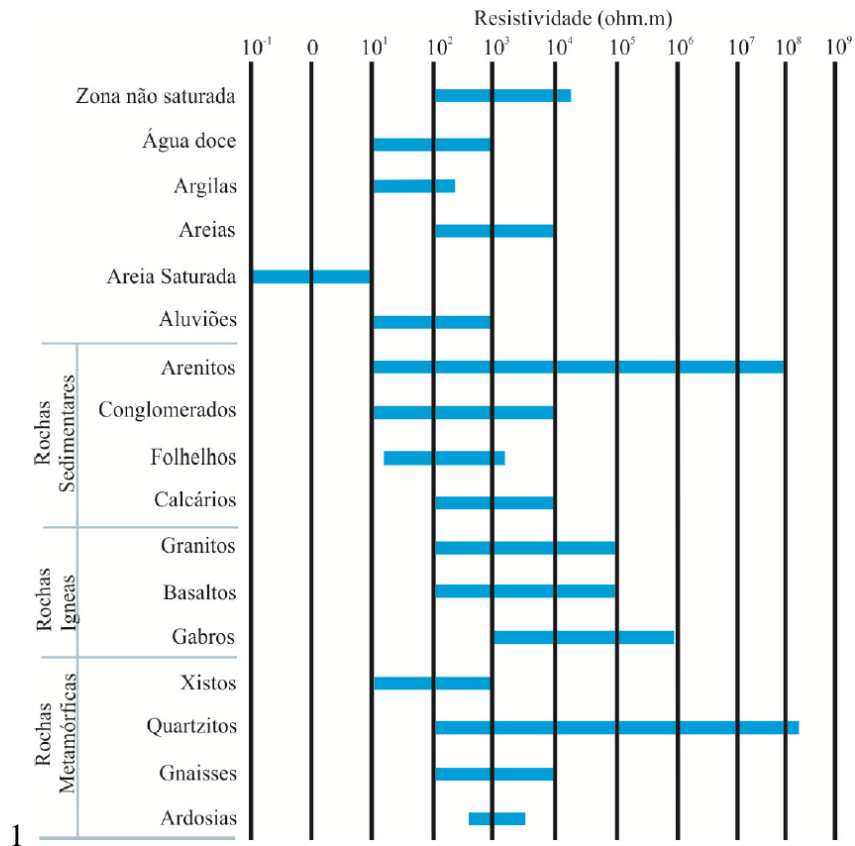


Figura 2.6: Valores de resistividade elétrica para algumas rochas e materiais. Retirado de Seimetz (2012).

Em levantamentos utilizando métodos geoeletricos geralmente utiliza-se um arranjo mínimo de quatro eletrodos sendo que um par de eletrodos serve para introduzir uma corrente elétrica no solo, enquanto o outro par é utilizado para medir a diferença de potencial que se estabelece entre eles como resultado da passagem da corrente elétrica. Na eletrorresistividade, as principais técnicas de aquisição são: a Sondagem Elétrica Vertical, o Caminhamento Elétrico e a Perfilagem Elétrica de Poço.

A técnica do caminhamento elétrico aplicado quando se deseja obter a distribuição da resistividade lateralmente, ou seja, em duas dimensões (2D). A técnica utiliza uma fonte de tensão alternada variável e de baixa frequência para investigar as propriedades elétricas em sub superfície sendo utilizadas em investigações geotécnicas e hidrogeológicas com o objetivo de investigar variações em sub superfície (KEAREY et al., 2002).

Dentre os diversos tipos de arranjos de campo para execução desta técnica, cada um com suas peculiaridades, o arranjo dipolo-dipolo tem como característica a utilização de um mesmo espaçamento para os eletrodos transmissores e receptores e deslocamento do centro de ambos os dipolos ao longo da linha (SHERRIF, 1989 apud SILVA, 2011). A disposição no campo do arranjo dipolo-dipolo é apresentada na Figura 2.7.

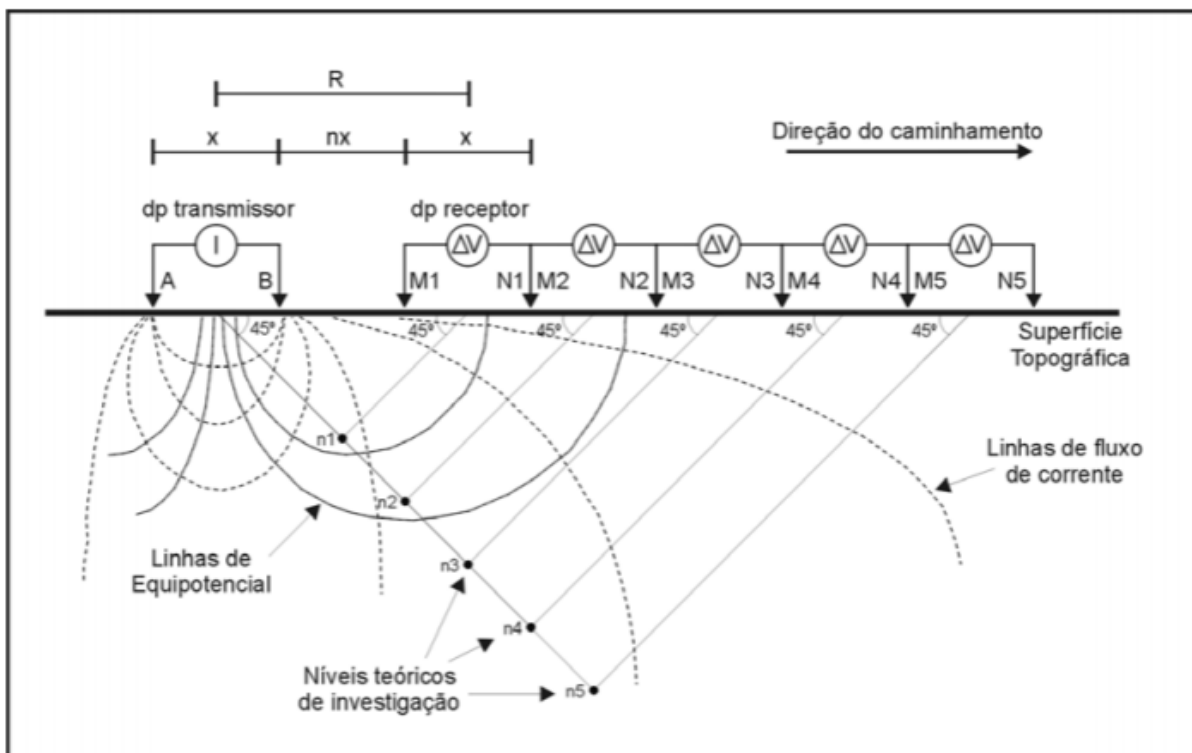


Figura 2.7: Disposição no campo do arranjo dipolo-dipolo mostrando os dipolos transmissores e receptores, a profundidade teórica de investigação e as linhas de fluxo de corrente e equipotenciais. Retirado de Borges (2002).

Considerando a Figura 2.7, os eletrodos A e B são os responsáveis pelo envio da corrente enquanto os eletrodos M e N são os responsáveis pela recepção, sendo que todos estão alinhados entre si. A profundidade investigada cresce com “R” sendo a profundidade máxima função do espaçamento dos eletrodos “x”. As medidas são feitas em várias profundidades de investigação, isto é,  $n=1,2,3,4,5,\dots$ , e atribuídas na interseção das linhas que partem a  $45^\circ$  dos centros dos eletrodos A e B e dos eletrodos M e N (BRAGA, 1988 apud SILVA, 2011).

A corrente elétrica (I) introduzida gera uma diferença de potencial ( $\Delta V$ ), que para um meio homogêneo, pode ser calculado pela Equação 2.2:

$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left( \frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right) \quad \text{Equação 2.2}$$

Em meios heterogêneos a diferença de potencial observada será diferente da registrada sobre um meio homogêneo, pois o campo elétrico sofrerá modificações em função desta heterogeneidade. Sendo assim o que é medido na verdade é uma resistividade aparente ( $\rho_a$ ) utilizando a Equação 2.3.

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \quad \text{Equação 2.3}$$

Onde o fator geométrico K é dado por:

$$K = \frac{2\pi}{\left( \frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right)}$$

Segundo Lago (2009) o arranjo dipolo-dipolo é muito sensível às mudanças horizontais de resistividade, mas relativamente insensível às mudanças verticais, ou seja, é eficiente na identificação de estruturas verticais (diques e cavidades), mas tem um desempenho relativamente baixo na detecção de estruturas horizontais, tais como soleiras e camadas sedimentares. Para que o método funcione efetivamente é preciso um bom contraste entre as propriedades físicas (SILVA, 2011).

#### **2.4.6. MAPEAMENTO COM MÉTODOS DE INVESTIGAÇÕES DIRETAS**

As investigações de campo são as maiores fontes de informações qualitativas e quantitativas sobre as condições dos terrenos (BELL et al., 1990). Uma das grandes vantagens destes métodos é fornecer parâmetros que representem uma avaliação mais realista das condições geotécnicas do solo do que é geralmente o caso com testes de laboratório. No entanto, com ensaios de campo pode ser difícil ensaiar materiais em estados de tensão específicos o que permitiria considerar outras condições devido a intervenções de engenharia. Segundo Bell et al. (1990) os métodos de campo são bastante utilizados para determinar o comportamento

geotécnico de solos e rochas em casos em que a obtenção de amostras de qualidade é difícil, impossível ou muito caro.

Devido à grande variabilidade dos atributos (informações geológico-geotécnicas) do meio físico torna-se fundamental saber como serão obtidos os atributos de forma a representar essa variabilidade. A utilização de ensaios mais rápidos e baratos é recomendada quando a variabilidade do atributo a ser medido é muito grande e as áreas a serem investigadas são extensas. Além disso, durante a elaboração do plano de investigações considera-se também o tempo para a execução das investigações de campo, pois é um fator que pode inviabilizar o mapeamento.

#### **2.4.6.1. TÉCNICAS E QUANTIDADE DE AMOSTRAGEM**

Um dos grandes problemas do mapeamento geotécnico é como representar de maneira adequada a variabilidade do meio físico nos produtos cartográficos, sendo o método de amostragem e da representatividade das amostras pontos fundamentais para se obter uma representação adequada (ZUQUETTE e GANDOLFI, 2004).

Os autores enquadram o processo de amostragem em dois grupos básicos: aleatórios ou probabilísticos e não aleatórios ou não probabilísticos. As amostras aleatórias são aquelas em que cada parcela do terreno tem a mesma chance de ser escolhida podendo ser do tipo simples, sistemática, estratificada e por conglomerados.

Alguns problemas da amostragem aleatória são que o local amostrado pode não ser representativo (amostra do tipo simples), o número de amostras do tipo estratificada pode ser elevado caso os terrenos apresentem uma alta heterogeneidade e a dificuldade de execução no caso da amostragem por conglomerados.

Nos métodos de amostragem não aleatórios as amostras são obtidas de maneira direcionada podendo ser do tipo cota, conveniência, acidental, específica e racional. A amostragem por cota consiste na definição de um número de amostras por unidades de mapeamento, enquanto a por conveniência é destinada a um subconjunto como um material ou camada específica. Os métodos acidentais, por sua vez consistem na observação de rochas e solos por estarem próximos a estradas ou em taludes escavados. Os métodos específicos são utilizados quando somente um parâmetro do meio físico é estudado e no método racional as amostras são escolhidas baseadas no critério de representatividade nos quais são selecionados os locais mais representativos da área a ser estudada. O método de amostragem racional é um dos métodos mais utilizados.

Borges et al. (2015) apresentam uma proposta de como quantificar a área de influência das investigações geotécnicas para cada escala de trabalho das cartas geotécnicas a partir da compilação de informações relacionadas ao número mínimo de amostras realizadas em campo por unidade de área investigada e a escala de trabalho do mapeamento geotécnico.

A Tabela 2.4 apresenta uma compilação de propostas de diversos autores que relacionam área de influência, número de investigações e a escala de mapeamento tanto para sondagens (informações quantitativas) e a Tabela 2.5 para observações de campo (informações qualitativas).

Tabela 2.4: Valores da escala de trabalho, área de influência, distância entre as sondagens e número de investigações por km<sup>2</sup> para as propostas compiladas.

Tipo de investigação	Propostas	Escala	Área de Influência (m <sup>2</sup> )	Distância entre as sondagens (m)	Número de sondagens por km <sup>2</sup>
Sondagens	ABNT NBR 8036 (1983)	2000	7854	89	127,0
		100	200	14	5000,0
	Andriote (2013)	2000	50000	224	20,0
		100	1200	35	823,0
	Karacsonyi e Remmenyi (1970)	100000	785398	886	1,0
		50000	331830	576	3,0
		25000	113411	337	9,0
		10000	31416	177	32,0
		5000	11309	106	88,0
	Matula e Pasek (1984)	75000	1000000	1000	1,0
		50000	333333	577	3,0
		25000	100000	316	10,0
		15000	66667	258	15,0
		5000	40000	200	25,0
	Zuquetti e Gandalfi (2014)	2000	25000	158	40,0
		250000	7852602	2802	0,1
		100000	3926752	1982	0,3
		50000	2615867	1617	0,4
		25000	196350	443	5,0
		10000	78427	280	13,0
5000		52279	229	19,0	
Zuquetti (1987)	2000	31416	177	32,0	
	250000	40000000	20000	0,0	
	100000	10000000	10000	0,0	
	50000	2500000	5000	0,0	
DNER (1998)	25000	1000000	1000	1,0	
	60000	785398	886	1,0	
	10000	196350	443	5,0	
Mio (2005)	100	100	10	10000,0	
	10000	187500	433	5,0	
	2000	45000	212	22,0	
IS:1892 (1979)	100	150	12	6667,0	
	200	10000	100	100,0	

Tabela 2.5: Valores da escala de trabalho, área de influência, distância entre as observações e número de observações por km<sup>2</sup> para as propostas compiladas.

Tipo de investigação	Propostas	Escala	Área de Influência (m <sup>2</sup> )	Distância entre as observações (m)	Número de observações por km <sup>2</sup>
Observações	Moraes et al. (2015)	10000	200000	447	5,0
	Brink et al. (1982)	1000	200000	447	5,0
		10000	1000000	1000	1,0
		1000	40000	200	25,0
		10000	10000	100	100,0
	Zuquetti (1987)	250000	9998244	3162	0,1
		100000	2499561	1581	0,4
		50000	831744	912	1,2
		25000	332929	577	3,0
		25000	199809	447	5,0
		10000	66564	258	15,0
		5000	40000	200	25,0
		2000	24964	158	40,0
		250000	9998244	3162	0,1
		100000	3330625	1825	0,3
		50000	1000000	1000	1,0
		25000	499849	707	2,0
		25000	250000	500	4,0
		10000	66564	258	15,0
		5000	49729	223	20,0
		2000	28561	169	25,0
	Zaine (2000)	50000	1000000	1000	1,0
		25000	1000000	1000	1,0
	Resources Inventory Committee (1996)	10000	250000	500	3,0
		20000	500000	707	1,5
		50000	2500000	1581	1,0
		100000	4000000	2000	0,5
250000		25000000	5000	0,1	

#### 2.4.6.2. PERMEAMETRO GUELPH

O Permeâmetro Guelph é um instrumento de fácil utilização para medir a condutividade hidráulica em campo de forma acurada e rápida (SOILMOISTURE, 2011). Os ensaios utilizam em torno de 2,5 litros de água e somente necessita de uma pessoa para a sua execução, sendo estas as principais vantagens do equipamento, segundo Aguiar (2001), a sua leveza e a facilidade de transporte. O equipamento pode realizar ensaios até 3 metros de profundidade desde que possua tubos extensores, caso contrário os ensaios ficam limitados a profundidades entre 15 e 75 centímetros (SOILMOISTURE, 2011). Segundo Bimbato (2014) este permeâmetro é indicado para aplicações envolvendo projeto e o monitoramento de sistemas de



irrigação, sistemas de drenagem, canais, reservatórios, aterros sanitários, sistemas de reservatórios sépticos, estudos e pesquisas de solo, dentre outros.

O equipamento é composto de uma garrafa de Mariotte que mantém fluxo constante no meio poroso, um tubo de acrílico com uma régua graduada onde a água é armazenada, um tripé que permite a sua utilização em terrenos irregulares (Figura 2.8) e um conjunto de ferramentas para a abertura e nivelamento do furo.



Figura 2.8: Da esquerda para direita: Permeômetro Guelph instalado em campo (Acervo pessoal). Trados que acompanham o equipamento para a perfuração do solo (Acervo pessoal). Esquema de funcionamento de um Permeômetro Guelph (Retirado de SANTOS, 2005).

Após a execução de uma abertura de furo cilíndrico, uma carga constante no furo deve ser estabelecida e mantida no nível do fundo do tubo de ar. Após a estabilização da carga hidráulica, forma-se um bulbo de saturação (Figura 2.9) com dimensões específicas que variam em função do tipo de solo, o raio do furo e da altura de água no mesmo.

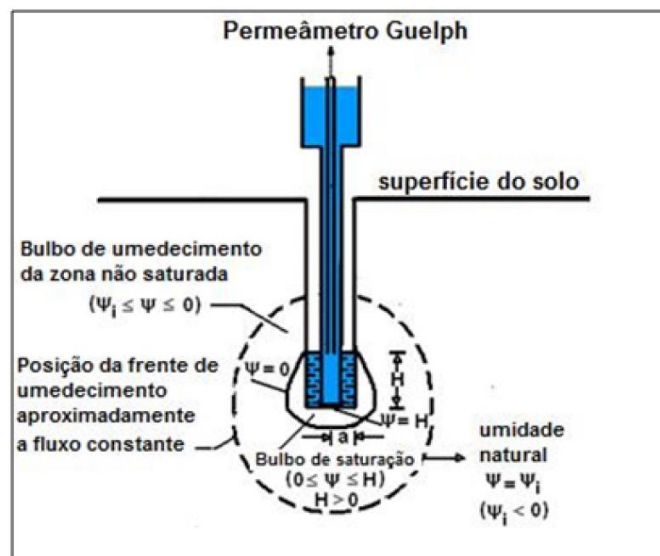


Figura 2.9: Bulbo saturado e não saturado ao redor do furo de sondagem durante o ensaio a carga constante Fonte: Retirado de Soto et al. (2009).

Após a estabilização do bulbo, a saída de água do furo atinge o estado de fluxo de água constante, que pode ser medido e utilizado no cálculo da condutividade hidráulica saturada, potencial de fluxo mátrico e do parâmetro  $\alpha^*$ . (SOILMOISTURE, 2011).

A condutividade hidráulica pode ser determinada seguindo os procedimentos padrões de ensaio e os cálculos para o método de um estágio podem ser feitos utilizando a proposta de Elrick et al. (1989) ou de Reynolds e Elrick (1985) para o método de dois estágios (SOTO et al., 2009).

O método de um estágio (ELRICK et al., 1989) consiste em aplicar uma altura de água  $H$  constante no furo de sondagem e, quando o regime de fluxo permanente é atingido, a vazão  $Q$  e os parâmetros  $K_{fs}$  e  $\phi_{Gm}$  são determinados pelas equações Equação 2.4 e Equação 2.5.

$$K_{fs} = \frac{CQ}{(2\pi H^2 + \pi a^2 C + 2\pi H/\alpha)} \quad \text{Equação 2.4}$$

$$\phi_{Gm} = \frac{CQ}{[(2\pi H^2 + \pi a^2)\alpha + 2\pi H]} \quad \text{Equação 2.5}$$

Sendo  $K_{fs}$  [ $LT^{-1}$ ] a condutividade hidráulica saturada medida *in situ*,  $\phi_{Gm}$  [ $L^2T^{-1}$ ] é o potencial matricial de fluxo,  $C$  [–] um parâmetro denominado “fator de forma”,  $Q$  [ $L^3T^{-1}$ ] é a vazão a carga constante,  $H$  [ $L$ ] é a altura de água constante no furo de sondagem e  $a$  [ $L$ ] é o raio do furo.

O parâmetro  $\alpha$  é estimado inicialmente a partir da Tabela 2.6, onde o valor adotado dependerá da macroporosidade (fissuras, formigueiros, furos de raízes, etc.) e da textura do solo. O parâmetro  $C$  é calculado pelas equações apresentadas em Soilmoisture (2011, pag. 37)

Tabela 2.6: Valores de  $\alpha$  de acordo com as características dos solos. Fonte: Gomes (2012).

$\alpha$ ( $cm^{-1}$ )	Tipo de Solo
0,01	Argilas compactas (aterros, liners, sedimentos lacustres e marinhos)
0,04	Solos de textura fina, principalmente sem macroporos e fissuras.
0,12	Argilas até areias finas com alta a moderada quantidade de macroporos e fissuras.
0,36	Areia grossa inclui solos com macroporos e fissuras.

O método de dois estágios (REYNOLDS e ELRICK, 1985) consiste em aplicar duas alturas  $H_i$  de água sucessivas no furo de sondagem. Uma vez determinadas as vazões para o regime permanente  $Q_i$ , correspondente a cada  $H_i$  aplicado, os parâmetros  $K_{fs}$  e  $\phi_{Gm}$  são obtidos a partir de duas equações simultâneas (Equação 2.6).

$$Q_i = \left(\frac{2\pi H_i^2}{C_i} + \pi a^2\right) K_{fs} + \left(\frac{2\pi H_i}{C_i}\right) \phi_{Gm} \quad \text{Equação 2.6}$$

Sendo  $C_i(C_2 > C_1)$ ,  $H_i(H_2 > H_1)$ ,  $Q_i(Q_2 > Q_1)$

O ensaio pode ser realizado utilizando o reservatório interno que é recomendado para solos pouco permeáveis ou com a combinação dos reservatórios, que é utilizado em solos de moderada a alta permeabilidade. O método de uma carga apresenta precisão suficiente para projetos de engenharia enquanto o método de duas cargas é recomendado para pesquisas acadêmicas. SOILMOISTURE (2011) sugere a utilização dos reservatórios combinados quando não se tem certeza quanto a textura do solo para avaliar a taxa de queda, caso a taxa seja muito baixa o autor sugere a mudança para o reservatório interno.

Aguiar (2001) recomenda que o ensaio seja utilizado para a obtenção de valores de condutividade entre o intervalo de  $10^{-2}$  e  $10^{-6}$  cm/s pois fora deste intervalo as medições podem ser passíveis de não serem obtidas devido a limitação do método.

#### **2.4.7. GEOPROCESSAMENTO E SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS**

Segundo Câmara et al. (2001), o termo Geoprocessamento está relacionado a utilização de técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento de informações geográficas e que está influenciando de maneira crescente as áreas de cartografia e planejamento urbano e regional.

As ferramentas computacionais que permitem realizar análises utilizando dados de diversas fontes, criar bancos de dados georreferenciados e automatizar a produção de documentos cartográficos são chamados de Sistemas de Informação Geográfica (CAMARA et al., 2001).

A utilização do SIG para a organização e análise dos dados é uma atividade essencial na cartografia geotécnica e sua utilização é amplamente recomendada devido à grande quantidade de dados que é manipulada. Sobreira e Souza (2012) ressaltam que a partir do desenvolvimento do SIG foi possível analisar uma grande quantidade de dados de fontes diversas, referenciados espacialmente, reestruturando-os e apresentando-os para a solução de problemas complexos de planejamento e gerenciamento. No contexto de avaliação de terrenos, o SIG pode responder uma série de questões baseadas em consultas espaciais, como por exemplo, quais os locais em que a declividade é maior que um determinado limite (NATHANAIL e SYMONDS, 2001).

Segundo Wolski (1997) e Monteiro et al. (2017) a geração de análises a partir do gerenciamento de uma base de dados geotécnicos é a maior contribuição que o SIG pode trazer a cartografia geotécnica. Chaminé et al. (2016) destaca a importância da utilização do SIG como uma ferramenta que contribui para um planejamento urbano visando um projeto sustentável com a natureza, meio ambiente, patrimônio e a sociedade.

### 3.MATERIAIS E MÉTODOS

Neste tópico serão apresentadas as informações acerca dos materiais e dos métodos de aquisição, processamento e representação dos dados utilizados para a realização da pesquisa.

#### 3.1.MATERIAIS

Neste subtópico será apresentada a base de dados, os programas e equipamentos utilizados.

##### 3.1.1.BASE DE DADOS UTILIZADA

Os dados utilizados na pesquisa foram compilados preferencialmente nas temáticas que auxiliem na compreensão das componentes do meio físico e ambiente e que sejam pertinentes a pesquisa. Os dados foram organizados em pastas pelo seu formato (vetoriais, matriciais, planilhas, etc.) e subpastas de acordo com suas temáticas. A Tabela 3.1 apresenta os dados compilados e suas respectivas fontes.

Tabela 3.1: Resumo dos dados compilados com suas respectivas escalas, formatos e fontes.

<b>Temática dos dados</b>	<b>Escala</b>	<b>Formato</b>	<b>Fonte</b>
Geologia	1:100.000	Vetorial	Freitas-Silva e Campos (1998)
Hidrogeologia	1:100.000	Vetorial	Campos e Gonçalves (2016)
Hidrografia	1:10.000	Vetorial (DWG)	Sistema Cartográfico do DF - SICAD
Solos	1:100.000	Vetorial	ZEE (2011)
Geomorfologia	1:100.000	Vetorial	ZEE (2011)
Base Topográfica (Curvas de nível e pontos cotados)	1:2.000	Vetorial	Geoportal (2017)
	1:10.000	Vetorial	Geoportal (2017)
Ortofotos do ano de 2009	1:1.000	Matricial	Geoportal (2017)
Ortofotos dos anos de 2015 e 2016	1:500	Matricial	Geoportal (2017)
Imagem Rapid Eye do ano de 2013	1:20.000	Matricial	Programa de Pós Graduação de Geotecnia
Imagem Landsat 8 de 25 de Agosto de 2017	1:50.000	Matricial	United States Geological Survey (USGS)
Resultados de investigações e ensaios geotécnicos realizados na área de estudo	-	Analógico ou digital	Delgado (2007); Silva Junior et al. (2016)

##### 3.1.2.PROGRAMAS COMPUTACIONAIS UTILIZADOS

O programa computacional Spring 5.2.7 (CÂMARA et al., 2001) é um programa de Sistemas de Informações Geográficas disponibilizado gratuitamente pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) que permite o processamento digital de imagens (PDI), a modelagem numérica de terreno, análises espaciais e consulta a bancos de dados espaciais.

Com o Spring 5.2.7 foi possível elaborar o modelo numérico de terreno (MNT) da área de estudo com uso das curvas de nível, realizar tabulações cruzadas entre planos de informação além de permitir a locação dos pontos visitados e locais investigados.

Outro programa utilizado foi a extensão de modelagem hidrológica TerraHidro, na versão 0.4.3, disponível no sistema TerraView 4.2.2 que é uma plataforma para a execução de aplicações envolvendo modelagem hidrológica, distribuída desenvolvida pela Divisão de Processamento de Imagens (DPI) do INPE. O TerraHidro permite a extração de redes de drenagens, a delimitação de áreas de contribuição para pontos isolados e segmentos de drenagem, extração de variáveis morfométricas além de executar o procedimento chamado de HAND (do inglês *Height Above the Nearest Drainage*, ou Altura Acima da Drenagem mais Próxima), utilizado na delimitação de áreas com potencial de inundação ou alagamento.

O programa Excel 2013 da Microsoft® é um programa de planilha eletrônica que foi utilizado para a organização e preparação dos dados levantados em campo para serem inseridos nas plataformas SIG.

O programa computacional *Google Earth*, equipado com a tecnologia *Google Street View*, que permite a visualização de qualquer local com imagens de satélite e visões panorâmicas ao longo de vias de acesso, sendo assim uma ferramenta essencial para o planejamento dos serviços de campo. O programa foi utilizado para otimizar os levantamentos de campo com base na identificação de locais de interesse (afloramentos de rocha e perfis de solo) para estabelecer melhores rotas de mapeamento.

O Quantum GIS (QGIS) é um Sistema de Informação Geográfica de Código Aberto com Licença Pública Geral GNU. O QGIS é um projeto oficial da *Open Source Geospatial Foundation* (OSGeo) e suporta inúmeros formatos vetoriais, matriciais, e de bases de dados. O programa foi utilizado para a elaboração dos produtos cartográficos e gerenciamento dos dados compilados.

O programa PROSYS II (versão gratuita) foi utilizado para a extração dos dados do equipamento de eletrorresistividade e inserção da topografia. Para o pré-processamento, interpolação e interpretação dos dados coletados da prospecção geofísica 2D foi utilizado o programa RES2DINV, com a licença fornecida pelo Instituto de Geociências. Apesar do RES2DINV necessitar de licença, existe a versão de avaliação que permite o processamento de levantamentos até 64 (sessenta e quatro) eletrodos.

A ferramenta computacional RiskLab, desenvolvida por Azevedo (2015), utiliza uma abordagem probabilística no cálculo de estabilidade de taludes, fornecendo a probabilidade de

ruptura, permitindo inclusive a incorporação da ação da quantidade de chuva na estabilidade. A ferramenta também inclui métodos para análise de vulnerabilidade e cálculo de risco.

### **3.1.3.EQUIPAMENTOS UTILIZADOS**

Para a realização dos levantamentos de campo foram utilizadas uma bússola tipo *Brunton* DQY-1, lupa de bolso, caderneta de campo, GPS *eTrex* 10, martelo geológico e mapa base da área de estudo. O equipamento utilizado para a obtenção da condutividade hidráulica saturada foi o permeâmetro Guelph, Modelo 2800K1, de posse do próprio programa de pós-graduação. O equipamento permite a realização de medidas até profundidades de 60 centímetros.

Os levantamentos geofísicos foram realizados utilizando o equipamento *Syscal Pro Switch* 72, com 36 (trinta e seis) eletrodos e 6 (seis) cabos de sessenta metros, todos de posse do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília.

## **3.2.MÉTODOS**

Neste tópico será apresentada inicialmente de forma sucinta a estrutura metodológica seguida de uma descrição detalhada de cada etapa.

### **3.2.1.ESTRUTURA METODOLÓGICA**

A metodologia utilizada na elaboração da pesquisa foi subdividida em quatro etapas (Figura 3.1). A primeira consistiu na fase de escritório na qual foi realizada a definição da escala de trabalho, compilação e inclusão dos dados disponíveis em ambiente SIG, na elaboração de produtos cartográficos derivados (declividade, hipsometria, relevo sombreado, curvatura do terreno, altura vertical da drenagem mais próxima, fluxo acumulado, potencial de recarga), na interpretação dos dados disponíveis e na elaboração de modelos conceituais.

A segunda etapa consistiu no mapeamento de média escala constituída pela compartimentação fisiográfica a partir da interpretação de produtos de sensoriamento remoto (Landsat 8 e Rapid Eye e MNT na escala de 1:10.000) do planejamento e execução dos levantamentos e investigações de campo, no mapeamento geológico-geotécnico e da avaliação da suscetibilidade a fenômenos geodinâmicos e elaboração da carta síntese de suscetibilidade.

Os resultados do mapeamento e levantamentos de campo realizados foram utilizados para a atualização do modelo conceitual para o modelo observacional que em conjunto com a compartimentação fisiográfica foram delimitadas as unidades de terreno em média escala.

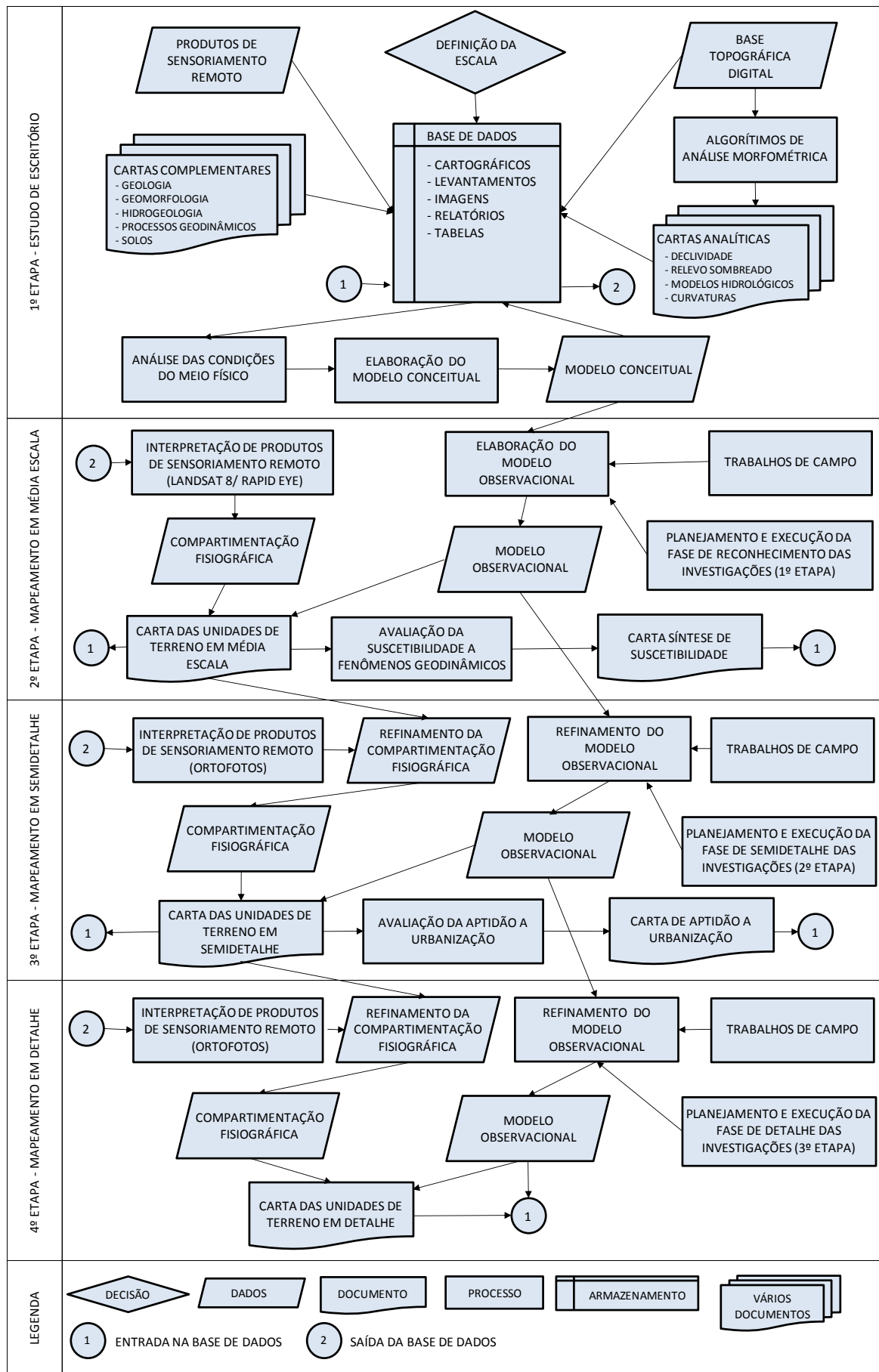


Figura 3.1: Fluxograma mostrando os procedimentos realizados em cada etapa da metodologia utilizada.

Com base na avaliação das unidades de terreno e nas cartas derivadas é elaborada a carta síntese de suscetibilidade.

A terceira etapa consistiu no mapeamento de semidetalhe constituído pelos seguintes procedimentos: Refinamento da compartimentação fisiográfica a partir da interpretação de produtos de sensoriamento remoto (Ortofotos na escala 1:1.000 e MNT na escala de 1:10.000); Planejamento e execução dos levantamentos e investigações de campo; Mapeamento geológico-geotécnico; e Avaliação e elaboração da carta de aptidão a urbanização.

Os resultados do mapeamento e levantamentos de campo realizados foram utilizados para o refinamento do modelo observacional que em conjunto com a compartimentação fisiográfica são delimitadas as unidades de terreno em semidetalhe. Com base na avaliação das unidades de terreno e nas cartas derivadas é elaborada a carta de aptidão a urbanização.

A quarta etapa consistiu nos mesmos procedimentos que a terceira etapa, mas tendo como base produtos cartográficos mais detalhados (Ortofotos na escala 1:500 e MNT na escala de 1:2000) e com a realização de mais investigações de campo.

### 3.2.2.DEFINIÇÃO DE ESCALA

Como o objetivo é atingir um grande nível de detalhamento e devido à grande extensão da área de estudo e elevada complexidade geológica, optou-se por utilizar a metodologia do detalhamento progressivo em três diferentes escalas de mapeamento. A compreensão da área de estudo.

Tabela 3.2 e a Figura 3.2 mostram as áreas mapeadas e as suas respectivas escalas de mapeamento.

A Asa Taquari foi escolhida devido ao fato de existirem duas Diretrizes Urbanísticas, uma em processo de revisão (Etapa do Setor Habitacional Taquari - DIUR 05/2013) e outro em processo de elaboração (Porto Seguro – DIUR 06/2018) que se beneficiarão dos produtos cartográficos elaborados.

A área de semidetalhe, por sua vez, foi escolhida por apresentar os principais tipos de solos, unidades geomorfológicas, formações e estruturas geológicas observadas na área de média escala, sendo assim, considerada uma área chave para a compreensão da área de estudo.

Tabela 3.2: Etapas de mapeamento com suas respectivas áreas mapeadas e escalas.

<b>Etapa de Mapeamento</b>	<b>Escala</b>	<b>Áreas mapeadas</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>
Média	1:25.000	Asa Taquari	60,0
Semidetalhe	1:10.000	Trecho 2 da etapa 1 da Asa Taquari	7,0
Detalhe	1:2.000	Condomínios Prive I e II	3,0



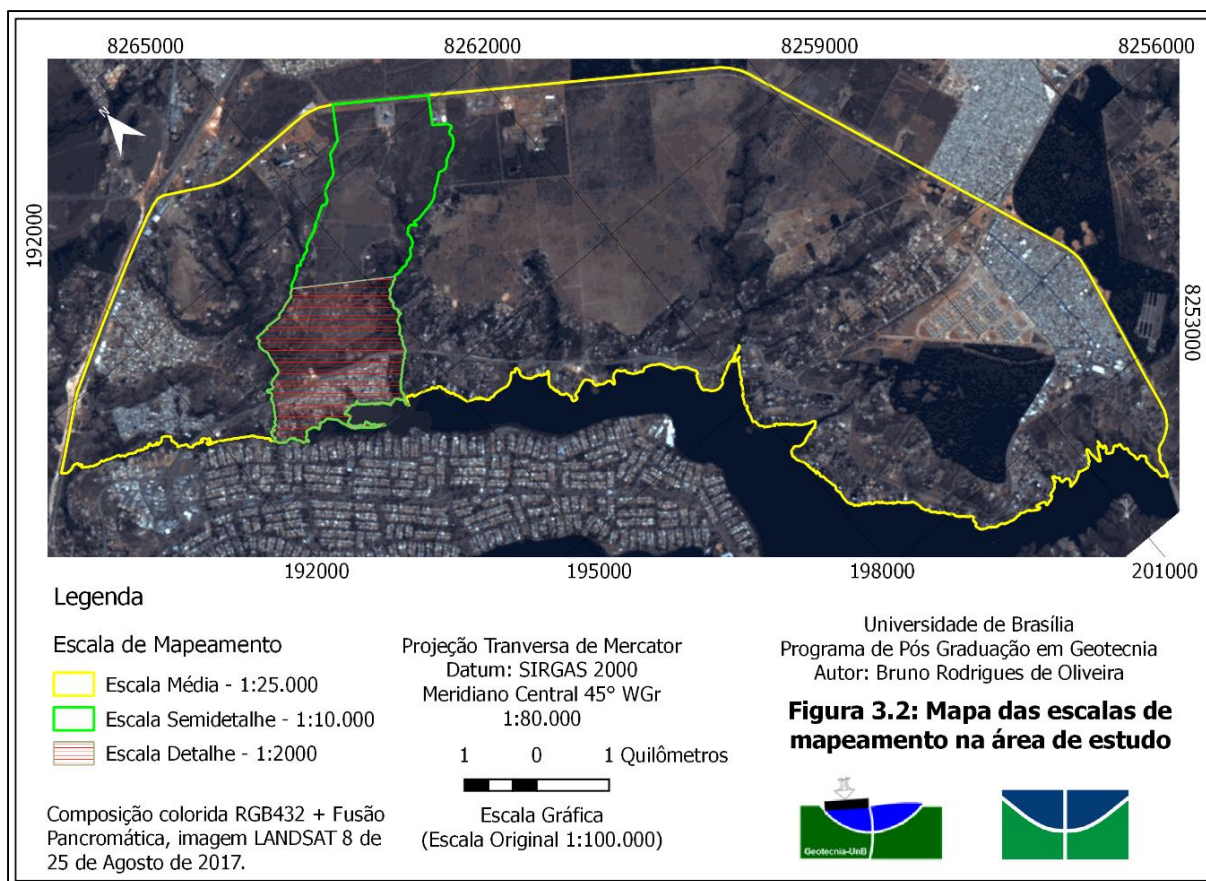


Figura 3.2: Áreas mapeadas com os respectivos níveis de detalhamento.

### 3.2.3. ELABORAÇÃO DE CARTAS ANALÍTICAS

As cartas analíticas foram elaboradas utilizando os modelos numéricos de terreno, obtidos a partir da interpolação das curvas de nível no programa SPRING, e outros planos de informação (PI) temáticos compilados. Os procedimentos e programas utilizados para gerar os PIs utilizados na pesquisa serão detalhados a seguir.

#### Modelo Numérico de Terreno (MNT)

No SPRING, após a importação, as curvas de nível foram interpoladas utilizando a triangulação do tipo *Delaunay*, sem a presença de linhas de quebra, para gerar a *Triangulated Irregular Network* (TIN) também conhecido como Rede Triangular Irregular (RTI). Na grade regular foi feita uma suavização utilizando três repetições do filtro passa baixa, com uma janela móvel de 7x7 pixels, para remover as angulosidades geradas nas arestas dos triangulos oriundas do RTI. Em seguida foi utilizado um interpolador linear para criar uma grade regular que foi utilizada para gerar os planos de informação numéricos (declividade, imagem de relevo sombreado, altura vertical da drenagem mais próxima e parâmetros morfométricos) e temáticos (hipsometria, curvaturas do terreno).

A integração da hidrografia mapeada para a elaboração do modelo digital do terreno hidrologicamente consistente, assegura a exatidão da direção de escoamento em áreas com escassez de dados de altimetria e melhora a qualidade dos parâmetros extraídos e na delimitação automática de bacias hidrográficas. A Figura 3.3 mostra o resumo do processo realizado para a elaboração do Modelos Numérico de Terreno (MNT) e do Modelo Numérico de Terreno Hidrologicamente Consistente (MNTHC).

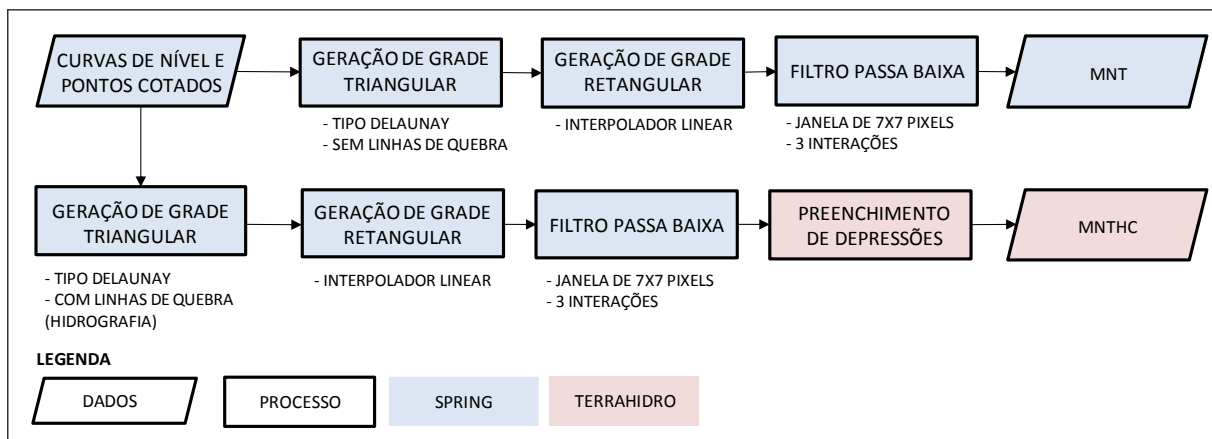


Figura 3.3: Processo realizado para elaboração do Modelo Numérico de Terreno (MNT) e dos Modelo Numérico de Terreno Hidrologicamente Consistente (MNTHC).

### Declividade

A carta de declividade apresenta a inclinação da superfície do terreno em relação ao plano horizontal, podendo estas serem apresentadas em graus ou porcentagem. O PI numérico de declividade (em porcentagem) foi fatiado para as classes de declividade 0 a 2%, 2 a 5%, 5 a 8%, 8 a 15%, 15 a 30%, 30 a 45%, 45 a 100% e maior que 100% por facilitar inferências sobre a suscetibilidade dos solos à erosão, zonas potenciais de acúmulo de águas superficiais e delimitação de áreas restritas para a ocupação urbana, gerando assim um PI da categoria temática. Os intervalos de declividade foram definidos baseados nos intervalos propostos por Da Silva e Carvalho (2006). A Figura 3.4 o resumo do processo realizado para a elaboração da carta de declividade.

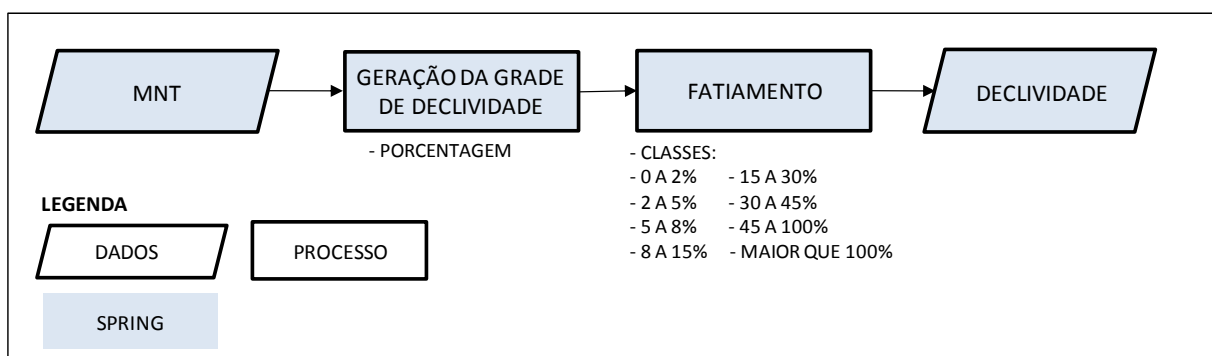


Figura 3.4: Processo realizado para elaboração da carta de declividade.

## Hipsometria

A hipsometria é uma técnica de representação da elevação de um terreno com cores que é utilizado no entendimento de alagamentos e inundações, como suporte na elaboração de mapas pedológicos, entre outras aplicações. Para a elaboração da carta hipsométrica, o MNT foi fatiado em faixas de 20 (vinte) metros.

Utilizando a ferramenta medida de classes foi possível extrair as áreas (em quilômetros quadrados) para cada faixa de elevação, as quais foram exportadas para o Excel para a elaboração da curva hipsométrica. Neste gráfico as áreas acima de uma dada altitude foram plotadas no eixo da abscissa e as altitudes no eixo da ordenada. A curva hipsométrica é a representação gráfica do relevo médio e a forma da curva fornece um indicativo sobre os estágios de evolução do relevo (STRAHLER, 1952). O processo de elaboração da hipsometria e curva hipsométrica é apresentado na Figura 3.5.

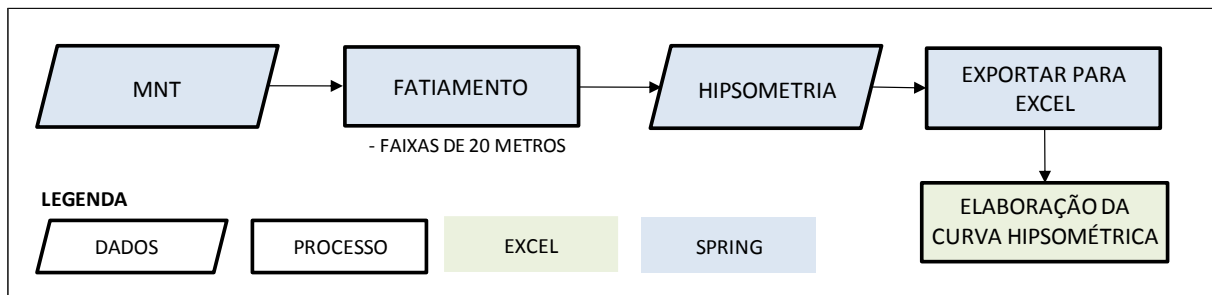


Figura 3.5: Processo realizado para elaboração da hipsometria e das curvas hipsométricas.

## Relevo Sombreado

A imagem de relevo sombreado permite visualizar as diferenças de relevo no modelo sendo gerada a partir de um MNT sobre o qual é aplicado um modelo de iluminação. Três imagens de relevo sombreado foram geradas utilizando a elevação de 30 (trinta) graus, exagero de relevo de 10 (dez) vezes e azimutes de 135, 180 e 225 graus. Esta imagem facilitou a localização de possíveis estruturas geológicas existentes na região. O processo de elaboração da imagem sombreada está resumido na Figura 3.6.

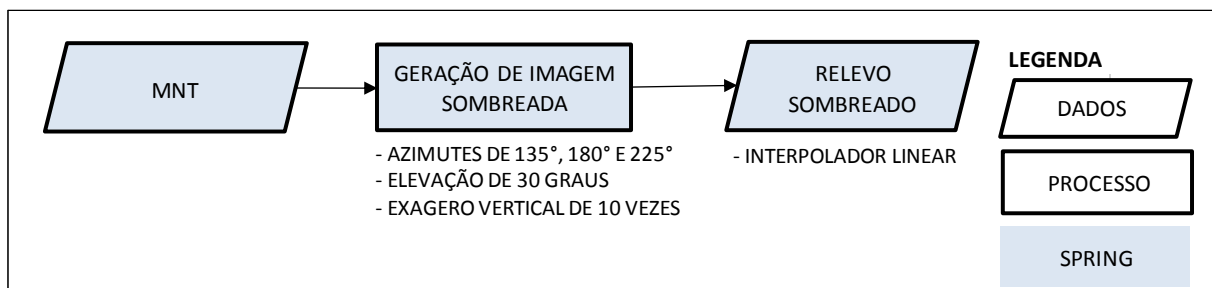


Figura 3.6: Processo realizado para elaboração da imagem sombreada.

## Variáveis morfométricas

Para o cálculo e a reclassificação das curvaturas de perfil e plana, foram utilizados códigos escritos na plataforma utilizada pelo SPRING “Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico” (LEGAL). As curvaturas de perfil e plana, foram calculadas utilizando o método proposto por Zevenberg e Thorne (1987) e foram fatiadas para PIs temáticos utilizando as seguintes faixas: valores negativos mínimos até -0,0025 para curvaturas convergentes ou côncavas; -0,0025 até 0,0025 para curvaturas planares ou retilíneas; e de 0,0025 até o valor positivo máximo para curvaturas divergentes e convexas. Esses valores foram definidos mediante avaliação específica para a área de estudo. Os PIs fatiados foram reclassificados conforme mostra a Figura 3.7. O PI de declividade também foi utilizado na reclassificação atribuindo a classe horizontalizada a qualquer superfície com declividades inferiores a 2%.

		Curvatura da Vertente Horizontal (plano) – Ortogonal a curva de nível e ao declive			
		Quebra	Convergente (C) (Menor valor até -0,0025)	Planar (L) (-0,0025 até 0,0025)	Divergente (V) (0,0025 até o maior valor)
Curvatura da Vertente Vertical (perfil) Perpendicular ou normal à curva de nível e o declive	Côncava (C) (Menor valor até -0,0025)				
	Retilínea (L) (-0,0025 até 0,0025)				
	Convexa (V) (0,0025 até o maior valor)				
	(Menor que 3%)	Horizontalizada (H)			

Figura 3.7: Classes de curvatura com as respectivas representações gráficas e faixas utilizadas no fatiamento. Fonte: Modificado de Shoeneberger e Wysocki (2008).

No programa TerraHidro foram calculadas as seguintes variáveis morfométricas: curvatura total acumulada ( $K_a$ ) que fornece uma medida da quantidade de fluxo acumulada em um determinado ponto; a curvatura horizontal ( $k_h$ ), que indica se os fluxos superficiais e subsuperficiais convergem ( $k_h < 0$ ) ou divergem ( $k_h > 0$ ); curvatura vertical ( $k_v$ ) que fornece uma medida relativa de aceleração ( $k_v > 0$ ) e de desaceleração ( $k_v < 0$ ) de fluxo controlados

pela gravidade além de auxiliar na confirmação das quebras de relevo mais expressivas; curvatura gaussiana total ( $k_g$ ), utilizada na identificação de feições anticlásticas (superfície com curvaturas em duas direções perpendiculares, opostas) e sinclásticas (superfície curvada em todos os sentidos em torno de qualquer ponto que se dirige para fora); as curvaturas mínimas ( $k_{min}$ ), que permitem a identificação de colinas ( $k_{min} > 0$ ) e vales ( $k_{min} < 0$ ); as curvaturas máximas ( $k_{max}$ ), permitem a identificação de cristas ( $k_{max} > 0$ ) e vales fechados ( $k_{max} < 0$ ); e curvaturas médias ( $k_{med}$ ) que fornece uma medida de convergência e desaceleração relativa dos fluxos (FLORINSKY, 2011). A Figura 3.8 mostra os procedimentos e programas utilizados para o cálculo das variáveis morfométricas.

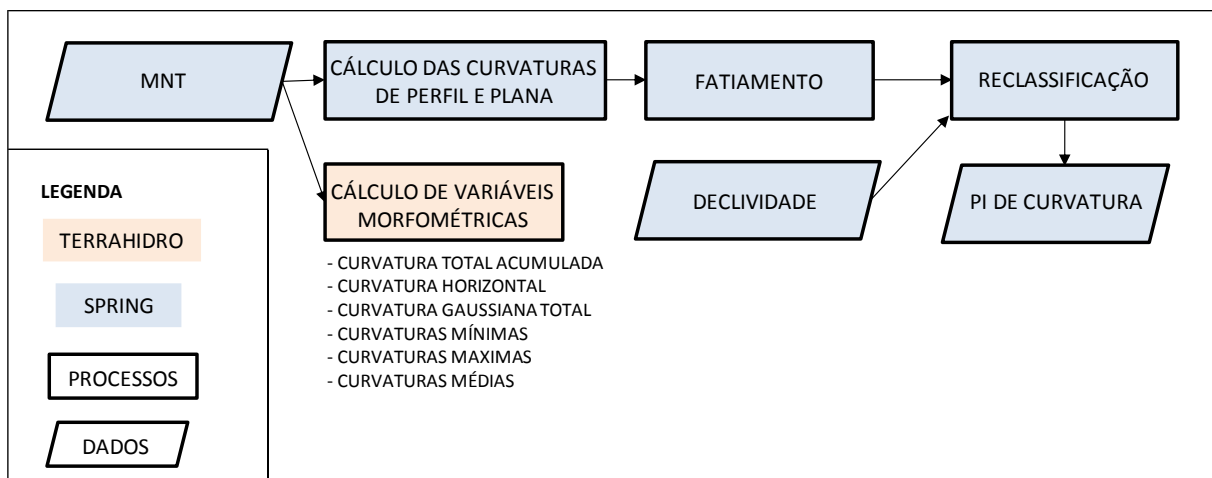


Figura 3.8: Processo realizado para elaboração do PI curvatura e do cálculo das variáveis morfométricas.

As variáveis apresentadas na Figura 3.8 permitem uma avaliação de locais susceptíveis a fluxo de detritos, na qual as vertentes com  $k_h < 0$ , e apresentando perfis de curvatura convergentes e côncavas são consideradas áreas potenciais para desenvolver fluxo de detritos.

### Variáveis hidrológicas

As variáveis hidrológicas escolhidas foram: a área de fluxo acumulado (FA) utilizando os algoritmos de direção de fluxo determinístico 8 (D8) e *Multiple Flow Direction* (MFD); Variáveis morfométricas das bacias hidrográficas da área de estudo; e a altura vertical à drenagem mais próxima.

A direção de fluxo D8 é determinada a partir da direção de maior declividade de um pixel em relação a seus 8 pixels vizinhos. Essa variável hidrológica tem como objetivo montar uma grade digital onde o valor de cada pixel representa a direção de escoamento da água. O algoritmo determinístico 8 (D8) assume que o fluxo se dirige somente para uma das células adjacentes utilizando passos descendentes. Maiores detalhes sobre o algoritmo D8 podem ser obtidas em O'Callaghan e Mark (1984).

Já o algoritmo de fluxo em múltiplas direções também conhecido como *Multiple Flow Direction* (MFD) assume que o fluxo ocorre e todas as células adjacentes a partir de um dado ponto desde que tenham elevações menores que o pixel de origem. Freeman (1991) apresenta e discute o algoritmo MFD mas detalhadamente.

A área de fluxo acumulado é uma grade regular hidrológica que é obtida pela soma da área das células que convergem para uma dada célula. A matriz resultante permite a identificação de locais com maior possibilidade de acúmulo de água.

A escolha dos parâmetros e índices morfométricos a serem avaliados nas sub-bacias foi baseada na proposta de Bitar et al. (2014) o qual sugere a utilização cinco parâmetros que podem influenciar na suscetibilidade a inundações, apresentados na Tabela 3.3.

Tabela 3.3: Parâmetros e índices morfométricos selecionados, contendo o modo de cálculo e influência possível acerca da suscetibilidade a inundações. Fonte: Modificado de Bitar et al. (2014).

<b>Parâmetro/ índice</b>	<b>Método de cálculo</b>	<b>Influência</b>
Área de contribuição (Ac)	Extração automática em SIG	Associa-se ao volume de água que atinge o rio principal. Quanto maior Ac, maior tende a ser a suscetibilidade
Relação de relevo (Rr)	Relação entre amplitude ( $\Delta a$ ) e comprimento do rio principal da sub-bacia (L); $Rr = \Delta a/L$	Indica velocidade de escoamento. Quanto maior Rr, mais rápido tende a ser o fluxo, reduzindo o acúmulo de água na sub-bacia
Densidade de drenagem (Dd)	Relação entre comprimento da drenagem (C) c/ área da sub-bacia (A); $Dd = C/A$	Quanto maior Dd, menor é infiltração de água no solo e maior tende a ser a velocidade com que a água atinge o rio
Índice de circularidade (Ic)	Relação entre a área da sub-bacia (A) e a área de um círculo de mesmo perímetro (Ac); $Ic = A/Ac$	Quanto maior é o Ic, maior tende a ser a retenção de água na sub-bacia, reduzindo a velocidade de chegada da água no rio
Índice de sinuosidade (Is)	Relação entre o comprimento do canal principal (L) com a distância euclidiana entre os extremos do canal (dv); $Is = L/dv$	Quanto maior o Is, menor tende a ser a velocidade do escoamento e chegada da água no rio

Para a delimitação das sub-bacias foi utilizada a ferramenta de delimitação de bacias hidrográficas do TerraHidro utilizando como base o MNTHC e o fluxo acumulado MDF. Pinheiro (2007 apud BITAR et al., 2014) recomenda a utilização de bacias hidrográficas como unidades de avaliação de potencial de ocorrência de fenômenos hidrológicos extremos visto que uma inundação é o resultado de vários fatores que interferem na formação dos escoamentos e em sua propagação ao longo da bacia hidrográfica de contribuição. A Figura 3.9 mostra os procedimentos e programas utilizados para o cálculo das variáveis hidrológicas.

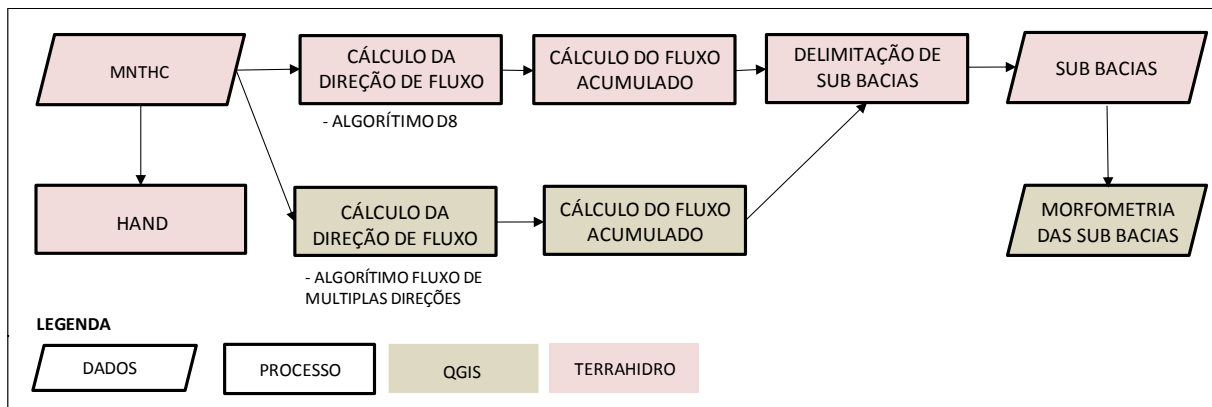


Figura 3.9: Processo realizado para o cálculo das variáveis hidrológicas.

O modelo HAND foi elaborado por um grupo de pesquisa do INPE e consiste em uma versão de um modelo digital de terreno (MDT) normalizado pela rede de drenagem (MOMO et al., 2015).

A altura vertical à drenagem mais próxima está indiretamente relacionada com a profundidade do nível freático, sendo que os maiores valores de distância vertical indicam regiões bem drenadas enquanto os baixos valores mostram áreas que estão próximas ao nível freático (NOBRE et al., 2011).

O modelo HAND estava sendo aplicado preliminarmente para a previsão de áreas potenciais de inundação sendo posteriormente avaliado quanto a sua capacidade para mapeamentos de áreas de risco hidrológico (MOMO et al., 2015). Bitar et al. (2014) apresenta uma proposta metodológica que utiliza o HAND, em conjunto com a análise morfométrica das bacias hidrográficas, para avaliar a suscetibilidade a inundação e alagamentos de uma área. A metodologia consiste no fatiamento do HAND baseado nas condições geomorfológicas e pedológicas dos terrenos, nos quais são atribuídas as seguintes classes: Alta para a planície aluvial atual; Média do início do baixo terraço até o início do alto terraço; e Baixa a partir do início do alto terraço.

Para gerar o modelo HAND utilizou a extensão de modelagem hidrológica TerraViewHidro 0.4.3 utilizando como dados de entrada o MNT, a direção de fluxo e a rede de drenagem. Maiores detalhes da metodologia podem ser obtidos em Rennó et al. (2008).

O potencial de recarga foi estimado utilizando a metodologia proposta por Gonçalves (2007), resumida na Figura 3.10, que utiliza o uso e cobertura do solo, grupo de solos hidrológicos, declividade e pluviometria média anual para calcular potencial de recarga, A partir do uso e cobertura e do grupo de solos hidrológicos é calculado o potencial máximo de retenção após o escoamento superficial iniciar ( $S$ ) utilizando o método racional (SCS 1985). Em seguida o  $S$  é dividido pela pluviometria média anual para gerar a disponibilidade hídrica

(DH). A DH é multiplicada pela declividade reclassificada para gerar o potencial de recarga (PR).

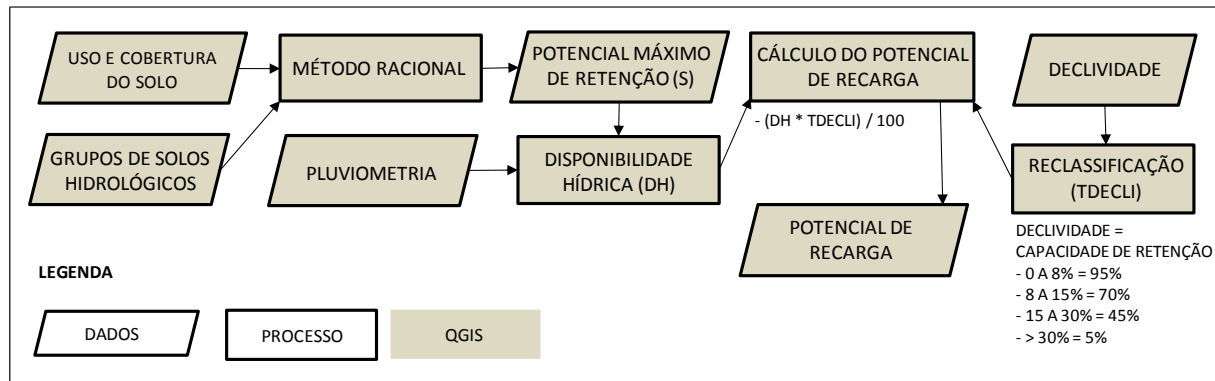


Figura 3.10: Processo realizado para o cálculo do potencial de recarga.

### 3.2.4.INTERPRETAÇÃO DE PRODUTOS DE SENSORIAMENTO REMOTO

A fotointerpretação segue a metodologia proposta por Soares e Fiori (1976) em que são identificadas feições lineares como quebras de relevo positiva ou negativa, lineações em feixe ou em série, limites de zonas foto litológicas, elementos indicativos de estruturas geológicas, forma de relevo e padrões de drenagem. Com base nas feições identificadas, são delimitadas as zonas homólogas e possíveis associações entre as feições identificadas e estruturas relacionadas com o substrato rochoso.

A densidade dos elementos de drenagem foi analisada visando estimar a permeabilidade (intergranular) e a relação entre o escoamento superficial e infiltrabilidade dos materiais de superfície. Quanto as formas de relevo foram observadas as formas de topo, e dos vales, declividade, curvatura das vertentes e amplitude local as quais permitem estimar a profundidade do topo rochoso, a espessura dos materiais inconsolidados e o potencial a erosão e movimentos gravitacionais de massa.

A análise das feições lineares e padrões de drenagem foram observados com o intuito de estimar a orientação das camadas, grau de fraturamento e de heterogeneidade dos materiais. Outros aspectos como textura e coloração das imagens foram utilizados para a identificação de solos expostos, afloramentos e blocos de rocha e presença de nível de água (NA). Todas essas interpretações seguiram as orientações apresentadas por Soares e Fiori (1976) e Zaine (2011).

A ferramenta de visualização 3D do SPRING foi utilizada para sobrepor as imagens de sensoriamento remoto nos modelos numéricos de terreno, facilitando bastante a identificação de feições como quebras de relevo. A imagens de relevo sombreado geradas a partir dos MNT também foram utilizadas para a identificação de possíveis estruturas geológicas.



Para a média escala foram utilizadas imagens Rapid Eye e LANDSAT 8 sobrepostas ao MNT com resolução espacial de 5 (cinco) metros. Na escala de semidetalhe e detalhe foram utilizadas as ortofotos nas escalas de 1:1.000 e 1:500 com resoluções espaciais de 1 (um) metro e 20 (vinte) centímetros respectivamente, ambas sobrepostas a o MNT com resolução espacial de 5 (cinco) e 1 (um) metro respectivamente.

### 3.2.5.COMPARTIMENTAÇÃO FISIAGRÁFICA

A compartimentação fisiográfica foi elaborada a partir das zonas homólogas delimitadas pela fotointerpretação dos produtos de sensoriamento remoto. Os perfis topográficos foram traçados para avaliação da forma dos vales e das vertentes e do cálculo dos valores médios de amplitude de relevo, ou seja, a diferença entre os valores máximos dos topos (representados pelos divisores de água) e os valores mínimos nos vales mais expressivos. As densidades de drenagem utilizadas foram as calculadas tanto para as sub-bacias quanto para as zonas homólogas medindo-se o comprimento dos canais e dividindo pela área dos polígonos. A amplitude de relevo e a densidade de drenagem auxiliaram na segmentação e agrupamento de zonas homólogas. Ambos os planos de informação foram reclassificados utilizando os intervalos apresentados na Tabela 3.4.

Tabela 3.4: Classes atribuídas durante a reclassificação da amplitude de relevo e da densidade de drenagem.

Amplitude de Relevo Modificado de Dearman (1991)		Densidade de Drenagem Villela e Mattos, (1975)	
Muito Baixa	Até 5 metros	Sem drenagens em superfície	Muito pobre
Baixa	Até 15 metros	$\leq 0,5 \text{ km} / \text{km}^2$	Pobre
Moderada	Até 30 metros	$0,5 \text{ km} / \text{km}^2$ a $1,5 \text{ km} / \text{km}^2$	Regular
Alta	Até 75 metros	$1,5 \text{ km} / \text{km}^2$ a $2,5 \text{ km} / \text{km}^2$	Boa
Muito Alta	Até 150 metros	$2,5 \text{ km} / \text{km}^2$ a $3,5 \text{ km} / \text{km}^2$	Muito boa
Extremamente Alta	Maior que 300 metros	$\geq 3,5 \text{ km} / \text{km}^2$	Bem drenadas

Em seguida realizou-se o cruzamento entre as zonas homólogas e planos de informações temáticos de geologia, geomorfologia, pedologia e declividade com objetivo de avaliar quais as características do meio físico esperadas para essas zonas. O resultado desse cruzamento entre os planos de informação temáticos permitiu a subdivisão das zonas homólogas em unidades de mapeamento, que foram utilizadas no planejamento dos levantamentos de campo. Tanto os limites quanto as características das unidades de mapeamento foram confirmadas com levantamentos de campo.

Outras informações obtidas pelos levantamentos de campo e pela fotointerpretação, como cicatrizes ou locais de ocorrência de fenômenos geodinâmicos (movimentos de massa, erosões) e intervenções antrópicas por exemplo, também foram associadas as unidades de mapeamento e posteriormente as unidades de terreno.

### 3.2.6. ELABORAÇÃO DO MODELO CONCEITUAL

Apesar dos modelos conceituais não necessitarem de estarem localizados espacialmente ou temporalmente (PARRY et. al., 2014), optou-se por utilizar os limites das unidades de mapeamento e elaborar um modelo conceitual para cada uma das unidades. Neste trabalho, o modelo conceitual é um plano de informação do tipo cadastral, em que cada coluna contém uma informação acerca de uma temática (Tabela 3.5), obtido a partir da confirmação das unidades de mapeamento com trabalhos de campo.

A partir do plano de informação de pedologia foi possível identificar os tipos de solos, texturas e espessuras de solos. O PI de geologia forneceu os principais litotipos e estruturas do substrato rochoso de cada unidade. Como os dois temas supracitados apresentam uma relação com a hidrogeologia foi possível obter informações acerca do comportamento das águas subterrâneas (aquíferos porosos e fraturados) das unidades delimitadas. Informações acerca da morfometria, como forma de relevo, amplitude altimétrica, declividade predominante, e de variáveis hidrológicas, como densidade de drenagem, também foram inseridas no PI.

Tabela 3.5: Exemplo de tabela de atributos de um PI cadastral das unidades de mapeamento do modelo conceitual.

Classe	Unidade geológica	Unidade pedológica	Hidrogeologia	
			Poroso	Fraturado
<b>Referências</b>	<b>Freitas-Silva e Campos (1998); Campos et al. (2013)</b>	<b>Embrapa (1978)</b>	<b>Campos e Gonçalves (2015)</b>	<b>Campos e Gonçalves (2015)</b>
FRC_CXs	Formação Ribeirão da Contagem	Cxd16	P4	R3/Q3
FRC_LVAp	Formação Ribeirão da Contagem	Lvd10 Lvd4 Lvd8 Lvd9 Lvd4	P1	R3/Q3
FRC_LVAs	Formação Ribeirão da Contagem	Lvd6 Lvd13 Lvd9 Lvd11	P1	R3/Q3

Para realizar essa sobreposição foi utilizado o QGIS devido a possibilidade de aplicação de transparência em camadas temáticas, facilitando a correlação visual entre os temas com as

unidades de terreno. Posteriormente a correlação foi confirmada com a ferramenta tabulação cruzada no programa SPRING.

### 3.2.7. PLANEJAMENTO DO MAPEAMENTO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

O planejamento foi realizado utilizando o *Google Earth* e o *Street View*, nos quais foram identificados locais de interesse e traçadas rotas utilizando, sempre quando possível, vias de acesso preexistentes visando otimizar os levantamentos e cobrir a maior área possível. A escolha dos pontos a serem observados para caracterização da área de estudo não foi feita de forma aleatória, e sim baseado no método de amostragem racional visto que os locais selecionados seriam os mais representativos da área a ser estudada. Todavia também foram observados locais seguindo uma amostragem acidental a medida que locais de interesse, não identificados durante o planejamento, foram identificados no campo.

Os locais considerados como de interesse para pesquisa foram cortes de estrada, escavações irregulares e locais de extração de solo para implementação de obras civis (caixas de empréstimo), fenômenos geodinâmicos (erosões e cicatrizes de movimentos de massa), afloramentos e blocos de rocha nas vias de acesso ou no entorno.

De maneira geral, os pontos observados apresentam informações locais (coordenadas geográficas), data, tipo de ponto de interesse, descrição dos perfis de solo e afloramentos rochosos. Nos perfis de solo buscou-se identificar os tipos de solo, textura, estrutura, coloração e nos afloramentos rochosos, o litotipo, a unidade geológica correspondente, grau de alteração, fraturamento, coerência, presença de estruturas (acamamento, fraturamento, dobras, etc.) e quando possível, informações sobre o tipo e espessura de preenchimento, espaçamento e abertura das fraturas. Os dados levantados em campo foram organizados em planilhas Excel contendo as informações observadas em campo (Tabela 3.6).

Tabela 3.6: Exemplo de planilha com a organização dos dados levantados em campo.

Ponto	Coordenada Leste	Coordenada Norte	Elevação (m)	Data	Unidade Pedológica	Espessura do perfil (m)	Textura
P07	193202	8260385	1031	04/10/2017	Cambissolo	3,5	Argilo-arenosa
P08	193274	8260495	1034	04/10/2017	Cambissolo	1,5	Arenosa

Ponto	Tipo	Litotipo	Sigla	Descoloração	Estruturas	Alteração
P07	Afloramento	Ardósia	MNPpart	Completa	Acamamento	Muito alterada
P08	Afloramento	Quartzito	MNPpasmn	Parcial	Acamamento	Moderada

Quanto ao número de observações, foi definido inicialmente uma densidade de 1 (uma) observação por quilômetro quadrado para a escala média, 5 (cinco) observações por quilômetro quadrado para a escala de semidetalhe, semelhante a proposta de Moraes et al. (2015) e 10 (dez) observações por quilômetro quadrado para a escala de detalhe.

### **3.2.8. PLANEJAMENTO DOS LEVANTAMENTOS DE DADOS GEOFÍSICOS**

A aquisição dos dados geofísicos foi restrita a etapa e a área de mapeamento de detalhe visando orientar a terceira etapa de investigações diretas e avaliar o comportamento em subsuperfície e a transição entre as unidades de terreno definidas durante a compartimentação.

Os critérios utilizados para a escolha dos locais em que foram realizados os levantamentos geofísicos foram: locais passíveis de ocorrência de contraste de eletrorresistividade; possibilidade de identificação de nível freático; e proximidade da malha viária, preferencialmente, vias com pouco tráfego de veículos, para facilitar o levantamento. Foram coletadas as coordenadas geográficas de cada eletrodo para auxiliar nos processos de interpolação dos resultados obtidos.

O arranjo do método de eletrorresistividade foi escolhido visando atingir uma profundidade maior que as espessuras médias dos solos da área e identificar o NA caso estivesse presente. O arranjo utilizado foi o Dipolo-Dipolo com um espaçamento entre eletrodos de 8 (oito) metros e comprimento do perfil de 280 (duzentos e oitenta) metros. Em áreas de terrenos secos, o solo em torno dos eletrodos foi umedecido para melhorar o contato.

### **3.2.9. PROCESSAMENTO E INTERPRETAÇÃO DE DADOS GEOFÍSICOS**

Os resultados dos levantamentos de eletrorresistividade foram importados utilizando o programa PROSYS II. No mesmo programa foi inserida as informações topográficas das seções geoelétricas levantadas (Figura 3.11), que é utilizada para ajustar a malha de elementos finitos ou diferenças finitas na superfície, utilizado no processo de inversão. As elevações dos eletrodos foram obtidas com o uso da ferramenta de amostragem de pontos do programa Quantum GIS, que extrai os valores de um MNT e insere em um plano cadastral de pontos.

O programa RES2DINV foi utilizado para o pré-processamento, interpolação e interpretação dos dados coletados na prospecção geofísica 2D. O processo de inversão utilizado pelo programa é baseado no método dos mínimos quadrados envolvendo o método dos elementos finitos ou diferenças finitas. Na etapa de pré-processamento são retirados os pontos que possam ser erros de medidas, caso seja necessário (Figura 3.12).

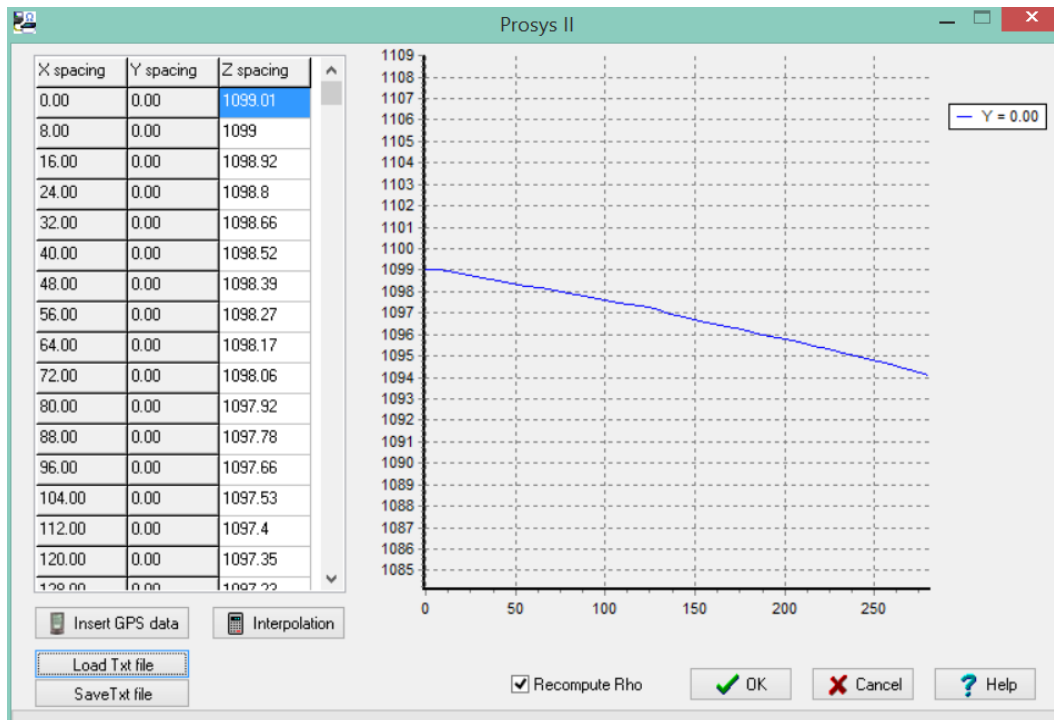


Figura 3.11: Janela de inserção das elevações obtidas a partir do MNT.

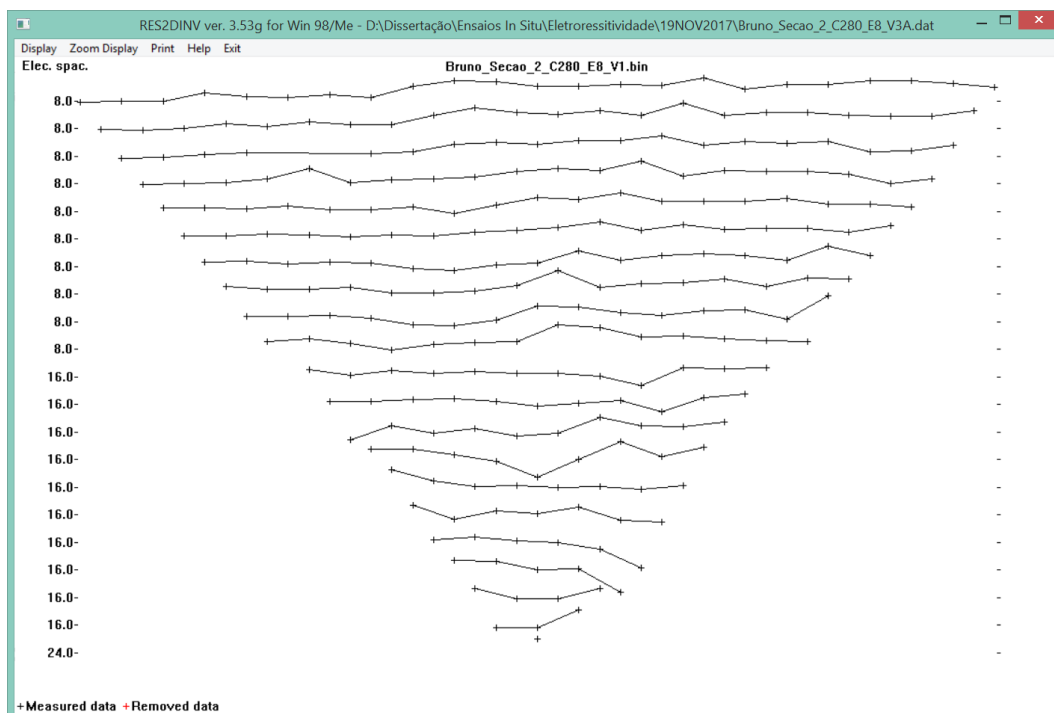


Figura 3.12: Janela do programa RES2DINV para retirada dos pontos com medidas anômalas.

No processo de interpolação foi utilizado o método das diferenças finitas, com a maior refinamento de malha permitido, utilizando um método robusto de inversão. O método robusto de restrição do modelo é recomendado quando a resistividade não varia de maneira suave em subsuperfície. Devido ao arranjo escolhido foi selecionado um modelo estendido para reduzir os efeitos de borda da inversão.

### **3.2.10. PLANEJAMENTO E INTERPRETAÇÃO DAS INVESTIGAÇÕES DIRETAS**

As investigações diretas foram realizadas em 3 (três) etapas, sendo a primeira de caráter exploratório tendo como base as unidades de mapeamento delimitadas na escala média. Nesta etapa realizou-se pelo menos 1 (uma) investigação para cada agrupamento de unidades de mapeamento, em locais representativos da unidade e preferencialmente inserida na área de semidetalhe. Para este nível de detalhamento foi definida uma densidade inicial de 1 (uma) investigação e observação por quilômetro quadrado.

A segunda etapa de investigações, restrita a área de semidetalhe, visa auxiliar no refinamento dos limites das unidades de mapeamento delimitadas no mapeamento de média escala. Realizou-se pelo menos 3 (três) investigações para cada agrupamento de unidades de mapeamento, preferencialmente inseridas na área de detalhe, mantendo uma densidade inicial de 5 (cinco) investigações por quilômetro quadrado para este nível de detalhamento.

A terceira etapa de investigações consistiu na caracterização das unidades delimitadas no mapeamento de detalhe, refinadas a partir das unidades de mapeamento de semidetalhe. Realizou-se pelo menos 3 (três) ensaios para cada agrupamento de unidades com uma densidade inicial mínima de 10 (dez) investigações por quilômetro quadrado para este nível de detalhamento. Na escala de detalhe os resultados dos ensaios com o permeâmetro foram utilizados para quantificar a variabilidade espacial da condutividade hidráulica, em profundidades distintas, sendo executados entre 20 (vinte) e 60 (sessenta) centímetros de profundidade.

Os critérios gerais utilizados para a escolha dos locais em que foram realizadas as investigações geotécnicas foram: locais representativos nas unidades de terreno delimitadas; locais com o mínimo de alteração de origem antrópica; proximidade da malha viária, preferencialmente vias com pouco tráfego de veículos; e baixa densidade de ocupação urbana. As coordenadas geográficas e elevação de cada investigação realizada foram inseridas no SIG, no formato de um dado cadastral.

Para o cálculo das condutividades hidráulicas saturadas foram utilizadas as equações 2.4 a 2.6 propostas por Elrick et al. (1989) e Reynolds e Elrick (1985). Os resultados das investigações com o permeâmetro foram analisados para cada agrupamento de unidade de terreno sendo quantificada a variabilidade da condutividade hidráulica saturada e a relação da mesma com outras variáveis como, a distância euclidiana da drenagem mais próxima, altura vertical da drenagem mais próxima e a distância da quebra de relevo mais próxima. Também foi avaliada a existência de uma relação entre o volume necessário para estabilizar a vazão no

furo e a chuva acumulada de 24 e 48 horas antes da realização do ensaio, utilizando dados da estação Brasília A001 (86715) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Esta estação foi escolhida por ser a única que apresentava dados pluviométricos no período de execução dos ensaios. Como os ensaios foram em locais diferentes, essa avaliação foi realizada para cada classe de solo.

Os resultados dos ensaios foram reclassificados segundo a proposta apresentada por Terzagui e Peck (1967 apud SANTOS, 2005) como mostra a Tabela 3.7. Os perfis de solo observados durante a abertura dos furos para a execução dos ensaios com o permeâmetro foram descritos táctil visualmente.

Tabela 3.7: Faixas de condutividade hidráulica saturada (cm/s) e suas respectivas classe de permeabilidade.

Condutividade hidráulica saturada (cm/s)	Classe de permeabilidade
$10^9$ a 1	Muito alta
1 a $10^{-1}$	Alta
$10^{-1}$ a $10^{-3}$	Média
$10^{-3}$ a $10^{-5}$	Baixa
$10^{-5}$ a $10^{-7}$	Muito baixa
Menor que $10^{-7}$	Praticamente impermeável

### 3.2.11. ELABORAÇÃO DO MODELO OBSERVACIONAL

Com base no modelo conceitual elaborado inicialmente e dos resultados dos levantamentos geofísicas, das investigações e do mapeamento geológico-geotécnico, foi elaborado o modelo observacional, que foi utilizado na atualização das unidades de mapeamento para as unidades de terreno.

Para cada escala de mapeamento foram utilizadas as informações preexistentes e os resultados das investigações realizadas. Na escala média foram utilizados os resultados das fases de reconhecimento e das investigações com o permeâmetro para obtenção da ordem de grandeza dos valores da condutividade hidráulica. Na escala de semidetalhe os resultados dos ensaios com o permeâmetro foram utilizados para avaliar a variabilidade espacial da condutividade hidráulica. Na escala de detalhe os resultados dos ensaios com o permeâmetro foram utilizados para avaliar a variabilidade espacial e em relação a profundidade, da condutividade hidráulica saturada nas unidades de terreno e os resultados dos levantamentos geofísicos foram utilizados para avaliar o substrato rochoso em subsuperfície, a presença ou não do nível de água e a transição entre as unidades de terreno.

As informações obtidas acerca da permeabilidade e infiltrabilidade das camadas superficiais dos solos obtidas utilizando o permeâmetro Guelph, da profundidade do nível de água (caso observada) e espessuras de solos estimados a partir dos resultados dos levantamentos geofísicos além das informações obtidas durante mapeamento geológico geotécnico foram inseridas na tabela de atributos do dado cadastral da unidade de terreno. Os resultados de investigações preexistentes, como boletins de sondagens e ensaios de laboratório, também foram considerados durante a atualização do modelo conceitual.

Localização e descrição dos fenômenos geodinâmicos externos, como erosões, movimentos gravitacionais de massa e atividades antrópicas, como área utilizadas como caixa de empréstimo de material e escavações irregulares também foram inseridos no PI das unidades de terreno. Foram realizadas tabulações cruzadas entre as feições supracitadas e as unidades de terreno para a quantificação da área afetada dentro das unidades, posteriormente normalizadas pelas suas respectivas áreas, sendo estes dados inseridos no plano de informação cadastral.

### 3.2.12. AVALIAÇÃO DAS UNIDADES DE TERRENO PARA O PLANEJAMENTO URBANO

#### Suscetibilidade a fenômenos geodinâmicos

A suscetibilidade a erosão foi obtida a partir da reclassificação dos PIs de solos e declividade em graus de erodibilidade, apresentados nas Tabela 3.8 e 3.9, que posteriormente foram cruzados para obter a suscetibilidade a erosão laminar (SEL) cujas classes são apresentadas na Tabela 3.9. Em seguida esse resultado foi cruzado com o PI de fluxo acumulado visto que um maior valor de FA indica um acúmulo do escoamento superficial, fator que pode deflagrar processos erosivos.

Tabela 3.8: Grau de erodibilidade em função dos tipos de solos. Retirado de Silva e Oliveira (2015).

Grau de Erodibilidade	Unidades Pedológicas
I - Muito Fraco	Latossolo Roxo, Latossolo Vermelho Escuro e Vermelho Amarelo de Textura Argilosa, Solos Hidromórficos em Relevo Plano, Gleissolos. Planossolos, Organossolos, Neossolos Quartzarênico em Relevo Plano.
II - Fraco	Latossolo Amarelo e Vermelho Amarelo de Textura Média Argilosa; Terra Roxa Estruturada; Latossolo Vermelho Escuro.
III - Médio	Argissolos Vermelho Amarelo e Argissolo Vermelho Escuro, Textura Argilosa, Latossolo Vermelho Amarelo, Textura Argilosa e Média, Latossolo Vermelho Amarelo, Terra Bruna.
IV - Forte	Argissolo Vermelho Amarelo não abruptico, textura média - argilosa e média; Cambissolos; Argissolos Vermelho Amarelo de textura médio-arenosa. Plintossolos.
V - Muito Forte	Cambissolos, Neossolos Litólicos. Argissolos Vermelho Amarelo e Vermelho escuro abrupticos, textura arenosa-média; Neossolos Quartzarênicos em relevos suave-ondulado e ondulado.

Tabela 3.9: Critério adotado na definição classes de suscetibilidade a erosão laminar (SEL). Retirado de Silva e Oliveira (2015).



		Declividade (%)				
		Menor que 3	Entre 3 e 8	Entre 8 e 20	Entre 20 e 45	Maior que 45
Erodibilidade	I	I	I	I	II	II
	II	I	I	II	II	III
	III	I	II	II	III	IV
	IV	II	II	III	IV	V
	V	II	III	IV	V	V

A infiltração em áreas que exibem elevados valores de fluxo acumulado em um solo que apresente um horizonte iluvial, pode ocasionar um fluxo sobre este horizonte que ao atingir solos mais susceptíveis a erosão em áreas próximas a quebras de relevo pode deflagrar um processo de erosão tubular regressiva (piping). Como os valores de FA são maiores próximos as quebras de relevo, optou-se por não inserir a distância de quebra de relevo como um variável por ser considerada indiretamente no PI de fluxo acumulado.

A Tabela 3.10 apresenta o critério adotado para a definição das classes de suscetibilidade que varia de I a V em que I significa uma suscetibilidade muito baixa e V uma suscetibilidade muito alta.

As faixas definidas para o fatiamento do fluxo acumulado (FA) foram definidas com base na avaliação da distribuição do FA na área de estudo, assim como feito por Rocha (2009). O FA correspondente ao limite da primeira classe é o valor mínimo necessário para se formar os canais de menor ordem. As classes I e II do fluxo acumulado não possuem muita influência em área que apresentam SEL igual ou superior a IV pois normalmente são áreas com declividades elevadas nas quais o fluxo não tende a acumular.

Tabela 3.10: Critério adotado na definição classes de suscetibilidade a erosão.

		Fluxo Acumulado (ha)				
		Menor que 2,5	Entre 2,5 e 5	Entre 5 e 10	Entre 10 e 15	Maior que 15
SEL	I	I	II	III	IV	V
	II	II	I	II	III	IV
	III	III	II	III	IV	V
	IV	IV	III	IV	V	V
	V	V	IV	V	V	V
	V	V	V	V	V	V

A suscetibilidade a escorregamentos rasos foi obtida a partir do programa RiskLab mediante o emprego de um modelo preditivo para escorregamentos induzidos por chuvas, denominado SLIDE (LIAO et al., 2010 apud AZEVEDO, 2015), devidamente alterado pela aplicação do método probabilístico FOSM (*First Order Second Moment*). Os parâmetros necessários foram compilados por Silva Junior et al.(2016), sendo posteriormente apresentados na Tabela 5.10.

Para a avaliação do potencial de ocorrência de fluxo de detritos foi utilizada a proposta do CPRM (2018) em que as vertentes que possuam bacias de contribuição maiores ou igual a um hectare e declividade mínima de 17% na linha de talvegue são passíveis de ocorrência de fluxo de detritos. Para o cálculo das bacias de contribuição foi utilizada a ferramenta de delimitação de bacias hidrográficas do TerraHidro utilizando como exutório os pontos localizados nos locais em que ocorre a abertura das vertentes (no início das zonas de espraiamento) e cujas vertentes possuam curvatura horizontal ( $k_h$ ) maior que zero. Na vertente em que os critérios supracitados são atendidos, considera-se uma vertente altamente suscetível, caso atenda somente aos dois primeiros critérios considera-se uma vertente com suscetibilidade média e nos demais casos atribui-se uma baixa suscetibilidade a vertente. Os resultados foram cruzados com ocorrências observadas na área de estudo e inseridos nas unidades de terreno.

A suscetibilidade a inundação foi avaliada utilizando parte da metodologia proposta por Bitar. et al. (2014), somente relacionada a morfometria das bacias, em que o grau de suscetibilidade final é calculado baseado nos parâmetros e índices morfométricos listados na Tabela 3.3. Os parâmetros e índices padronizados são somados ( $Ac + Rr + Dd + Ic + Is$ ) e novamente padronizados, em uma escala de 1 a 3, onde 1 = baixa suscetibilidade, 2 = média suscetibilidade e 3 = alta suscetibilidade a inundações.

### **Aptidão a Urbanização**

A aptidão a urbanização foi avaliada em função das declividades, espessura dos solos, amplitude de relevo, profundidade do lençol freático (quando disponível) e potencial de recarga das unidades de terreno, as quais foram atribuídas as classes alta ou baixa aptidão a urbanização.

Essas classes foram subdivididas em áreas com restrição à ocupação, com controle à ocupação e sem restrição à ocupação.

A alta aptidão a urbanização (ocupação sem restrição) foi definida por declividades inferiores a 15%, solo profundo a muito profundo, elevado potencial de recarga, nível do lençol freático profundo e amplitude de relevo baixa a muito baixa. A baixa aptidão a urbanização (ocupação com restrição) foi definida por declividades superiores a 15%, solo muito raso a moderado, baixo potencial de recarga, nível do lençol freático raso e amplitude de relevo moderada ou maior.

As áreas com restrições à ocupação foram definidas pelas áreas de preservação permanente (APP) de rios de 30 metros em cada margem para cursos d'água de menos de 10m de largura, nascentes de 50 metros e declividades superiores a 100% definidas na Lei nº 12.651/2012 (BRASIL, 2012), declividades superiores a 46% proposto por Cunha (1991), faixa de domínio de 65 metros das DF-001 e DF-005 definido pelo Decreto nº 27.365/2006, pelas

declividades superiores a 30%, salvo se atendidas exigências específicas das autoridades competentes definida pela Lei nº 6.766/1979 (BRASIL, 1979) e pelas zonas com alta suscetibilidade a fenômenos geodinâmicos delimitadas na carta de suscetibilidade.

As áreas com controle à ocupação consideram a Zona de Vida Silvestre delimitada no zoneamento da APA do Lago Paranoá pelo Decreto nº 33.537/2012 e pelo baixo potencial de recarga. As áreas sem restrição à ocupação não apresentam nenhuma das restrições supracitadas.

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

Neste tópico será apresentada a caracterização da área de estudo quanto aos aspectos relevantes do meio físico no contexto regional e local.

### **4.1. GEOLOGIA**

O conhecimento dos aspectos litológicos, estratigráficos e estruturais provenientes da história de evolução geológica de uma região são essenciais para a compreensão do meio físico de uma determinada área.

O substrato geológico pode exercer influência em aspectos geomorfológicos, pedológicos, disponibilidade e distribuição das águas superficiais e subterrâneas, entre outros fatores, tanto em escala regional quanto local. Muitas feições de caráter local estão relacionadas a processos geológicos que ocorreram em escala regional.

O Distrito Federal está situado na Zona Externa da Faixa Brasília, cujas principais unidades litoestratigráficas que afloram são o Grupo Paranoá, Canastra, Araxá e Bambuí (FREITAS-SILVA e CAMPOS, 1998). A Faixa Brasília, por sua vez, situa-se na porção oriental da Província Tocantins na borda oeste do Cráton São Francisco sendo caracterizada por associações de rochas metassedimentares e metavulcanossedimentares, deformadas em regime progressivo, com desenvolvimento de sistemas de dobras, empurrões e imbricamentos com vergência para o Cráton São Francisco (BIZZI et al., 2003).

Na região do Domo de Brasília, local em que a área de estudo está inserida, afloram as unidades do Grupo Paranoá devido aos grandes cavalgamentos regionais que permitiram a sobreposição de unidades que se encontram abaixo na coluna estratigráfica, mas que são identificadas em superfície como é o caso do Sistema de Cavalcamento Paranã e a sobreposição do Grupo Paranoá sobre o Grupo Bambuí.

O Grupo Paranoá corresponde a uma sucessão psamo-pelito-carbonatada depositada em condições plataformais que foi afetado por metamorfismo de baixo grau, preservando as estruturas sedimentares originais (FREITAS-SILVA e CAMPOS, 1998). Faria (1995) propõe uma coluna estratigrafia na qual as unidades litoestratigráficas são denominadas informalmente por códigos da base para o topo (Figura 4.1), posteriormente formalizadas por Campos et al. (2013) com o agrupamento das unidades em formações (Figura 4.2).

A deformação do Grupo foi controlada principalmente pelos sistemas de cavalgamentos Paranã e Rio Maranhão que resultou na formação de monoclinais, diferentes estilos de dobras e interferência de dobramentos formando domos e bacias estruturais (CAMPOS et al., 2013).

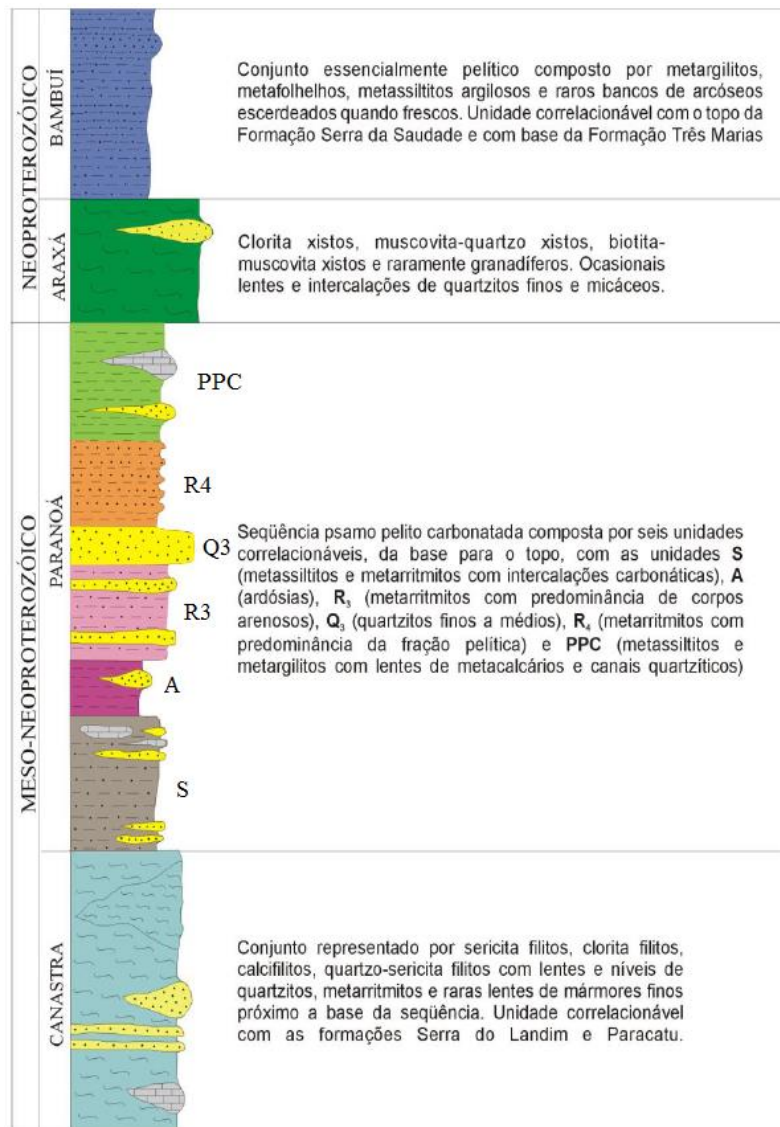
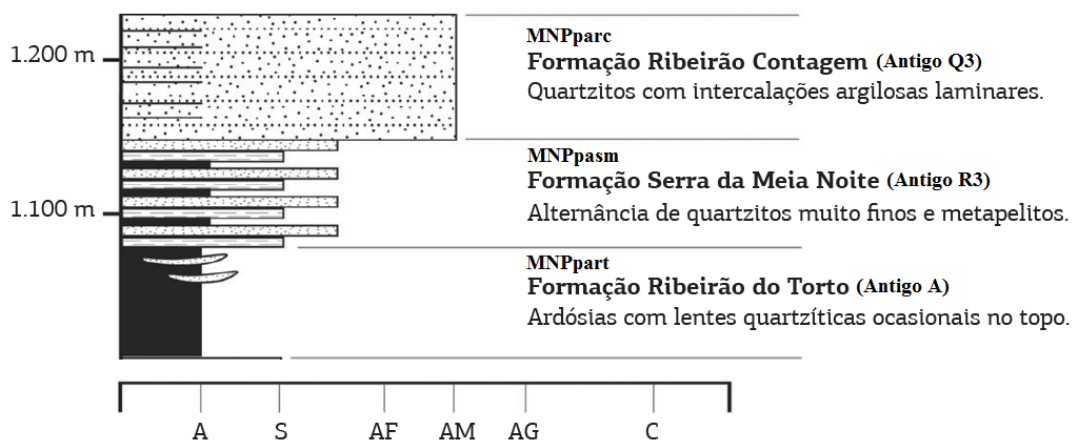


Figura 4.1: Coluna estratigráfica com breve descrição litológica das unidades presentes na região do Distrito Federal. Fonte: Modificado de Freitas-Silva e Campos (1998).



A: Argila; S: Silte; AF: Areia Fina; AM: Areia Média; AG: Areia Grossa; C: Cascalho.

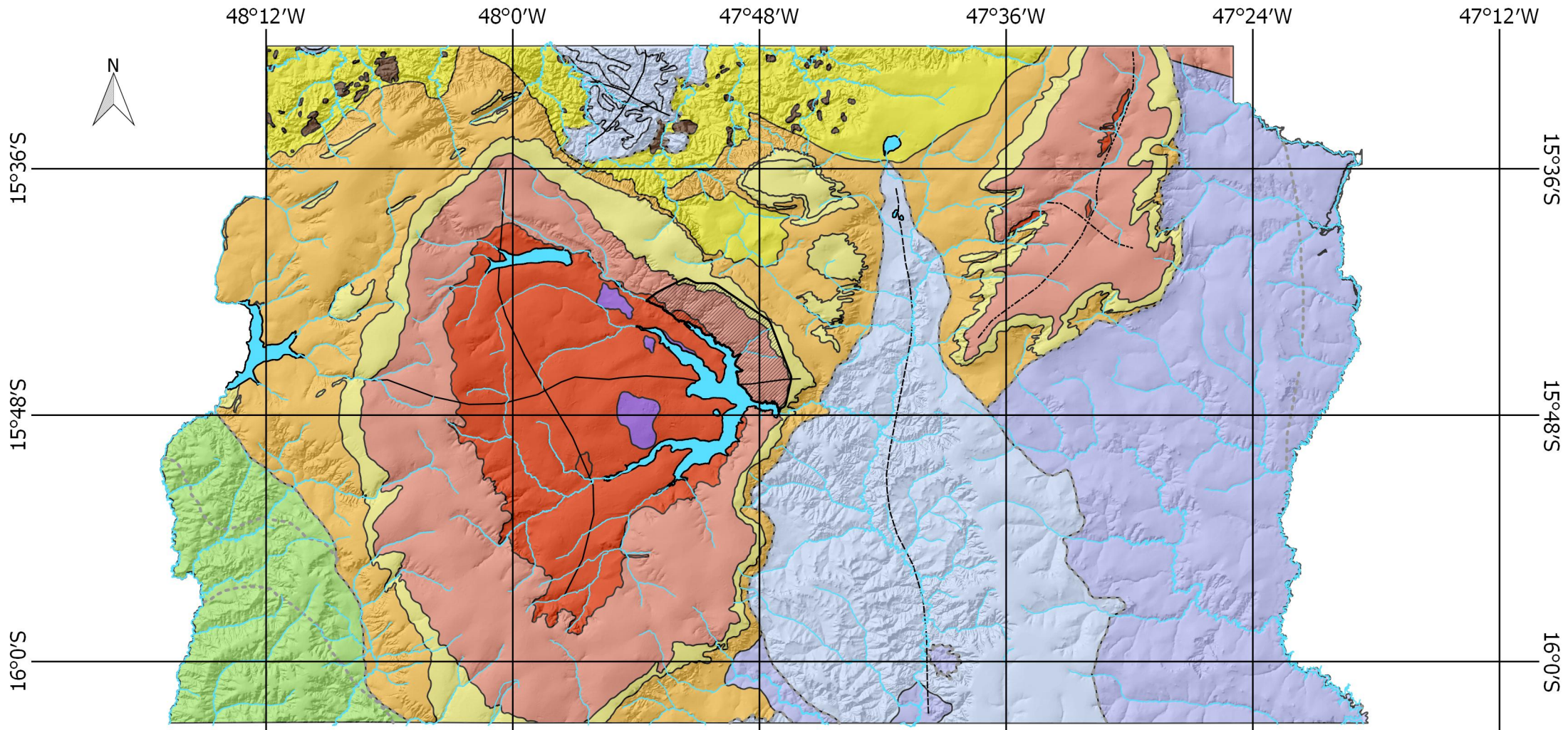
Figura 4.2: Trecho da coluna estratigráfica do Grupo Paranoá na área-tipo de Alto Paraíso de Goiás/Distrito Federal mostrando as formações que ocorrem na área de estudo. Fonte: Modificado de Campos et al. (2013).

As dobras apresentam amplitudes e comprimentos de onda da ordem de centenas de quilômetros a centímetros com duplo caimento de eixo, definidos pela sobreposição de eventos deformacionais de direção NE-SW e NW-SE. Dobras com *trend* NE-SW são geralmente assimétricas com sentido anti-horário, superfície axial mergulhando predominantemente para NW e baixo comprimento de onda enquanto as dobras com *trend* NW-SE são verticais horizontais à sub-horizontais, e geralmente apresentam arqueamentos suaves a abertos na escala de quilômetros (KUMAIRA, 2016). As camadas de metarenitos apresentam dobras abertas a fechadas, enquanto que as camadas de silte-argila apresentam dobras apertadas com menor comprimento de onda (FARIA, 1995; FREITAS-SILVA e CAMPOS, 1998).

Os lineamentos marcados pelas linhas de drenagem e cristas evidenciam um padrão de cisalhamento conjugado N45W e N45E associados à compreensão de oeste para leste. Os lineamentos próximos de NS e EW podem ser interpretados como fraturas de extensão e dilatacionais respectivamente (MARTINS et al., 2004).

Como dito anteriormente a área de estudo está inserida Domo de Brasília, mais especificamente no setor nordeste do domo, em que afloram rochas das formações Ribeirão Contagem (MNPparc), Serra da Meia Noite (MNPpasmn) e Ribeirão do Torto (MNPpart) pertencentes ao Grupo Paranoá (Figura 4.3). A Formação Ribeirão Contagem (MNPparc) sustenta as áreas de chapadas elevadas do Distrito Federal, as quais são comumente recobertas por solos espessos. A MNPparc é formada por quartzitos finos a médios, brancos ou cinza claro (cinza escuro quando frescos), de granulação média a fina, constituídos essencialmente de quartzo e sericita, localmente granulometria grossa e conglomerática (MARTINS et al., 2004; CAMPOS et al., 2013). Os grãos são bem selecionados, maduros mineralogicamente, normalmente muito silicificados o que confere o aspecto maciço aos afloramentos.

Em locais mais afetados pelo interperismo é possível identificar o acamamento plano-paralelo em bancos decimétricos a métricos (CAMPOS et al., 2013). A espessura estimada desta formação é entre 25 e 70 metros (FREITAS-SILVA e CAMPOS, 1998; MARTINS et al., 2004). Na base e no topo desta formação é comum a ocorrência de lentes de metarritmitos, com espessuras variando de decimétricas até 10 metros (comumente interceptadas por poços tubulares profundos). O contato com a unidade sotoposta ocorre de forma brusca. (MARTINS et al., 2004; CAMPOS et al., 2013). A Formação Serra da Meia Noite (MNPpasmn), identificada nas regiões de transição entre as chapadas e depressão Paranoá é caracterizada por alternâncias de estratos centimétricos a métricos de quartzitos finos a médios com níveis geralmente mais delgados de metassiltitos argilosos, metalamitos siltosos e metalamitos micáceos, o que define um caráter rítmico a unidade (CAMPOS et al, 2013).



**Legenda**

**Estruturas Regionais**

- Sistema de Cavalgamentos
- Dobra Neutra
- Domo
- Sinclinal Canastra

**Neoproterozóico**

- Grupo Bambuí
- Grupo Araxá

**Meso-Neoproterozóico**

- Lentes de calcário
- MNPPacb - Formação Córrego do Barreiro
- MNPPacs - Formação Córrego do Sansão
- MNPParc - Formação Ribeirão Contagem
- MNPPasmn - Formação Serra da Meia Noite
- MNPPart - Formação Ribeirão do Torto
- MNPParp - Formação Ribeirão Piçarrão
- Grupo Canastra

**Convenções Cartográficas**

- Hidrografia
- Lagos e Corpos de Água

**Limites**

- Área de Estudo

Projeção Transversa de Mercator  
Datum: SIRGAS 2000  
Meridiano Central 45° WGr

1:400.000  
10 0 10 Quilômetros

Escala Gráfica  
(Escala Original 1:100.000)

Relevo sombreado com azimute de 315 graus, altura de iluminação de 45 graus e exagero vertical de 5 vezes.

Universidade de Brasília  
Programa de Pós Graduação em Geotecnia  
Autor: Bruno Rodrigues de Oliveira

**Figura 4.3: Mapa de Geológico do Distrito Federal**



A espessura da formação supracitada é estimada entre 90 e 150 metros (FREITAS-SILVA e CAMPOS, 1998; MARTINS et al., 2004). A interestratificação dos diferentes litotipos que compõem os metarritmitos arenosos, que recebem esse nome devido a elevada quantidade de areia, é representada por estratos de 1 a 5 cm de espessura com um padrão granocrescente ascendente (CAMPOS et al., 2013). Camadas de quartzito com coloração branca/ocre, granulação fina a média e espessura variável entre 8 e 20 metros são identificadas no topo e na base da formação e localmente são observadas camadas e lentes de quartzito muito grosso a conglomerático, com seixos de quartzo e quartzito arredondados e esféricos (MARTINS et al., 2004; CAMPOS et al., 2013). A ocorrência de estratos na forma de lentes, o acunhamento lateral dos estratos e padrões de dobramento em Chevron nas direções N70E a EW são feições bastante comuns nesta formação (MARTINS et al., 2004; CAMPOS et al., 2013).

A Formação Ribeirão do Torto (MNPpart) é caracterizada por ardósias homogêneas de cor cinza esverdeada, quando frescas e homogêneas, que adquirem cores avermelhadas características devido a alteração intempérica. Camadas de quartzitos brancos a amarelados ocorrem de forma restrita e são caracterizadas por lentes métricas ou decamétricas geralmente irregulares e maciças (CAMPOS et al., 2013). A espessura da formação é estimada entre 60 e 70 metros (FREITAS-SILVA e CAMPOS, 1998; MARTINS et al., 2004). O contato com a unidade sobreposta ocorre de forma gradual.

## **4.2.PEDOLOGIA**

No Distrito Federal, as classes de solos mais importantes são denominadas de Latossolo Vermelho-Escuro (LV), Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) e Cambissolo (CX) e ocupam cerca de 85% a área do Distrito Federal (Figura 4.4). As demais classes que ocorrem no DF cobrem 9,06% do total, representados por: Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA); Argissolo Vermelho (PVAe); Nitossolo Vermelho (NVe); Neossolos Flúvico (RUe); Solos Hidromórficos (Hi); Plintossolos (FX); Espodossolos (EKg); Neossolo Quartzarênico (RQd). As demais áreas são cobertas por corpos d'água e áreas urbanas. Na área de estudo são observadas as classes de Latossolo Vermelho-Escuro (LV), Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA), Cambissolo (CX), Solos Hidromórficos (Hi) e Neossolos Quartzarênicos (RQ).

Os latossolos representam 54,47% da área, divididos em LV (38,63%) e LVA (15,84%). A classe LV ocorre principalmente nos topos das chapadas, principais divisores com topos planos, na depressão do Paranoá e na bacia do rio Preto enquanto a classe LVA ocorre principalmente nas bordas de chapada e divisores, em superfícies planas abaixo dos topos da



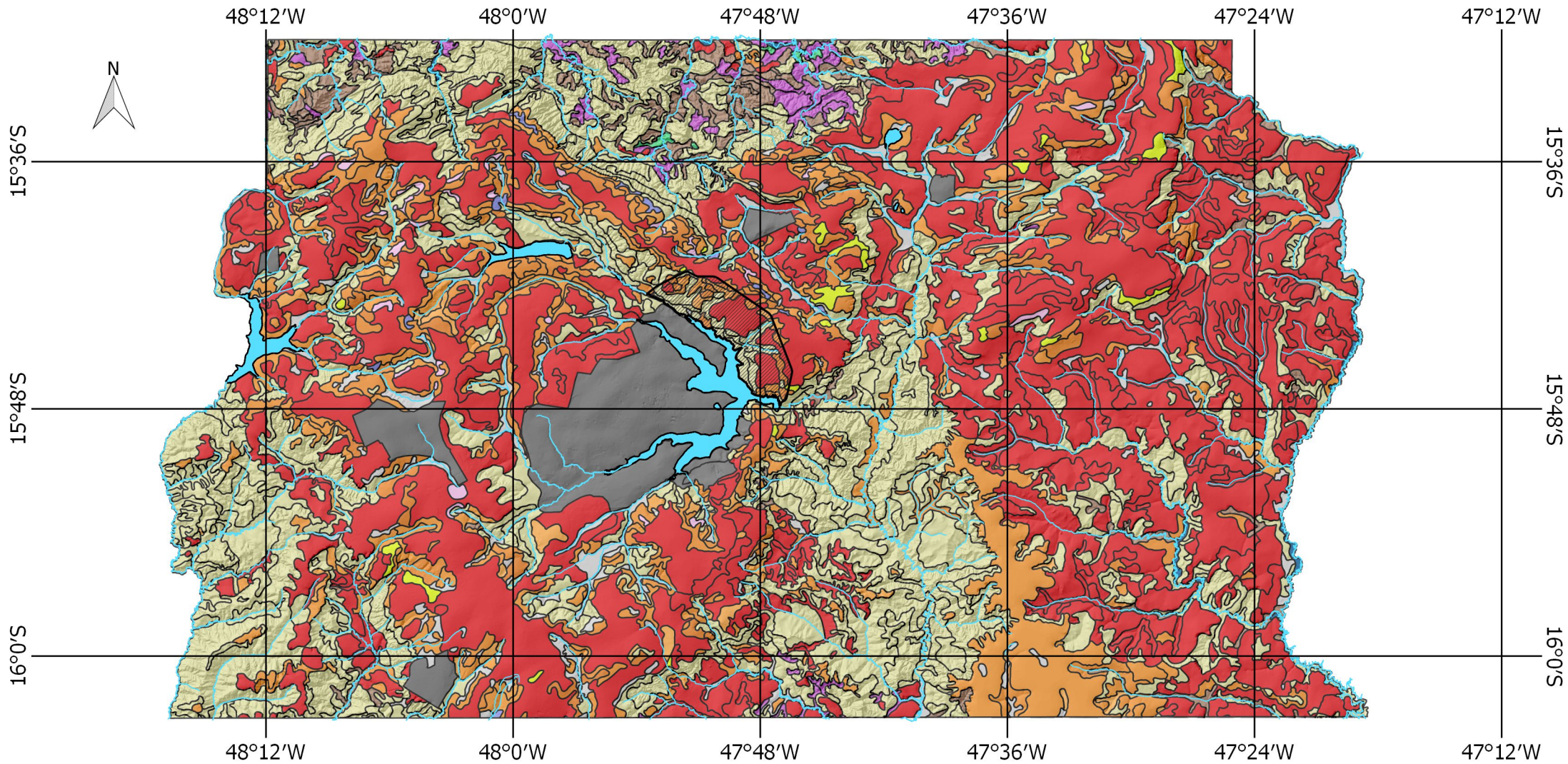
chapada da Contagem, sempre adjacente à classe LV. Os LV e LVA apresentam espessuras entre 2 e 25 metros, com média de 15 metros, e o saprólito destes solos podem alcançar espessuras de até 25 metros (LOUSADA e CAMPOS, 2005).

Os latossolos são solos não hidromórficos, com alta permeabilidade e apresentam teores de silte chegando no máximo a 20%, e argila variando entre 15% e 80% (REATTO et al., 2004). Esses percentuais interferem em outras características como o potencial de drenagem do solo que podem variar de excessivamente drenado (baixos teores de argila) a acidentalmente drenados (solos muito argilosos) (ALMEIDA, 2012). As estruturas predominantes são blocos subangulares (pouco desenvolvidos) ou granulares.

Segundo Ker (1997), ainda que a mineralogia básica da fração argila seja constituída principalmente de caulinita, gibbsita, goethita e hematita, a proporção entre estes componentes é bastante variável. Nos LVA ocorre o predomínio de goethita em relação à hematita, respondendo esta pela coloração amarelada e amarronzada nos solos, cuja formação é favorecida pela dessilicação e concentração de ácidos húmicos pela percolação da água. Nos LV forma-se principalmente a hematita nas partes superiores do relevo, mais quentes e menos úmidas (ALMEIDA, 2012). Delgado (2007) observou-se que estão presentes quartzo, caulinita, gibbsita e hematita nos LV que recobre o topo das chapadas da área de estudo.

Os cambissolos (31,02%) ocorrem preferencialmente nas vertentes das bacias mais importantes dos rios Maranhão, Descoberto e do São Bartolomeu, além das encostas com declividades mais elevadas na depressão do Paranoá e na bacia do rio Preto. Esta classe é constituída por solos pouco desenvolvidos, caracterizados por possuírem horizonte B câmbico, em que alguns minerais primários facilmente intemperizáveis ainda estão presentes. Apresentam teores elevados de silte, com espessuras variando entre 0,2 e 1,0 metros (normalmente menor que 0,7 metros), textura bastante variada com ou sem presença de cascalho e material concrecionário e normalmente associados a relevos mais movimentados (REATTO et al., 2004). O saprólito dos cambissolos podem alcançar espessuras maiores de 15 metros (LOUSADA e CAMPOS, 2005). Delgado (2007) observou-se que estão presentes quartzo, caulinita, gibbsita, Illita, goethita e hematita no saprólito dos cambissolos entre os córregos do Tamanduá e o Taquara.

Os Solos Hidromórficos estão associados a depressões da paisagem sujeitas a inundação. São solos de textura variável, que quando apresentam alto teor de argila são bastante plásticos, mal drenados e frequentemente apresentam espessa camada escura de matéria orgânica sobreposta a uma camada acinzentada resultante da oxirredução (REATTO et al., 2004).



**Legenda**

Pedologia	RQd1	NVe1	LVA2	LVA10	CXd5	CXd14
RUE	RQd2	NVe2	LVA3	LVA11	CXd6	CXd15
MT	PVAe1	NVe3	LVA4	LVA12	CXd7	CXd16
Hi1	PVAe2	LVd1	LVA5	LVA13	CXd8	CXd17
Hi2	PVAe3	LVd2	LVA6	LVA14	CXd9	CXd18
Hi3	PVA1	LVd3	LVA7	CXd1	CXd10	CXd19
Hi4	PVA2	LVd4	LVA8	CXd2	CXd11	Área Urbana
FX	PVA3	LVd5	LVA9	CXd3	CXd12	
EKg	PVA4	LVd6	LVA1	CXd4	CXd13	

**Convenções Cartográficas**

- Hidrografia
- Lagos e Corpos de Água
- Limites
- Área de Estudo
- Projeção Transversa de Mercator
- Datum: SIRGAS 2000
- Meridiano Central 45° WGr
- 1:400.000

10 0 10 Quilômetros

Escala Gráfica  
(Escala Original 1:100.000)

Relevo sombreado com azimute de 315 graus, altura de iluminação de 45 graus e exagero vertical de 5 vezes.

Universidade de Brasília  
Programa de Pós Graduação em Geotecnia  
Autor: Bruno Rodrigues de Oliveira

**Figura 4.4: Mapa Pedológico do Distrito Federal**



### **4.3.GEOMORFOLOGIA**

O ZEE (2011) com base no padrão de relevo, na declividade, no grau de dissecação e na densidade de drenagem foi proposta uma atualização da compartimentação geomorfológica de Novaes Pinto (1994ab) e Martins e Baptista (1999). A partir das propostas anteriores foram propostos cinco compartimentos: Chapada Elevada, Plano Intermediário, Vale Dissecado, Escarpas e Rebordo. A Figura 4.5 apresenta a compartimentação geomorfológica do Distrito Federal proposta por ZEE (2011).

A Chapada Elevada exhibe padrão de relevo plano a suave ondulado com declividades inferiores a 10% e cotas superiores a 1.100 metros. Na região da área de estudo, esta se apresentam cobertas por Latossolos Vermelho e Vermelho-Amarelo, com baixa densidade de drenagem e representa uma importante área de recarga natural.

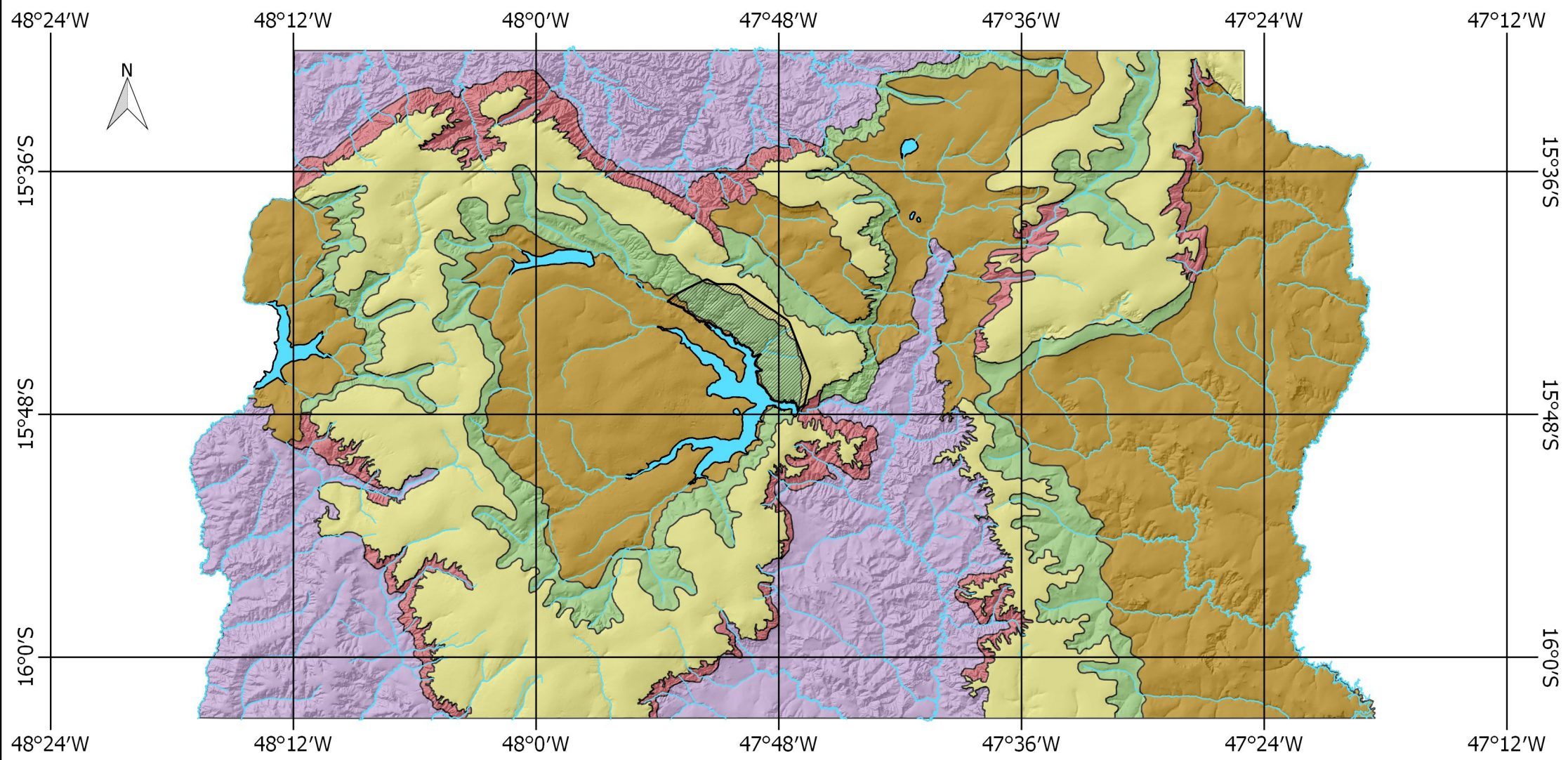
Os Planos Intermediários também representam uma importante área de recarga natural. Caracterizado por um relevo plano a suave ondulado, mas difere do padrão anterior apenas por apresentar declividades menores que 12% e cotas entre 950 e 1.050 metros.

Os Vales Dissecados apresentam um padrão de relevo ondulado a forte ondulado com declividades superiores a 20% e cotas inferiores a 800 metros. São áreas de alta densidade de drenagem e com uma ocorrência predominante de Cambissolos. A rede de drenagem nessa região está condicionada pelo fraturamento ortogonal e pelas zonas de contato entre litologias diferentes (NOVAES PINTO, 1987).

Os Rebordos são relevos do tipo ondulado com declividades entre 10 e 20% e cotas entre 950 e 1.100m. São áreas de media densidade de drenagem, com uma ocorrência predominante de Cambissolos e baixa recarga devido a pequena espessura dos solos.

As Escarpas apresentam padrão de relevo forte ondulado a escarpado com declividades superiores a 25%, alta densidade de drenagem e cotas entre 800 e 1.100 metros. A recarga é reduzida devido à alta declividade e os solos pouco espessos. Nessas áreas predominam cambissolos, neossolo litólicos e localmente uma grande concentração de blocos.

Mais especificamente, na área de estudo, são identificadas as seguintes unidades geomorfológicas da Chapada da Contagem, Rebordos e Planos Intermediários da Depressão Paranoá. As Chapadas apresentam 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. Os Rebordos são áreas de transição entre compartimentos que apresentam declividades menores que 20%, cotas entre 1.050 e 1.100 metros, padrão de relevo ondulado, presença de cambissolos e latossolos subordinados e equilíbrio dos processos morfodinâmicos.



- Legenda**
- |                     |                                 |
|---------------------|---------------------------------|
| Chapada Elevada     | Área de Estudo                  |
| Escarpa             | <b>Convenções Cartográficas</b> |
| Plano Intermediário | Hidrografia                     |
| Rebordo             | Lagos e Corpos de Água          |
| Vale Dissecado      |                                 |

Projeção Transversa de Mercator  
 Datum: SIRGAS 2000  
 Meridiano Central 45° WGr  
 1:400.000

Escala Gráfica  
 (Escala Original 1:100.000)

Universidade de Brasília  
 Programa de Pós Graduação em Geotecnia  
 Autor: Bruno Rodrigues

**Figura 4.5: Mapa Geomorfológico do Distrito Federal**

Relevo sombreado com azimute de 315 graus, altura de iluminação de 45 graus e exagero vertical de 5 vezes.



Os Planos Intermediários, cotas entre 950 e 1.100 metros, padrão de relevo suave ondulado, predomínio de latossolos e predominância de processos pedogenéticos sobre erosão e transporte.

O CPRM (2003) identificou na região de estudo três unidades geomorfológicas: Superfícies Tabulares; Topos de Chapadas; e Degraus Estruturais. As Superfícies Tabulares que são superfícies planas ou aplainadas, sulcadas por uma rede de canais de baixa densidade de drenagem de padrão dendrítico a subdendrítico. Apresentam vales muito amplos e abertos com gradientes entre 5 e 9% e amplitudes de relevo entre 20 e 50m.

Os Topos de Chapadas apresentam superfícies planas ou aplainadas, não dissecadas, com gradientes inferiores a 5%, estando capeadas por uma couraça detrítico-laterítica. Os rebordos dessas superfícies são delimitados por vertentes íngremes e representam remanescentes de uma antiga superfície de erosão. Presença esporádica de vales fluviais sulcando as superfícies aplainadas.

Os Degraus Estruturais são caracterizados por degraus lito-estruturais com vertentes íngremes, retilíneas e pouco dissecadas, com gradientes elevados 55 a 100%. Por vezes, esses degraus apresentam-se rampeados e suavizados. Amplitudes de relevo entre 40 e 70 metros e drenagem pouco expressiva.

#### **4.4.ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**

No Distrito Federal os grupos de aquíferos podem ser diferenciados em três domínios, que correspondem à segunda maior classificação dos reservatórios subterrâneos de água, o Domínio Aquífero Intergranular ou Poroso, o Domínio Aquífero Fraturado e o Domínio Aquífero Físsuro-Cárstico (CAMPOS e GONÇALVES, 2015). Na área de estudo somente são identificados os dois primeiros tipos supracitados. Lousada e Campos (2005) apresentam algumas propostas de modelos hidrogeológicos conceituais baseados em estudos hidrogeológicos básicos e observações em campo, principalmente baseado em resultados de poços tubulares profundos, entretanto os autores ressaltam que os modelos não são aplicáveis a qualquer situação e que cada modelo ocorre em situação pedológico-geomorfológica específica.

O domínio poroso é essencialmente representado pelos solos e pelo manto de alteração das rochas sendo subdivididos em quatro sistemas (P1, P2, P3 e P4) baseado em espessura saturada (b) e a condutividade hidráulica (k), que por sua vez são controladas pelas condições geológicas e geomorfológicas a que cada tipo de solo está associado (GONÇALVES, 2016). Os aquíferos relacionados a este domínio são classificados como aquíferos livres e/ou

suspensos, com ampla continuidade lateral, compondo o sistema de águas subterrâneas rasas (FREITAS-SILVA e CAMPOS, 1998).

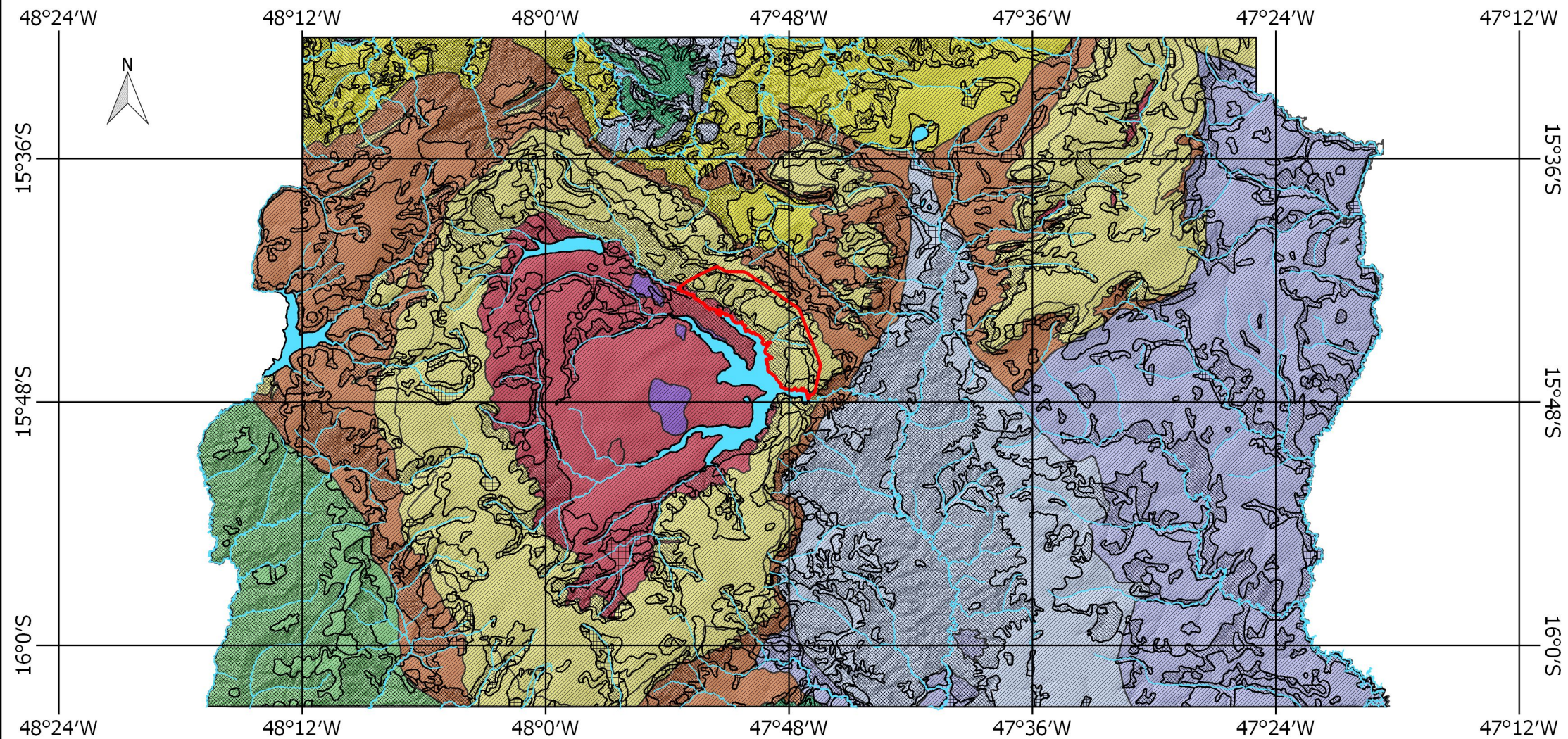
Os aquíferos do domínio fraturado são caracterizados pelos meios rochosos, nos quais os espaços ocupados pela água são representados por descontinuidades como microfaturas, fraturas, falhas, diáclases, juntas e zonas de cisalhamento. Os parâmetros hidrodinâmicos variam em função do litotipo, inclusive, podendo variar significativamente em um mesmo tipo litológico, sendo a densidade das descontinuidades supracitadas o fator que controla a condutividade hidráulica dos aquíferos deste domínio. A Tabela 4.1 resume as características dos sistemas de aquíferos.

Tabela 4.1: Resumo das características dos aquíferos do Distrito Federal com detalhe para os aquíferos que ocorrem na área de estudo em negrito. Modificado de Gonçalves, (2016).

Domínio	Sistema	Subsistema	b	$\eta$	$\eta_e$	Vazão (m <sup>3</sup> /h)	Condutividade hidráulica (m/s)	Litologia / Solo predominante
Poroso	<b>Sistema P1</b>	-	<b>25</b>	<b>35</b>	<b>10</b>	<b>&lt; 0,8</b>	<b>0,7x10<sup>-5</sup> a 2,8x10<sup>-6</sup></b>	<b>Latossolos Arenosos e Neossolos Quartzarênicos</b>
	Sistema P2	-	15	30	12	< 0,5	10 <sup>-7</sup> a 10 <sup>-8</sup>	Latossolos Argilosos
	Sistema P3	-	10	25	5	< 0,5	1,4x10 <sup>-8</sup> e 2,3x10 <sup>-9</sup>	Plintossolos e Argissolos
	<b>Sistema P4</b>	-	<b>1</b>	<b>20</b>	<b>3</b>	<b>&lt; 0,3</b>	-	<b>Cambissolo e Neossolo Litólico</b>
Fraturado	<b>Paranoá</b>	S/A	-	-	-	12,5	2,45 x 10 <sup>-6</sup> a 1,67 x 10 <sup>-7</sup>	Metassiltitos.
		<b>A</b>	-	-	-	<b>4,5</b>	-	<b>Ardósias</b>
		<b>R3/Q3</b>	-	-	-	<b>12</b>	<b>2,8 x 10<sup>-6</sup></b>	<b>Quartzitos e Metarritmitos arenosos</b>
		R4	-	-	-	6,5	-	Metarritmitos arenosos
	Canastra	F	-	-	-	7,5	-	Filitos micáceos
	Bambuí	-	-	-	-	6	-	Siltitos e arcóseos
	Araxá	-	-	-	-	3,5	-	Micaxistos
Físsuro - Cárstico	Paranoá	PPC	-	-	-	9	-	Metassiltitos e lentes de mármore
	Canastra	F/Q/M	-	-	-	33	-	Calcifilitos, quartzitos e mármore

\*b = Espessura saturada do aquífero /  $\eta$  = Porosidade /  $\eta_e$  = Porosidade efetiva

Souza e Campos (2001) observaram uma tendência do sistema P4 a possuir baixos valores de condutividade hidráulica vertical se comparada às unidades P1, P2 e P3. A associação de condutividades hidráulicas relativamente baixas, pequena espessura dos cambissolos e relevo movimentado conferem ao sistema P4 as piores condições de recarga dos aquíferos do Distrito Federal. A Figura 4.6 apresenta a distribuição espacial dos aquíferos porosos e fraturados do Distrito Federal.



**Legenda**

- |                       |                          |                                 |
|-----------------------|--------------------------|---------------------------------|
| <b>Domínio Poroso</b> | <b>Domínio Fraturado</b> | <b>Convenções Cartográficas</b> |
| P1                    | A                        | Hidrografia                     |
| P2                    | Araxá                    | Lagos e Corpos de Água          |
| P3                    | F                        | <b>Limites</b>                  |
| P4                    | F/Q/M                    | Área de Estudo                  |
|                       | Grupo Bambuí             |                                 |
|                       | PPC                      |                                 |
|                       | R3/Q3                    |                                 |
|                       | R4                       |                                 |
|                       | S/A                      |                                 |

Projeção Transversa de Mercator  
 Datum: SIRGAS 2000  
 Meridiano Central 45° WGr

1:250.000

10 0 10 Quilômetros

Escala Gráfica  
 (Escala Original 1:100.000)

Universidade de Brasília  
 Programa de Pós Graduação em Geotecnia  
 Autor: Bruno Rodrigues

**Figura 4.6: Mapa Hidrogeológico do Distrito Federal**



#### 4.5. ÁGUAS SUPERFICIAIS E ÁREAS AMBIENTALMENTE PROTEGIDAS

O Distrito Federal está inserido nas regiões hidrográficas do São Francisco, Tocantins/Araguaia e Paraná. Dentro da região hidrográfica do Paraná, mais especificamente na bacia hidrográfica do Rio Paranoá, está localizada a área de estudo. Os sistemas de drenagem dessa bacia são do tipo anelar, que está associada a domos dissecados, apresentam uma relação com o substrato rochoso e suas estruturas. A complexidade geológica da região propicia uma alta variedade de padrões de drenagem, sendo as drenagens dendríticas, em treliça e paralelas as mais comuns na região, como reflexo do relevo dobrado característico na zona (ARENAS-RÍOS, 2012). Na Asa Taquari são observados padrões de drenagem, em sua maioria, do tipo paralela e localmente híbridas entre treliça, paralela e dendríticas.

No Distrito Federal a precipitação média anual fica entre 1.200 e 1.800 mm, com uma distribuição irregular, e a precipitação média mensal apresenta uma sazonalidade que permite a divisão em dois períodos: o período seco compreendido entre os meses de maio a setembro; e o período chuvoso compreendido entre os meses de outubro a março (MARCUIZZO et al., 2012). Segundo Barros (2003), no período seco a evaporação é elevada, os teores de umidade no ar e a pluviosidade são baixos e predomina o déficit hídrico enquanto no período chuvoso ocorre o inverso, a evaporação diminui, os teores de umidade do ar aumentam, a pluviosidade se intensifica e, em geral, observa-se o superávit. A condição pluviométrica mensal do Distrito Federal pode ser observada na Figura 4.7 cujos dados foram extraídos da estação ETE NORTE 01547009 da Agência Nacional de Águas (ANA) localizada a 3,5 quilômetros da área de estudo na latitude  $-15^{\circ}74'$  e longitude  $-47^{\circ}87'$ .

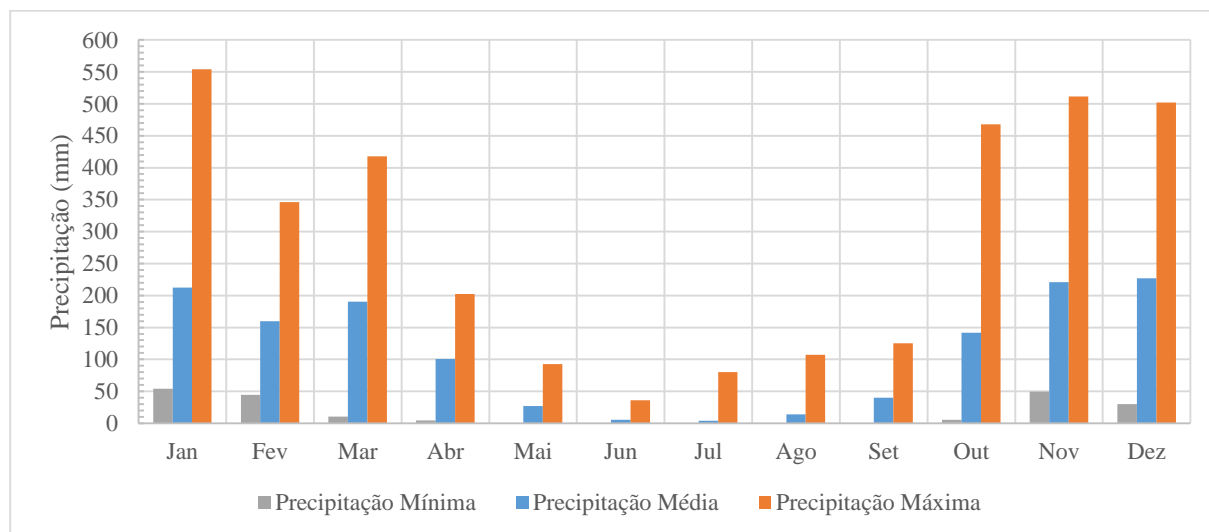


Figura 4.7: Precipitação pluviométrica máxima, média e mínima mensal de Brasília entre 1971 e 2016.



A Figura 4.8 mostra os valores médios e máximos de precipitação diárias para cada mês entre 1971 e 2016. Os dados para a confecção do gráfico também foram extraídos da estação ETE NORTE 01547009 da Agência Nacional de Águas.

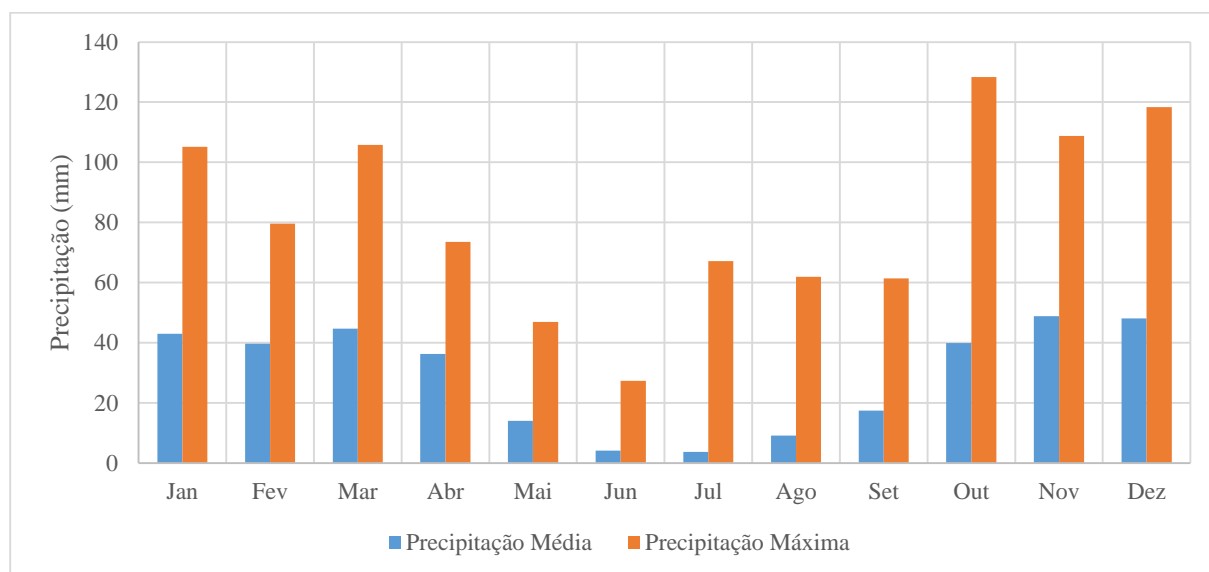


Figura 4.8: Precipitação pluviométrica máxima e média diária de Brasília entre 1971 e 2016.

A Tabela 4.2 apresenta as informações disponíveis nas estações pluviométricas e fluviométricas próximas ou inseridas na área de estudo.

Tabela 4.2: Resumo das informações obtidas nas estações pluviométricas e fluviométricas consultadas.

Código da estação	Latitude	Longitude	Distância euclidiana da área de estudo (km)	Série histórica (anos)	CMD (Estação Chuvosa)	CMD (Estação Seca)	Nome do rio	Vazão Média (m³/s)	Vazão Máxima (m³/s)
1547038	193505	8267338	7,35	4	17,00	11,00	-	-	-
1547020	201784	8251600	11,00	29	34,00	27,00	-	-	-
1547017	183473	8265362	12,14	29	45,30	39,50	-	-	-
1547015	198564	8266552	8,09	35	53,75	46,68	-	-	-
1547011	210924	8267142	13,00	36	15,97	4,85	-	-	-
1547009	191664	8257357	3,50	45	128,40	73,00	-	-	-
1547072	210694	8250289	8,80	8	81,40	2,80	-	-	-
60477450	192907	8260218	0	16	-	-	Urubu	0,14	1,64
60477500	194739	8259561	0	27	-	-	Jerivá	0,39	0,93
60477510	196168	8258201	0	1	-	-	Palha	0,13	0,63
60477550	198327	8256641	0	3	-	-	Taquari	0,20	2,18
60477530	199691	8258164	0	26	-	-	Taquari	0,05	0,52

\*CMD – Chuva máxima diária em mm

\*Código 15XXXXXX – Estação Pluviométrica

\*Código 60XXXXXX – Estação Fluviométrica

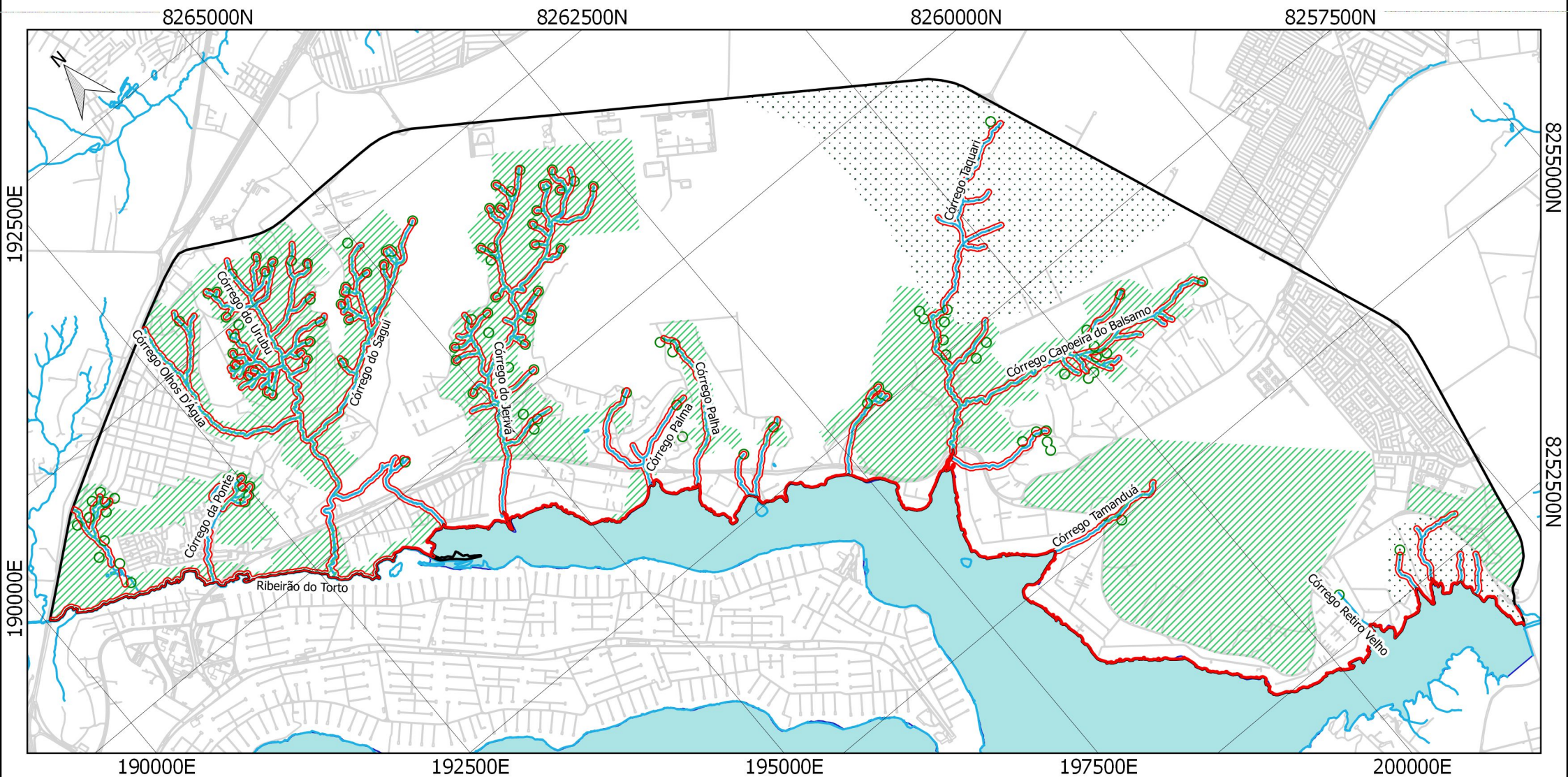
Sales et al. (2010) calculou que a probabilidade para a ocorrência de chuvas com totais acima de 133,0 mm é de 2% e com tempos de retornos de 40 anos. Coimbra (1987 apud CAMPOS, 2004) estimou que a evapotranspiração real fica em torno de 900 mm anuais e que aproximadamente 12% da quantidade total de chuva anual efetivamente infiltra na zona vadosa e alcançam a zona saturada dos aquíferos.

As áreas ambientalmente protegidas dentro da Asa Taquari estão definidas no Decreto nº 33.537/2012 que dispõe sobre o zoneamento ambiental da Área de Proteção Ambiental (APA) do Lago Paranoá. O Decreto divide a APA do Lago Paranoá em 4 (quatro) zonas, subdivididas em 9 (nove) subzonas estabelecidas e caracterizadas como zonas de manejo de acordo com seus objetivos (DIUR 05/2013). Dentre elas, a Zona da Vida Silvestre que consiste nas áreas restritas ambientalmente, é subdividida em duas Subzonas: Subzona de Conservação da Vida Silvestre (ZCVS) e Subzona de Preservação da Vida Silvestre (ZPVS).

A ZPVS é composta pelas Unidades de Conservação de Proteção Integral já instituídas no interior da APA do Lago Paranoá, pelas áreas de preservação permanente provenientes de nascentes e de cursos d'água, do Lago Paranoá, além da área de proteção de manancial do Taquari e das áreas com restrições físico-ambientais provenientes de declividades acima de 30%, sendo esta Subzona destinada à preservação dos recursos ecológicos, genéticos e da integridade dos ecossistemas.

A ZCVS é composta por áreas que ainda preservam vegetação nativa significativa, pelas áreas com declividade entre 10% e 30%, além das Unidades de Conservação de uso sustentável, dos parques ecológicos e de uso múltiplo, sendo esta Subzona destinada à conservação dos recursos naturais e à integridade dos ecossistemas, permitido o uso sustentável.

As áreas de preservação permanente (APP) dentro da área de estudo estão definidas, com base em BRASIL (2012b), da seguinte maneira: as faixas marginais de qualquer curso d'água natural perene e intermitente desde a borda da calha do leito regular, em largura mínima 30 (trinta) metros, para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura; as áreas no entorno das nascentes e dos olhos d'água perenes, qualquer que seja sua situação topográfica, no raio mínimo de 50 (cinquenta) metros; e na borda de reservatório d'água artificial destinado a geração de energia ou abastecimento público a faixa mínima de 30 (trinta) metros e máxima de 100 (cem) metros em área rural, e a faixa mínima de 15 (quinze) metros e máxima de 30 (trinta) metros em área urbana. A Figura 4.9 apresenta os principais cursos de água e áreas com algum tipo de restrição ambiental na área de estudo.



**Legenda**

- Limite da área de estudo
- Área de Proteção Permanente
- Nascentes
- Vias de acesso
- Cursos d'Água e Lagos Artificiais
- Cursos d'Água
- Corpos d'Água
- Zona de Vida Silvestre (DIUR 05/2013)
- Subzona de Conservação da Vida Silvestre
- Subzona de Preservação da Vida Silvestre

Projeção Transversa de Mercator  
 Datum: SIRGAS 2000  
 Meridiano Central 45° WGr  
 1:55.000



Escala Gráfica  
 (Escala Original 1:10.000)

Universidade de Brasília  
 Programa de Pós Graduação em Geotecnia  
 Autor: Bruno Rodrigues de Oliveira

**Figura 4.9: Carta da Hidrografia e das Restrições Ambientais da Área de Estudo**



## **5.RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **5.1.MAPAS FUNDAMENTAIS DA ÁREA DE ESTUDO**

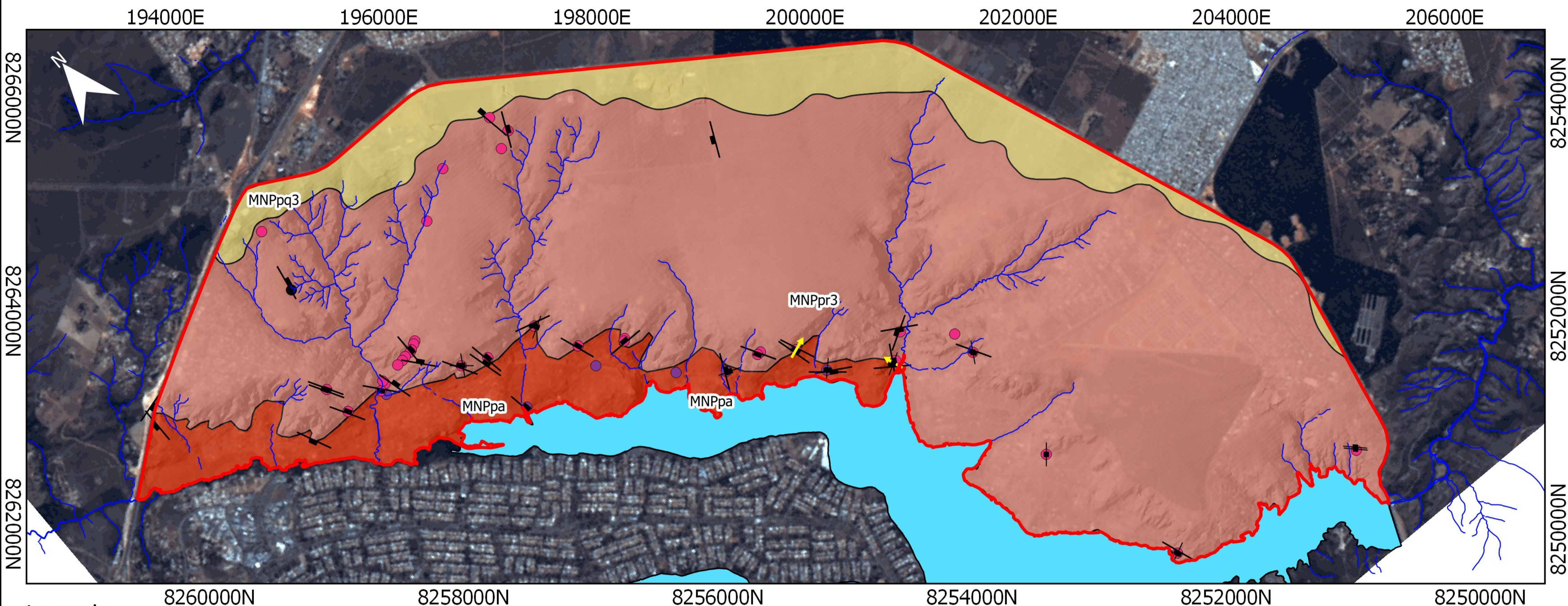
Tendo como base os dados compilados na etapa do estudo de escritório e os dados obtidos em levantamentos de campo foram elaborados mapas fundamentais, na escala média, para a área de estudo sendo estes apresentados a seguir.

A maior parte dos afloramentos de rocha são observados nas quebras de relevo, feições erosivas e próximas as drenagens. Na área da Formação Ribeirão da Contagem dificilmente são encontrados afloramentos, sendo a maior parte próximos as vias de acesso estando bastante alterados, descoloridos e pouco coerentes. Eventualmente são observados veios centimétricos de quartzitos são e altamente coerentes de coloração escura nas vias de acesso.

Na região da Formação da Serra da Meia Noite, foram observadas intercalações de quartzitos finos a médios com metapelitos de coloração acinzentada. Os quartzitos apresentaram-se são a parcialmente alterados e coerentes a medianamente coerentes, sendo que na maior parte dos afloramentos a descoloração era observada superficialmente (cerca de um centímetro de espessura) reduzindo gradualmente para o interior da rocha.

Os metapelitos observados encontravam-se medianamente alterados a muito alterados e pouco coerente a muito pouco coerente. Para uma situação de desmonte superficial, pode ser até possível a não utilização de explosivos, entretanto devido a ocorrência de estratos na forma de lentes e o acunhamento lateral dos estratos a alternância entre materiais competentes e não competentes pode ser um problema para implantação de fundações necessitando de investigações mais detalhada. Também foram identificados padrões de dobramento em Chevron de tamanho centimétrico a métrico, que junto com a intercalação de diferentes litotipos, indicam uma anisotropia de propriedades geotécnicas, de extrema importância em projetos de engenharia, como escavações e fundações.

Na área da Formação Ribeirão do Torto observou-se afloramentos de ardósias homogêneas de cores avermelhadas e roxas, com duas direções de foliações penetrativas, bastante fraturada em superfície, medianamente coerente e pouco coerente em locais de escoamento preferencial. A maior parte dos afloramentos foram observados nos taludes de corte da DF-005 e em algumas estradas vicinais que davam acesso as comunidades rurais próximas a DF-005. Na carta geológica elaborada, apresentada na Figura 5.1, estão inseridos os locais dos afloramentos de rocha e das estruturas medidas. Os contatos das unidades na carta foram modificados dos apresentados por Freitas e Silva (1998) baseado nos afloramentos de rocha.



## Legenda

### Unidades Geológicas

**MNPpasmn - Formação Ribeirão do Torto**

Ardósias homogêneas de cor cinza esverdeada, quando frescas e homogêneas, que adquirem cores avermelhadas características devido a alteração intempérica. Camadas de quartzitos irregulares e maciças brancos a amarelados ocorrem de forma restrita.

**MNPparc - Formação Serra da Meia Noite**

Quartzitos finos a médios com níveis geralmente mais delgados de metassiltitos argilosos, metalamitos siltosos e metalamitos micáceos. Camadas de quartzito granulação fina a média no topo e na base da formação.

**MNPparc - Formação Ribeirão Contagem**

Quartzitos finos a médios, localmente granulometria grossa e conglomerática, brancos ou cinza claro (cinza escuro quando frescos) de aspecto maciço sendo comum a ocorrência de lentes de metarritmitos.

### Estruturas Geológicas

—|— Acamamento

—|— Fratura

—|— Plano Axial

—|— Veio

### Convenções Cartográficas

— Hidrografia

— Lagos e Corpos de Água

### Limites

— Área de Estudo

### Afloramentos de Rocha

● Ardosia

● Metapelito

● Quartzito

Projeção Transversa de Mercator

Datum: SIRGAS 2000

Meridiano Central 45° WGr

1:65.000

1 0 1 Quilômetros

— Escala Gráfica

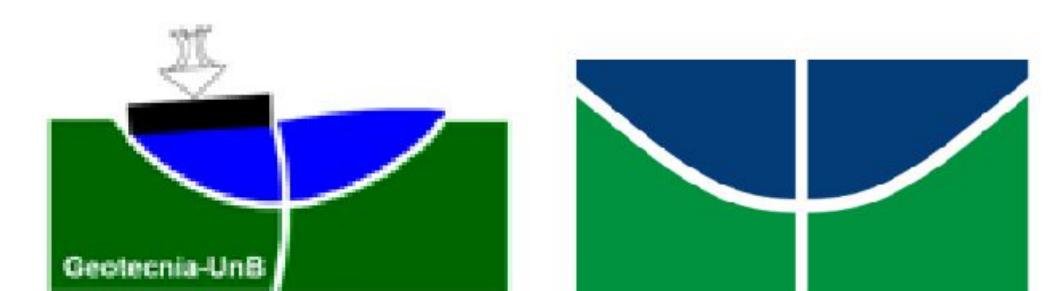
(Escala Original 1:100.000)

Universidade de Brasília

Programa de Pós Graduação em Geotecnia

Autor: Bruno Rodrigues de Oliveira

**Figura 5.1: Carta Geológica da Área de Estudo**



Composição colorida RGB432 + Fusão Pancromática, imagem LANDSAT 8 de 25 de Agosto de 2017  
 Relevo sombreado com azimute de 315 graus, altura de iluminação de 45 graus e exagero vertical de 5 vezes.

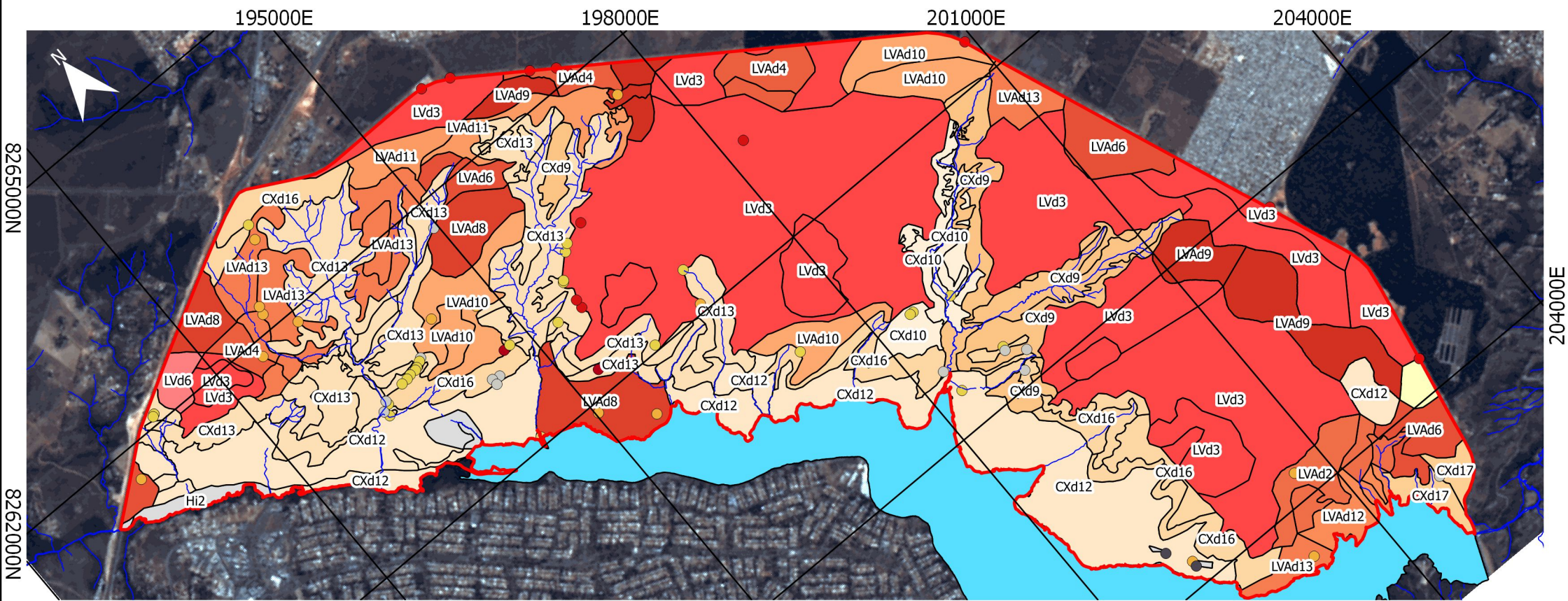
A partir da reclassificação do mapa pedológico apresentado no ZEE (2011) e dos dados levantados em campo foi possível obter informações sobre a profundidade e textura de solos as quais foram utilizadas para elaborar uma carta de textura e espessura de solos superficiais (Figura 5.2). Os limites dos polígonos apresentados na carta são das unidades de mapeamento definidas durante a fotointerpretação. As descrições completas das unidades pedológicas podem ser obtidas em Reatto et al. (2004) e mais detalhadamente em Embrapa (1978).

Os cambissolos (CXd09 a CXd13) se apresentam predominantemente rasos (20 a 50 cm de profundidade) com texturas arenosa, média ou argilosa podendo apresentar entre 15 a 50% de cascalho podendo ou não apresentar horizontes concrecionários. Segundo Lousada e Campos (2005), os cambissolos possuem em média 70 cm de espessura e estão sobrepostos a um saprólito que pode chegar a mais de 15 metros de espessura. Comumente estão restritos as áreas entre as superfícies tabulares e os cursos de água. A associação de cambissolos e neossolo litólicos (CXd16 e CXd17) são muito rasos, espessuras entre 0 e 20 cm de profundidade, com textura média cascalhenta ou argilosa cascalhenta concrecionária, sendo restrita a algumas quebras de relevo entre o rebordo e as superfícies tabulares. Os latossolos são solos profundos a muito profundos, e localmente na área de estudo se apresentam profundos, e recobrem os topos de chapadas e os rebordos, com declividades planas a suaves. Esses solos podem atingir espessuras de até 25 metros, com média de 15 metros, sobrepostos a um saprólito de 25 metros de espessura (LOUSADA e CAMPOS, 2005).

Os solos hidromórficos são pouco profundos (50 a 100 cm de profundidade), mal drenados, que possuem textura argilosa e estão associados a depressões próximos a drenagens. Na área de estudo apresentam espessa camada escura de matéria orgânica sobreposta a uma camada acinzentada como relatado por Reatto et al. (2004).

Baseado nas propostas apresentadas pelo CPRM (2003) e ZEE(2011), foi elaborado um mapa geomorfológico da área de estudo na qual foram observadas seis unidades geomorfológicas: Topos de Chapadas; Superfícies Aplainadas; Superfícies Tabulares; Degraus Estruturais; Vales; e Rebordos. A Figura 5.3 apresenta a carta geomorfológica da área de estudo mostrando os pontos de interesse e a distribuição espacial das unidades descritas a seguir.

A unidade de Topo de Chapadas ocupa 11% da área de estudo (6,5 km<sup>2</sup>) sendo recobertas por latossolos vermelhos amarelos e escuros nos quais são observadas diversas áreas de empréstimos de material para a construção civil. A unidade apresenta amplitudes inferiores a 10 metros, declividades inferiores a 8%, densidade de drenagem muito baixa a inexistente.



Legenda 8259000N 8256000N 8253000N

- Unidade pedológica, textura e espessura**
- CXd10 - Argilosa cascalhenta concrecionária - Raso (Entre 20 e 50 cm)
  - CXd12 - Argilosa cascalhenta concrecionária - Raso (Entre 20 e 50 cm)
  - CXd13 - Argilosa cascalhenta concrecionária - Raso (Entre 20 e 50 cm)
  - CXd16 - Média com cascalho - Muito raso (< 20 cm)
  - CXd17 - Média com cascalho - Muito raso (< 20 cm)
  - CXd9 - Argilosa cascalhenta concrecionária - Raso (Entre 20 e 50 cm)
  - Hi2 - Argilosa - Pouco profundo (Entre 0,5 e 1 metro)
  - LVAd10 - Média - Profundo (Entre 1 e 2 metros)
  - LVAd11 - Argilosa muito cascalhenta - Profundo (Entre 1 e 2 metros)
  - LVAd12 - Argilosa muito cascalhenta - Profundo (Entre 1 e 2 metros)
  - LVAd13 - Argilosa muito cascalhenta - Profundo (Entre 1 e 2 metros)
  - LVAd2 - Argilosa - Profundo (Entre 1 e 2 metros)
  - LVAd4 - Argilosa - Profundo (Entre 1 e 2 metros)
  - LVAd6 - Média - Profundo (Entre 1 e 2 metros)
  - LVAd8 - Média - Profundo (Entre 1 e 2 metros)
  - LVAd9 - Média - Profundo (Entre 1 e 2 metros)

- Unidade pedológica, textura e espessura**
- LVd3 - Argilosa - Muito profundo (> 2 metros)
  - LVd6 - Média - Muito profundo (> 2 metros)
  - RQ1 - Arenosa - Muito profundo (> 2 metros)
- Perfis de Solo**
- Neossolo Fluvico
  - Cambissolo
  - Gleissolo
  - Laterita
  - Neossolo litolico
  - Latossolo Vermelho
  - Latossolo Vermelho Amarelo

- Convenções Cartográficas**
- Hidrografia
  - Lagos e Corpos de Água
- Limites**
- Área de Estudo

Composição colorida RGB432 + Fusão Pancromática, imagem LANDSAT 8 de 25 de Agosto de 2017.  
 Relevo sombreado com azimute de 315 graus, altura de iluminação de 45 graus e exagero vertical de 5 vezes.

Projeção Transversa de Mercator  
 Datum: SIRGAS 2000  
 Meridiano Central 45° WGr  
 1:60.000  
 1 0 1 Quilômetros  
 Escala Gráfica  
 (Escala Original 1:100.000)

Universidade de Brasília  
 Programa de Pós Graduação em Geotecnia  
 Autor: Bruno Rodrigues de Oliveira  
**Figura 5.2: Carta de Profundidade e Textura de Solos da Área de Estudo**



Os Rebordos ocupam 44% da área de estudo, cerca de 26 km<sup>2</sup>, e são recobertos por latossolos vermelhos amarelos e escuros nos quais são observadas diversas áreas de escavação irregulares e processos erosivos. A unidade apresenta amplitudes inferiores a 20 metros, baixa densidade de drenagem e declividades inferiores a 20%.

As Superfícies Tabulares apresentam amplitudes entre 20 e 40 metros, baixa densidade de drenagem, declividades inferiores a 15 % e são recobertas majoritariamente por cambissolos e localmente por latossolos vermelhos amarelos e solos hidromórficos. Esta unidade ocupa 29% da área de estudo, cerca de 17,5 km<sup>2</sup>, e nela são observadas feições erosivas e escavações irregulares.

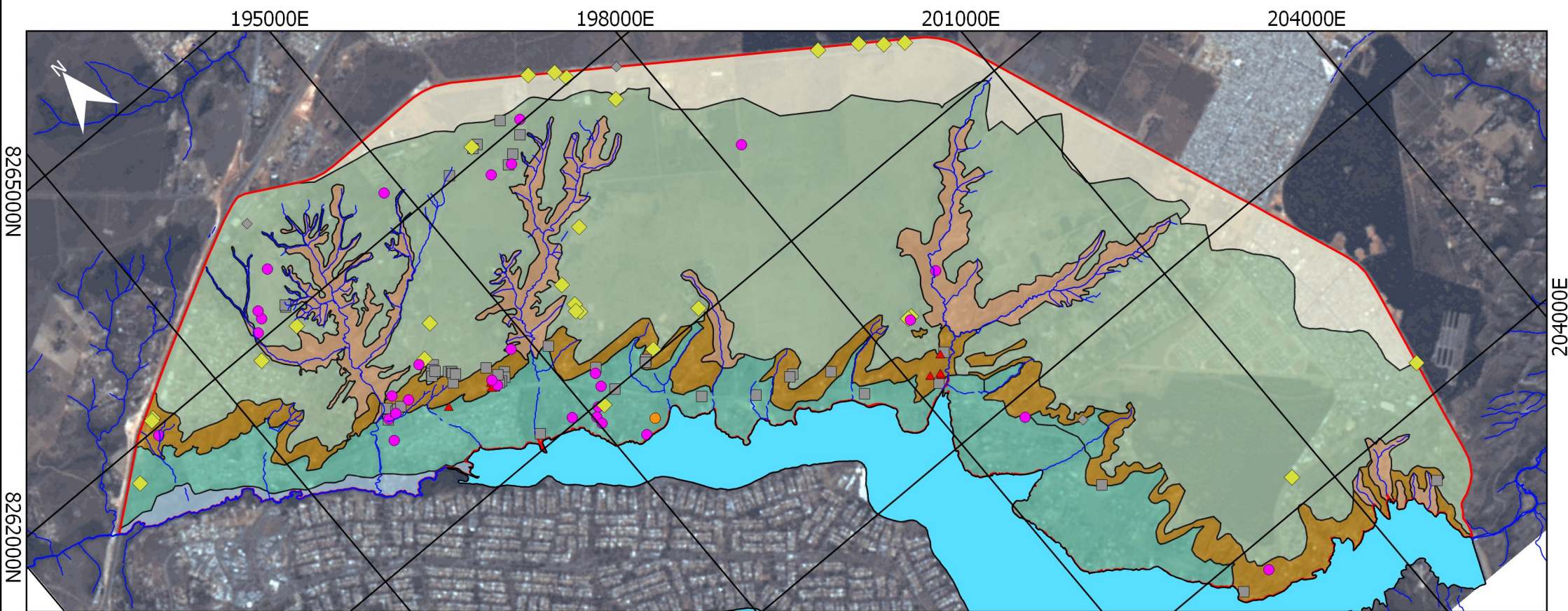
As Superfícies Aplainadas ocupam 1% da área de estudo (0,5 km<sup>2</sup>), restrita as proximidades do Ribeirão do Torto, e são recobertas por cambissolos, solos hidromórficos e depósitos fluviais. Apresentam densidade de drenagem muito baixa, amplitudes inferiores a um metro e declividades inferiores a 3%, o que favorece bastante a ocorrência de inundações e alagamentos devido a sua proximidade aos cursos de água.

Os Degraus Estruturais ocupam 7% da área de estudo, cerca de 4 km<sup>2</sup>, e são recobertas por cambissolos ou associações de cambissolos com neossolos litólicos nos quais são observadas diversos afloramentos e blocos de rocha, o que indica a ocorrência de um topo rochoso não muito profundo. Essa unidade apresenta amplitudes entre 40 e 70 metros e declividades superiores a 20%, predominantemente maiores que 45%. Devido à proximidade a DF-005 e ao Lago Paranoá, esta unidade se encontra bastante ocupada, mesmo como elevadas declividades e pequena espessura dos solos.

Os Vales ocupam 8% da área de estudo (4,5 km<sup>2</sup>) e são observados entre as unidades de Rebordo, sendo recobertos por cambissolos, associações de cambissolos com neossolos litólicos e depósitos fluviais. Essa unidade apresenta amplitudes entre 40 e 70 metros, declividades superiores a 45% e densidade de drenagem alta a moderada. A forma dos Vales é em “V” com vertentes mais íngremes próximo aos Degraus Estruturais e mais suaves a medida que se aproximam do topo das chapadas.

Nos córregos do Jerivá e da Ponte, os vales se tornam mais fechados a partir da cota 1045 metros, enquanto no córrego do Taquarí e do Capoeira do Bálsamo isso ocorre na cota de 1015 metros. Todas as nascentes dos rios da área de estudo encontram inseridas dentro dessa unidade geomorfológica.





**Legenda**

- Degraus Estruturais** - Amplitude entre 40 a 70 m  
Caracterizados por degraus lito-estruturais com vertentes íngremes, retilíneas, com gradientes elevados 55 a 100%.
- Topos de Chapadas** - Amplitude menor que 10 m  
Caracterizados por superfícies planas ou aplainadas, não dissecadas, com gradientes inferiores a 5%, estando capeadas por uma couraça detricolaterítica.
- Vales** - Amplitude entre 40 a 70 m  
Caracterizados por vales no formato de V com vertentes íngremes retilíneas mais próximo aos degraus estruturais e vertentes suaves a medida que se aproxima da unidade Topo das Chapadas. A drenagem apresenta um padrão retilíneo e localmente dendrítico.
- Superfícies Aplainadas** - Amplitude menor que 1 m  
Caracterizada por planícies de inundação, com gradientes inferiores a 5%, sulcadas por alguns canais de baixa densidade de drenagem de padrão retilíneo. Apresentam depósitos flúvicos nas proximidades da drenagem transicionando para gleissolos, seguido cambissolo nas partes mais distantes das drenagens.

- Superfícies Tabulares** - Amplitude entre 20 e 40 m  
Caracterizadas por superfícies planas ou aplainadas, sulcadas por uma rede de canais de baixa densidade de drenagem de padrão dendrítico a subdendrítico.
- Rebordo** - Amplitude até 20 metros  
Áreas de transição entre compartimentos que apresentam declividades menores que 20% e equilíbrio dos processos morfodinâmicos.

**Convenções Cartográficas**

- Hidrografia
- Lagos e Corpos de Água

**Limites**

- Área de Estudo

**Pontos de Interesse**

- Afloramento Rochoso
- Bloco de Rocha
- Caos de Blocos
- Solo Exposto
- Erosão
- Escavação

Composição colorida RGB432 + Fusão Pancromática, imagem LANDSAT 8 de 25 de Agosto de 2017. Relevo sombreado com azimute de 315 graus, altura de iluminação de 45 graus e exageor vertical de 5 vezes.

Projeção Transversa de Mercator  
Datum: SIRGAS 2000  
Meridiano Central 45° WGr  
1: 60.000

1      0      1 Quilômetros

Escala Gráfica  
(Escala Original 1:100.000)

Universidade de Brasília  
Programa de Pós Graduação em Geotecnia  
Autor: Bruno Rodrigues de Oliveira

**Figura 5.3: Carta Geomorfológica da Área de Estudo**



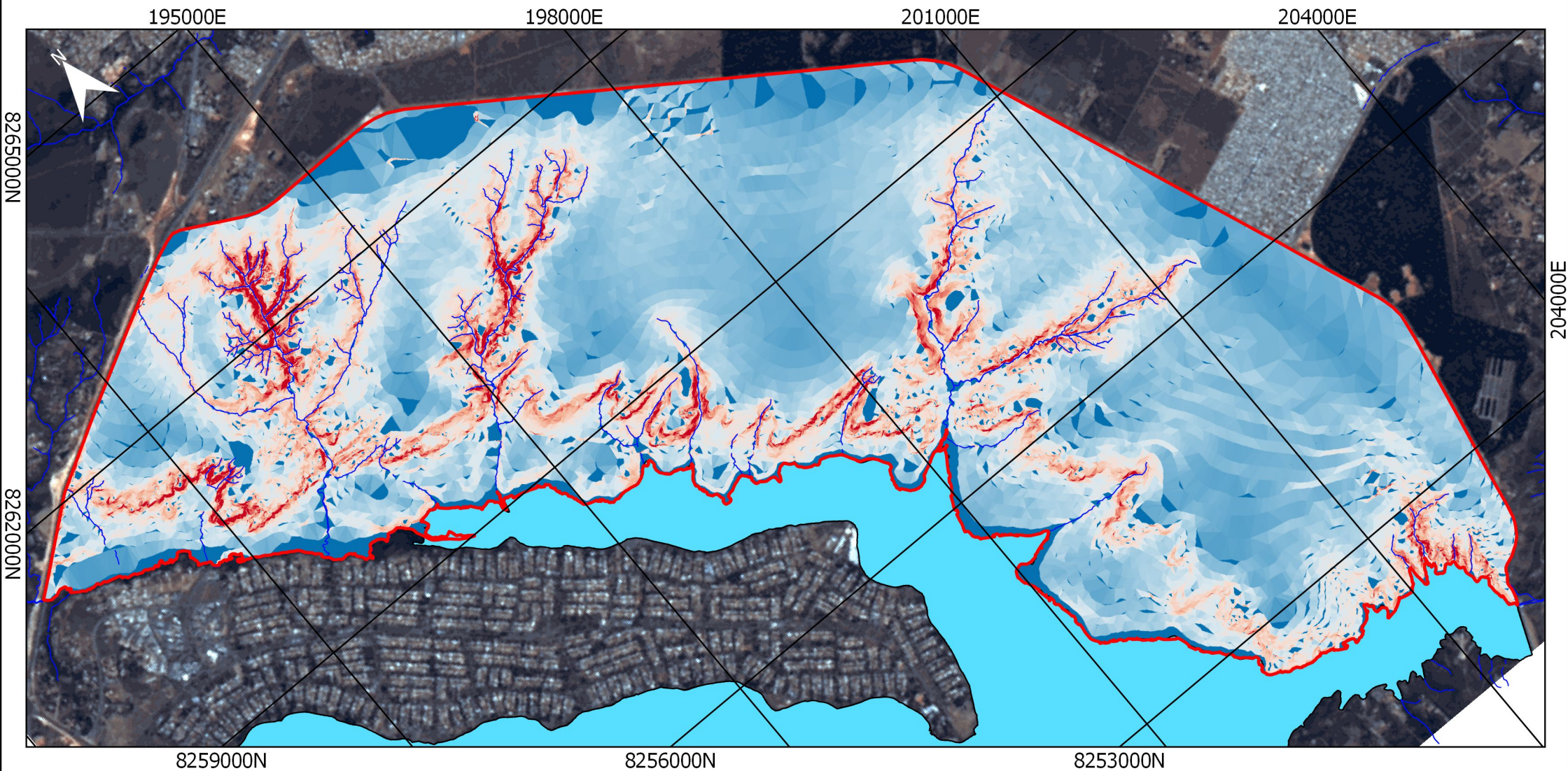
## 5.2.CARTAS ANALÍTICAS

A partir do MNT de topografia foram elaborados os planos de informação de declividade, curvaturas de terreno, hipsometria, relevo sombreado e altura vertical da drenagem mais próxima. A carta de declividade (Figura 5.4) mostra que as menores declividades estão restritas aos topos de chapadas, nas superfícies aplainadas e próximo a transição entre os rebordos e degraus estruturais, enquanto as maiores se apresentam nos degraus estruturais e nos vales.

A Tabela 5.1 apresenta as faixas de declividade e suas respectivas áreas em km<sup>2</sup> e em porcentagem com algumas considerações sobre o uso e ocupação. Observar-se que cerca de 95% da área de estudo apresenta declividades inferiores a 30%, ou seja, passíveis a ocupação urbana da região segundo Lei nº 6.766 de 1979 (BRASIL, 1979) que proíbe parcelamentos do solo em terrenos com declividades superiores a 30%, a não ser que sejam realizados estudos geológico-geotécnicos. Cunha (1991) indica a declividade máxima de 46% como limite técnico recomendável à ocupação. Santos (2017) recomenda que a declividade a partir da qual as áreas de encostas sejam consideradas área de proteção permanente (APP) seja reduzida para 45% visando evitar a ocorrência natural de movimentos de massa a partir de declividades elevadas, principalmente em regiões tropicais úmidas e de relevo mais acidentado.


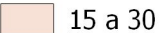






Tabela 5.1: Faixas de declividade com suas respectivas áreas em km<sup>2</sup> e em porcentagem e considerações sobre o uso e ocupação.

Faixa de declividade (%)	Área		Considerações sobre a ocupação	Referências
	(km <sup>2</sup> )	(%)		
0 a 2	5,05	8,56	Áreas sujeitas a acúmulo de água e passíveis de inundação e alagamentos caso estejam sobre influência de corpos de água.	Dantas (2010)
2 a 5	21,47	36,43		
5 a 8	13,37	22,69	Áreas sujeitas a inundação e alagamentos caso estejam sobre influência de corpos de água e nas quais são registradas processos deposicionais.	Dantas (2010)
8 a 15	10,25	17,39	Inclinação máxima longitudinal tolerável nas vias para circulação de veículos, limite máximo do emprego da mecanização na agricultura e a partir dessa faixa os processos erosivos começam a ficar significativos.	Cunha (1991); De Biasi (1996); Reckziegel (2012)
15 a 30	5,93	10,06	Inclinação máxima prevista por lei para ocupação de encostas e a partir dessa faixa os movimentos de massa começam a ficar significativos.	Brasil (1979); Cunha (1991); Reckziegel (2012)
30 a 45	1,91	3,23	Ocupações nessa faixa necessitam de realizar estudos geológico-geotécnicos e devem atender a exigências específicas das autoridades competentes.	Brasil (1979)
45 a 100	0,96	1,63	Recomenda que em áreas urbanas sejam consideradas área de proteção permanente (APP).	Santos (2017)
Maior que 100	0,003	0,01	Restrição legal definida pelo código florestal como área de preservação permanente.	Brasil (2012b)






**Legenda**

**Declividade (Porcentagem)**


 0 a 2	 15 a 30
 2 a 5	 30 a 45
 5 a 8	 30 a 45
 8 a 15	 > 45

**Convenções Cartográficas**

-  Hidrografia
-  Lagos e Corpos de Água
- Limites**
-  Área de Estudo

Projeção Transversa de Mercator  
 Datum: SIRGAS 2000  
 Meridiano Central 45° WGr  
 1:55.000

1 0 1 Quilômetros

  
 Escala Gráfica  
 (Escala Original 1:10.000)

Composição colorida RGB432 + Fusão  
 Pancromática, imagem LANDSAT 8 de  
 25 de Agosto de 2017.

Universidade de Brasília  
 Programa de Pós Graduação em Geotecnia  
 Autor: Bruno Rodrigues de Oliveira

**Figura 5.4: Carta de Declividade da Área de Estudo**



As curvas hipsométricas (Figura 5.5) elaboradas a partir da carta hipsométrica mostra um equilíbrio entre potencial erosivo e deposicional para a área de estudo. A parte superior da curva correspondente ao trecho acima da cota 1100 metros apresenta uma predominância de processos deposicionais, os quais estariam inseridos dentro das unidades geomorfológicas rebordos e topo das chapadas.

Na parte inferior da curva da área de estudo, o trecho entre as cotas 1100 e 1040 metros apresenta uma predominância de processos erosivos, os quais estariam inseridos dentro das unidades geomorfológicas vales, degraus estruturais e superfícies tabulares e o trecho entre as cotas 1040 e 1000 metros apresenta uma predominância de processos deposicionais, os quais estariam inseridos dentro das unidades geomorfológicas superfícies aplainadas.

Nas curvas das sub-bacias dos córregos do Taquari e Bálamo observa-se uma acentuada deposição no trecho entre as cotas 1200 e 1160 metros enquanto as curvas das sub-bacias do Jerivá, Ponte e Palha apresentam comportamento semelhante a curva da área de estudo.

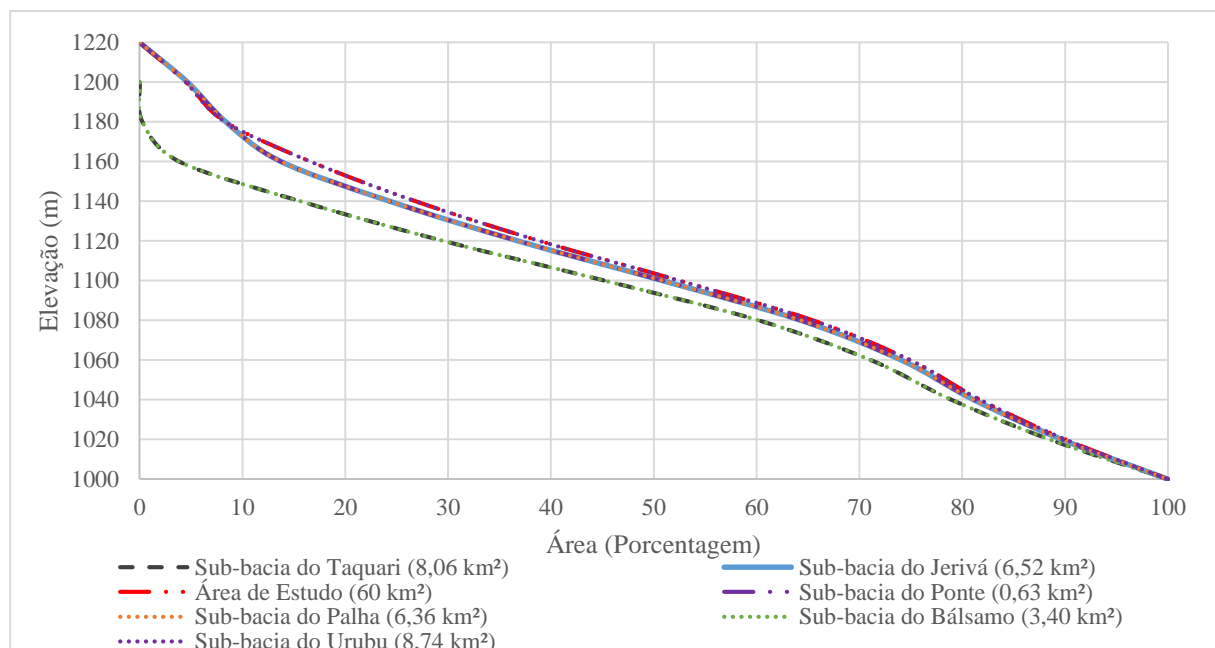
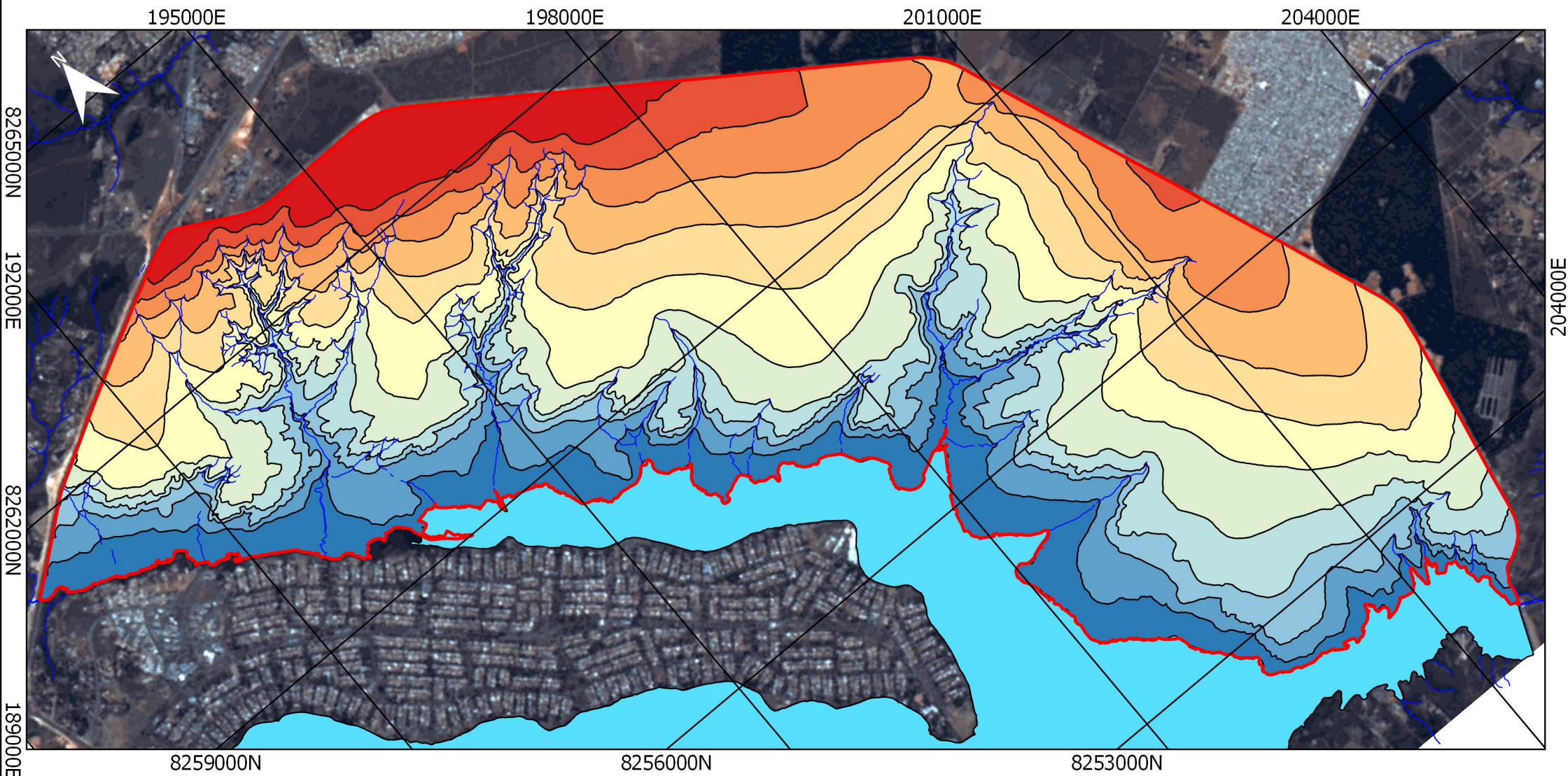


Figura 5.5: Curva hipsométrica elaborada para a área de estudo.

Na carta de hipsometria (Figura 5.6) observa-se que nos topos de chapadas as cotas variam entre 1220 e 1140 metros enquanto nos rebordos, entre 1140 e 1020 metros. Os vales que estão inseridos no rebordo apresentam cotas de 1020 metros mais próximas do lago chegando a 1080 metros mais próxima do topo das chapadas. Nas superfícies aplainadas são observadas cotas inferiores a 1020 metros enquanto nas superfícies tabulares as cotas são superiores a esse valor. Os Degraus Estruturais, por sua vez, apresentam cotas entre 1040 e 1100 metros.



**Legenda**

Hipsometria	
1000 a 1020 m	1100 a 1120 m
1020 a 1040 m	1120 a 1140 m
1040 a 1060 m	1140 a 1160 m
1060 a 1080 m	1160 a 1180 m
1080 a 1100 m	1180 a 1200 m
	1200 a 1220 m

**Convenções Cartográficas**

- Hidrografia
- Lagos e Corpos de Água
- Limites**
- Área de Estudo

Projeção Transversa de Mercator  
 Datum: SIRGAS 2000  
 Meridiano Central 45° WGr



Universidade de Brasília  
 Programa de Pós Graduação em Geotecnia  
 Autor: Bruno Rodrigues de Oliveira

**Figura 5.6: Carta de Hipsometria da Área de Estudo**

Composição colorida RGB432 + Fusão  
 Pancromática, imagem LANDSAT 8 de  
 25 de Agosto de 2017

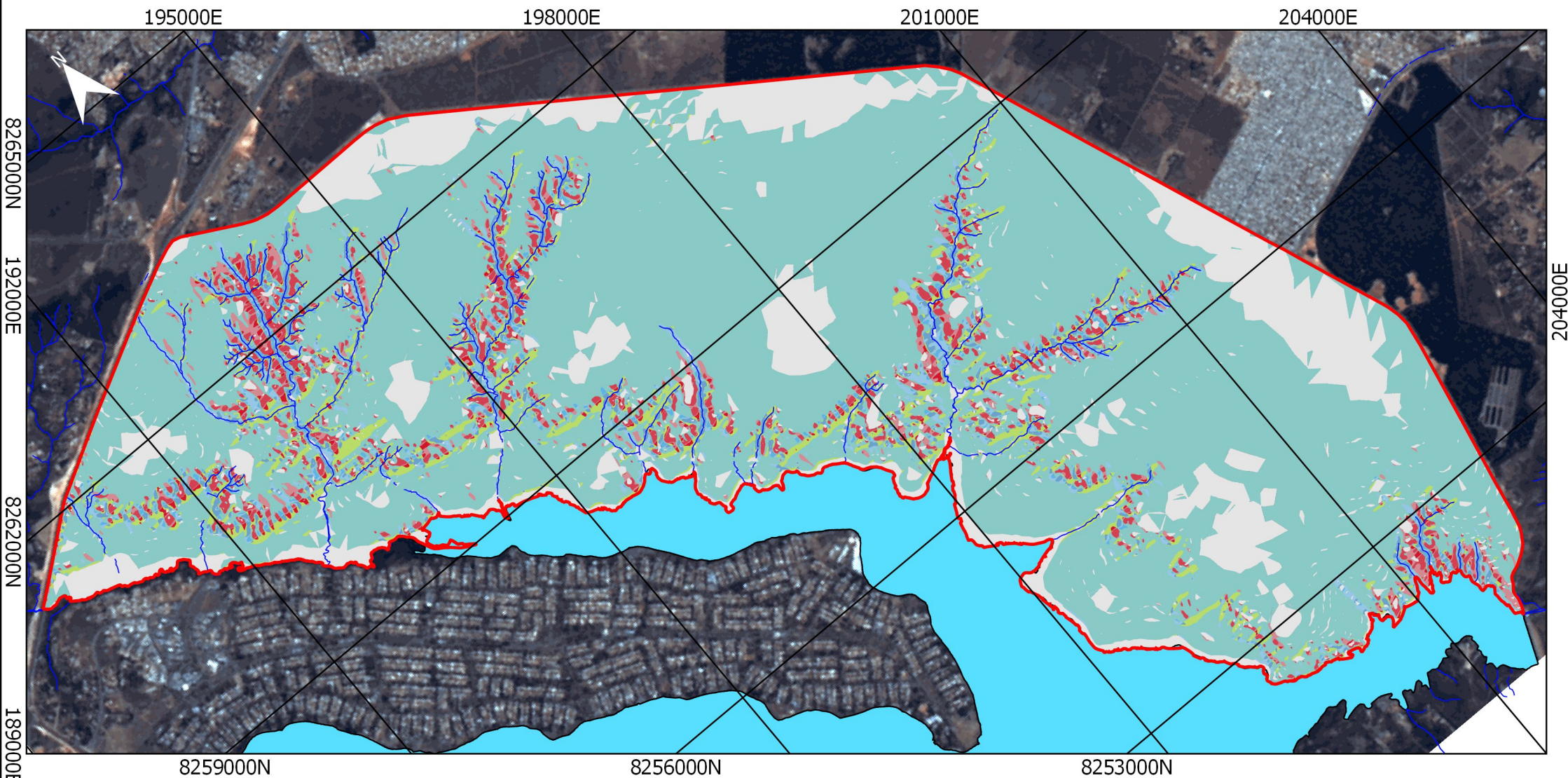


A carta de curvatura de terreno seguiu a classificação apresentada na Figura 3.7 e mostra que as áreas horizontalizadas (16,79%) estão limitadas aos topos das chapadas, as superfícies aplainadas próximas ao ribeirão do Torto e localmente nos rebordos, possivelmente suportadas pelo substrato rochoso ou por couraças lateríticas. A maior parte da área apresenta uma curvatura plana retilínea (71,3%) e as demais curvaturas estão restritas as quebras de relevo, inseridas nas unidades geomorfológicas dos vales e degraus estruturais.

As curvaturas convergentes são favoráveis a concentração de água e a ocorrência de fluxo de detritos desde que as bacias de contribuição tenham área igual ou superior a 1 hectare e linha de talvegue com declividades mínima de 17% (CPRM, 2018). Os locais que apresentaram curvaturas de perfil convexas e retilíneas associadas as altas declividades podem indicar locais passíveis de processos geodinâmicos. Quando o fenômeno em questão são escorregamentos planares, declividades a partir de 25° (aproximadamente 46,6%) associadas a curvaturas de perfil convexas e retilíneas definem zonas passíveis de ocorrência. No caso da queda de blocos, a declividade deve ser maior que 50°, a encosta deve ser composta totalmente ou parcialmente por maciço rochoso e em ambos os casos amplitude altimétrica deve ser maior ou igual a 5 metros (CPRM, op cit). As áreas que apresentam áreas horizontalizadas ou curvaturas planas ou retilíneas são as mais adequadas para o processo de expansão urbana, mas são sujeitas a acúmulo de água e passíveis de inundação e alagamentos caso estejam sobre influência de corpos de água e apresentem baixa declividade e amplitude altimétrica. Para essas áreas são recomendadas o mínimo de impermeabilização possível e a instalação de técnicas compensatórias, quando a impermeabilização for imprescindível.











A carta da altura vertical da drenagem mais próxima (Figura 5.8) mostra uma concentração de áreas com cotas próximas às da drenagem, nas proximidades do Ribeirão do Torto, que indica um maior potencial de inundação. Tais locais apresentam inclusive, registros de alagamento segundo ARENAS-RÍOS (2012). Outras áreas com alto potencial estão localizadas nos cursos dos rios Urubu, Jerivá, Ponte, Palha e Capoeira do Bálamo próximos aos exutórios das suas respectivas sub-bacias. Na Figura 5.8 também são apresentadas as sub-bacias que estão localizadas na área de estudo cujas variáveis morfométricas, sugeridas por Bitar et al. (2014), foram calculadas e são apresentadas na Tabela 5.2.

A altura vertical da drenagem mais próxima também pode ser relacionada com o nível do lençol freático, sendo os menores valores associados a níveis mais rasos e os maiores valores a níveis mais profundos. A partir de furos de sondagem e de dados de poços tubulares profundos na região observou-se que próximo ao Ribeirão do Torro, na RA do Varjão, o NA está em torno dos 4 metros e valores do modelo HAND são inferiores a 4 metros.





**Legenda**


**Tipos de Curvatura**

- |  |   |
|--|---|
|  Convergente Concava   |  Plana Concava   |
|  Convergente Convexa   |  Plana Convexa   |
|  Convergente Retilínea |  Plana Retilínea |
|  Divergente Concava    |  Horizontalizada |
|  Divergente Convexa    |   |
|  Divergente Retilínea  |   |

**Convenções Cartográficas**

-  Hidrografia
-  Lagos e Corpos de Água

**Limites**

-  Área de Estudo

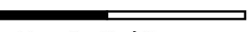
Projeção Transversa de Mercator

Datum: SIRGAS 2000

Meridiano Central 45° WGr

1:55.000

1 0 1 Quilômetros



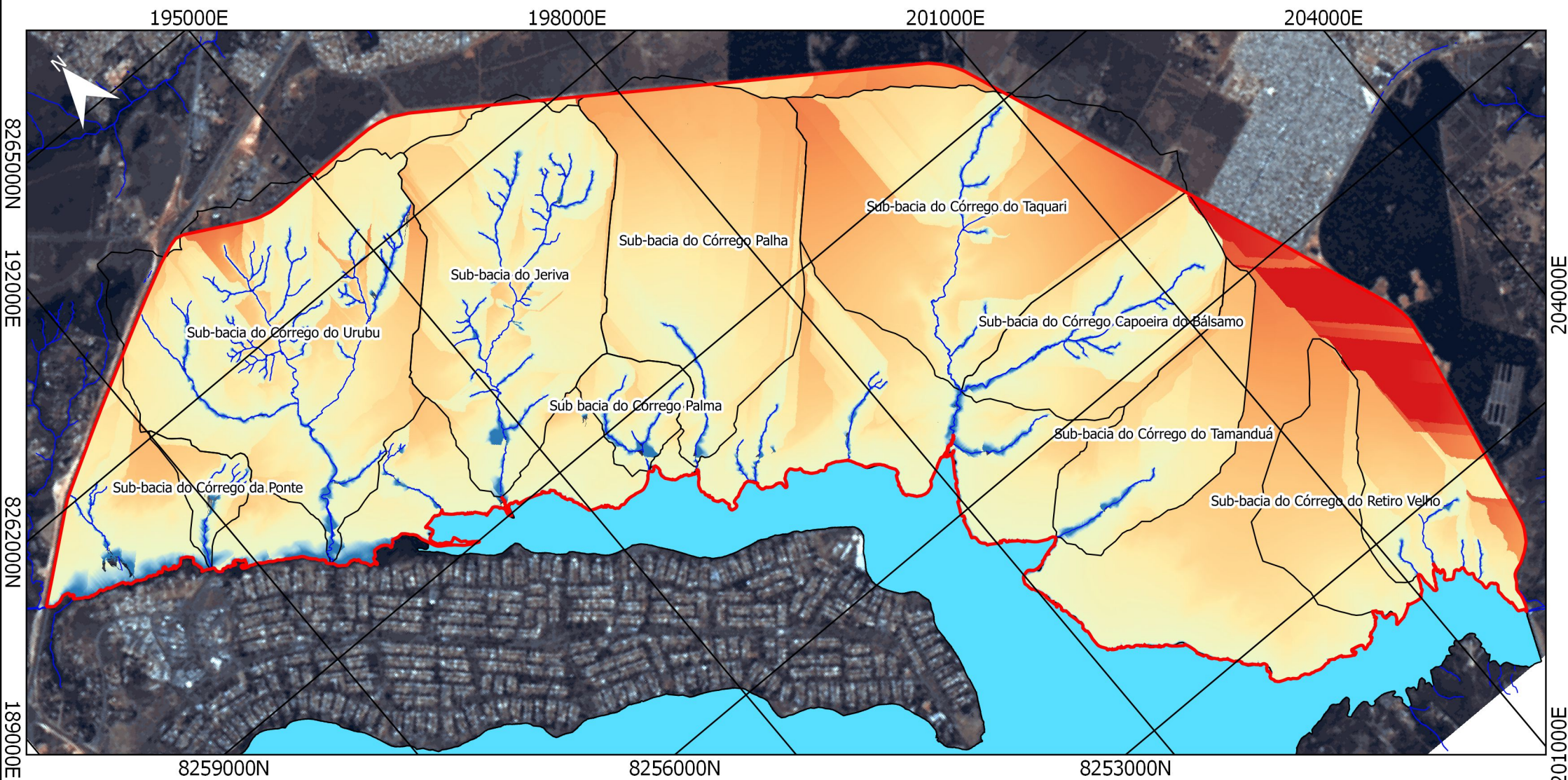
Escala Gráfica  
(Escala Original 1:10.000)

Composição colorida RGB432 + Fusão  
Pancromática, imagem LANDSAT 8 de  
25 de Agosto de 2017

Universidade de Brasília  
Programa de Pós Graduação em Geotecnia  
Autor: Bruno Rodrigues de Oliveira

**Figura 5.7: Carta de Curvatura de Terreno da Área de Estudo**





**Legenda**

Altura vertical da drenagem mais próxima (m)

0 a 1	50 a 100
1 a 2	100 a 150
2 a 3	150 a 200
3 a 4	200 a 236
4 a 5	
5 a 50	

Convenções Cartográficas

- Hidrografia
- Lagos e Corpos de Água
- Limites**
- Área de Estudo

Projeção Transversa de Mercator

Datum: SIRGAS 2000

Meridiano Central 45° WGr

1:55.000

1 0 1 Quilômetros

Escala Gráfica  
(Escala Original 1:10.000)

Composição colorida RGB432 +  
Fusão Pancromática, imagem  
LANDSAT 8 de 25 de Agosto de 2017

Universidade de Brasília  
Programa de Pós Graduação em Geotecnia  
Autor: Bruno Rodrigues de Oliveira

**Figura 5.8: Carta da Altura Vertical da Drenagem mais Próxima da Área de Estudo**





Nos locais com valores maiores do que 200 metros no modelo HAND, na RA do Paranoá, o NA do domínio poroso está em torno 11 metros.

Tabela 5.2: Variáveis morfométricas e grau de suscetibilidade a inundações pelo método proposto por Bitar et al. (2014).

Sub-bacia	Relação de relevo (Rr)	Densidade de drenagem (Dd)	Índice de sinuosidade (Is)	Área de contribuição (Ac)	Índice de circularidade (Ic)	Grau de Suscetibilidade Final (Gsf)
Córrego do Jerivá	0,08	2,11	1,15	6,52 km <sup>2</sup>	0,67	3,0
Córrego do Taquari	0,06	0,55	0,79	8,06 km <sup>2</sup>	0,71	2,6
Córrego Palha	0,11	0,28	1,15	6,36 km <sup>2</sup>	0,60	2,3
Córrego Palma	0,11	1,02	1,00	0,95 km <sup>2</sup>	0,74	2,3
Córrego do Urubu	0,20	1,83	0,30	8,74 km <sup>2</sup>	0,59	2,2
Córrego Capoeira do Bálamo	0,13	1,12	0,46	3,40 km <sup>2</sup>	0,70	2,1
Córrego da Ponte	0,18	1,44	0,64	0,63 km <sup>2</sup>	0,46	1,6
Córrego do Retiro Velho	0,29	0,20	1,02	2,38 km <sup>2</sup>	0,44	1,4
Córrego do Tamanduá	0,38	0,15	0,35	2,79 km <sup>2</sup>	0,51	1,0

\*Gsf = 1, Baixa suscetibilidade; Gsf = 2, Média suscetibilidade; Gsf = 3; Alta suscetibilidade

A sub-bacia do Jerivá apresenta a maior suscetibilidade a inundações, entretanto a maior parte das ocupações estão localizadas nas proximidades das quebras de relevo, na transição entre os latossolos e os cambissolos, sendo assim o maior problema seria quanto a estabilidade das encostas. A maior parte da sub-bacia do Taquari é considerada uma área de proteção de manancial, logo não estão previstas ocupações para esta área.

Na sub-bacia do Palha as poucas drenagens indicam uma alta infiltrabilidade dos latossolos a montante, sendo assim a instalação de um processo de ocupação acarretará em impermeabilização gerando um fluxo superficial de água que, se não suportado pelo sistema de drenagem, pode acarretar em problemas nas áreas ocupadas, também localizadas nas proximidades das quebras de relevo. As sub-bacias do Palma e da Ponte são as sub-bacias mais urbanizadas, a sub-bacia do Palma possui processos de ocupação tanto nas vertentes quanto nas partes mais planas próximo do exutório da bacia enquanto na sub-bacia do Ponte, os processos de ocupação estão restritos a parte mais plana da sub-bacia. Na sub-bacia do Ponte existem registros de alagamentos, compilados por Arena-Rios (2012).

As cartas de fluxo acumulado utilizando os métodos D8 e MFD foram elaboradas para avaliar o grau de confluência do escoamento. Segundo Souza e Sobreira (2015), o fluxo acumulado permite uma avaliação hidrológica das vertentes sendo possível identificar zonas de

saturação por ocasião de eventos chuvosos, fatores condicionantes tanto de processos em encostas (erosão e movimentos de massa) como dos processos de natureza hidrológica (enxurradas e inundações).

O método D8 apresenta um valor máximo de acumulação superior (cerca de 658.965 pixels ou 17 km<sup>2</sup>) ao obtido pelo método MDF (cerca de 430.000 pixels ou 10,7 km<sup>2</sup>), além de áreas menores para classes com valores maiores que 1,3 hectares de fluxo acumulado. Tais resultados são esperados visto que o algoritmo do método D8 assume que o fluxo se dirige somente para uma das células adjacentes utilizando passos descendentes, ou seja, o fluxo não se dispersa gerando maiores valores acumulados. O método MDF apresenta um fluxo mais realista visto que o fluxo se divide entre as células que apresentem elevações menores que o pixel de origem. As áreas calculadas para cada intervalo de fluxo acumulado são apresentadas na Figura 5.9.

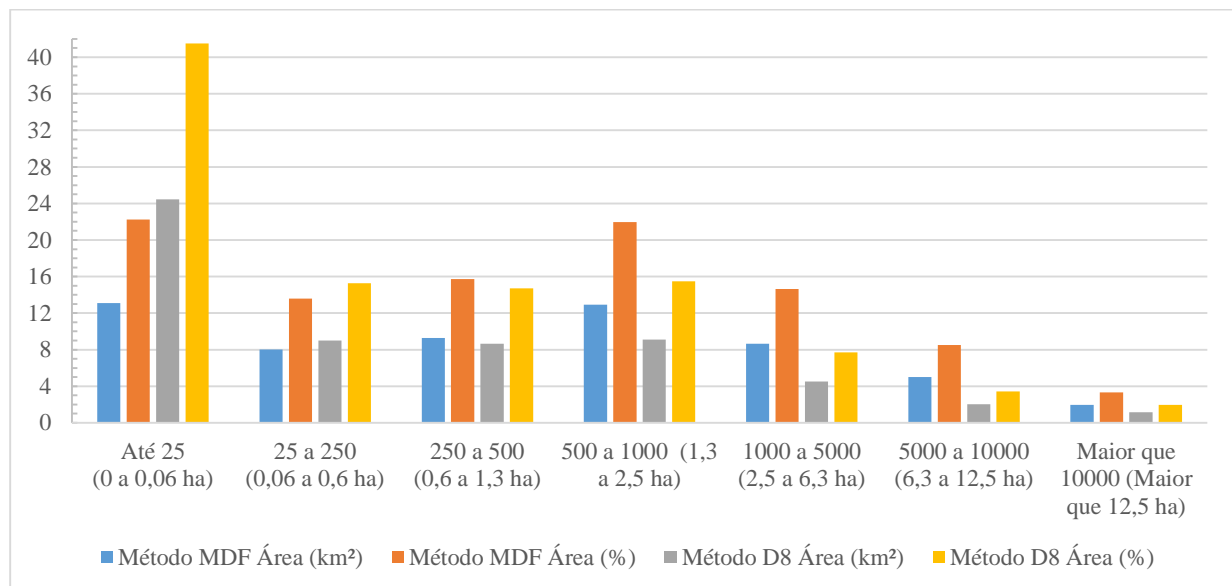
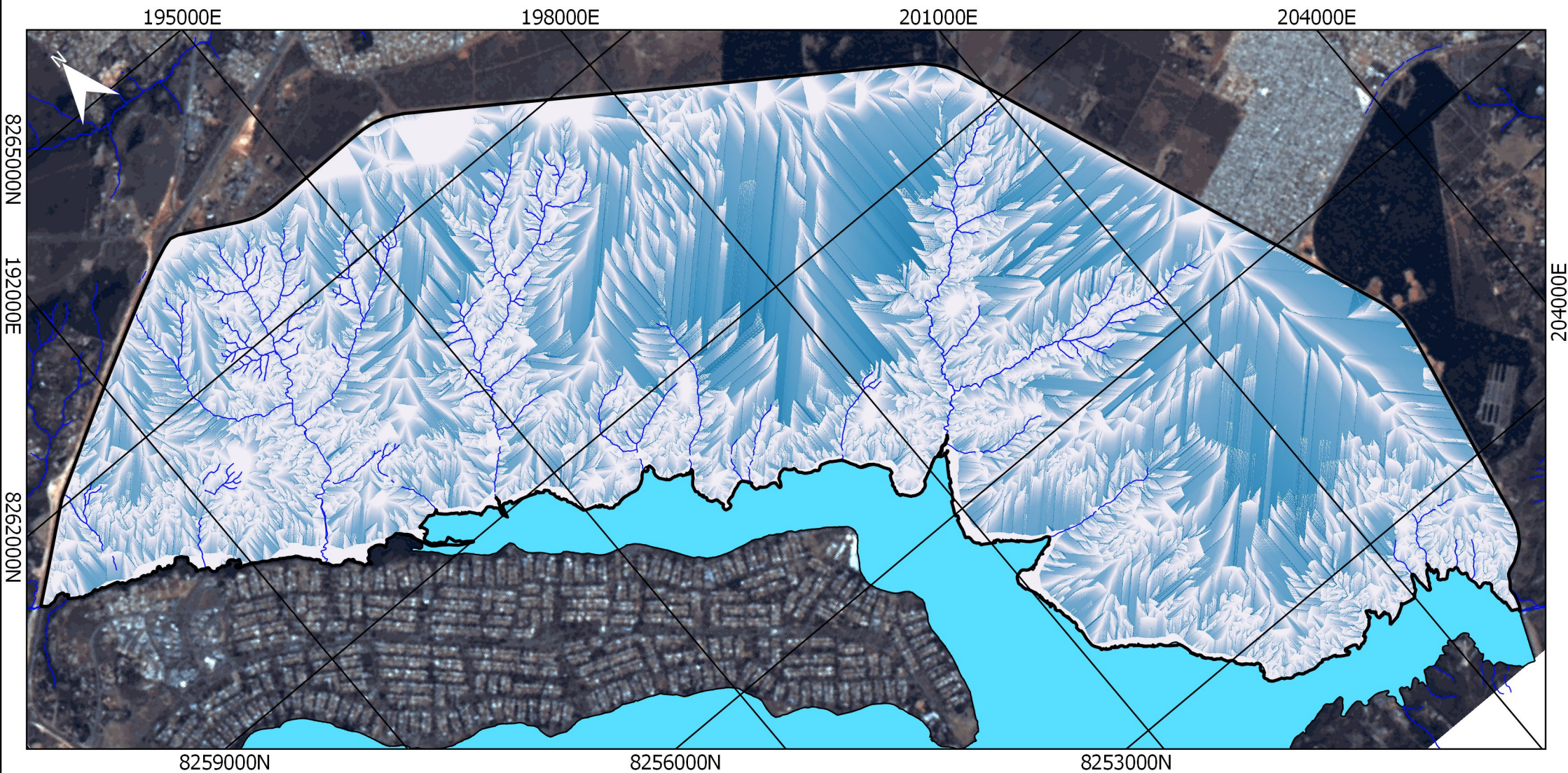


Figura 5.9: Gráfico com as áreas em km<sup>2</sup> e porcentagem para os intervalos de fluxo acumulado para cada um dos métodos.

As cartas de fluxo acumulado utilizando os métodos D8 e MFD são apresentados nas Figura 5.10 e Figura 5.11 respectivamente. A principal diferença nas cartas são os maiores valores acumulados nos rebordos e a melhor delineação dos caminhos de fluxo na Figura 5.11.

A carta de potencial de recarga elaborada é apresentada na Figura 5.12. Os maiores valores de potencial de recarga são observados no topo da chapada e no rebordo com valores superiores a 30%, principalmente devido ao tipo de solo (Latosolos), baixas declividades e o tipo de uso e cobertura do solo. Por sua vez, os menores valores de recarga são observados nas áreas que apresentam elevada declividade e/ou são recobertas por cambissolos ou densamente urbanizadas como é o caso do Paranoá e do Varjão, com valores inferiores a 5%.



**Legenda**

**Fluxo Acumulado (Método D8)**

- 25 a 250
- 250 a 500
- 500 a 1000
- 1000 a 5000
- 5000 a 10000
- 10000 a 658965

**Convenções Cartográficas**

- Hidrografia
- Lagos e Corpos de Água
- Limites
- Área de Estudo

**Projeção Transversa de Mercator**

Datum: SIRGAS 2000

Meridiano Central 45° WGr

1:55.000

1 0 1 Quilômetros



Escala Gráfica

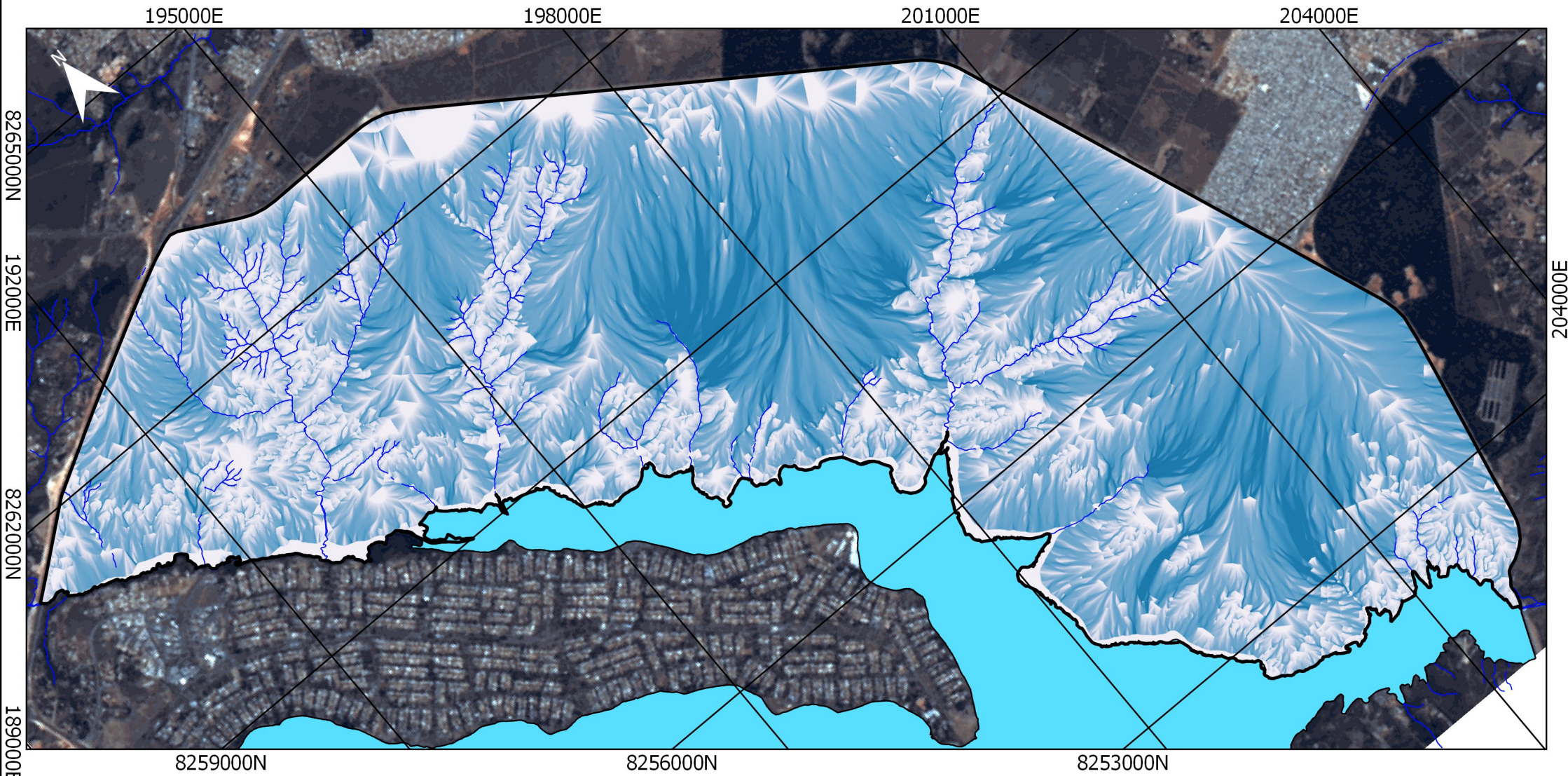
(Escala Original 1:10.000)

Composição colorida RGB432 + Fusão Pancromática, imagem LANDSAT 8 de 25 de Agosto de 2017

Universidade de Brasília  
 Programa de Pós Graduação em Geotecnia  
 Autor: Bruno Rodrigues de Oliveira

**Figura 5.10: Carta de Fluxo Acumulado (D8) da Área de Estudo**





**Legenda**

**Fluxo Acumulado (Método MFD)**

- 25 a 250
- 250 a 500
- 500 a 1000
- 1000 a 5000
- 5000 a 10000
- 10000 a 430735

**Convenções Cartográficas**

- Hidrografia
- Lagos e Corpos de Água
- Limites
- Área de Estudo

**Projeção Transversa de Mercator**

Datum: SIRGAS 2000  
Meridiano Central 45° WGr

1:55.000

1                      0                      1 Quilômetros

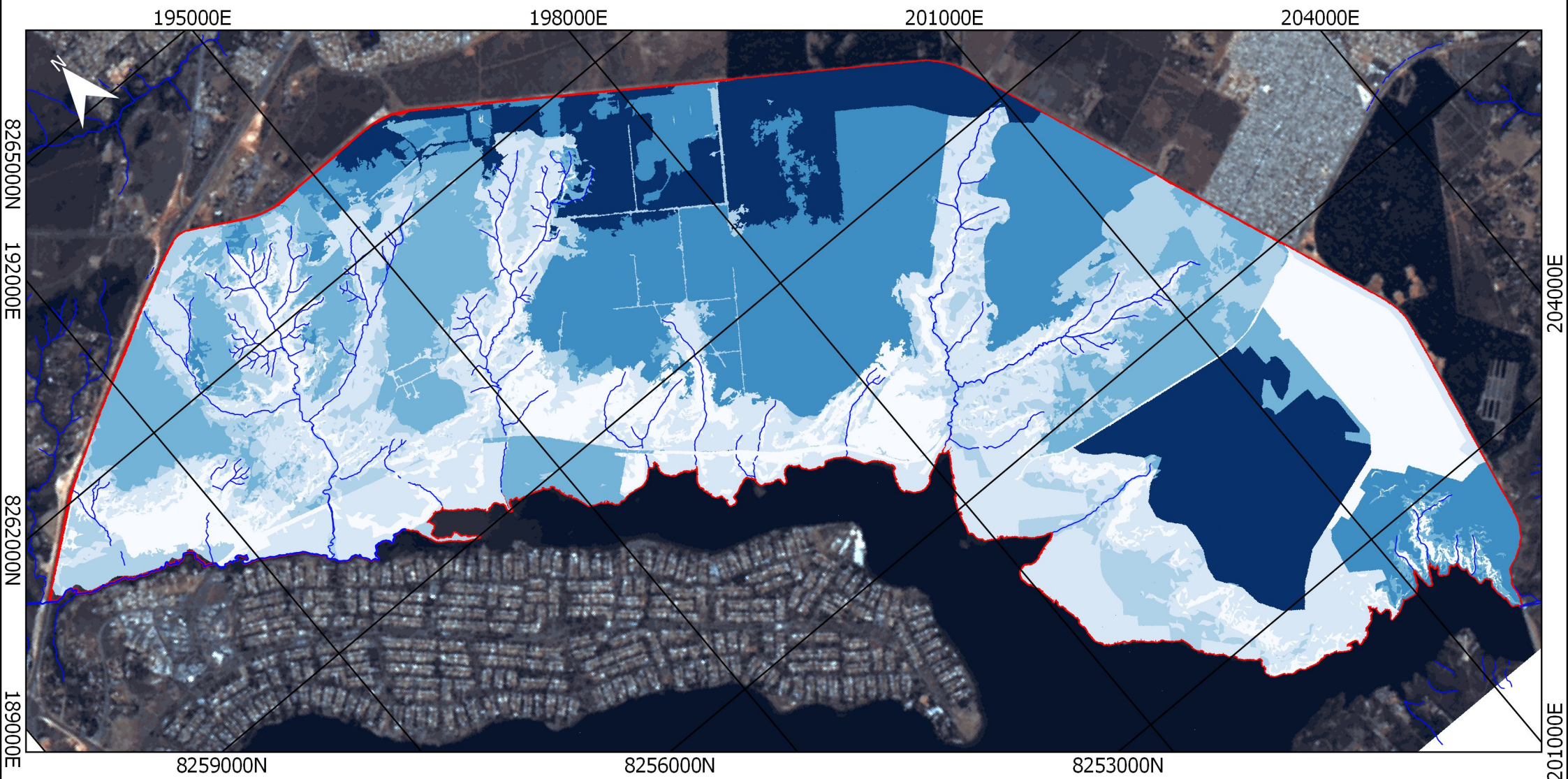


Universidade de Brasília  
Programa de Pós Graduação em Geotecnia  
Autor: Bruno Rodrigues de Oliveira

**Figura 5.11: Carta de Fluxo Acumulado (MDF) da Área de Estudo**



Composição colorida RGB432 + Fusão Pancromática, imagem LANDSAT 8 de 25 de Agosto de 2017



**Legenda**

- Potencial de Recarga (%)
- <= 2,0
  - 2,1 - 5,0
  - 5,1 - 10,0
  - 10,1 - 20,0
  - 20,1 - 30,0
  - 30,1 - 41,5

- Convenções Cartográficas
- Hidrografia
  - Lagos e Corpos de Água
- Limites
- Área de Estudo

Projeção Transversa de Mercator  
 Datum: SIRGAS 2000  
 Meridiano Central 45° WGr  
 1:55.000

1      0      1 Quilômetros

Escala Gráfica  
 (Escala Original 1:10.000)

Composição colorida RGB432 +  
 Fusão Pancromática, imagem  
 LANDSAT 8 de 25 de Agosto de 2017

Universidade de Brasília  
 Programa de Pós Graduação em Geotecnia  
 Autor: Bruno Rodrigues de Oliveira

**Figura 5.12: Carta do Potencial de Recarga da Área de Estudo**



### 5.3.RELAÇÃO ENTRE ESCALA E NÚMERO DE OBSERVAÇÕES

A partir das Tabela 2.4 e Tabela 2.5 foi construído um gráfico em escala bilogármica, com os valores de escala de trabalho do mapeamento geotécnico no eixo das ordenadas e o número de investigações nas abscissas (Figura 5.13).

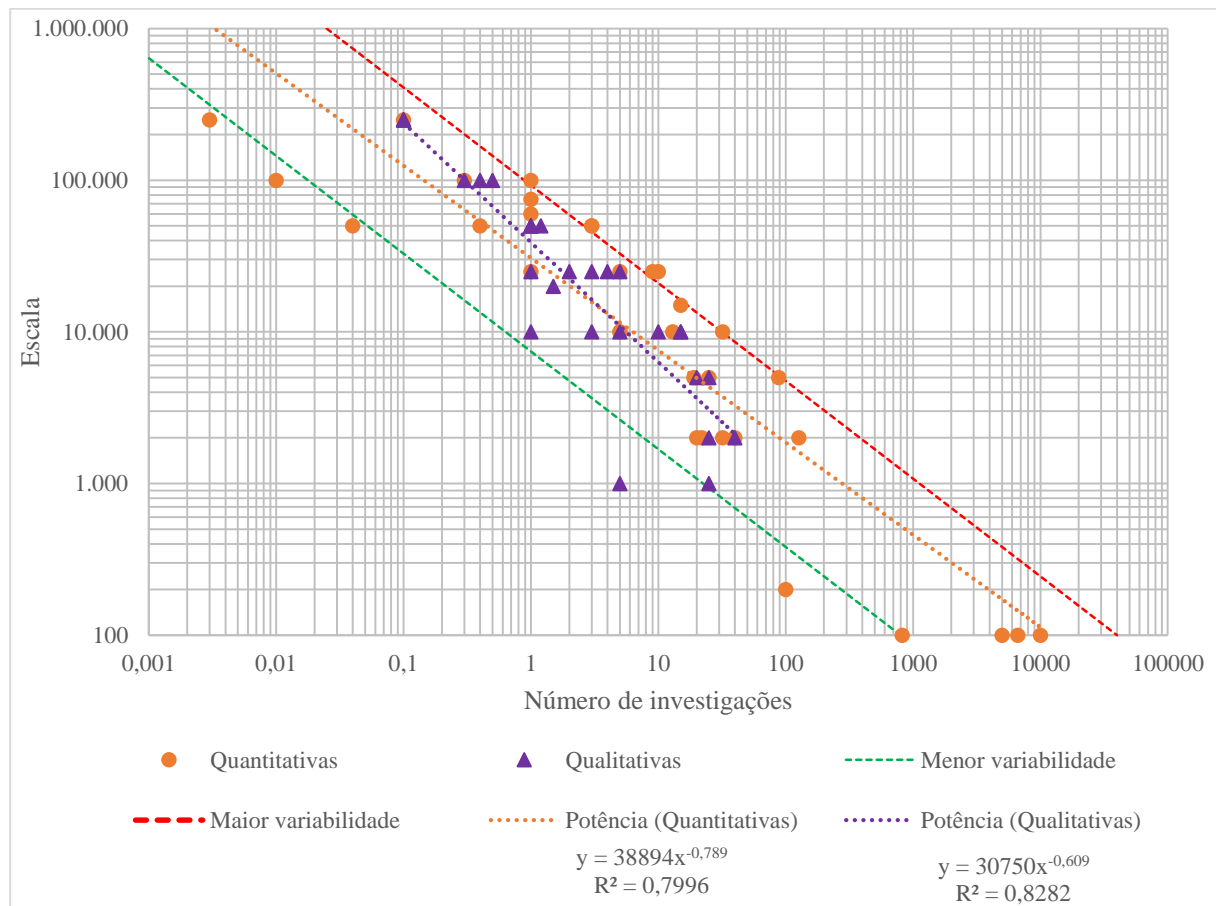


Figura 5.13: Relação entre o número de investigações por km<sup>2</sup> e a escala de mapeamento geotécnico.

Tanto as observações quantitativas quanto as qualitativas apresentam comportamentos semelhantes, entretanto a inclinação da linha de tendência das investigações é menor o que acarreta em um número maior de observações quantitativas do que as qualitativas para escalas de maior detalhamento e o inverso para escalas de menor detalhamento.

Considerando as escalas sugeridas para os produtos cartográficos destinados ao planejamento urbano, mais especificamente as cartas de suscetibilidade (1:25.000), aptidão a urbanização (1:10.000) e risco (1:2.000) é possível a partir da Figura 5.13 obter sugestões de números de investigações para cada um dos produtos considerando as propostas apresentadas pelos autores. Os valores obtidos pelas equações foram utilizados como valores gerais, os máximos para terrenos com alta variabilidade e os mínimos para terrenos com baixa variabilidade. Essas sugestões são apresentadas na Tabela 5.3.

Tabela 5.3: Quantidade mínima de pontos por km<sup>2</sup> a ser considerado na elaboração de mapeamentos geotécnicos baseada nos autores enumerados nas tabelas 2.4 e 2.5.

Tipo de investigação e variabilidade	Observações quantitativas	Observações qualitativas	Alta variabilidade	Baixa variabilidade
			Produto cartográfico	
Carta de suscetibilidade (1:25.000)	1,4 / km <sup>2</sup>	1,8 / km <sup>2</sup>	3 / km <sup>2</sup>	1 / 10 km <sup>2</sup>
Carta de aptidão a urbanização (1:10.000)	6,3 / km <sup>2</sup>	5,6 / km <sup>2</sup>	21 / km <sup>2</sup>	7 / 10 km <sup>2</sup>
Carta de risco (1:2.000)	88 / km <sup>2</sup>	43 / km <sup>2</sup>	598 / km <sup>2</sup>	7 / km <sup>2</sup>

Devido ao crescimento potencial do número de investigações com o aumento da escala, observado na Figura 5.13, tem-se uma dificuldade na definição de um número de investigações, que não inviabilize o mapeamento, para produtos cartográficos de grande escala.

Considerando que a área de detalhe do presente trabalho (cerca de 3 km<sup>2</sup>), segundo a proposta apresentada na Tabela 5.3 seriam necessárias 264 investigações quantitativas para se atingir o nível de detalhamento adequado. Apesar da variabilidade estrutural do substrato rochoso ser bastante alta, a cobertura de matérias inconsolidados aparenta ser bastante homogênea sendo assim, o número de investigações poderia reduzir consideravelmente (21 investigações). Entretanto, em terrenos em que as propriedades apresentem uma alta variabilidade, o número poderia aumentar até 1794 investigações, que a depender dos métodos de investigações e ensaios previstos, inviabilizariam o mapeamento geotécnico.

Entretanto a quantidade de investigações necessárias pode ser reduzida realizando um mapeamento preliminar da área de estudo e no entorno com base em técnicas de fotointerpretação e análise da base cartográfica disponível. Outra maneira consiste na utilização de um método de amostragem adequado, que permita a redução do número de investigações sem a perda de qualidade no produto final.

#### **5.4.LOCALIZAÇÃO DAS INVESTIGAÇÕES REALIZADAS E DOS PONTOS VISITADOS**

A Tabela 5.4 apresenta informações acerca dos ensaios de infiltração realizados, enquanto a Tabela 5.5 apresenta um resumo dos dados compilados. No total foram realizados 61 ensaios de infiltração, sendo 46 entre 20 e 25 centímetros e 15 entre 45 e 60 centímetros. Dos 61 ensaios, 19 foram realizados na primeira etapa de investigação, 12 na segunda etapa e 30 na terceira etapa.

Tabela 5.4: Tabela com a localização e as demais informações dos ensaios de infiltração realizados.

Nome	Etapa de investigação	Coordenada Leste	Coordenada Norte	Tipo de reservatório	Profundidade (cm)	Diâmetro (cm)	Primeira carga (H1)	Segunda carga (H2)
G1	Etapa 1	193195	8260373	IE	20,0	6,0	10,0	15,0
G2	Etapa 1	194681	8261398	I	20,0	6,0	15,0	18,0
G4	Etapa 1	194249	8260349	I	20,0	6,0	15,0	18,0
G5	Etapa 1	198096	8261530	IE	20,0	6,0	10,0	15,0
G6	Etapa 1	197972	8259796	IE	25,0	6,0	15,0	20,0
G7	Etapa 1	199162	8253182	IE	20,0	6,0	15,0	18,0
G8	Etapa 1	193170	8260160	IE	25,0	6,0	20,0	24,0
G9	Etapa 1	195114	8258979	I	25,0	6,0	20,0	24,0
G10	Etapa 1	194372	8259951	IE	25,0	6,0	15,0	20,0
G12	Etapa 1	195169	8259277	I	20,0	6,0	15,0	18,0
G13	Etapa 1	196382	8259866	I	25,0	6,0	15,0	20,0
G14	Etapa 1	198908	8260983	I	25,0	6,0	15,0	20,0
G15	Etapa 1	193372	8263091	I	20,0	6,0	15,0	18,0
G16	Etapa 1	195954	8262422	I	20,0	6,0	15,0	18,0
G18	Etapa 1	195214	8261808	IE	25,0	6,0	14,5	18,0
G19	Etapa 1	192496	8261017	IE	20,0	6,0	10,0	15,0
G24	Etapa 1	193250	8262530	IE	20,0	6,0	10,0	15,0
G28	Etapa 1	198630	8254475	I	20,0	6,0	15,0	18,0
G29	Etapa 1	197776	8256785	I	20,0	6,0	15,0	18,0
G3	Etapa 2	194637	8260814	I	20,0	6,0	15,0	18,0
G11	Etapa 2	194701	8260177	I	20,0	6,0	15,0	18,0
G17	Etapa 2	195776	8262256	IE	20,0	6,0	15,5	18,0
G20	Etapa 2	195229	8261027	IE	20,0	6,0	10,0	15,0
G21	Etapa 2	195339	8261451	IE	20,0	6,0	10,0	15,0
G22	Etapa 2	195906	8261280	IE	20,0	6,0	10,0	15,0
G23	Etapa 2	196071	8261681	IE	20,0	6,0	10,0	15,0
G27	Etapa 2	194495	8260665	IE	20,0	6,0	10,0	15,0
G39	Etapa 2	196326	8262755	IE	20,0	6,0	15,0	20,0
G40	Etapa 2	196274	8262085	IE	20,0	6,0	10,0	15,0
G41	Etapa 2	195595	8262116	IE	20,0	6,0	10,0	15,0
G44	Etapa 2	195014	8261198	IE	20,0	6,0	15,0	20,0
G26	Etapa 3	194064	8260554	I	20,0	6,0	15,0	18,0
G30	Etapa 3	194298	8260882	IE	20,0	6,0	10,0	15,0
G31	Etapa 3	193927	8260458	IE	20,0	6,0	10,0	15,0
G32	Etapa 3	194061	8260374	IE	20,0	6,0	10,0	15,0
G33	Etapa 3	194165	8260184	I	20,0	6,0	16,0	18,0
G34	Etapa 3	194371	8260158	I	20,0	6,0	15,0	20,0
G35	Etapa 3	194607	8260092	IE	20,0	6,0	10,0	15,0
G36	Etapa 3	194441	8260296	IE	20,0	6,0	10,0	15,0
G37	Etapa 3	194642	8260529	IE	20,0	6,0	10,0	15,0
G38	Etapa 3	195713	8261001	IE	20,0	6,0	10,5	15,0
G42	Etapa 3	193970	8259997	I	20,0	6,0	15,5	18,0

\*IE – Interno e externo; I – Interno; E – Externo



Tabela 5.4: Continuação da tabela com a localização e as demais informações dos ensaios de infiltração realizados.

Nome	Etapa de investigação	Coordenada Leste	Coordenada Norte	Tipo de reservatório	Profundidade (cm)	Diâmetro (cm)	Primeira carga (H1)	Segunda carga (H2)
G43	Etapa 3	193925	8260664	I	20,0	6,0	15,0	20,0
G25	Etapa 3	194236	8260699	I	20,0	6,0	15,0	18,0
G45	Etapa 3	194482	8259979	I	20,0	6,0	18,0	19,0
G46	Etapa 3	194633	8260184	IE	20,0	6,0	10,0	15,0
G30A	Etapa 3	194298	8260882	I	60,0	6,0	15,0	20,0
G25A	Etapa 3	194236	8260699	IE	60,0	6,0	15,0	20,5
G26A	Etapa 3	194064	8260554	IE	60,0	6,0	15,0	20,5
G4A	Etapa 3	194249	8260349	IE	60,0	6,0	15,0	20,0
G46A	Etapa 3	194633	8260184	I	45,0	6,0	10,0	20,0
G37A	Etapa 3	194642	8260529	I	45,0	6,0	10,0	20,0
G27A	Etapa 3	194495	8260665	IE	60,0	6,0	10,0	20,0
G3A	Etapa 3	194637	8260814	IE	50,0	6,0	15,0	25,0
G43A	Etapa 3	193925	8260664	I	60,0	6,0	20,0	25,0
G36A	Etapa 3	194441	8260296	IE	60,0	6,0	15,0	20,0
G32A	Etapa 3	194061	8260374	IE	60,0	6,0	10,0	15,0
G20A	Etapa 3	195229	8261027	IE	45,0	6,0	10,0	15,0
G35A	Etapa 3	194607	8260092	IE	45,0	6,0	10,0	15,0
G34A	Etapa 3	194371	8260158	I	60,0	6,0	15,0	20,0
G33A	Etapa 3	194165	8260184	I	60,0	6,0	10,0	15,0

\*IE – Interno e externo; I – Interno; E - Externo

Tabela 5.5: Tabela com a localização das investigações preexistentes compiladas.

Ponto	Coordenada Leste	Coordenada Norte	Tipo de dado	Nível de água	Profundidade (m)	Região administrativa	Data de execução
1	191087	8261355	Sondagem SPT	-	2,30	Varjão	22/06/2011
2	191087	8261361	Sondagem SPT	-	2,75	Varjão	22/06/2011
3	191619	8261086	Sondagem SPT	-	3,29	Varjão	14/12/2011
4	191702	8260816	Sondagem SPT	3,60	10,45	Varjão	29/09/2004
5	191693	8260820	Sondagem SPT	3,95	11,45	Varjão	29/09/2004
6	192224	8261532	Sondagem SPT	-	1,78	Lago Norte	19/09/2017
7	192222	8261519	Sondagem SPT	-	3,81	Lago Norte	19/09/2017
8	192168	8261878	Sondagem SPT	11,30	18,59	Lago Norte	20/09/2017
9	192177	8261885	Sondagem SPT	11,43	20,54	Lago Norte	20/09/2017
10	195307	8258503	Sondagem SPT	-	5,45	Lago Norte	11/12/2000
11	195301	8258472	Sondagem SPT	-	5,45	Lago Norte	11/12/2000
12	202144	8253683	Sondagem SPT	-	3,21	Paranoá	28/02/2002
13	202525	8254005	Sondagem SPT	6,25	9,30	Paranoá	06/02/2002
14	202342	8255230	Sondagem SPT	-	14,37	Paranoá	10/08/2009
15	202172	8255447	Sondagem SPT	-	16,45	Paranoá	17/11/2008
16	202184	8255452	Sondagem SPT	-	15,45	Paranoá	17/11/2008
17	201388	8255268	Sondagem SPT	-	17,47	Paranoá	17/09/2015
18	201387	8255281	Sondagem SPT	-	13,52	Paranoá	18/09/2015
19	201374	8255276	Sondagem SPT	-	12,62	Paranoá	21/09/2015
20	201375	8255263	Sondagem SPT	-	11,49	Paranoá	21/09/2015
21	201363	8255258	Sondagem SPT	-	11,38	Paranoá	22/09/2015
22	201362	8255271	Sondagem SPT	-	12,58	Paranoá	23/09/2015

Tabela 5.5: Continuação da tabela com a localização das investigações preexistentes compiladas.

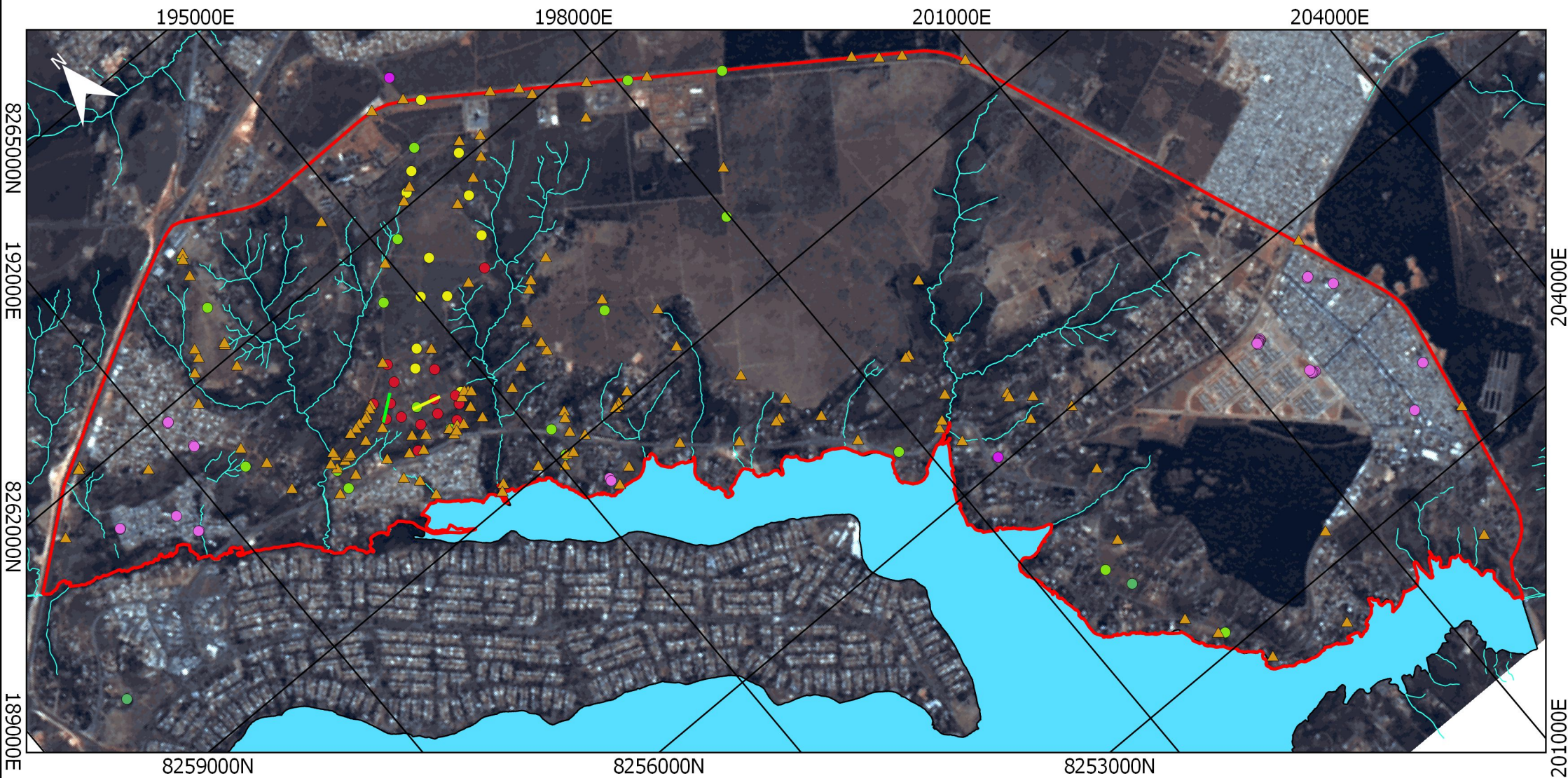
Ponto	Coordenada Leste	Coordenada Norte	Tipo de dado	Nível de água	Profundidade (m)	Região administrativa	Data de execução
23	201349	8255266	Sondagem SPT	-	9,48	Paranoá	23/09/2015
24	201350	8255253	Sondagem SPT	-	13,65	Paranoá	24/09/2015
25	201338	8255248	Sondagem SPT	-	14,64	Paranoá	25/09/2015
26	201337	8255261	Sondagem SPT	-	13,53	Paranoá	25/09/2015
27	201614	8254653	Sondagem SPT	-	11,37	Paranoá	12/08/2016
28	201596	8254653	Sondagem SPT	-	8,55	Paranoá	12/08/2016
29	201578	8254657	Sondagem SPT	-	12,51	Paranoá	15/08/2016
30	201586	8254663	Sondagem SPT	-	13,54	Paranoá	15/08/2016
31	201578	8254674	Sondagem SPT	-	13,58	Paranoá	16/08/2016
32	201578	8254699	Sondagem SPT	-	13,45	Paranoá	16/08/2016
33	198748	8254187	Poço tubular	-	120,00	Lago Norte	-
34	190504	8262771	Poço tubular	-	50,00	Lago Norte	-
35	190008	8259964	Poço tubular	-	80,00	Lago Norte	-
36	196290	8263138	Ensaio	-	1,00	Lago Norte	2007
37	198470	8256091	Ensaio	-	1,00	Lago Norte	2007

Durante o mapeamento geológico geotécnico foram visitados 130 pontos em que foram coletadas informações acerca da geologia como o litotipo, estruturas, grau de alteração, fraturamento e coerência, dos tipos de solo e da geomorfologia, além de registrar pontos de interesse (afloramentos, feições erosivas, escavações irregulares, presença de blocos de rocha em superfície). A Tabela 5.6 apresenta a quantidade de investigações por quilômetro quadrado realizadas em cada nível de detalhamento.

Tabela 5.6: Comparação entre a proposta obtida a partir da análise da bibliografia e o número de investigações executadas.

Escala de trabalho	Número de observações quantitativas / km <sup>2</sup>		Número de observações qualitativas / km <sup>2</sup>	
	Proposto	Realizado	Proposto	Realizado
Escala média	1,4	1	1,8	2,2
Escala de semidetalhe	6,3	5	5,6	7,4
Escala de detalhe	88	12	43	13,6

A Figura 5.14 apresenta uma carta de localização das investigações realizadas (ensaio de infiltração e linhas de eletrorresistividade), pontos visitados durante o mapeamento geotécnico e dos dados preexistentes compilados na área de estudo.



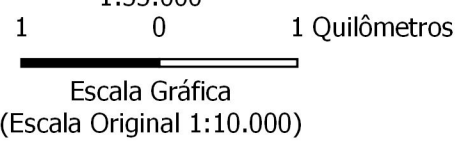
**Legenda**

- |                              |                                       |
|------------------------------|---------------------------------------|
| <b>Ensaio de Infiltração</b> | ● Poços tubulares profundos           |
| ● Etapa 1                    | <b>Mapeamento geotécnico</b>          |
| ● Etapa 2                    | ▲ Pontos Visitados                    |
| ● Etapa 3                    | <b>Perfis de Eletrorresistividade</b> |
| <b>Dados pré existentes</b>  | — Seção 1                             |
| ● Boletim de sondagem        | — Seção 2                             |
| ● Ensaio                     |                                       |

**Convenções Cartográficas**

- |                          |
|--------------------------|
| — Hidrografia            |
| ■ Lagos e Corpos de Água |
| — Limites                |
| □ Área de Estudo         |

Projeção Transversa de Mercator  
 Datum: SIRGAS 2000  
 Meridiano Central 45° WGr  
 1:55.000



Composição colorida RGB432 + Fusão  
 Pancromática, imagem LANDSAT 8 de  
 25 de Agosto de 2017.

Universidade de Brasília  
 Programa de Pós Graduação em Geotecnia  
 Autor: Bruno Rodrigues de Oliveira

**Figura 5.14: Carta de Localização das Investigações na Área de Estudo**



## 5.5.RESULTADO DOS LEVANTAMENTOS GEOFÍSICOS

Dois levantamentos de eletrorresistividade foram executados na área do condomínio Prive II com o objetivo de avaliar as unidade de terreno em subsuperfície. Ambas as seções foram realizadas na área escolhida para o mapeamento de detalhe devido a sua representatividade do restante da área. A primeira seção foi realizada na unidade de terreno recoberta pelos latossolos, inserida na unidade geomorfológica do rebordo, e a segunda na área recoberta por cambissolos e neossolos litólicos, na transição entre o rebordo e os degraus estruturais.

Os valores de eletrorresistividade observados na primeira seção (Figura 5.15) variam entre 500 e 150.000 ohm.m, sendo os maiores valores concentrados no centro da seção na forma de uma estrutura com inclinação de cerca de 25 graus, inclinação essa associada a caimento das camadas do substrato rochoso, a aproximadamente 10 metros de profundidade a 48 e 168 metros do início da seção. Como mencionado no tópico 2.4.5.1, devido à grande variação das faixas de resistividade não é possível definir os tipos de materiais sendo necessário a execução de investigações diretas para sua identificação, entretanto os resultados demonstram a necessidade de um cuidado especial com fundações profundas visto que algumas dessas estruturas podem ser confundidas com o substrato rochoso durante as investigações com sondagens a percussão.

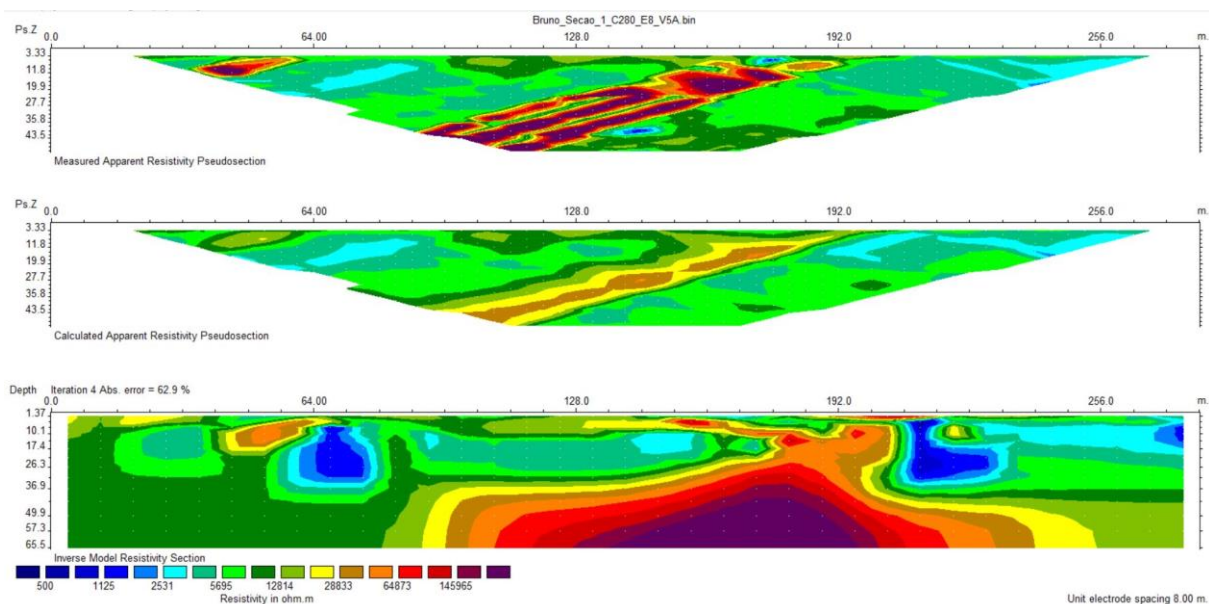


Figura 5.15: Seções obtidas pelo processo de inversão dos dados de eletrorresistividade levantados em campo no local da Seção 1. (a) Seção com os dados medidos em campo; (b) Modelo matemático elaborado pelo programa RES2DINV para o processo de inversão; (c) Seção invertida pelo programa RES2DINV utilizando o método dos mínimos quadrados.

Outro ponto é a possível repetição dessas estruturas em subsuperfície, visto a ocorrência de valores elevados a 68 metros do início da seção, sendo necessário maiores investigações para

confirmar essa hipótese. Os altos valores de eletrorresistividade obtidos no levantamento podem ser devido à baixa umidade do solo e a textura arenosa dos materiais.

Os valores de eletrorresistividade observados na segunda seção (Figura 5.16) variam entre 400 e 30.000 ohm.m, sendo os maiores valores ocorrendo a partir de 160 metros até o final da seção, com uma transição brusca de um material menos resistivo para um material mais resistivo, com uma inclinação de cerca de 22 graus. A seção inicia em 80 metros a partir do início da seção original devido a um problema durante a aquisição, mas em campo observou-se que os latossolos ocorrem de 80 até 152 metros transicionando para uma associação de cambissolos e neossolo litólicos a partir de 152 metros. Os baixos valores de eletrorresistividade obtidos no levantamento podem ser devido à chuva continuada nos dias anteriores ao levantamento.

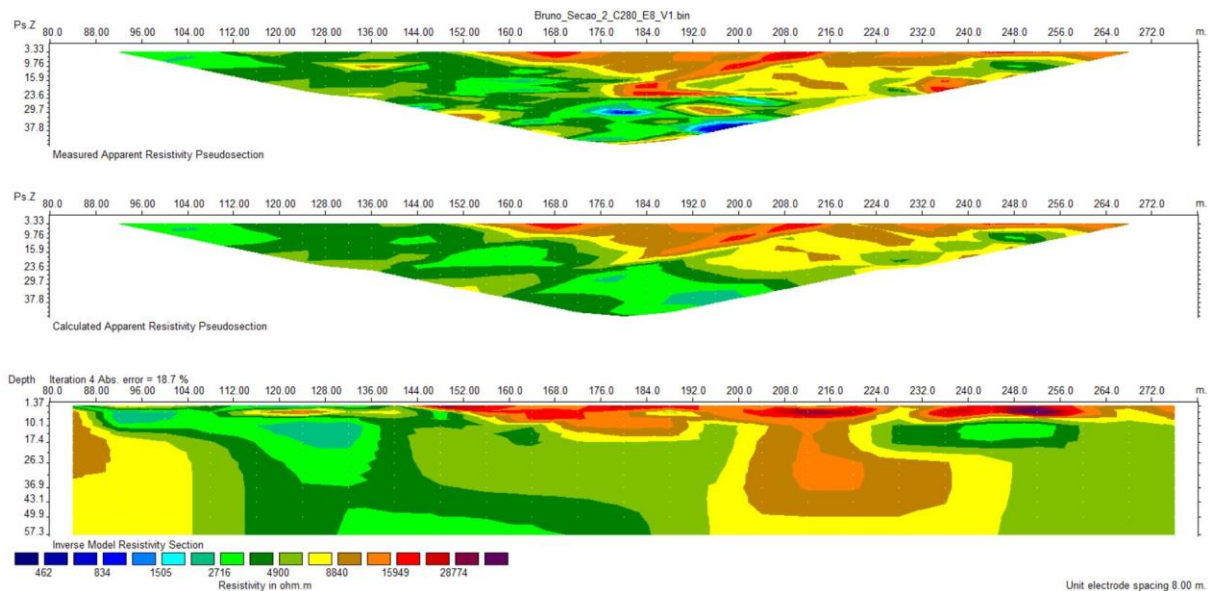


Figura 5.16: Seções obtidas pelo processo de inversão dos dados de eletrorresistividade levantados em campo no local da Seção 2. (a) Seção com os dados medidos em campo; (b) Modelo matemático elaborado pelo programa RES2DINV para o processo de inversão; (c) Seção invertida pelo programa RES2DINV utilizando o método dos mínimos quadrados.

## 5.6.RESULTADO DAS INVESTIGAÇÕES GEOTÉCNICAS

Neste tópico serão apresentados os resultados dos ensaios de infiltração realizados na área de estudo. Os valores de condutividade hidráulica saturada obtidos para cada furo, calculados pelos métodos Elrick et al. (1989) e Reynolds e Elrick (1985), são apresentados nas Tabela 5.7 e Tabela 5.8. Esses resultados foram rearranjados em função dos tipos de solos para a avaliação da sua variabilidade. A correlação da condutividade hidráulica saturada com a distância euclidiana da drenagem mais próxima, altura vertical da drenagem mais próxima e da quebra de relevo mais próxima foi avaliada por meio de gráficos de dispersão.

Tabela 5.7: Valores de condutividade hidráulica saturada para profundidades entre 20 e 25 cm calculados pelos métodos de Elrick et al. (1989) e Reynolds e Elrick (1985).

Nome	Taxa de infiltração R1 (cm/s)	Taxa de infiltração R2 (cm/s)	$\alpha$ (cm <sup>-1</sup> )	Condutividade hidráulica saturada (cm/s)	
				Reynolds & Elrick (1985)	Elrick et al. (1989)
G1	0,008	0,016	0,01	7,50E-04	1,80E-04
G2	0,070	0,140	0,04	7,43E-04	7,33E-05
G3	0,090	0,180	0,04	9,55E-04	9,43E-05
G4	0,270	0,540	0,04	2,87E-03	2,83E-04
G5	0,030	0,040	0,04	5,50E-04	6,75E-04
G6	0,030	0,070	0,01	3,59E-03	5,15E-04
G7	0,020	0,040	0,01	3,22E-03	3,43E-04
G8	0,007	0,014	0,04	7,86E-04	9,50E-05
G9	0,047	0,094	0,01	2,96E-04	3,90E-05
G10	0,007	0,070	0,36	6,25E-03	6,25E-03
G11	0,087	0,174	0,01	8,56E-04	9,11E-05
G12	0,047	0,093	0,01	4,59E-04	4,89E-05
G13	0,067	0,100	0,01	1,44E-04	6,98E-05
G14	0,233	0,333	0,01	4,03E-04	2,44E-04
G15	0,020	0,087	0,04	7,58E-04	2,10E-05
G16	0,600	1,200	0,01	5,90E-03	6,29E-04
G17	0,300	0,600	0,01	4,84E-02	5,02E-03
G18	0,007	0,014	0,01	9,49E-04	1,23E-04
G19	0,013	0,026	0,01	1,22E-03	4,69E-04
G20	0,047	0,067	0,12	1,70E-03	1,74E-03
G21	0,047	0,067	0,01	1,27E-03	1,77E-03
G22	0,047	0,067	0,01	1,31E-03	1,78E-03
G23	0,020	0,040	0,12	2,20E-03	7,65E-04
G24	0,013	0,070	0,12	7,11E-03	4,98E-04
G25	0,400	0,800	0,04	4,24E-03	6,27E-04
G26	0,133	0,266	0,12	1,51E-03	2,09E-04
G27	0,067	0,100	0,12	2,99E-03	2,58E-03
G28	0,367	0,733	0,01	3,61E-03	5,76E-04
G29	0,033	0,066	0,01	3,25E-04	5,19E-05
G30	0,002	0,004	0,01	1,87E-04	7,72E-05
G31	0,100	0,167	0,36	6,75E-03	3,86E-03
G32	0,013	0,027	0,12	1,56E-03	5,02E-04
G33	0,053	0,070	0,01	2,26E-04	7,79E-05
G34	0,133	0,333	0,01	1,11E-03	2,10E-04
G35	0,007	0,200	0,01	2,23E-02	2,71E-04
G36	0,013	0,027	0,12	1,56E-03	5,03E-04
G37	0,133	0,266	0,12	1,46E-02	5,15E-03
G38	0,007	0,013	0,12	7,31E-04	2,59E-04
G39	0,033	0,047	0,01	9,18E-04	8,52E-04
G40	0,067	0,134	0,36	7,38E-03	2,60E-03
G41	0,100	0,200	0,36	1,10E-02	3,87E-03
G42	0,133	0,200	0,01	7,42E-04	2,03E-04
G43	0,333	0,633	0,12	1,84E-03	5,25E-04
G44	0,007	0,013	0,01	5,00E-04	1,81E-04
G45	0,047	0,067	0,12	6,82E-04	6,09E-05
G46	0,033	0,047	0,12	1,18E-03	1,28E-03

Tabela 5.8: Valores de condutividade hidráulica saturada para profundidades entre 45 e 60 cm calculados pelos métodos de Elrick et al. (1989) e Reynolds e Elrick (1985).

Nome	Taxa de infiltração R1 (cm/s)	Taxa de infiltração R2 (cm/s)	$\alpha$ (cm <sup>-1</sup> )	Condutividade hidráulica saturada (cm/s)	
				Reynolds & Elrick (1985)	Elrick et al. (1989)
G30A	0,100	0,167	0,01	3,21E-04	1,58E-06
G25A	0,027	0,067	0,01	3,22E-03	6,98E-06
G26A	0,020	0,033	0,01	8,83E-04	5,17E-06
G4A	0,020	0,033	0,01	1,01E-03	5,17E-06
G46A	0,020	0,040	0,04	4,30E-05	4,74E-07
G37A	0,267	0,433	0,04	2,39E-04	6,32E-06
G27A	0,007	0,027	0,04	9,54E-04	2,72E-06
G3A	0,020	0,027	0,04	7,68E-05	5,17E-06
G43A	0,067	0,200	0,04	7,42E-04	7,72E-07
G36A	0,027	0,040	0,04	1,00E-03	6,98E-06
G32A	0,100	0,160	0,01	4,71E-03	3,88E-05
G20A	0,033	0,047	0,01	8,79E-04	1,28E-05
G35A	0,020	0,040	0,01	1,87E-03	7,76E-06
G34A	0,400	0,600	0,01	8,66E-04	6,32E-06
G33A	0,007	0,200	0,01	1,36E-03	1,66E-07

Também foi avaliado a existência de uma relação entre o volume necessário para estabilizar a vazão no furo e a chuva acumulada de 24 e 48 horas antes da realização do ensaio, utilizando dados da estação do Instituto Nacional de Meteorologia. Como os ensaios foram em locais diferentes, essa avaliação foi realizada para cada classe de solo.

Os valores de condutividade hidráulica obtidos para os solos superficiais da região variam entre  $10^{-2}$  e  $10^{-5}$  cm/s. Os métodos de Reynolds & Elrick (1985) e Elrick et al. (1989) apresentaram valores entre  $10^{-2}$  e  $10^{-4}$  cm/s e  $10^{-3}$  e  $10^{-5}$  cm/s respectivamente.

Agrupando os resultados pelos tipos de solos, se verifica que os cambissolos apresentam uma média a baixa condutividade hidráulica, variando entre  $2 \times 10^{-2}$  e  $3 \times 10^{-4}$  cm/s, enquanto os latossolos vermelhos amarelos apresentam uma baixa condutividade (entre  $3 \times 10^{-3}$  a  $4 \times 10^{-5}$  cm/s). Na área de detalhe foram realizados ensaios em uma segunda profundidade, principalmente nos Latossolos Vermelho-Amarelo nos quais foram observados um aumento da faixa condutividade hidráulica para  $1 \times 10^{-3}$  a  $1 \times 10^{-7}$  cm/s. Quanto as gleissolos, a ordem de grandeza, é de  $10^{-3}$  cm/s. O Latossolo Vermelho apresenta uma média a baixa condutividade hidráulica, variando entre  $5 \times 10^{-2}$  e  $2 \times 10^{-4}$  cm/s. De maneira geral os latossolos vermelhos são mais permeáveis que os latossolos vermelhos amarelos, o que é esperado visto que a principal diferença entre eles é a maior capacidade de drenagem dos latossolos vermelhos em relação aos amarelos.

A Figura 5.17 apresenta um gráfico de dispersão das condutividades hidráulicas, para cada tipo de solo, calculadas pelos métodos de Reynolds & Elrick (1985) e Elrick et al. (1989).

A avaliação entre a relação da condutividade hidráulica com as distâncias euclidianas das drenagens, alturas verticais das drenagens mais próximas e das quebras de relevo mostrou que a correlação entre as variáveis, para cada tipo de solo, é muito baixa como mostra a Tabela 5.9. O objetivo das correlações foi avaliar a existência de alguma relação entre as variáveis que pudesse ser interpretada como casualidade. A Figura 5.18 mostra os gráficos de dispersão entre as variáveis e a condutividade hidráulica.

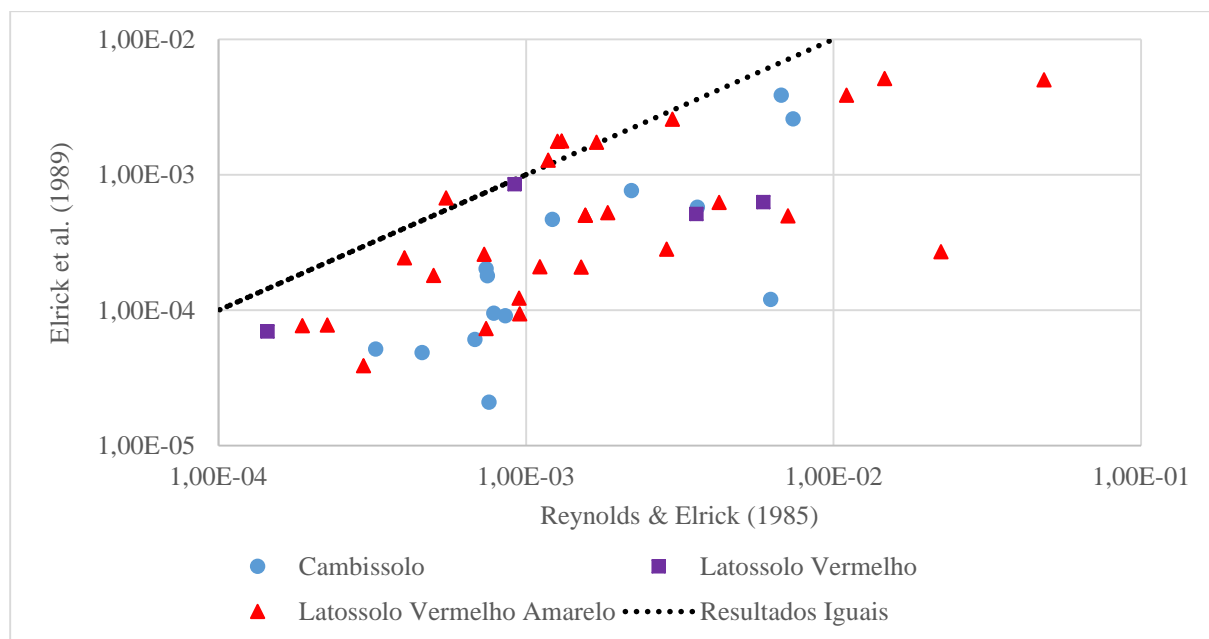


Figura 5.17: Gráfico de dispersão das condutividades hidráulicas calculadas pelos métodos de Reynolds & Elrick (1985) e Elrick et al. (1989) para cada tipo de solo.

Tabela 5.9: Coeficientes de correlação entre a condutividade hidráulica saturada e as variáveis analisadas para cada tipo de solo.

Método de cálculo	Tipo de solo	Distância euclidiana da drenagem mais próxima	Distância euclidiana da quebra de relevo mais próxima	Altura vertical da drenagem mais próxima
Elrick et al. (1989)	Todos (45 ensaios)	-0,10 Bem fraca	-0,13 Bem fraca	0,16 Bem fraca
	Cambissolo (14 ensaios)	-0,06 Bem fraca	-0,001 Bem fraca	0,62 Moderada
	Latossolo Vermelho (4 ensaios)	0,35 Fraca	0,01 Bem fraca	-0,26 Fraca
	Latossolo Vermelho-Amarelo (27 ensaios)	-0,14 Bem fraca	-0,19 Bem fraca	-0,01 Bem fraca
Reynolds & Elrick (1985)	Todos (45 ensaios)	-0,09 Bem fraca	-0,12 Bem fraca	0,23 Fraca
	Cambissolo (14 ensaios)	0,37 Fraca	-0,02 Bem fraca	0,67 Moderada
	Latossolo Vermelho (4 ensaios)	-0,14 Bem fraca	-0,42 Moderada	0,81 Forte
	Latossolo Vermelho-Amarelo (27 ensaios)	-0,15 Bem fraca	-0,17 Bem fraca	0,18 Bem fraca



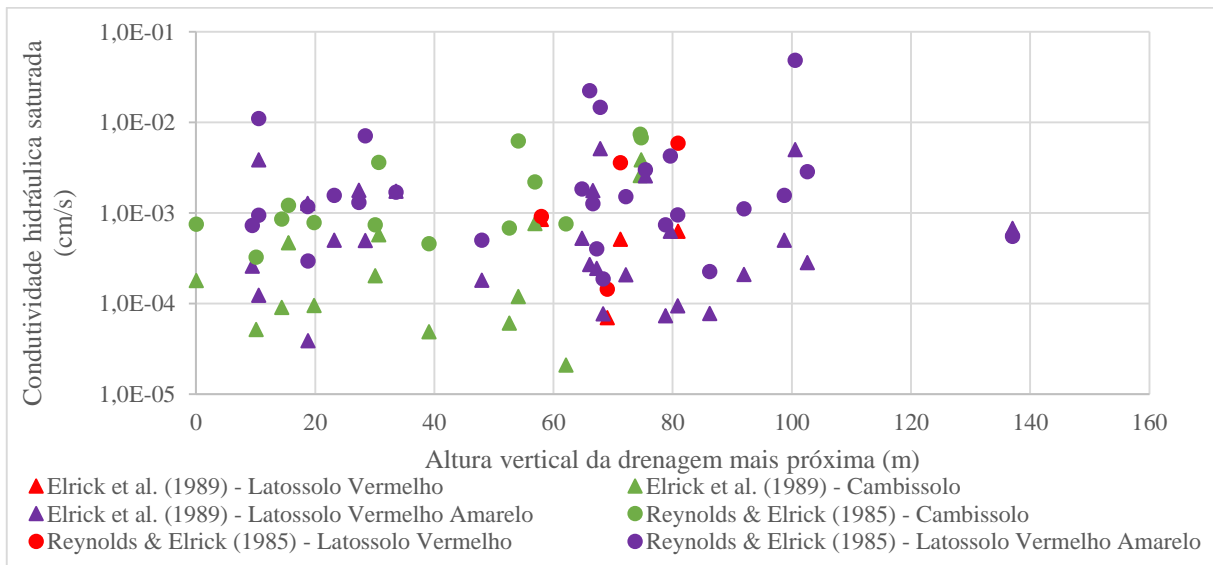
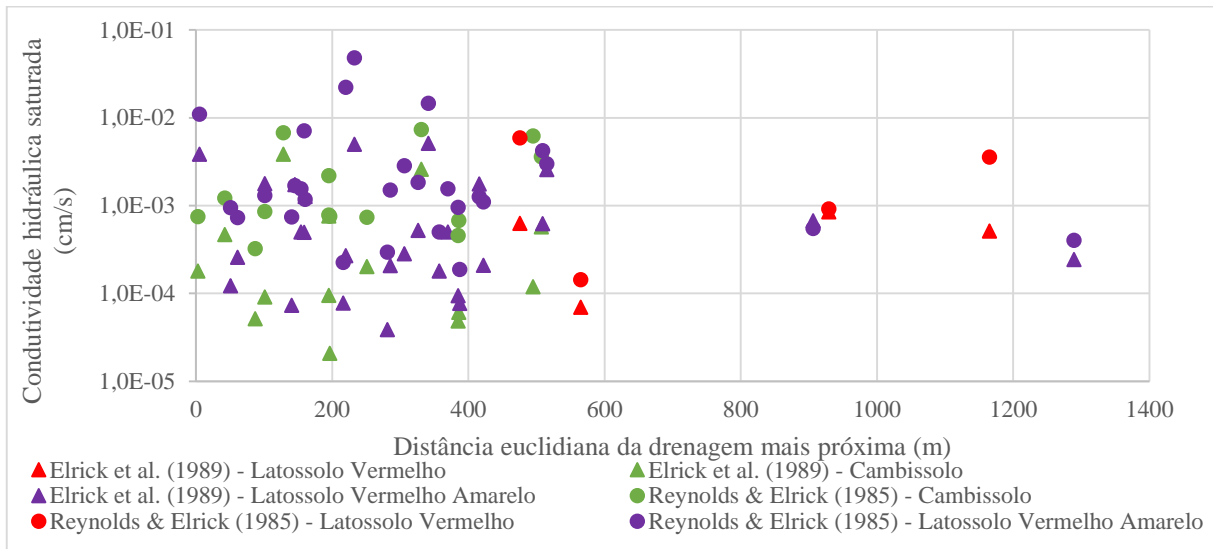
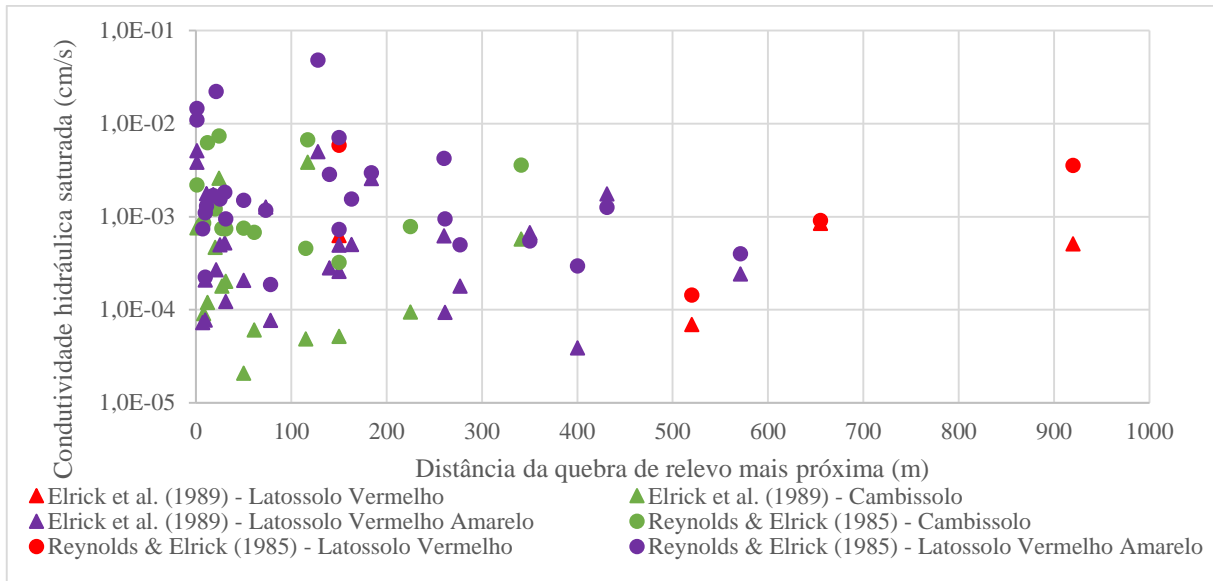


Figura 5.18 Gráficos de dispersão entre a condutividade hidráulica de cada tipo de solo (LVA, LV e CX) e a distância euclidiana da drenagem mais próxima, distância da quebra de relevo e altura vertical da drenagem mais próxima.

Também foram elaborados gráficos de dispersão (Figura 5.19) relacionando o volume de água ( $\text{cm}^3$ ) com a precipitação acumulada de 24h e 48h com o objetivo de avaliar qualitativamente a relação entre as variáveis e quantificar o volume necessário para estabilizar o furo. Os resultados foram agrupados pelos tipos de solos, não sendo elaborados gráficos para os latossolos vermelho e gleissolos devido ao baixo número de observações.

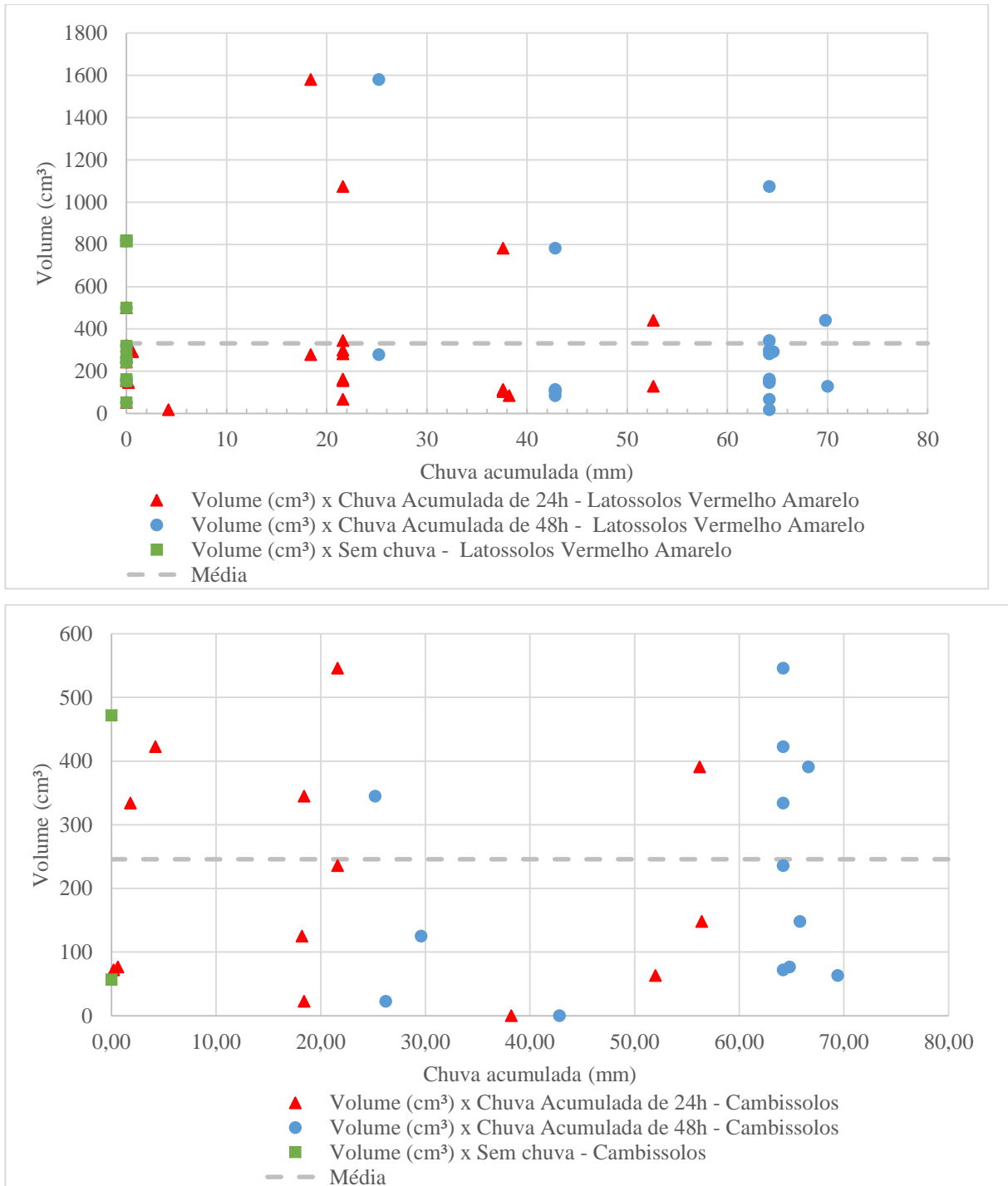


Figura 5.19: Gráficos de dispersão relacionando o volume de água ( $\text{cm}^3$ ) com a precipitação acumulada de 24h e 48h.

Os valores de volume necessário para a estabilização dos latossolos vermelho amarelo variam de 50 a 820 cm<sup>3</sup> sem precipitação nos dias anteriores e entre 20 a 1600 cm<sup>3</sup>, com a maior parte dos valores próximo ao volume acumulado médio de 350 cm<sup>3</sup>. Os valores muito elevados podem estar associados com a heterogeneidade ou macroporosidade no meio poroso.

Nos cambissolos os volumes necessários são inferiores aos dos latossolos, variando de 60 a 470 cm<sup>3</sup> sem precipitação nos dias anteriores e entre 20 a 550 cm<sup>3</sup>, com média de 250 cm<sup>3</sup>, e valores mais distribuídos no entorno da média. Para as chuvas acumuladas de 24h observa-se uma diminuição nos valores máximos necessários para a estabilização do furo a medida que a chuva acumulada aumenta, mas para as chuvas acumuladas de 48h ocorre o oposto. Isso ocorre porque os quatro pontos acima da média, entre 60 e 70 mm de chuva acumulada, estão associados a furos com uma textura arenosa com uma granulometria muito grossa acarretando no aumento do volume necessário para a estabilização.

## **5.7.CARTAS DAS UNIDADES DE TERRENO DA ÁREA DE ESTUDO**

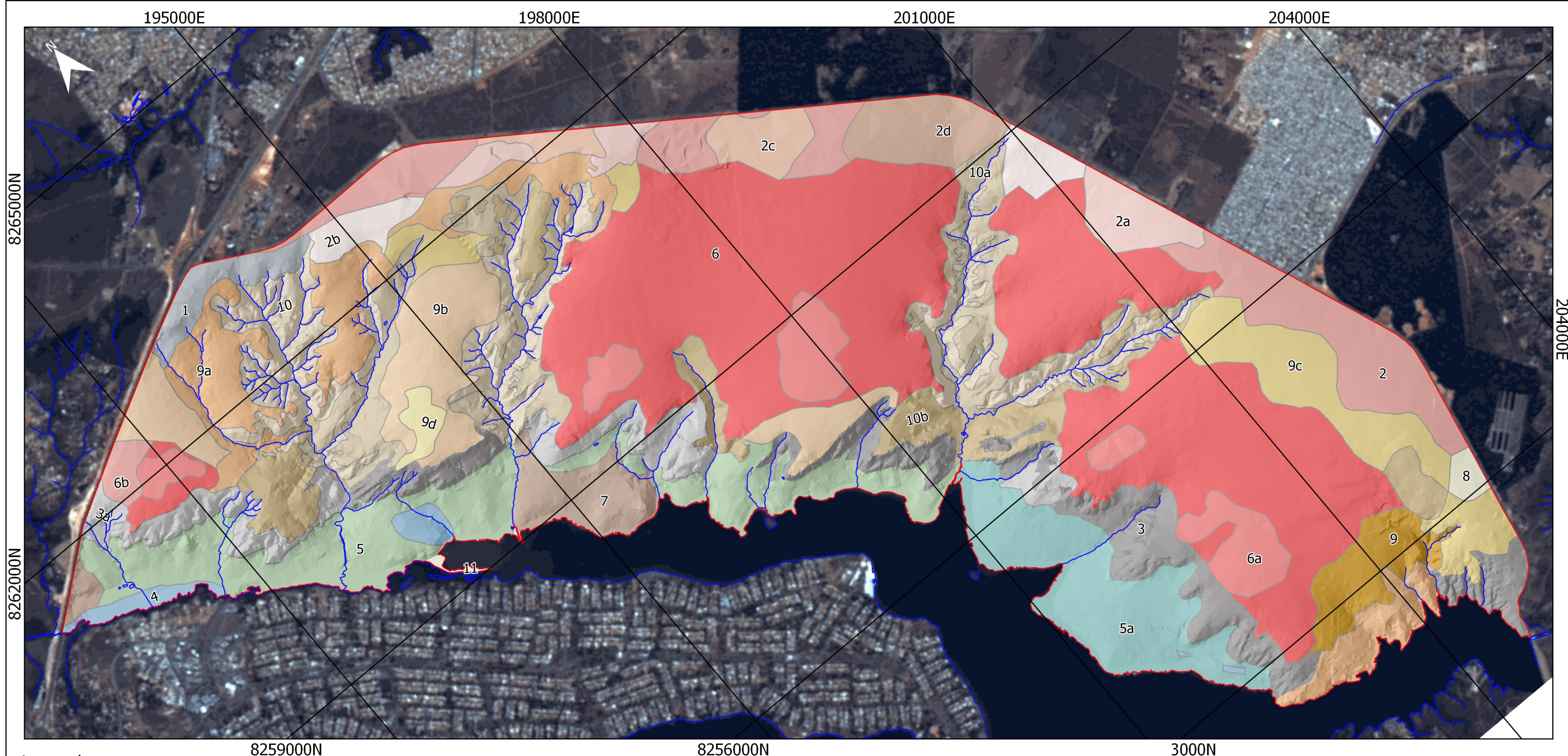
Com base no modelo observacional elaborado e nas unidades de mapeamento foram elaboradas as cartas das unidades de terreno para as escalas média (1:25.000), semidetalhe (1:10.000) e detalhe (1:2.000) na segunda, terceira e quarta etapa metodológica respectivamente. Como mencionado anteriormente, as unidades de terreno de menor detalhamento foram utilizadas como base na elaboração das unidades de maior detalhamento.

A partir do agrupamento das 127 unidades de mapeamento identificadas foram obtidas 11 (onze) unidades de terreno na área de estudo, das quais, algumas podem ser subdivididas em subunidades.

A Figura 5.20 apresenta a carta de unidades de terreno de média escala, sendo esta complementada pelas Tabela 5.11, que sintetiza as características do meio físico (Geologia, Geomorfologia, Hidrogeologia e Pedologia) além de apresentar informações acerca de parâmetros geotécnicos e dos fenômenos geodinâmicos observados em cada unidade.

A Figura 5.22 apresenta a carta de unidades de terreno em escala de semidetalhe, sendo esta complementada pela Tabela 5.12, que apresenta algumas das características do meio físico que diferem das apresentadas na Tabela 5.11, além da ocorrência de atividades antrópicas e fenômenos geodinâmicos. As faixas de declividade e as faixas de condutividade hidráulica também foram atualizadas utilizando o limite das unidades de semidetalhe.

A Figura 5.23 apresenta a carta de unidades de terreno em escala de detalhe, sendo esta complementada pela Tabela 5.13, que apresenta algumas das características do meio físico que diferem das apresentadas na Tabela 5.12 além da ocorrência de fenômenos geodinâmicos.



**Legenda**

Unidade de terreno (Geologia, Pedologia, Geomorfologia, Hidrogeologia)

- Unidade 1 (FRC, RU+Cd, Topo de Chapada, P4 e R3/Q3)
- Unidade 2 (FRC, LV, Topo de Chapada, P1 e R3/Q3)
- Unidade 2a (FRC, LVA, Topo de Chapada, P1 e R3/Q3)
- Unidade 2b (FRC, LVA, Topo de Chapada, P1 e R3/Q3)
- Unidade 2c (FRC, LVA, Topo de Chapada, P1 e R3/Q3)
- Unidade 2d (FRC, LVA, Topo de Chapada, P1 e R3/Q3)
- Unidade 3 (FSMN, RU+Cd, Degraus Estruturais, P4 e R3/Q3)
- Unidade 3a (FSMN, Cd, Degraus Estruturais, P4 e R3/Q3)
- Unidade 4 (FRT, Hi, Sup. Aplainadas e Tabulares, P4 e A)
- Unidade 5 (FRT, Cd, Sup. Tabulares, P4 e A)
- Unidade 5a (FSMN, Cd, Sup. Tabulares, P4 e R3/Q3)
- Unidade 6 (FSMN, LV, Rebordo, P1 e R3/Q3)

- Unidade 6a (FSMN, LV, Rebordo, P1 e R3/Q3)
- Unidade 6b (FSMN, LV, Rebordo, P1 e R3/Q3)
- Unidade 7 (FRT, LVA, Sup. Tabulares, P1 e A)
- Unidade 8 (FSMN, RQd, Rebordo, P1 e R3/Q3)
- Unidade 9 (FSMN, LVA, Rebordo, P1 e R3/Q3)
- Unidade 9a (FSMN, LVA, Rebordo, P1 e R3/Q3)
- Unidade 9b (FSMN, LVA, Rebordo, P1 e R3/Q3)
- Unidade 9c (FSMN, LVA, Rebordo, P1 e R3/Q3)
- Unidade 9d (FSMN, LVA, Rebordo, P1 e R3/Q3)
- Unidade 10 (FSMN, Cd, Vales, P4 e R3/Q3)
- Unidade 10a (FSMN, Cd, Rebordo, P4 e R3/Q3)
- Unidade 10b (FSMN, Cd, Rebordo, P4 e R3/Q3)
- Unidade 11 (FRT, Rue, Sup. Aplainadas e Tabulares, P1 e A)

**Convenções cartográficas**

— Hidrografia

**Limites**

□ Área de Estudo

Composição colorida RGB 432 + Fusão Pancromática, imagem LANDSAT 8 de 25 de AGO de 2017.  
 Relevo sombreado com azimute de 315, altura de iluminação de 45° e exagero vertical de 5 vezes.

Projeção Transversa de Mercator

Datum: SIRGAS 2000

Meridiano Central 45° WGr

1: 40.000

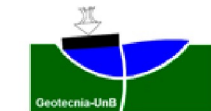
1 0 1 Quilômetros



(Escala Original 1:25.000)

Universidade de Brasília  
 Programa de Pós Graduação em Geotecnia  
 Autor: Bruno Rodrigues de Oliveira

**Figura 5.20: Carta das Unidades de Terreno em Média Escala**



A Figura 5.21 apresenta as áreas das unidades de terreno, em km<sup>2</sup>, com as respectivas porcentagens do total da área de estudo.

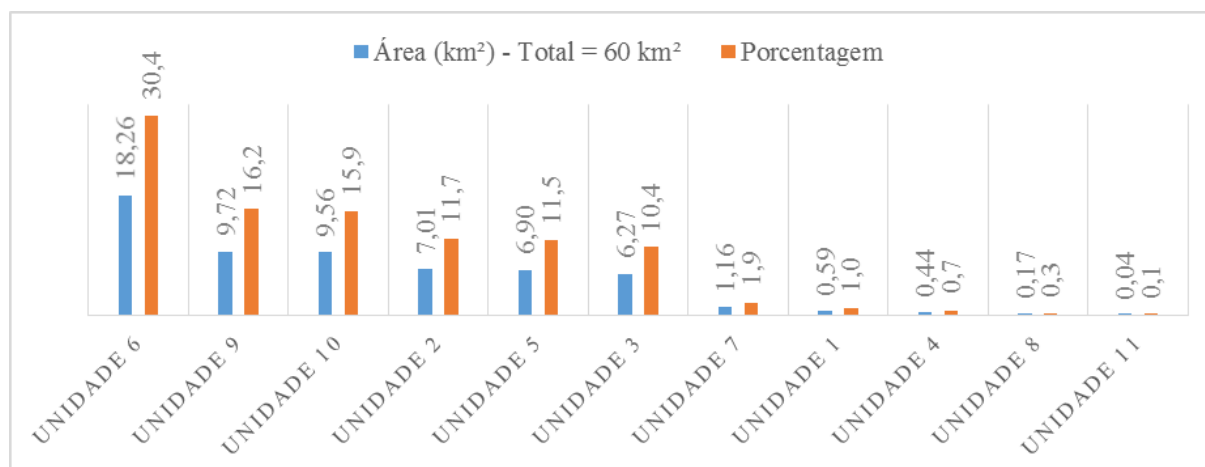


Figura 5.21: Áreas das unidades de terreno em média escala com as respectivas porcentagens dentro da área de estudo.

A unidade 1 apresenta uma baixa amplitude de relevo com declividades predominantemente inferiores a 15% e uma boa densidade de drenagem. Ela está restrita ao topo da chapada, na parte superior da bacia do córrego da ponte, sendo caracterizada por solos de textura média com pedregulhos finos, pouco espessos, e substrato rochoso quartzítico intercalado com metapelitos. A unidade não é cortada por nenhuma drenagem perene, mas uma das nascentes da bacia supracitada aflora nos limites da mesma. Com base nos ensaios de infiltração, os solos apresentam baixa permeabilidade.

A unidade 2 também está restrita ao topo da chapada e exibe uma amplitude de relevo baixa a muito baixa com declividades predominantemente inferiores a 8% e uma densidade de drenagem muito pobre. Caracterizada por solos de textura argilosa a média, localmente apresentando pedregulhos finos, com espessuras superiores a um metro, e substrato rochoso quartzítico intercalado com metapelitos. Com base nos ensaios de infiltração, os solos apresentam média a baixa permeabilidade.

A unidade 3 está inserida na unidade geomorfológica de degraus estruturais, entre o rebordo e as superfícies tabulares, sendo caracterizada por solos de textura argilosa a média com pedregulhos podendo apresentar concreções, pouco espessos, sobrepostos ao substrato rochoso quartzítico intercalado com metapelitos bastante intemperizados. A unidade apresenta uma amplitude de relevo baixa, localmente, a alta com declividades predominantemente superiores a 15% e uma densidade de drenagem muito pobre a bem drenada. Com base nos ensaios de infiltração, os solos apresentam média a baixa permeabilidade.

A unidade 4 é caracterizada por solos de textura argilosa, com espessuras de até um metro, e tem como substrato rochoso ardósia bastante alterada de coloração roxa em superfície. A unidade está inserida nas unidades geomorfológicas das superfícies aplainadas e tabulares, próximas ao lago Paranoá, apresenta uma amplitude de relevo baixa a muito baixa com declividades inferiores a 8% e uma densidade de drenagem muito pobre a bem drenada.

A unidade 5 apresenta solos de textura argilosa a média com pedregulhos podendo apresentar concreções, com espessuras de até dois metros, e tem como substrato rochoso uma ardósia bastante alterada de coloração roxa em superfície (Unidade 5) ou substrato rochoso quartzitos intercalados com metapelitos (Unidade 5a). Restrita as superfícies tabulares, a unidade apresenta amplitude de relevo moderada a muito baixa com declividades predominantemente inferiores a 15% e uma densidade de drenagem muito pobre a bem drenada. Com base nos ensaios de infiltração, os solos apresentam permeabilidade baixa a média.

A unidade 6 é caracterizada por solos de textura média a argilosa, espessos, e apresenta como substrato rochoso quartzitos intercalados com metapelitos. A unidade apresenta uma amplitude de relevo baixa a muito baixa, uma densidade de drenagem muito pobre e declividades inferiores a 8%. Com base nos ensaios de infiltração, os solos apresentam média a baixa permeabilidade.

A unidade 7 está inserida na unidade geomorfológica das superfícies tabulares, próximas ao Lago Paranoá, e apresenta baixa amplitude de relevo e declividades inferiores a 15%. Apresenta solos de textura média com espessuras de até dois metros e tem como substrato rochoso ardósia bastante alterada de coloração roxa em superfície. A unidade apresenta boa densidade de drenagem e aproximadamente 35% da sua área apresenta algum tipo de restrição ambiental. Com base nos ensaios de infiltração, os solos apresentam baixa permeabilidade.

A unidade 8 é caracterizada por solos espessos de textura arenosa e substrato rochoso quartzítico. A unidade está inserida na unidade geomorfológica do rebordo e apresenta uma amplitude de relevo muito baixa, declividades predominantemente inferiores a 8% e uma densidade de drenagem muito pobre.

A unidade 9 está restrita a unidade geomorfológica do rebordo e exhibe solos com espessuras de até dois metros, de textura argilosa a média podendo apresentar pedregulhos finos sobrepostos a intercalação de quartzitos e metapelitos do substrato rochoso. Apresenta amplitude de relevo muito baixa a moderada (localmente próximo a barragem do Paranoá) com declividades predominantemente inferiores a 15% e uma densidade de drenagem muito pobre a bem drenada. Com base nos ensaios de infiltração, os solos apresentam média a baixa permeabilidade.

A unidade 10 apresenta solos de textura média com pedregulhos finos, pouco espessos, e substrato rochoso quartzítico intercalado com metapelitos. Essa unidade está restrita aos vales e nas transições com o rebordo e exibe uma amplitude de relevo predominantemente alta com declividades superiores a 15%. Diversas drenagens perenes cortam a unidade, em sua maioria bem drenada, e as nascentes das bacias dos córregos da Ponte, Palha, Jerivá e Capoeira do Bálsamo encontram-se inseridos na mesma. Com base nos ensaios de infiltração, os solos apresentam média a baixa permeabilidade.

A unidade 11 está restrita áreas próximas ao ribeirão do Torto e na foz da bacia do Jerivá, inserida nas unidades de superfícies aplainadas e tabulares. A unidade apresenta uma baixa amplitude de relevo e declividades inferiores a 3%. Observa-se solos de textura predominantemente arenosa, pouco espessos, e tem como substrato rochoso uma ardósia bastante alterada de coloração roxa em superfície.

A Tabela 5.10 apresenta uma compilação de parâmetros geotécnicos, para os principais tipos de solos encontrados na área de estudo, utilizados por Silva Junior et al. (2016) em uma análise probabilística para o zoneamento da ameaça de escorregamentos rasos deflagrados por chuvas em parte do Setor Habitacional Taquari (SHTq) e por Delgado (2007) no estudo do comportamento mecânico de solos tropicais característicos do Distrito Federal.

Tabela 5.10: Parâmetros geotécnicos para os principais tipos de solos encontrados na área de estudo e as unidades correspondentes. Modificado de Delgado (2007) e Silva Junior et al. (2016).

Parâmetros geotécnicos	Unidade	Latossolo Vermelho	Latossolo Vermelho-Amarelo	Gleissolo háplico	Cambissolo háplico	Saprólito fino de ardósia
Ângulo de atrito efetivo ( $\phi'$ )	°	20	20	10	25	-
Coesão (c)	kpa	10	10	20	5	-
Peso específico relativo dos sólidos do solo ( $G_s$ )	-	2,7 a 2,8	2,8	2,7	2,7	2,81
Peso específico natural ( $\lambda_0$ )	kN/m <sup>3</sup>	12,11	-	-	-	19,3
Peso específico aparente seco ( $\lambda_d$ )	kN/m <sup>3</sup>	9,69	-	-	-	15,4
Índice de vazios (e)	-	1,8	-	-	-	0,78
Porosidade (n)	%	64	50	40	30	43
Saturação (Sr)	%	38,3	60	95	60	89,5
Limite de Liquidez (wL)	-	50,1 a 52,3	-	-	-	35 a 36
Limite de Plasticidade (wP)	-	38,2 a 40,9	-	-	-	20 a 21
Índice de Plasticidade (IP)	-	11,4 a 11,9	-	-	-	15
Unidades de terreno em que esses tipos de solos estão inseridos	-	2; 6; 6a; 6b	2a; 2b; 2c; 2d; 7; 9; 9a; 9b; 9c; 9d	4	1; 3; 5; 5a; 10; 10a; 10b	4; 5; 7

Tabela 5.11: Quadro síntese das características do meio físico das unidades de terreno de média escala.

Unidade de Terreno	Geologia		Geomorfologia			Hidrogeologia			Faixa de Declividade (%)
	Substrato rochoso	Unidade geológica	Amplitude de Relevo	Densidade de Drenagem	Unidade geomorfológica	Poroso	Fraturado	Condutividade hidráulica (cm/s)	
Unidade 1	Quartzitos	Formação Ribeirão da Contagem	Baixa	Boa	Topo de Chapada	P4	R3/Q3	7,60E-04	3 a 30
Unidade 2	Quartzitos	Formação Ribeirão da Contagem	Muito baixa	Muito pobre	Topo de Chapada	P1	R3/Q3	5,90E-03 a 9,20E-04	0 a 8
Unidade 2a	Quartzitos	Formação Ribeirão da Contagem	Muito baixa a baixa	Muito pobre	Topo de Chapada	P1	R3/Q3	5,50E-04	0 a 3
Unidade 2b	Quartzitos	Formação Ribeirão da Contagem	Muito baixa a baixa	Muito pobre	Topo de Chapada	P1	R3/Q3	-	3 a 8
Unidade 2c	Quartzitos	Formação Ribeirão da Contagem	Muito baixa	Muito pobre	Topo de Chapada	P1	R3/Q3	4,00E-04	0 a 8
Unidade 2d	Quartzitos	Formação Ribeirão da Contagem	Muito baixa	Muito pobre	Topo de Chapada	P1	R3/Q3	-	3 a 8
Unidade 3	Quartzitos, metapelitos	Formação Serra da Meia Noite	Baixa a alta	Muito pobre a bem drenada	Degraus estruturais	P4	R3/Q3	6,00E-03 a 8,60E-05	0 a 30
Unidade 3a	Quartzitos, metapelitos	Formação Serra da Meia Noite	Baixa a alta	Muito pobre a bem drenada	Degraus estruturais	P4	R3/Q3	-	3 a 30
Unidade 4	Ardósias	Formação Ribeirão do Torto	Muito baixa a baixa	Pobre a bem drenada	Superfícies aplainadas e tabulares	P4	A	3,20E-03	0 a 30
Unidade 5	Ardósias	Formação Ribeirão do Torto	Muito baixa a baixa	Pobre a bem drenada	Superfícies tabulares	P4	A	3,20E-04 a 8,50E-05	0 a 30
Unidade 5a	Quartzitos, metapelitos	Formação Serra da Meia Noite	Moderada	Bem drenada	Superfícies tabulares	P4	R3/Q3	3,60E-03	3 a 8
Unidade 6	Quartzitos, metapelitos	Formação Serra da Meia Noite	Muito baixa a baixa	Muito pobre	Rebordo	P1	R3/Q3	3,60E-03	3 a 8



Tabela 5.11: Continuação - Quadro síntese das características do meio físico das unidades de terreno de média escala.

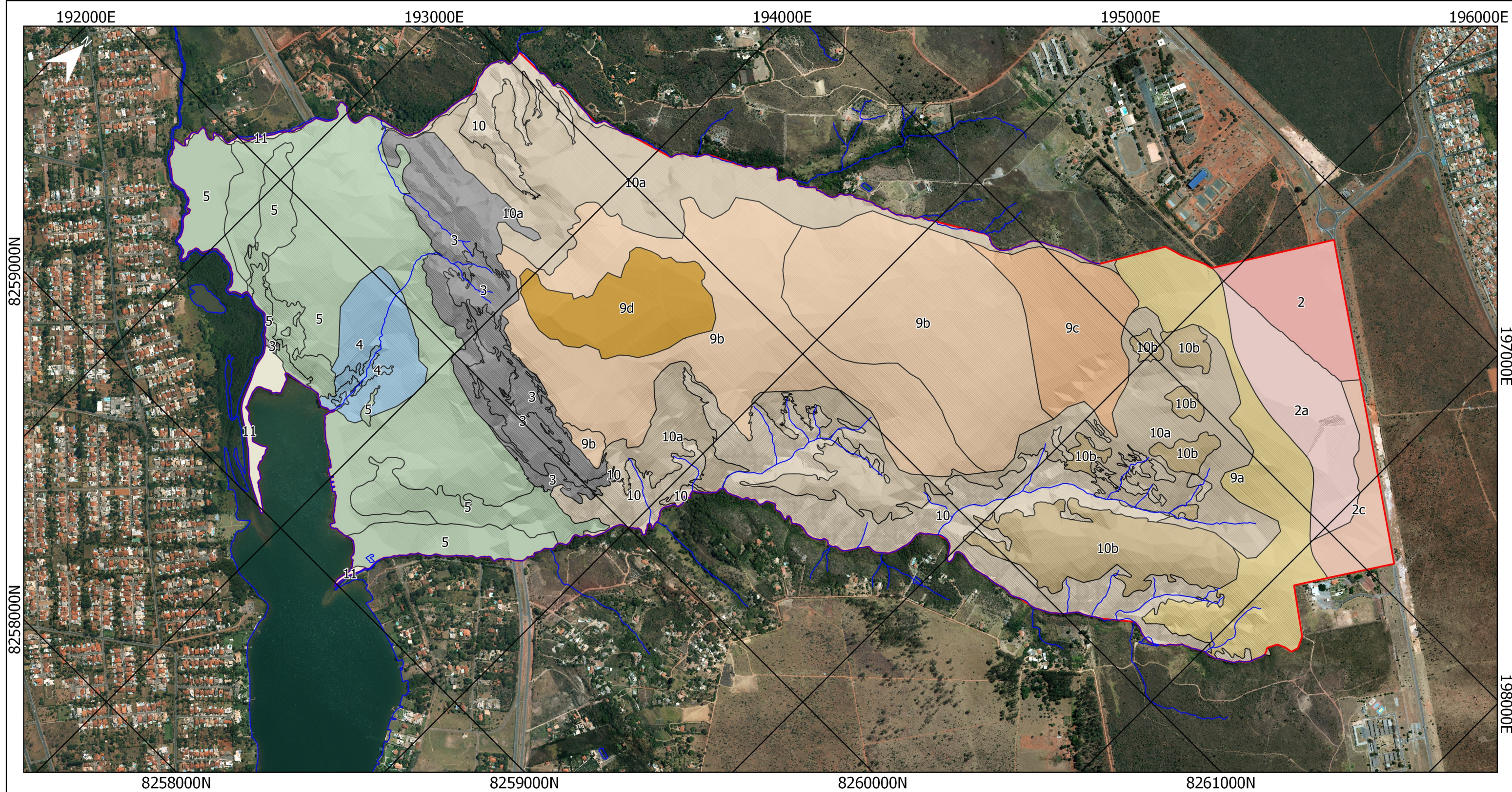
Unidade de Terreno	Solos				Fenômenos geodinâmicos	Área		
	Textura	Espessura (m)	Espessura do saprólito (m)	Unidade pedológica		Unidade (km <sup>2</sup> )	Total (km <sup>2</sup> )	Total (%)
Unidade 1	Média com pedregulhos finos	Até 0,2	Até 15	Cambissolo + Neossolo lítólico	Erosão	0,59	0,59	0,98
Unidade 2	Argilosa	Maior que 2	Entre 25 e 30	Latossolo vermelho	Erosão	3,25		
Unidade 2a	Média	Entre 1 e 2	Entre 25 e 30	Latossolo vermelho amarelo	-	1,19		
Unidade 2b	Argilosa com pedregulhos finos	Entre 1 e 2	Entre 25 e 30	Latossolo vermelho amarelo	-	0,81	7,01	11,68
Unidade 2c	Argilosa	Entre 1 e 2	Entre 25 e 30	Latossolo vermelho amarelo	-	0,77		
Unidade 2d	Média	Entre 1 e 2	Entre 25 e 30	Latossolo vermelho amarelo	Erosão	1,00		
Unidade 3	Argilosa a média com pedregulhos podendo apresentar concreções	Até 0,2	Até 15	Cambissolo + Neossolo lítólico	Fluxo de Detritos; Erosão; Vendaval	3,40		
Unidade 3a	Argilosa com pedregulhos finos e concrecionário	Entre 0,5 e 2	Até 15	Cambissolo	Erosão; Vendaval	2,88	6,27	10,45
Unidade 4	Argilosa	Entre 0,5 e 1	-	Solos hidromórficos	Inundação/ Alagamento; Erosão	0,45	0,44	0,70
Unidade 5	Argilosa a média com pedregulhos podendo apresentar concreções	Entre 0,5 e 2	Até 15	Cambissolo	Inundação/ Alagamento; Erosão	3,99		
Unidade 5a	Argilosa com pedregulhos e concreções	Entre 0,5 e 2	Até 15	Cambissolo	Vendaval; Erosão	2,79	6,90	11,50
Unidade 6	Argilosa	Maior que 2	Entre 25 e 30	Latossolo vermelho	Erosão	16,05	28,26	30,4

Tabela 5.11: Continuação - Quadro síntese das características do meio físico das unidades de terreno de média escala.

Unidade de Terreno	Geologia		Geomorfologia			Hidrogeologia		Fenômenos geodinâmicos	Faixa de Declividade (%)
	Substrato rochoso	Unidade geológica	Amplitude de Relevo	Densidade de Drenagem	Unidade geomorfológica	Poroso	Fraturado		
Unidade 6a	Quartzitos, metapelitos	Formação Serra da Meia Noite	Muito baixa a baixa	Muito pobre	Rebordo	P1	R3/Q3	-	0 a 8
Unidade 6b			Muito baixa			P1	A	Erosão	3 a 8
Unidade 7	Ardósias	Formação Ribeirão do Torto	Baixa	Muito pobre a bem drenada	Superfícies aplainadas	P1	A	Vendaval; Erosão	0 a 15
Unidade 8	Quartzitos, metapelitos	Formação Serra da Meia Noite	Muito baixa	Muito pobre	Rebordo	P1	R3/Q3	-	3 a 8
Unidade 9	Quartzitos, metapelitos	Formação Serra da Meia Noite	Baixa a moderada	Muito pobre a boa	Rebordo	P1	R3/Q3	Erosão	> 3
Unidade 9a			Muito baixa a moderada	Muito pobre a bem drenada		P1	R3/Q3	Erosão	> 3
Unidade 9b			Muito baixa a baixa	Muito pobre		P1	R3/Q3	Erosão	3 a 15
Unidade 9c			Muito baixa a moderada	Muito pobre		P1	R3/Q3	Erosão	3 a 30
Unidade 9d			Baixa	Bem drenada		P1	R3/Q3	-	< 3
Unidade 10	Quartzitos, metapelitos	Formação Serra da Meia Noite	Alta a moderada	Bem drenada	Vales	P4	R3/Q3	Erosão	3 a 30
Unidade 10a			Baixa a moderada	Muito pobre a bem drenada	Rebordo	P4	R3/Q3	Erosão	3 a 30
Unidade 10b			Muito baixa a alta	Muito pobre a bem drenada	Rebordo	P4	R3/Q3	Erosão	3 a 30
Unidade 11	Ardósias	Formação Ribeirão do Torto	Muito baixa	Bem drenada	Superfícies aplainadas e tabulares	P4	A	-	< 3

Tabela 5.11: Continuação - Quadro síntese das características do meio físico das unidades de terreno de média escala.

Unidade de Terreno	Solos					Área		
	Textura	Espessura (m)	Espessura do saprólito (m)	Unidade pedológica	Condutividade hidráulica (cm/s)	Unidade (km <sup>2</sup> )	Total (km <sup>2</sup> )	Total (%)
Unidade 6a	Argilosa	Maior que 2	Entre 25 e 30	Latossolo vermelho	1,00E-04 a 7,00E-05	1,98		
Unidade 6b	Média	Maior que 2	Entre 25 e 30	Latossolo vermelho	-	0,24		
Unidade 7	Média	Entre 1 e 2	Entre 25 e 30	Latossolo vermelho amarelo	3,00E-04 a 4,00E-05	1,16	1,16	1,93
Unidade 8	Arenosa	Maior que 2	Entre 25 e 30	Neossolo quartzarênico	-	0,17	0,17	0,28
Unidade 9	Argilosa				-	0,99		
Unidade 9a	Argilosa a média com pedregulhos finos				4,80E-02 a 5,00E-04	3,35		
Unidade 9b	Argilosa a média	Entre 1 e 2	Entre 25 e 30	Latossolo vermelho amarelo	1,40E-02 a 7,00E-05	2,53	9,72	16,2
Unidade 9c	Média				1,30E-03 a 9,00E-04	2,61		
Unidade 9d	Argilosa com pedregulhos finos				1,50E-03 a 6,00E-04	0,24		
Unidade 10					1,00E-03	4,15		
Unidade 10a	Argilosa com pedregulhos finos e concrecionário	Entre 0,5 e 2	Até 15	Cambissolo	2,00 a 7,30E-03	2,63	9,56	15,93
Unidade 10b					1,00E-03 a 5,00E-04	2,78		
Unidade 11	Arenosa	-	-	Neossolos	-	0,04	0,04	0,07



**Legenda**

Unidades de Terreno (Geologia, Pedologia, Geomorfologia, Hidrogeologia)

- Unidade 2 (FRC, LV, Topo de Chapada, P1 e R3/Q3)
- Unidade 2a (FRC, LVA, Topo de Chapada, P1 e R3/Q3)
- Unidade 2c (FRC, LVA, Topo de Chapada, P1 e R3/Q3)
- Unidade 3 (FSMN, RU+Cd, Degraus Estruturais, P4 e R3/Q3)
- Unidade 4 (FRT, Hi, Sup. Aplainadas e Tabulares, P4 e A)
- Unidade 5 (FRT, Cd, Sup. Tabulares, P4 e A)
- Unidade 9a (FSMN, LVA, Rebordo, P1 e R3/Q3)
- Unidade 9b (FSMN, LVA, Rebordo, P1 e R3/Q3)
- Unidade 9c (FSMN, LVA, Rebordo, P1 e R3/Q3)
- Unidade 9d (FSMN, LVA, Rebordo, P1 e R3/Q3)
- Unidade 10 (FSMN, Cd, Vales, P4 e R3/Q3)
- Unidade 10a (FSMN, Cd, Rebordo, P4 e R3/Q3)
- Unidade 10b (FSMN, Cd, Rebordo, P4 e R3/Q3)
- Unidade 11 (FRT, Rue, Sup. Aplainadas e Tabulares, P1 e A)

Convenções cartográficas

- Hidrografia
- Limites
- Área de Estudo

Projeção Transversa de Mercator

Datum: SIRGAS 2000  
Meridiano Central 45° WGr  
1: 15.000

400 0 400 m



(Escala Original 1:10.000)

Composição colorida RGB 432 + Fusão  
Pancromática, imagem LANDSAT 8 de  
25 de AGO de 2017.

Relevo sombreado com azimute de  
315, altura de iluminação de 45° e  
exagero vertical de 5 vezes.

Universidade de Brasília  
Programa de Pós Graduação em Geotecnia  
Autor: Bruno Rodrigues de Oliveira

**Figura 5.22: Carta das Unidades de Terreno em Escala de Semidetalhe**

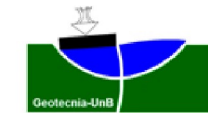
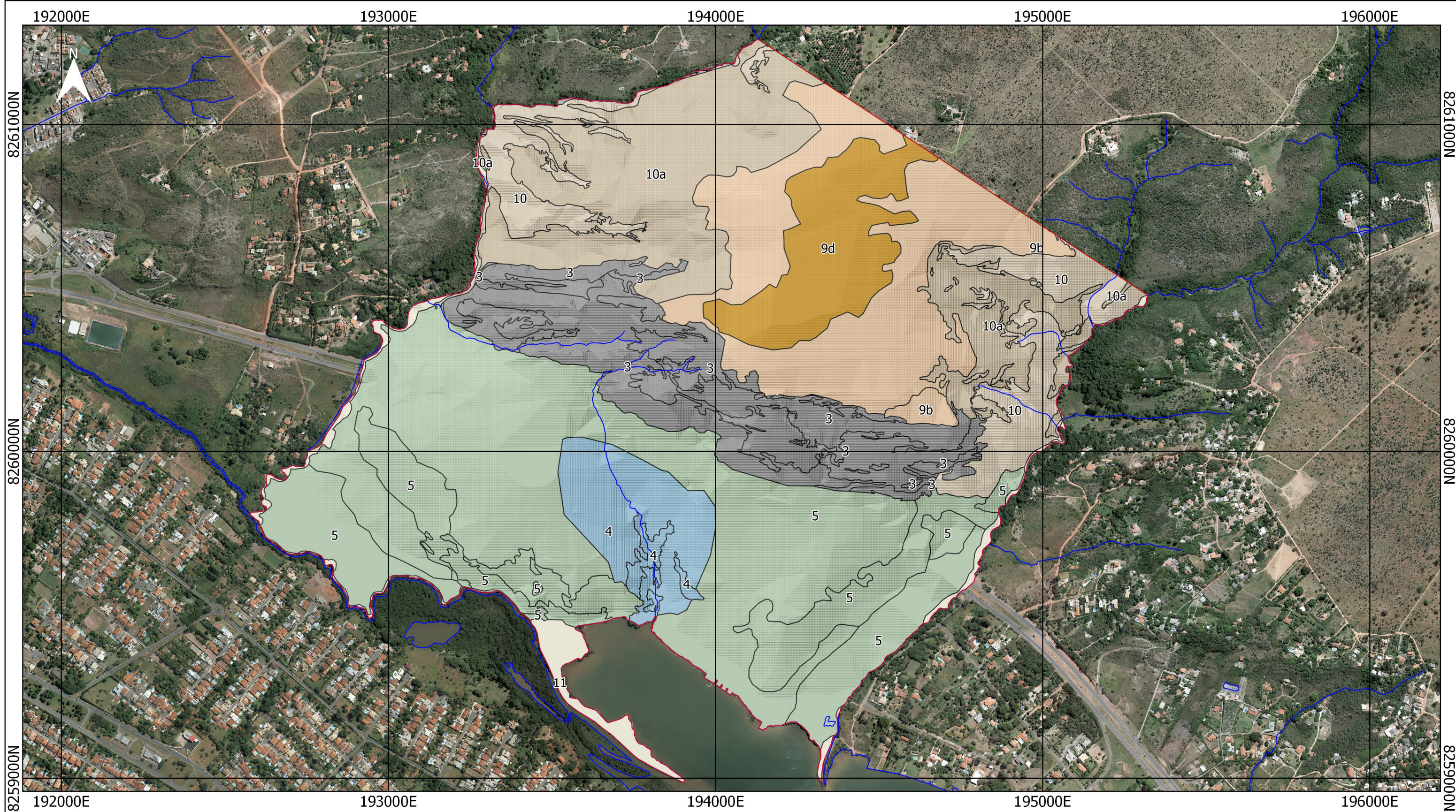


Tabela 5.12: Quadro síntese das características do meio físico das unidades de terreno de semidetalhe.

Unidade de terreno	Geomorfologia		Solos		Declividade (%)		Fenômenos geodinâmicos e atividades antrópicas	Área		
	Amplitude de relevo	Densidade de drenagem	Textura	Condutividade hidráulica (cm/s)	Faixa	Classe predominante		Unidade (km <sup>2</sup> )	Total (km <sup>2</sup> )	Total (%)
Unidade 2	Muito baixa	Muito pobre	Argilosa	9,20E-04	0 a 3	-	Caixas de empréstimo	0,17		
Unidade 2a	Muito baixa	Muito pobre	Média	5,90E-03	0 a 3	-	-	0,23	0,51	7,20
Unidade 2c	Muito baixa	Muito pobre	Argilosa	Não ensaiado	0 a 8	0 a 3	-	0,10		
Unidade 3	Baixa a alta	Muito pobre e localmente bem drenada	Argilosa a média com pedregulhos podendo apresentar concreções	6,20E-03 a 6,80E-04	8 a 100	> 15	Fluxo de Detritos; Erosão; Vendaval	0,45	0,45	6,36
Unidade 4	Baixa a alta	Bem drenada	Argilosa com pedregulhos em superfície	Não ensaiado	3 a 30	3 a 15	-	0,17	0,17	2,37
Unidade 5	Muito baixa a baixa	Pobre a bem drenada	Argilosa a média com pedregulhos podendo apresentar concreções	7,50E-04	0 a 30	3 a 8	Erosão; Vendaval	1,25	1,25	17,80
Unidade 9a	Muito baixa a baixa	Muito pobre a bem drenada	Argilosa a média com pedregulhos finos	4,80E-02	3 a 15	8 a 15	Erosão	0,42		
Unidade 9b	Muito baixa a baixa	Muito pobre	Argilosa a média	1,40E-02 a 1,80E-04	3 a 15	3 a 8	Erosão; Depósitos irregulares de resíduos	1,44	2,34	33,38
Unidade 9c	Muito baixa a moderada	Muito pobre	Média	1,30E-03 a 9,40E-04	3 a 15	3 a 8	Erosão	0,26		
Unidade 9d	Muito baixa	Muito pobre	Argilosa com pedregulhos finos	1,50E-03 a 6,70E-03	0 a 8	0 a 3	-	0,22		
Unidade 10	Alta a moderada	Bem drenada		Não ensaiado	15 a 30	> 15	-	0,74		
Unidade 10a	Baixa a moderada	Muito pobre a bem drenada	Argilosa com pedregulhos finos e concrecionário	7,30E-03	8 a 30	> 15	Erosão	1,18	2,27	32,30
Unidade 10b	Muito baixa a moderada	Muito pobre		Não ensaiado	3 a 30	8 a 15	-	0,35		
Unidade 11	Muito baixa	Bem drenada	Argilo Arenosa	Não ensaiado	< 3	-	-	0,04	0,04	0,59



**Legenda**

Unidades de Terreno (Geologia, Pedologia, Geomorfologia, Hidrogeologia)

- Unidade 3 (FSMN, RU+Cd, Degraus Estruturais, P4 e R3/Q3)
- Unidade 4 (FRT, Hi, Sup. Aplainadas e Tabulares, P4 e A)
- Unidade 5 (FRT, Cd, Sup. Tabulares, P4 e A)
- Unidade 9b (FSMN, LVA, Rebordo, P1 e R3/Q3)
- Unidade 9d (FSMN, LVA, Rebordo, P1 e R3/Q3)
- Unidade 10 (FSMN, Cd, Vales, P4 e R3/Q3)
- Unidade 10a (FSMN, Cd, Rebordo, P4 e R3/Q3)
- Unidade 11 (FRT, Rue, Sup. Aplainadas e Tabulares, P1 e A)

**Convenções cartográficas**

- Hidrografia
- Limites**
- Área de Estudo

**Projeção Transversa de Mercator**

Datum: SIRGAS 2000  
Meridiano Central 45° WGr  
1: 11.000

400 0 400 m



(Escala Original 1:2.000)

Ortofotos na escala 1:500 (GEOPORTAL, 2017).  
Relevo sombreado com azimute de 315, altura de  
iluminação de 45° e exagero vertical de 5 vezes.

Universidade de Brasília  
Programa de Pós Graduação em Geotecnia  
Autor: Bruno Rodrigues de Oliveira

**Figura 5.23: Carta das Unidades de Terreno em Escala de Detalhe**



Tabela 5.13: Quadro síntese das características do meio físico das unidades de terreno de detalhe.

Unidade de terreno	Geologia					Geomorfologia		Declividade (%)		Área		
	Substrato rochoso	Afloramentos Alteração	Coerência	Fraturamento	Unidade geológica/ Substrato Rochoso	Amplitude de relevo	Densidade de drenagem	Faixa	Classes predominante	Unidade (km <sup>2</sup> )	Total (km <sup>2</sup> )	Total (%)
Unidade 3	Quartzitos Metapelitos	Pouco a rocha sã Bastante	Moderada ou maior Pouco	Até 10 fraturas por metro -	Formação Serra da Meia Noite	Baixa a alta	Muito pobre e localmente bem drenada	0 a 100	2 a 15 e > 15	0,45	0,45	15,88
Unidade 4	Ardósias	Bastante	Pouco	-	Formação Ribeirão do Torto	Muito baixa a baixa	Bem drenada	4 a 15	4 a 8	0,17	0,17	5,97
Unidade 5	Ardósias	Bastante	Pouco	-	Formação Ribeirão do Torto	Muito baixa a baixa	Pobre a bem drenada	0 a 45	8 a 15	1,22	1,22	42,65
Unidade 9b Unidade 9d	Quartzitos e metapelitos	-	-	-	Formação Serra da Meia Noite	Muito baixa a baixa Muito baixa	Muito pobre Muito pobre	3 a 15 4 a 15	- 8 s 15	0,43 0,20	0,64	22,37
Unidade 10 Unidade 10a	Quartzitos / Metapelitos	Pouco a rocha sã / Bastante	Moderada ou maior / Pouco	Até 10 fraturas por metro / -	Formação Serra da Meia Noite	Alta a moderada Moderada	Bem drenada Muito pobre	15 a 100 8 a 25	> 25 15 a 25	0,24 0,52	0,76	26,57
Unidade 11	Ardósias	-	-	-	Formação Ribeirão do Torto	Muito baixa	Bem drenada	< 3	-	0,07	0,07	2,44

Tabela 5.13: Continuação - Quadro síntese das características do meio físico das unidades de terreno de detalhe.

Unidade de terreno	Solos					
	Textura	Espessura (m)	Espessura do saprólito (m)	Unidade pedológica	Condutividade hidráulica (cm/s)	
					Entre 25 e 30 cm de profundidade	Entre 45 e 60 cm de profundidade
Unidade 3	Argilosa a média com pedregulhos e fragmentos de rocha, podendo apresentar concreções	Menor que 0,2	Máximo de 15 metros	Cambissolo + Neossolo litólico	6,20E-03 a 6,80E-04	Impenetrável ao trado
Unidade 4	Argilosa com fragmentos de rocha em superfície	Menor que 1	Máximo de 15 metros	Solos hidromórficos	Não ensaiado por estar localizada em área urbanizada	Não ensaiado por estar localizada em área urbanizada
Unidade 5	Argilosa a média com pedregulhos podendo apresentar concreções	Menor que 2	Máximo de 15 metros	Cambissolo	7,50E-04	Não ensaiado
Unidade 9b	Argilosa a areno-argilosa	Entre 1 e 2	Entre 25 e 30	Latossolo vermelho amarelo	1,40E-02 a 1,80E-04	8,80E-04 a 4,30E-05
Unidade 9d	Argilosa com pedregulhos finos e localmente apresentam concreções				1,50E-03 a 6,70E-03	3,2E-03 a 9,50E-04
Unidade 10	Argilosa com pedregulhos finos e concrecionário	Menor que 2	Máximo de 15 metros	Cambissolo	Não ensaiado por estar localizada em área de conservação	Não ensaiado por estar localizada em área de conservação
Unidade 10a					7,30E-03	Não ensaiado
Unidade 11	Argilo Arenosa	Menor que 1	-	Neossolo Flúvico	Não ensaiado	Não ensaiado



### **5.7.1. AVALIAÇÃO DAS UNIDADES DE TERRENO PARA O PLANEJAMENTO URBANO**

Neste tópico são apresentadas para cada unidade, em média escala, as suscetibilidades aos fenômenos geodinâmicos avaliados, as atividades antrópicas observadas e restrições ambientais. Também são discutidas as restrições, aptidões e recomendações para a urbanização das unidades, com maior detalhamento para as unidades inseridas na área de semidetalhe.

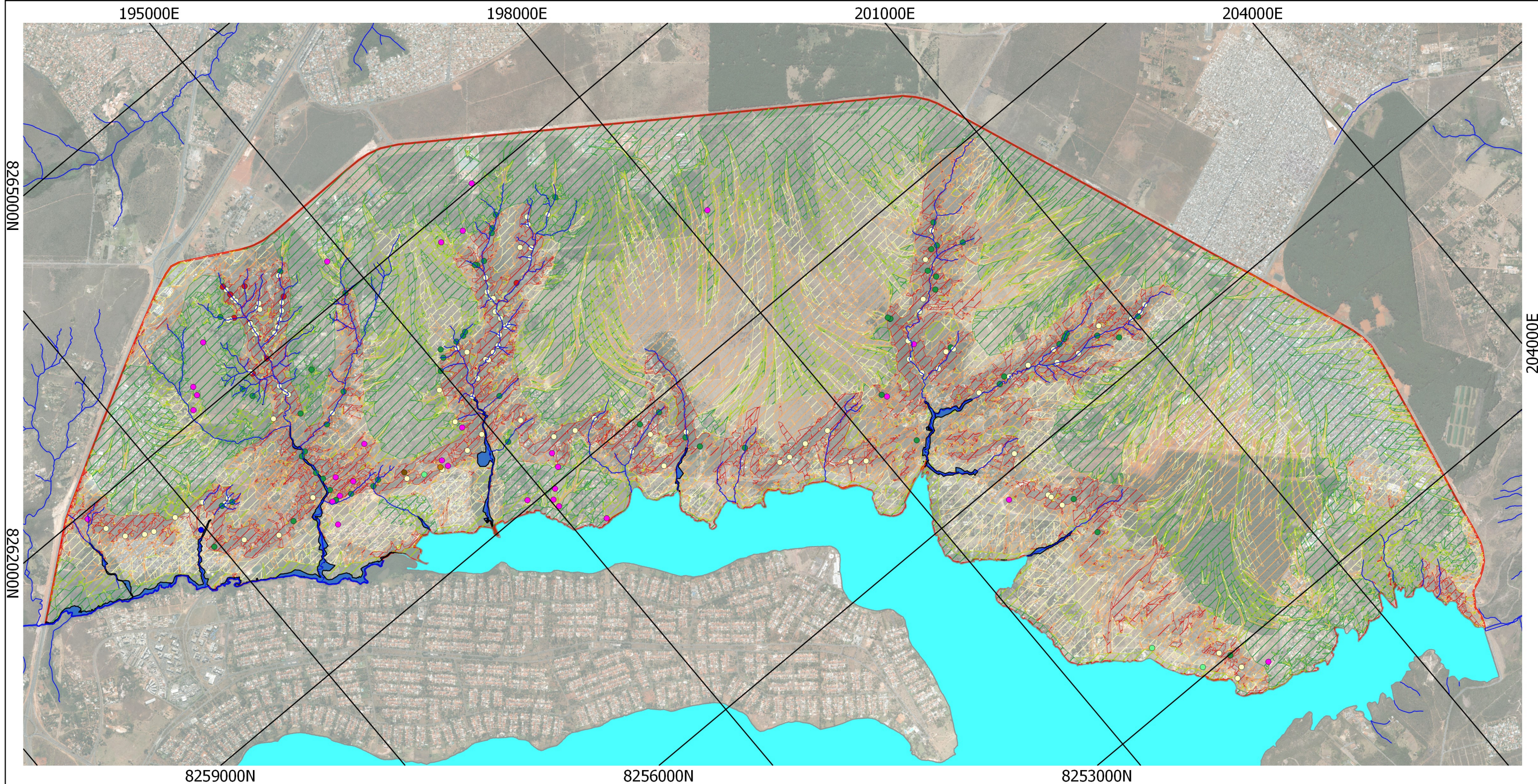
A Figura 5.24 apresenta uma carta síntese de suscetibilidade em média escala, sendo esta complementada pela Tabela 5.14 que apresenta informações acerca dos fenômenos geodinâmicos, antrópicos e das áreas de proteção ambiental e permanente em cada unidade de terreno em média escala. A Tabela 5.15 exhibe recomendações e limitações para uso e ocupação das unidades de terreno.

A Figura 5.25 por sua vez apresenta uma carta de aptidão a urbanização, na área de semidetalhe sendo complementada pela Tabela 5.16 que exhibe informações acerca dos fenômenos geodinâmicos, antrópicos e das áreas de proteção ambiental e permanente em cada unidade de terreno em semidetalhe.

A unidade 1 apresenta suscetibilidade a erosão de média a alta devido ao tipo solo (cambissolos) visto que as declividades não são elevadas. Ambos os fatores são responsáveis pelo potencial de recarga dessa unidade, que varia entre 2 e 27% com média de 9%, sendo os valores mais elevados nas partes mais planas.

Devido a elevada suscetibilidade recomenda-se que o solo superficial e a cobertura vegetal só devem ser retirados no início da construção das edificações e que a pavimentação, o sistema de drenagem de águas pluviais seja implantado antes de qualquer empreendimento. A unidade não apresenta suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e a alagamentos ou inundação e aproximadamente 55% da área da unidade apresenta algum tipo de restrição ambiental que restringe a ocupação urbana.

A unidade 2 não apresenta suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e a alagamentos ou inundação, mas possui suscetibilidade a erosão predominantemente baixa a muito baixa devido ao tipo de solo (latossolos) associado com as baixas declividades. Ambos os fatores favorecem bastante o potencial de recarga dessa unidade, que varia entre 8 e 41% com média de 20%, com exceção da área urbanizada na RA Paranoá que o PR não ultrapassa 3%.



**Legenda**

**Suscetibilidade a Erosão**

- Muito Baixa
- Baixa
- Média
- Alta
- Muito Alta

**Probabilidade de Ruptura (Escorregamentos rasos)**

- 5.0 - 10.0%
- 10.0 - 15.0%
- 15.0 - 90.0%

**Fenômenos Geodinâmicos (Registros e Observados)**

- Erosão
- Alagamento
- Escorregamento
- Fluxo de Detritos
- Vendaval

**Suscetibilidade a Fluxo de Detritos**

- Alta
- Média
- Baixa

**Suscetibilidade a Inundação**

- Alta

**Convenções Cartograficas**

- Rios e Córregos
- Lagos e Corpos de Água

**Limites**

- Área de estudo

**Projeção Transversa de Mercator**

Datum: SIRGAS 2000

Meridiano Central 45° WGr

1:40.000

1 0 1 Quilômetros

Escala Gráfica

(Escala Original 1:25.000)

Ortofotos na escala 1:1000 do ano de 2015 (GEOPORTAL, 2017)  
 Relevo sombreado com azimute de 315 graus, altura de iluminação de 45 graus e exagero vertical de 5 vezes.

Universidade de Brasília  
 Programa de Pós Graduação em Geotecnia  
 Autor: Bruno Rodrigues de Oliveira

**Figura 5.24: Carta Síntese de Suscetibilidade a Fenômenos Geodinâmicos da Área de Estudo**

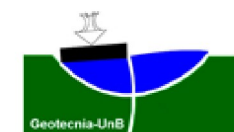
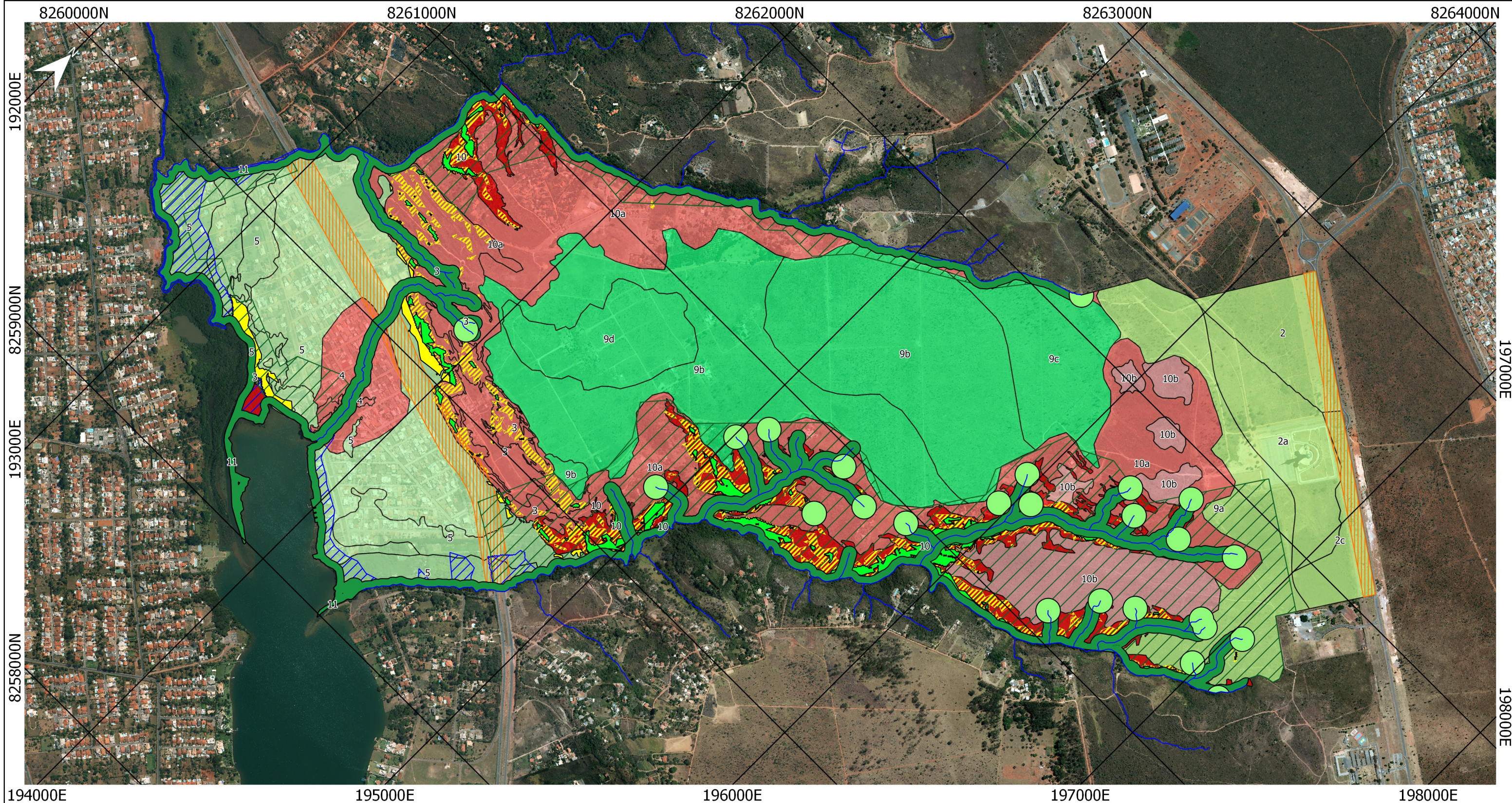


Tabela 5.14: Informações acerca dos fenômenos geodinâmicos, antrópicos e das áreas de proteção ambiental e permanente em cada unidade de terreno de média escala.

Unidade de terreno	Fenômenos geodinâmicos e atividades antrópicas				Área de Proteção Ambiental ou Permanente					
	Erosão (%)	Depósitos irregulares de resíduos	Caixas de empréstimo de solo (%)	Extração irregular de material (%)	APP de nascente (%)	APP de cursos d'água (%)	Zona de Conservação da Vida Silvestre (%)	Zona de Preservação da Vida Silvestre (%)	Zona especial de interesse ambiental (%)	Área total com restrições ambientais (%)
Unidade 1	2,19	-	-	-	2,19	6,43	53,5	-	-	53,8
Unidade 2	0,01	Sim	0,08	-	0,01	-	0,71	7,39	18,54	8,10
Unidade 2a	-	-	0,03	-	-	-	5,29	48,3	5,57	53,6
Unidade 2b	-	-	-	-	-	0,60	9,43	50,0	-	59,4
Unidade 2c	-	-	2,08	-	-	-	0,03	15,2	-	15,2
Unidade 2d	0,79	-	1,48	-	0,79	0,06	-	100	-	100
Unidade 3	2,17	-	0,07	0,002	2,17	8,39	67,1	7,5	7,06	78,2
Unidade 3a	4,67	-	-	-	4,67	8,73	41,9	-	20,46	45,2
Unidade 4	1,73	-	-	-	1,73	23,4	62,9	-	-	70,8
Unidade 5	0,82	-	0,11	-	0,82	10,2	28,9	-	12,87	35,6
Unidade 5a	-	-	-	-	-	2,37	27,6	-	3,64	29,9
Unidade 6	0,22	Sim	-	-	0,22	0,06	20,5	15,3	14,79	36,0
Unidade 6a	-	-	-	-	-	-	36,8	-	7,63	36,8
Unidade 6b	0,04	-	-	-	0,04	-	1,26	-	0,00	1,27
Unidade 7	0,03	-	-	-	0,03	6,15	31,2	-	9,66	35,7
Unidade 8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00
Unidade 9	1,58	Sim	-	-	1,58	4,79	9,08	19,2	-	29,1
Unidade 9a	3,40	-	-	0,005	3,4	9,06	48,4	5,8	-	54,6
Unidade 9b	0,38	Sim	-	0,008	0,39	0,24	4,75	-	4,41	4,82
Unidade 9c	0,40	-	-	-	0,41	0,80	21,4	5,3	16,96	27,1
Unidade 9d	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Unidade 10	7,81	-	-	-	7,81	37,7	92,2	5,6	0,73	98,1
Unidade 10a	3,81	-	-	0,03	3,81	17,2	49,2	29,1	4,34	78,8
Unidade 10b	3,66	-	-	-	3,66	9,69	66,4	-	9,35	67,2
Unidade 11	-	-	-	-	-	0,17	0,00	-	-	0,17
Todas as unidades (%)	0,01	-	0,1	0,002	1,6	6,5	33,2	10,9	6,4	45,3

Tabela 5.15: Recomendações e limitações para uso e ocupação das unidades de terreno.

Unidade de terreno	Recomendações e limitações para uso e ocupação das unidades
Unidade 1	O solo superficial e a cobertura vegetal só devem ser retirados no início da construção das edificações e que a pavimentação, o sistema de drenagem de águas pluviais seja implantado antes de qualquer empreendimento.
Unidade 2	Utilizar técnicas compensatórias ou até mesmo de recarga artificial desde que os cuidados para que não ocorra contaminação dos aquíferos sejam tomados. Avaliar a suscetibilidade a contaminação antes de implantar empreendimentos comerciais e industriais na região.
Unidade 2a	
Unidade 2b	
Unidade 2c	
Unidade 2d	
Unidade 3	O solo superficial e a cobertura vegetal só devem retirados no início de qualquer obra e a pavimentação e sistema de drenagem de águas pluviais de novas vias ou de existentes sejam executados antes da implantação de qualquer empreendimento. Ocupações futuras ou preexistentes localizadas em áreas com a inclinação máxima prevista por lei para ocupação de encostas necessitam de realizar estudos geológico-geotécnicos e devem atender a exigências específicas das autoridades competentes. Não se recomenda a ocupação urbana desta unidade.
Unidade 3a	
Unidade 4	Não se recomenda a ocupação urbana desta unidade.
Unidade 5	-
Unidade 5a	
Unidade 6	Utilizar técnicas compensatórias ou até mesmo de recarga artificial desde que os cuidados para que não ocorra contaminação dos aquíferos sejam tomados. Avaliar a suscetibilidade a contaminação antes de implantar empreendimentos comerciais e industriais na região.
Unidade 6a	
Unidade 6b	
Unidade 7	O solo superficial e a cobertura vegetal só devem retirados no início de qualquer obra e a pavimentação e sistema de drenagem de águas pluviais de novas vias ou de existentes sejam executados antes do empreendimento.
Unidade 8	-
Unidade 9	O solo superficial e a cobertura vegetal só sejam retirados no início de qualquer obra e a pavimentação e sistema de drenagem de águas pluviais de novas vias ou de existentes sejam executados antes do empreendimento. Utilizar técnicas compensatórias ou até mesmo de recarga artificial desde que os cuidados para que não ocorra contaminação dos aquíferos sejam tomados. Avaliar a suscetibilidade a contaminação antes de implantar empreendimentos comerciais e industriais.
Unidade 9a	
Unidade 9b	
Unidade 9c	
Unidade 9d	
Unidade 10	O solo superficial e a cobertura vegetal só devem retirados no início de qualquer obra e a pavimentação e sistema de drenagem de águas pluviais de novas vias ou de existentes sejam executados antes da implantação de qualquer empreendimento. Ocupações futuras ou preexistentes localizadas em áreas com a inclinação máxima prevista por lei para ocupação de encostas necessitam de realizar estudos geológico-geotécnicos e devem atender a exigências específicas das autoridades competentes. Não se recomenda a ocupação urbana desta unidade.
Unidade 10a	
Unidade 10b	
Unidade 11	Não se recomenda a ocupação urbana desta unidade.



- Legenda**
- Unidade - Aptidão a Urbanização
- 11 - Baixa com Restrição à Ocupação
  - 10 - Baixa com Restrição à Ocupação
  - 10a - Baixa com Controle à Ocupação
  - 3 - Baixa com Controle à Ocupação
  - 4 - Baixa com Controle à Ocupação
  - 10b - Baixa sem Restrição à Ocupação
  - 5 - Alta com Restrição à Ocupação
  - 2 - Alta com Controle à Ocupação
  - 2a - Alta com Controle à Ocupação
  - 2c - Alta com Controle à Ocupação
  - 9a - Alta com Controle à Ocupação
  - 9b - Alta sem Restrição à Ocupação
  - 9c - Alta sem Restrição à Ocupação
  - 9d - Alta sem Restrição à Ocupação

- Áreas de Proteção Permanente**
- Nascentes
  - Cursos de Água e Lagos
- Limitações de Declividade**
- Limitações de Declividade
- Zonas de Vida Silvestre**
- Subzona de Conservação da Vida Silvestre
- Convenções Cartograficas**
- Rios e Córregos
  - Lagos e Corpos de Água

- Limitações de Ocupação**
- Necessita de estudos geotécnicos e devem atender a exigências específicas das autoridades competentes.
  - Faixa de Domínio
- Fenômenos Geodinâmicos**
- Suscetível a Escorregamentos Rasos
  - Suscetível a Alagamento/ Inundações
- Limites**
- Área de estudo

Projeção Transversa de Mercator  
 Datum: SIRGAS 2000  
 Meridiano Central 45° WGr  
 1:15.000

500 0 500 Metros

Escala Gráfica  
 (Escala Original 1:10.000)

Ortofotos na escala 1:1.000 do ano de 2016  
 (GEOPORTAL, 2017)  
 Relevo sombreado com azimute de 315 graus, altura de iluminação de 45 graus e exagero vertical de 5 vezes.

Universidade de Brasília  
 Programa de Pós Graduação em Geotecnia  
 Autor: Bruno Rodrigues de Oliveira

**Figura 5.25: Carta de Aptidão a Urbanização da Área de Semidetalhe**




Tabela 5.16: Informações acerca dos fenômenos geodinâmicos, antrópicos e das áreas de proteção ambiental e permanente em cada unidade de terreno de semidetalhe.

Unidade de terreno	Fenômenos geodinâmicos e atividades antrópicas			Área de Proteção Ambiental ou Permanente			
	Erosão (%)	Caixas de empréstimo de solo (%)	Extração irregular de material (%)	APP de nascente (%)	APP de cursos d'água (%)	Zona de Conservação da Vida Silvestre (%)	Área total com restrições ambientais (%)
Unidade 2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Unidade 2a	0,00	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Unidade 2c	0,00	15,7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Unidade 3	0,33	0,00	0,02	1,75	14,24	12,9	26,8
Unidade 4	0,00	0,00	0,00	0,00	21,40	13,4	33,9
Unidade 5	0,01	0,00	0,00	0,00	9,13	22,2	27,3
Unidade 9a	0,00	0,00	0,00	5,04	7,54	57,3	57,3
Unidade 9b	0,05	0,00	0,01	0,31	0,22	4,42	4,54
Unidade 9c	0,71	0,00	0,00	1,18	2,49	3,02	5,16
Unidade 9d	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Unidade 10	0,00	0,00	0,00	6,16	44,32	97,6	97,8
Unidade 10a	0,05	0,00	0,06	6,65	14,53	56,7	57,3
Unidade 10b	0,00	0,00	0,00	6,12	3,18	78,3	78,8
Unidade 11	0,00	0,00	0,00	0,00	10,30	10,9	11,0
Todas as unidades (%)	0,07	0,23	0,014	2,6	11	33	36

Por ser uma área considerada como zona de recargas dos aquíferos da região, qualquer forma de ocupação na região da unidade 2 deveria fazer uso de técnicas compensatórias ou até mesmo de recarga artificial desde que os cuidados para que não ocorra contaminação dos aquíferos sejam tomados. É importante avaliar a suscetibilidade a contaminação antes de implantar empreendimentos comerciais e industriais na região.

Essa é a unidade mais almejada para extrações regulares de material, com aproximadamente 4% de sua área total, sendo importante ressaltar que o preenchimento das caixas de empréstimo com material distinto pode alterar localmente o PR. Na área urbanizada da RA Paranoá foram observados depósitos irregulares do tipo domiciliar que se não recolhidos e dispostos em local adequado pode vir a contaminar o lençol freático. Os solos desta unidade apresentam uma boa escavabilidade devido à grande espessura dos solos e baixa declividade. Quanto ao âmbito ambiental, a unidade 2d tem 100% da sua área restrita enquanto as unidades 2a e 2b tem cerca de 50% da sua área restrita. As demais unidades apresentam menos de 15% das suas respectivas áreas com algum tipo de restrição ambiental.

A unidade 3 apresenta suscetibilidade a erosão média a muito alta devido ao tipo de solo associado com as baixas e altas declividades, respectivamente. O potencial de recarga dessa unidade varia entre 2 e 5% com média de 3%, o que acarreta na predominância do escoamento superficial. Recomenda-se que o solo superficial e a cobertura vegetal só sejam retirados no início de qualquer obra e a pavimentação e sistema de drenagem de águas pluviais de novas vias ou de existentes sejam executados antes da implantação de qualquer empreendimento.

A unidade não apresenta suscetibilidade a alagamentos ou inundação, mas quanto a movimentos gravitacionais de massa, as vertentes inseridas na unidade apresentam baixa a média suscetibilidade a fluxo de detritos, sendo a suscetibilidade média concentradas próximas aos córregos do Urubu, Ponte, Jerivá, Palha e Tamanduá.

Os solos desta unidade apresentam uma má escavabilidade devido a pequena espessura dos solos, topo rochoso próximo e elevadas declividades, mesmo assim são observados pontos de ocupação na Unidade 3, em sua maioria, concentradas nas áreas mais planas da unidade. Ocupações futuras ou preexistentes localizadas em áreas com a inclinação máxima prevista por lei para ocupação de encostas necessitam de realizar estudos geológico-geotécnicos e devem atender a exigências específicas das autoridades competentes. Quanto ao âmbito ambiental, as unidades 3 e 3a tem aproximadamente 78 e 45% respectivamente das suas áreas com algum tipo de restrição ambiental. Diante do exposto, não se recomenda a ocupação urbana desta unidade.

A unidade 4, com base no tipo de solo e da baixa declividade, apresenta suscetibilidade a erosão muito baixa a baixa. As baixas declividades favorecem o acúmulo de água e o potencial de recarga (PR) dessa unidade, entretanto o PR varia entre 2 e 5% devido ao tipo de solo e uso e cobertura, o que acarreta na predominância do escoamento superficial. A unidade não apresenta suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa, mas as baixas declividades podem indicar áreas passíveis de inundação e alagamentos caso estejam sobre influência de corpos de água. A área próxima ao córrego Ribeirão do Torto é suscetível a alagamentos ou inundações devido as baixas declividades e a baixa permeabilidade dos solos. Cerca de 70% da sua área possui algum tipo de restrição ambiental que impede a ocupação urbana, sendo assim não se recomenda a ocupação urbana desta unidade.

A unidade 5 apresenta suscetibilidade a erosão media a alta, localmente baixa, predominantemente em função do tipo de solo visto as baixas declividades da unidade. As áreas próximas aos córregos Jeriva, Taquari, Palha, Ponte e Urubu são suscetíveis a alagamentos e/ou inundações devido as baixas declividades, a baixa permeabilidade dos solos e as características morfométricas das sub-bacias. Quanto aos movimentos gravitacionais de massa, observa-se potencial de ocorrência próximo a transição com as unidades 3 e 3a. Devido ao tipo de solo e o uso e cobertura, o potencial de recarga dessa unidade varia entre 1 e 5% com média de 2%, o que favorece o escoamento superficial.

A unidade 5 é a unidade mais urbanizada atualmente, onde estão localizadas diversas Áreas de Regularização Fundiária de Interesse Específico (ARINE), que são áreas que não estão situadas nas Zonas Especiais de Interesse Social (ZEIS) e que não sejam ocupadas por população de baixa renda. A pouca espessura dos solos e proximidade do nível freático na região da RA Varjão dificulta a escavabilidade dessa unidade nessa região. Cerca de 30% da área apresenta algum tipo de restrição ambiental que limita as formas de ocupação.

A unidade 6 apresenta suscetibilidade a erosão muito baixa a alta com base no tipo de solo, n fluxo acumulado e as baixas declividades da unidade, as quais favorecem bastante o potencial de recarga dessa unidade, que varia entre 6 e 41% com média de 26% e 31% nas unidades 6 e 6a respectivamente sendo que os valores inferiores a 20% de PR na unidade ocorrem devido ao tipo de uso e cobertura. Logo, essa unidade contribui, mesmo que parcialmente, para a recarga dos aquífero da região e qualquer forma de ocupação na região deveria fazer uso de técnicas compensatórias ou até mesmo de recarga artificial desde que os cuidados para que não ocorra contaminação dos aquíferos sejam tomados. Visto que os solos dessa unidade apresentam média permeabilidade e o potencial de recarga é elevado, é importante avaliar a suscetibilidade a contaminação antes de implantar empreendimentos



comerciais e industriais. Os depósitos irregulares identificados nas unidades 6 são essencialmente entulhos, não apresentando potencial de contaminação aos aquíferos porosos. Cerca de 15% da área da unidade 6a apresenta algum tipo de restrição ambiental que impede a ocupação urbana enquanto as demais unidades possuem restrições que limitam as formas de ocupação.

A unidade 7 apresenta suscetibilidade a erosão baixa a muito baixa, devido ao tipo de solo e das baixas declividades, mas são observadas feições erosivas provenientes de águas pluviais coletadas e lançadas sem controle. Recomenda-se que o solo superficial e a cobertura vegetal só sejam retirados no início de qualquer obra e a pavimentação e sistema de drenagem de águas pluviais de novas vias ou de existentes sejam executados antes do empreendimento. O potencial de recarga dessa unidade varia entre 1 e 15%, com média de 10%, a baixa permeabilidade dos solos, favorece o escoamento superficial. Nesta unidade, inclusive, são observadas bacias de detenção projetadas para armazenar temporariamente o volume das enxurradas e liberá-lo lentamente. A unidade não apresenta suscetibilidade a inundações ou alagamentos nem a movimentos gravitacionais de massa. As baixas declividades e a espessura dos solos favorecem a escavabilidade da unidade. Cerca de 30% da área da unidade apresenta algum tipo de restrição ambiental que limita as formas de ocupação.

A unidade 8 apresenta suscetibilidade a erosão baixa a média, em função da associação do tipo de solo com a baixa declividade e apesar da textura arenosa apresenta um potencial de recarga baixo, no máximo 2%, devido ao uso e cobertura do solo. Essa unidade não apresenta nenhuma das restrições ambientais listadas na Tabela 5.12 e não apresentam suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa, a alagamentos ou inundações.

A unidade 9 (9, 9a, 9b, 9d) apresentam predominantemente suscetibilidade a erosão baixa a muito baixa, principalmente em função da declividade, enquanto a subunidade (9c,) apresenta suscetibilidade a erosão média a muito baixa. Apesar da baixa suscetibilidade a erosão, o solo superficial e a cobertura vegetal só devem ser retirados no início de qualquer obra e a pavimentação e sistema de drenagem de águas pluviais de novas vias ou de existentes sejam executados antes da implantação do empreendimento visto que são observadas feições erosivas nesta unidade em vias não pavimentadas de parcelamentos de solo. Essa unidade não apresenta suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e a alagamentos ou inundações.

As baixas declividades e o tipo de solo, que apresentam média a baixa permeabilidade, favorecem o potencial de recarga da unidade que varia entre 3 e 40%, com média de 18%, e o acúmulo de água em algumas áreas. Para a realização dos parcelamentos de solo nesta unidade é recomendável fazer uso de técnicas compensatórias ou até mesmo de recarga artificial desde

que os cuidados para que não ocorra contaminação dos aquíferos sejam tomados. Recomenda-se também avaliar a suscetibilidade a contaminação antes de implantar empreendimentos comerciais e industriais. As baixas declividades e a espessura dos solos favorecem a escavabilidade na unidade.

As unidades 9, 9a, 9c apresentam localmente algum tipo de restrição ambiental que impede a ocupação, enquanto as unidades 9, 9a, 9b, 9d apresentam localmente algum tipo de restrição ambiental que limita as formas de ocupação. Quanto as atividades antrópicas, são observados depósitos irregulares, essencialmente entulhos, e extração irregular de material.

A unidade 10 apresenta suscetibilidade a erosão alta a muito alta, devido ao tipo de solo e as declividades elevadas. Dentre as unidades, esta exibe a maior área coberta por feições erosivas, com cerca de 5% da área total (0,5 km<sup>2</sup>). Recomenda-se que o solo superficial e a cobertura vegetal só sejam retirados no início de qualquer empreendimento. Devido as elevadas declividades e baixa permeabilidade, o potencial de recarga varia de 0 a 5% com média menor que 1%, favorecendo o escoamento superficial. Quanto a suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa, as vertentes apresentam média (em sua maioria) a alta suscetibilidade a fluxo de detritos sendo as altas suscetibilidades restritas a área a montante das sub-bacias do córrego da Ponte e do Jerivá. As áreas próximas aos cursos de água dessa unidade podem ser suscetíveis a inundações. Nesta unidade observa-se na maior parte da mesma a inclinação máxima prevista por lei para ocupação de encostas e as ocupações nessa faixa necessitam de realizar estudos geológico-geotécnicos e devem atender a exigências específicas das autoridades competentes. Sendo assim, não se recomenda a ocupação urbana desta unidade. Mais de 49% da área da unidade apresenta algum tipo de restrição ambiental que limita as formas de ocupação, portanto não se recomenda nenhum tipo de ocupação nesta unidade.

A unidade 11 possui a menor extensão e apesar da unidade ser bem drenada, as áreas próximas ao córrego Ribeirão do Torto, Jerivá, Ponte e Taquari são passíveis de alagamentos e inundações. Nesta unidade são observados meandros abandonados no córrego do Jerivá. A suscetibilidade a erosão é muito baixa e a movimentos gravitacionais de massa é inexistente.

## **6.CONCLUSÕES**

Neste tópico serão apresentadas as conclusões obtidas durante a execução da pesquisa e sugestões de trabalhos futuros.

### **6.1.CONCLUSÕES**

A utilização de cartas geotécnicas destinadas ao planejamento contribui bastante para a harmonização entre o processo de urbanização e o meio ambiente, que além de cumprir os objetivos específicos de orientar na escolha de localidades passíveis de serem ocupadas, suas limitações, potenciais e riscos instalados dependendo do produto cartográfico, permite evitar impactos negativos à ambas as partes.

Com a implementação desta política pública no País, várias cartas geotécnicas com essa finalidade estão sendo elaboradas, sendo importante que o produto esteja claro e objetivo, além de fácil compreensão por parte dos planejadores. É importante observar que as cartas geotécnicas no geral, não excluindo as apresentadas neste trabalho, são compostas por uma carta síntese, quadro-legenda e texto explicativo e possuem caráter orientativo, não devendo substituir a investigação local.

É primordial para o sucesso de qualquer trabalho de cartografia geotécnica, a realização de um estudo de escritório e da fotointerpretação de imagens de sensoriamento remoto visto que são etapas que fornecem grandes volumes de informação a baixo custo. A associação das etapas supracitadas, com visitas de reconhecimento, auxiliaram não somente na interpretações dos dados compilados, mas também na compreensão das relações entre as temáticas (geologia, geomorfologia, pedologia, hidrogeologia) da área em estudo.

É interessante realizar a fotointerpretação de imagens de sensoriamento remoto com diferentes resoluções espaciais e de datas. Por exemplo, a fotointerpretação de imagens de anos diferentes auxiliaram na avaliação de terrenos que se encontram atualmente com um nível de ocupação que impede a identificação de feições, como por exemplo, a delimitação da unidade 4 inserida na área do condomínio Prive I que encontra-se amplamente ocupada na ortofoto de 2016, mas que nas ortofotos de 2009 encontrava-se no início do processo de ocupação. Por sua vez, a utilização de imagens com diferentes resoluções espaciais na fotointerpretação, resoluções crescentes a medida que o nível de detalhamento aumenta, permitiram uma maior segmentação das imagens em termos de textura, estrutura e tonalidade, auxiliando na subdivisão das unidades delimitadas.

Outros pontos importantes da etapa de estudo de escritório foram a elaboração de cartas derivadas e do modelo conceitual que auxiliaram na compreensão fisiográfica e hidrológica e no planejamento mais eficiente de uma de campanha de investigações. A carta de declividade permite uma avaliação quanto as restrições de uso e ocupação baseada na inclinação dos terrenos e potencial de ocorrência de fenômenos geodinâmicos. A carta da altura vertical da drenagem mais próxima fornece dados sobre áreas potenciais de inundação e alagamentos além de estar indiretamente relacionada com a profundidade do nível freático. A carta de hipsometria auxilia na visualização tridimensional do relevo cujo dados permitem a elaboração da curva hipsométrica utilizada na avaliação do potencial erosivo e deposicional de uma área. As curvaturas de terreno indicam locais de concentração e dispersão de fluxos enquanto as cartas de fluxo acumulado fornecem a área de fluxo que chega a determinado local. As cartas fundamentais foram essenciais para a elaboração dos modelos conceituais que por consequência deram origem as unidades de mapeamento utilizadas no planejamento dos levantamentos de campo.

A elaboração do modelo conceitual pela sobreposição de planos de informação disponíveis é uma tarefa facilmente realizada em qualquer SIG, mas o resultado deve ser avaliado cuidadosamente e conferidos com levantamentos de campo. É essencial para a elaboração dos modelos conceituais o conhecimento regional e local das condições do meio físico (solos e rocha, águas superficiais e subterrâneas, morfologia dos terrenos e processos geodinâmicos) para ser possível realizar uma avaliação crítica dos resultados das sobreposições. A utilização do modelo conceitual associado com o resultado da fotointerpretação facilitou bastante o planejamento das investigações diretas.

Os recursos de geoprocessamento auxiliaram bastante na análise dos dados compilados e na elaboração de todos os produtos cartográficos resultantes lembrando que a utilização de programas livres para a elaboração dos trabalhos facilita a reprodutibilidade da metodologia proposta neste trabalho.

Quanto aos métodos de investigação utilizados, o permeâmetro Guelph se mostrou bastante eficiente, além da leveza e da facilidade de transporte, podendo ser executado até por uma única pessoa. Além da condutividade hidráulica saturada, obtém-se uma descrição tátil visual do solo retirado do furo a trado feito para a instalação do equipamento. Uma das grandes vantagens deste método é fornecer parâmetros que representem uma avaliação mais realista das condições geotécnicas do solo *in situ*. Os resultados obtidos permitem uma quantificação da permeabilidade dos solos superficiais contribuindo para avaliações futuras de vulnerabilidade ou suscetibilidade a contaminação das águas subterrâneas, dimensionamento de drenagens e de

técnicas compensatórias de infiltração em áreas a serem urbanizadas, escolha de locais para disposição de resíduos, estudos hidrogeológicos e de outras temáticas.

O levantamento geofísico com eletrorresistividade feito no estudo de caso, apesar de não permitir uma correlação com os materiais levantaram hipóteses importantes como: a não ocorrência de nível de água em nenhuma das duas seções; Existência de estruturas em subsuperfície, deduzido devido ao elevado contraste de resistividade, associadas ao substrato rochoso e possível contato brusco entre as unidades de terreno em subsuperfície. É pertinente lembrar que os métodos geofísicos são métodos de investigações indiretas sendo necessário uma integração com diferentes métodos geofísicos, que meçam parâmetros pertinentes ao estudo, e com métodos de investigações diretas. Ao contrário das investigações com o permeâmetro, os levantamentos necessitam de duas ou mais pessoas para ser executados sem dificuldades.

O mapeamento geológico geotécnico permite a confirmação dos dados compilados e a aquisição de novas informações acerca das temáticas utilizadas como base para o desenvolvimento dos trabalhos. Mesmo que uma grande quantidade de dados esteja disponível ou que o objetivo seja a elaboração de mapas de pequena escala visando auxiliar no planejamento regional, é necessário a coleta de informações adicionais por meio de mapeamento.

Com base nas cartas de unidade geotécnicas foram elaboradas cartas de suscetibilidade a eventos danosos e aptidão a urbanização para as áreas de escala média e de semidetalhe, respectivamente. Tais produtos deverão contribuir para a revisão das diretrizes urbanísticas do setor habitacional Taquari.

A carta de suscetibilidade mostra que as unidades 3 (3 e 3a), 10 (10, 10a, 10b), 4 e 11 são áreas desfavoráveis à ocupação e que as unidades 1, 2 (2, 2a, 2b e 2d), 5 (5 e 5a), 7 e 8 são áreas aceitáveis para ocupação. As demais unidades (6, 6a, 6b, 9, 9a, 9b, 9c) são favoráveis a ocupação.

A carta de aptidão mostra uma grande quantidade de áreas com restrições quanto a declividade nas unidades 3 (3 e 3a) e 10 (10, 10a) e quanto a áreas de preservação ambiental na unidade 10 (10, 10a), sendo assim não é recomendada ocupação nessas áreas. Ocupações preexistentes nessas áreas necessitam de avaliação geotécnica visando identificar a necessidade de obras de infraestrutura viária, saneamento e drenagem, e riscos potenciais a desastres naturais.

A carta de unidades geotécnicas em escala de detalhe não foram utilizadas para elaboração de uma carta de risco pois seria necessário realizar a identificação e avaliação de perigo em áreas ocupadas com riscos potenciais frente a desastres naturais, da avaliação das

condições de vulnerabilidade das ocupações sob risco e cálculo do risco, o que foge do escopo do trabalho. Todavia as unidades delimitadas nesta escala de mapeamento podem ser utilizadas para tal finalidade.

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

Para dar continuidade a esta pesquisa sugere-se os seguintes tópicos:

- Utilização de investigações diretas de rápida aquisição de informações, como o penetrômetro dinâmico à energia variável (PANDA), que permitam a quantificação das espessuras de solo superficiais e permitindo avaliar quantitativamente as unidades quanto a sua escavabilidade.
- Utilização de uma combinação de outros métodos geofísicos como Sísmica de Refração, Sondagens Elétricas Verticais e GPR visando avaliar melhor as unidades em subsuperfície e refinar o modelo conceitual elaborado para as unidades.
- Utilização de Aeronaves Remotamente Pilotadas para aquisição de imagens e modelos numéricos de terreno com maior resolução espacial e avaliar o seu potencial para áreas que não possuam disponibilidade de base topográfica adequada.
- Avaliar a umidade natural utilizando o material retirado com o trado para a instalação do permeâmetro e a umidade saturada do material logo abaixo da profundidade ensaiada que, teoricamente, encontra-se saturado devido a influência do bulbo de saturação.
- Utilizar o material coletado para caracterizações posteriores utilizando o método expedito das planilhas e cálculo das curvas granulométricas.
- Avaliar a correlação da condutividade hidráulica saturada com os parâmetros obtidos em laboratório.
- Realizar ensaios com o Permeâmetro Guelph em maiores profundidades.
- Avaliar a correlação de maiores períodos acumuladas de pluviometria com o volume de água necessário para estabilizar a vazão no furo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT (1983). Norma Técnica NBR 8036: Programação de sondagens de simples reconhecimento dos solos para fundações de edifícios. Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT, Rio de Janeiro RJ, 18 p.
- AGUIAR, A.B. (2001). O Emprego do Permeâmetro de Guelph na Determinação da Permeabilidade do Solo, de Camadas de Lixo e sua Cobertura. Dissertação de Mestrado, COPPE, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 90 p.
- ALMEIDA, C.D.S. (2012). Espacialização e Quantificação de Sesquióxidos de Ferro (Goethita e Hematita) em Solos Tropicais por Meio de Sensoriamento Remoto Hiperespectral. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Pós Graduação em Geociências Aplicadas, Brasília, DF, 67p.
- ANDERSON, N. (2008). Common Applications of Geotechnical Geophysics. In: Geophysical Methods Commonly Employed for Geotechnical Site Characterization, Transportation Research Board, Transportation Research Circular E-C130, 35 p.
- ANDERSON, N. e CROXTON, R. (2008). Introduction to Geotechnical Geophysics. In: Geophysical Methods Commonly Employed for Geotechnical Site Characterization, Transportation Research Board, Transportation Research Circular E-C130, 35 p.
- ANDRIOTTI, J.L.S. (2013). Fundamentos de Estatística e Geoestatística. Editora Unisinos. São Leopoldo/RS. 1ª Ed. 2ª reimpressão, 165p.
- ANON (2015). BS 5930:2015 Code of practice for ground investigation. British Standards Institution, London.
- ARENAS-RÍOS, M. (2012). Estudo Cartografia geotécnica e visões fractais da geometria do relevo. Dissertação de Mestrado, Publicação G.DM-205/12, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 128 p.
- AZEVEDO, G.F. (2015). Sistema de Análise Quantitativa de Risco por Escorregamentos Rasos Deflagrados por Chuvas em Regiões Tropicais. Tese de Doutorado, Publicação G.TD - 107/15, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 254 p.
- BARELLA, C.F. (2016). Abordagens Estatísticas Aplicadas ao Mapeamento de Suscetibilidade a Movimentos de Massa: Análise de Diferentes Técnicas no Contexto do Quadrilátero Ferrífero. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, MG, 253 p.
- BARNES, J.W., LISLE, R.J. (2004). Basic geological mapping - 4th ed. British Library, 198p.
- BARROS, J.R. (2003). A chuva no Distrito Federal: o regime e as excepcionalidades do ritmo. Dissertação (mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Departamento de Geografia, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 221 p.
- BATISTA, P.H.L., ALMEIDA, J.P., CABRAL, P.R.C., GALVÃO, T. (2015). Carta geotécnica de aptidão à urbanização frente aos desastres: instrumento de suporte ao planejamento territorial com apoio do Ministério das Cidades. 15º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 8 e 21 de outubro de 2015, Bento Gonçalves, 10 p.
- BELL, F.G., CRIPPS, J.C., CULSHAW, M.G. (1990). Field testing methods for engineering geological investigations. In: BELL, F.G., CULSHAW, M.G., CRIPPS, J.C. e COFFEY, J.R. (eds) (1990). Field Testing in Engineering Geology. Geological Society Engineering Geology Special Publication, 6: 3-20.
- BIMBATO, N.T. (2014). Uso do permeâmetro tipo Guelph para a obtenção da permeabilidade em uma área potencial para implantação de aterro de resíduos sólidos não perigosos. Projeto de Graduação, Universidade Federal do Espírito Santo, 71 p.
- BITAR, O.Y. (Coord.). (2014). Cartas de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações: 1:25.000. Nota técnica explicativa, IPT – Instituto de Pesquisas

- Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo; CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Brasília, DF, 50 p.
- BIZZI, L.A., VIDOTTI, C.S.R.M., GONÇALVES, J.H.(Org.) (2003). Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil: texto, mapas e SIG. Brasília: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 692p.
- BORGES W.R. (2002). Investigações geofísicas na borda da Bacia Sedimentar de São Paulo, utilizando-se GPR e Eletorresistividade. Dissertação de Mestrado. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 153 p.
- BORGES, M.V., SILVA JUNIOR, E.E.A., SOUZA, N.M. (2015). Relação da escala de trabalho do mapeamento geotécnico e área de influência das sondagens. Anais do 9º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, Instituto Nacional de Pesquisa do Pantanal (INPP), Cuiabá, MT, 4 p.
- BRASIL (1979). Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979. Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras Providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 11 p.
- BRASIL. (2001). Lei nº 10.257, de 10 de Julho de 2001. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências.
- BRASIL. (2010). Lei nº 12.340, de 10 de Abril de 2010. Dispõe sobre as transferências de recursos da União aos órgãos e entidades dos Estados, Distrito Federal e Municípios para a execução de ações de prevenção em áreas de risco de desastres e de resposta e de recuperação em áreas atingidas por desastres e sobre o Fundo Nacional para Calamidades Públicas, Proteção e Defesa Civil; e dá outras providências, Brasília.
- BRASIL. (2012a). Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC; dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil - CONPDEC; autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres; altera as Leis nos 12.340, de 1º de dezembro de 2010, 10.257, de 10 de julho de 2001, 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.239, de 4 de outubro de 1991, e 9.394, de 20 de dezembro de 1996; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília.
- BRASIL (2012b). Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 2012, 34 p.
- BRESSANI, L.A., COSTA, E.A. (2015). CARTAS GEOTÉCNICAS APLICADAS AO PLANEJAMENTO TERRITORIAL – alguns ajustes no instrumento. 15º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 8 e 21 de outubro de 2015, Bento Gonçalves, 10 p.
- BRINK, A.B.A., Partridge, J.C e Williams, A.A.B (1982). Soil Survey for Engineering. Clardon, Oxford, 375 p.
- CÂMARA, G., SOUZA, R.C.M., FREITAS, U.M. e GARRIDO, J. (1996). SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. Computers e Graphics, 20(3): 395-403.
- CÂMARA, G., DAVIS, C. e MONTEIRO, A.M.V. (2001). Introdução à Ciência da Geoinformação. INPE, São José dos Campos, 345 p.
- CAMPOS, J.E.G. (2004). Hidrogeologia do Distrito Federal: Bases para Gestão dos Recursos Hídricos Subterrâneos. Brasil: Revista Brasileira de Geociências, 34(1): 41-48.
- CAMPOS, J.E.G., DARDENNE, M.A., FREITAS-SILVA, F.H., MARTINS-FERREIRA, M.A.C. (2013). The Paranoá Group geology at the external portion of the Brasília Belt. Braz. J. Geol., São Paulo, 43(3): 461-476.



- CAMPOS, J.E.G., GONÇALVES, T.D. (2016). Diretrizes para o desenvolvimento de recarga artificial de aquíferos no distrito federal. Relatório técnico, ADASA, Brasília, Distrito Federal 70 p.
- CERRI, L.E.S., AKIOSSI, A., AUGUSTO FILHO, O., ZAINE, J.E. (1996). Cartas e mapas geotécnicos de áreas urbanas: reflexões sobre as escalas de trabalho e proposta de elaboração com o emprego do método de detalhamento progressivo. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 8, 1996, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: ABGE, 2: 537-548.
- CHAMINÉ, H.I., TEIXEIRA, J., FREITAS, L., PIRES, A., SILVA, R.I., PINHO, T., MONTEIRO, R., COSTA, A.L., ABREU, T., TRIGO, F.J., AFONSO, M.J., CARVALHO, J.M. (2016). From engineering geosciences mapping towards sustainable urban planning. *European Geologist Journal*, 41:1-22.
- CHARMAN, J.H. (2001). Desk studies. In: From: GRIFFITHS, J.S. (ed.) *Land Surface Evaluation for Engineering Practice*. Geological Society, London, Engineering Geology Special Publications, 18, 19-21.
- CHARMAN, J.H., FOOKES, P.G., HENGESH, J., LEE, E.M., POLLOS-PIRALLO, S., SHILSTON, D.T. e SWEENEY, M. (2005). Terrain, ground conditions and geohazards: evaluation and implications for pipelines. In: Sweeney, M. (ed.) *Terrain and Geohazard Challenges Facing Onshore Oil and Gas Pipelines*. Thomas Telford, London, 78-94.
- CLARKE, S.M. (2004). Confidence in geological interpretation. A methodology for evaluating uncertainty in common two and three-dimensional representations of subsurface geology. *British Geological Survey Internal Report*, IR/04/164. 33 p.
- COELHO, J.O.M. (2015). Mapeamento geológico-geotécnico pelo método de detalhamento progressivo: aplicação no planejamento e gestão de obras rodoviárias. Tese (doutorado), Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 141p.
- CORRÊA, C.V.S., REIS, F.A.G.V., GIORDANO, L.C., BRESSANE, A., CHAVES, C.J., AMARAL, A.M.C., BRITO, H.D., MEDEIROS, G.A. (2017). Geo-environmental zoning using physiographic compartmentalization: a proposal for supporting sustainable decision-making. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 89(3): 1503-1530.
- COUTINHO, R.Q. (Coord. e Org.) (2013). Parâmetros para a Cartografia Geotécnica e diretrizes para áreas sujeitas a Desastres Naturais, GEGEP/UFPE/MCIDADES, Recife.
- CPRM - Serviço Geológico do Brasil. (2003). Zoneamento ecológico-econômico da região integrada de desenvolvimento do Distrito Federal e entorno: fase I. Serviço Geológico do Brasil; Embrapa; MI/SCO, 3, 418 p.
- CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO BRASILEIRO. (2018). Manual de Mapeamento de Perigo e Risco a Movimentos Gravitacionais de Massa. 204 p. Disponível em: <http://www.cidades.gov.br/gides/arquivos/category/22-manuais?download=292:manual-de-mapeamento-de-perigo-e-risco-a-movimentos-gravitacionais-de-massa>. Acesso em 23 de Abril de 2018.
- CUNHA, M.A. (ed.) (1991). Ocupação de Encostas. Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo, SP, 216 p.
- DA SILVA, A.P.F., RODRIGUES-CARVALHO, J.A. (2006). Engineering geological mapping for the urban planning of Almada County, Portugal. IN: Culshaw, M.G., REEVES, H.J., JEFFERSON, I., SPINK, T.W. (eds) *Engineering Geology for tomorrow's Cities*. Geological Society, London, Engineering Geology Special Publications, 22.
- DAI, F.C., LEE, C.F. e NGAI, Y.Y. (2002). Landslide risk assessment and management: an overview. *Engineering Geology*, 64: 65–87.
- DANTAS, M.E. (2010). Biblioteca de relevo do território brasileiro. Geodiversidade do Estado de Minas Gerais, M.F. Machado & S.F. Silva, CPRM, Belo Horizonte, MG, Apêndice II. 136 p.

- DARRACOTT, B.W., MCCANN, D.M. (1986). Planning Engineering Geophysical Surveys. Geological Society, London, Engineering Geology Special Publications, 2: 85-90.
- DEARMAN, W.R. (1987). Land evaluation and site assessment: mapping for planning purposes. In: CULSHAW, M. G., BELL, F. G., CRU, PS, J. C. e O'HARA, M. (eds) 1987. Planning and Engineering Geology, Geological Society Engineering Geology Special Publication (4):195-201.
- DEARMAN, W.R. (1991). Engineering Geological Mapping. British Library Cataloguing Publication Data, Butterworth e Heinemama, London, UK, 415 p.
- DE BIASI, M. (1992). A carta clinográfica: os métodos de representação e sua confecção. RDG - Revista do Departamento de Geografia, 6: 45-60.
- DE FREITAS, M.H. (2009). Geology; it principles, practice and potencial for geotechnics. Q J Engineering Geology Hydrogeology 42: 397-441.
- DELGADO, A.K.C. (2007). Estudo do Comportamento Mecânico de solos tropicais característicos do Distrito Federal para uso na Pavimentação Rodoviária. Tese de Doutorado – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil, 392 p.
- DINIZ, N.C. (2012). Cartografia geotécnica por classificação de unidades de terreno e avaliação de suscetibilidade e aptidão. Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental (RBGEA), 2(1/2): 29-77.
- DINIZ, N.C, FREITAS, C.G.L. (2013). Cartografia Geotécnica, Coord. Capítulo 7 in: Parâmetros para cartografia geotécnica e diretrizes para medidas de intervenção de áreas sujeitas a desastres naturais. In: Coutinho, R.Q. (Coord. E Org.) Ministério das Cidades – Programas Urbanos, Cartografia Geotécnica/ UFPE – GEGEP/DECivil. Documento Técnico.
- DINIZ, T.D., ZAINÉ, J.E., RODRIGUES, F.H. (2016). Compartimentação fisiográfica aplicada ao mapeamento em detalhamento progressivo do núcleo urbano central de Ilhabela-SP. Revista do Instituto de Geociências – USP, São Paulo, 16(3): 57-70.
- DIUR 05/2013 (2013). Diretrizes Urbanísticas - Setor Habitacional Taquari Etapa II. Secretaria de Estado de Desenvolvimento Urbano Habitação – SEDHAB, Processo: 390.000.427/2013, Região Administrativa de Lago Norte, 41 p.
- DNER (1998). Norma Técnica DNER-PRO 381: Projeto de aterros sobre solos moles para obras viárias. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, DNER, 34p.
- ELRICK, D.E., REYNOLDS, W.D., TAN, K.A. (1989). Hydraulic conductivity measurements in the unsaturated zone using improved well analysis. Groundwater Monitoring Review, 9: 184-193.
- EMBRAPA - SERVIÇO NACIONAL DE LEVANTAMENTO E CONSERVAÇÃO DE SOLOS (Rio de Janeiro, RJ). (1978). Levantamento de reconhecimento dos solos do Distrito Federal. (EMBRAPA-SNLCS. Boletim Técnico, 53), 455 p.
- FARIA A. (1995). Estratigrafia e sistemas deposicionais do Grupo Paranoá nas áreas de Cristalina, Distrito Federal e São João D'Aliança – Alto Paraíso – GO. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 199 p.
- FERREIRA GOMES, L.M., ALMEIDA, P., CAVALEIRO, V. (2001). Geotechnical mapping in planning urban areas methodological standard proposal. In: International Symposium Engineering geological problems of urban areas, Ekaterinburg, Russia, 30 July to 2 August 2001.
- FLORINSKY, I.V. (2011). Digital terrain analysis in soil science and geology. Elsevier, USA, 398 p.
- FOOKES, P.G. (1997). Geology for engineers: the geological model, prediction and performance. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, 30: 293-424.

- FOOKES, P.G., LEE, E.M. e SWEENEY, M. (2001). Pipeline route selection and ground characterization, Algeria. In: Griffiths, J.S. (ed.) Land Surface Evaluation for Engineering Practice. Geological Society, London, Engineering Geology Special Publications, 18, 115–121.
- FREEMAN, G.T. (1991). Calculating catchment area with divergent flow based on a regular grid. *Computers and Geosciences* 17: 413-22.
- FREITAS-SILVA, F.H., CAMPOS, J.E.G. (1998). Geologia do Distrito Federal. In: Inventário Hidrogeológico e dos Recursos Hídricos Superficiais do Distrito Federal. Brasília. IEMA/SEMATEC/UnB. Parte I., p. 86.
- GDF (2006). Decreto nº 27.365, 2006. Regulamenta a Faixa de Domínio das Rodovias do Sistema Rodoviário do Distrito Federal. Disponível em: [http://sider.der.df.gov.br/modelos termos/Leis/Dec\\_DF\\_27365.pdf](http://sider.der.df.gov.br/modelos termos/Leis/Dec_DF_27365.pdf). Acesso em Maio de 2018.
- GDF (2012). Decreto nº 3.537, de 14 de fevereiro de 2012. Dispõe sobre o zoneamento ambiental da Área de Proteção Ambiental – APA do Lago Paranoá. Disponível em: [http://www.tc.df.gov.br/sinj/Norma/70581/exec\\_dec\\_33537\\_2012\\_rep.html](http://www.tc.df.gov.br/sinj/Norma/70581/exec_dec_33537_2012_rep.html). Acesso em Maio de 2018.
- GEOPORTAL (2017). Infraestrutura de Dados Espaciais - IDE/DF. Disponível em: <https://www.geoportal.segeth.df.gov.br/>. Acesso em 07 de Março de 2017.
- GOMES, M.C.V. (2012). Análise da influências da condutividade hidráulica saturada dos solos nos escorregamentos rasos na bacia do rio Guaxinduba (SP). Dissertação de Mestrado, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Departamento de Geografia, Área de concentração: Geografia Física, 138 p.
- GONÇALVES, T.D. (2007). Geoprocessamento como ferramenta de apoio à gestão dos recursos hídricos subterrâneos do Distrito Federal. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Universidade de Brasília, Brasília, 101 p.
- GONÇALVES, M. (2016). Diagnóstico e Proposta de Gestão das Reservas e Disponibilidades das Águas Subterrâneas no Distrito Federal, Considerando as Diferentes Regiões Administrativas e a Situação Atual de Uso e Ocupação do Solo. Relatório técnico, Adasa, Brasília, Distrito Federal, 99 p.
- GRIFFITHS, J.S. (2001). Engineering geological mapping. In: GRIFFITHS, J. S. (ed.) (2001). Land Surface Evaluation for Engineering Practice. Geological Society, London, Engineering Geology Special Publications, 18: 39-42.
- GRIFFITHS, J.S. (2016). Incorporating geomorphology in engineering geological ground models. In: Eggers, M.J., Griffiths, J.S., Parry, S., Culshaw, M.G. (eds) (2016). Developments in Engineering Geology. Geological Society, London. Engineering Geology Special Publication, 27: 159-168.
- GRIFFITHS, J.S. (2017). Technical note: Terrain evaluation in Engineering Geology. *Qjagh - Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 50: 3-11.
- GUY, M. (1966). Quelques principes e quelques expériences sur la methodologie de la photointerpretation. In: Symp. Intern. Photo-Interpretation, 2, Paris, Acte, 1: 21-41.
- HERBERT, S.M., ROCHE, D.P., CARD, G.B. (1987). The value of engineering geological desk study appraisals in scheme planning. Geological Society, London, Engineering Geology Special Publications, 4: 151-154.
- IAEG (1976). Engineering Geology Maps: a Guide to their Preparation. UNESCO, Paris, 79 p.
- IS 1892 (1979). Code of practice for subsurface investigation for foundations [CED 43: Soil and Foundation Engineering].
- KARACSONYI, S.; REMMENYI, P. (1970). The significance of the explorations connected with the town development in the engineering geological mapping. In: CONG. DA IAEG, 1, Paris.

- KEAREY, P., BROOKS, M., e HILL, I. (2002). *An Introduction to Geophysical Exploration*. 3 edition, Blackwell Science Ltd, UK. 281 p.
- KER, J.C. (1997). Latossolos do Brasil: uma revisão. *Geonomos*, 5(1): 17-40.
- KNILL, J.L. (2003). Core values: the First Hans Cloos Lecture. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 62: 1-34.
- KUMAIRA, S. (2016). Análise e modelagem estrutural do Domo de Brasília. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Programa de Pós-Graduação em Geociências. 102 p.
- LAGO, A.P. (2009). Investigação geofísica 2D e 3D com aplicação em meio ambiente: estudo sobre uma área de disposição de resíduos de óleo lubrificante no município de Ribeirão Preto – SP. Dissertação de Doutorado. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 194 p.
- LAWRANCE, C.J., BYARD, R. e BEAVEN, P. (1993). *Terrain Evaluation Manual*. Transport Research Laboratory, State-of-the-Art Review, 7. HMSO, London.
- LOUSADA, E.O., CAMPOS, J.E.G. (2005). Proposta de modelos hidrogeológicos conceituais aplicados aos aquíferos da região do Distrito Federal. *Revista Brasileira de Geociências*, 35(3): 407-414.
- MACEDO, E.S.; BRESSANI, L.A. (Org.). (2013). *Diretrizes para o zoneamento da suscetibilidade, perigo e risco de deslizamentos para planejamento do uso do solo*. São Paulo: ABGE; ABMS, 88 p.
- MARCUZZO, F.F.N., CARDOSO, M.R.D., FARIA, T.G. (2012). Chuvas no Cerrado da Região Centro-Oeste do Brasil: Análise Histórica e tendência futura. *Goiânia: Ateliê Geográfico*, 6(2):112-130.
- MARJORIBANKS, R. (2010). *Geological Methods in Mineral Exploration and Mining*. 2 edition, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, UK, 115 p.
- MARTINS, E.S., BAPTISTA, G.M.M. (1999). Compartimentação geomorfológica do Distrito federal. In: *Inventário hidrogeológico e dos recursos hídricos superficiais do Distrito Federal*. Brasília: SEMATEC: IEMA: MMA-SRH, 1 CD-ROM.
- MARTINS, E. S., REATTO, A., CARVALHO, O. A., GUIMARÃES, R. F. (2004). *Evolução Geomorfológica do Distrito Federal*. Planaltina, DF. Documentos/Embrapa Cerrados, ISSN 1517-5111, nº122, 57 p.
- MATULA, M.; PASEK, J. (1884) *Engineering geological maps in the Czechoslovak Socialist Republic*. In: *INT. GEOL. CONG.*, 22., New Delhi.
- MCDOWELL, P.W., BARKER, R.D., BUTCHER, A.P., JACKSON, P.D., MCCANN, D.M., SKIPP, B.O. (2002). *Geophysics in engineering investigations*. CIRIA, 6 Storey's Gate, Wetminster, London SW1P 3AU, 252 p.
- MIO, G. (2005) *Condicionantes Geológicos na Interpretação de Ensaios de Piezocone para Identificação Estratigráfica na Investigação Geológica e Geoambiental*. EESC-USP, (Tese de Doutorado). São Carlos/SP.
- MOMO, M.R., PINHEIRO, A., SEVERO, D.L., CUARTAS, L.A., NOBRE, A.D. (2015). Desempenho do modelo HAND no mapeamento de áreas suscetíveis à inundação usando dados de alta resolução espacial. *RBRH*, 21(1) 200-208.
- MONTEIRO, A. PAIS, L.A., RODRIGUES, C., CARVALHO, P. (2017). SIG Contribution in the Making of Geotechnical Maps in Urban Areas. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 245: 1-9.
- MORAES, J.M., FERREIRA, C.E.O., PEDRAZZI, A.C., DIAS, G.P., OLIVEIRA FILHO, I.B., FERRASSOLI, M.A. (2015). Metodologia para execução de cartas de aptidão à urbanização frente aos desastres naturais - aplicação no município de Magé - RJ. 15º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 8 e 21 de outubro de 2015, Bento Gonçalves, 10 p.

- NADALIN, R.J. (2016) Fotointerpretação de relevo aplicada a cartografia geológica. In: NADALIN, R. J. et al (ED) (2016). Tópicos especiais em cartografia geológica. Curitiba, Departamento de Geologia, UFPR, 2016, 404 p.
- NATHANAIL, C.P., SYMONDS, A. (2001). Geographical information systems. In: GRIFFITHS, J.S. (ed.). (2001). Land Surface Evaluation for Engineering Practice. Geological Society, London, Engineering Geology Special Publications, 18: 57-58.
- NOBRE, A.D., CUARTAS, L.A., HODNETT, M., RENNÓ, C.D., RODRIGUES, G., SILVEIRA, A., WATERLOO, M., SALESKA, S. (2011). Height above the Nearest Drainage, a hydrologically relevant new terrain model. *Journal Hydrology*, 404(1-2): 13-29.
- NOGUEIRA, F.R., CANIL, K. (2017). Cartas geotécnicas de aptidão à urbanização: instrumento de planejamento para prevenção de desastres e para a gestão do uso do solo. XVII Enapur, São Paulo, 1-15.
- NOVAES PINTO, M. (1987). Superfícies de aplainamento do Distrito Federal. *Revista Brasileira de Geografia*, 49: 9-27.
- NOVAES PINTO, M. (1994a). Caracterização geomorfológica do Distrito Federal. In: NOVAES PINTO (org.) Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas. Brasília. Editora UnB. 2º ed., p. 285-320.
- NOVAES PINTO, M. (1994b). Paisagens do cerrado no Distrito Federal. In: NOVAES PINTO (org.) Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas. Brasília. Editora UnB. 2º ed., p. 511-542.
- O'CALLAGHAN, J.F., MARK, D.M. (1984). The Extraction of Drainage Networks from Digital Elevation Data. *Computer Vision, Graphics and Image Processing*, 28: 323-344.
- OLIVEIRA, T.A. (2004). Compartimentação fisiográfica aplicada à avaliação de terrenos – subsídio ao planejamento territorial do município de Cananéia – SP. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 118 p.
- PARRY, S., BAYNES, F.J., CULSHAW, M.G., EGGERS, M., KEATON, J.F., LENTFER, K., NOVOTNY, J. e PAUL, D. (2014). Engineering geological models – an introduction: IAEG Commission 25. *Engineering Geology for Society and Territory*, 7: 17-19.
- PILACHEVSKY, T. REIS, F.A.G.V., GIORDANO, L.C., MASCARO, S.A., MACEDO, J.A.C. (2015). Compartimentação fisiográfica aplicada ao planejamento ambiental territorial: estudo de caso no município de São João da Boa Vista (SP). *Revista Brasileira de Cartografia*, 67:83-96.
- 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.S., FARIAS, M.F.R., SILVA, A.V., CARVALHO JÚNIOR, O.A. (2004). Mapa pedológico Digital – SIG Atualizado do Distrito Federal Escala 1:100.000 e uma síntese do texto explicativo. Planaltina: Embrapa Cerrados, 31 p.
- RECKZIEGEL, E.W. (2012). Identificação e mapeamento das áreas com perigo de movimento de massa no município de porto alegre, RS. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Programa de Pós Graduação em Geografia, 90 p.
- RENNÓ, C.D., NOBRE, A.D., CUARTA, L.A., SOARES, J.V., HODNETT, M.G., TOMASELLA, J. e WATERLOO, M. J. (2008). HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazônia. *Remote Sensing of Environment*, 112: 3469-3481.
- RESOURCES INVENTORY COMMITTEE (1996). Guidelines and standards for terrain mapping in British Columbia. Government of British Columbia, Victoria, B.C, 95 p.

- REYNOLDS, W.D., ELRICK, D.E. (1985). In situ measurement of field saturated hydraulic conductivity, sorptivity and the  $\alpha$ -parameter using the Guelph permeameter. *Soil Science*, 140(4): 292-302.
- RIVEREAU, J.C. (1970) Notas de aula do curso de fotointerpretação. Curitiba, Instituto de Geologia/UFPR, 128 p.
- ROCHA, P.A. (2009). Diagnóstico de áreas susceptíveis à erosão: Uma análise da Bacia do rio Xopotó (MG). Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal de Viçosa, 54 p.
- RODRIGUES, F.H. (2012). Análise integrada aplicada ao mapeamento Geológico – geotécnico na escala de 1:20.000 da estrada de castelhanos, ILHABELA – SP. Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Campus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, 181 p.
- SALES, N.D., REBELLO, E., SILVA, J.F. (2010). Chuvas Intensas em Brasília nos últimos cinco anos. XVI CBMET - Congresso Brasileiro de Meteorologia, Belém - PA, 1, 5 p.
- SANDERSEN, P.B. (2008). Uncertainty assessment of geological models – a qualitative approach. Conference: ModelCARE 2007 Conference: Calibration and Reliability in Groundwater Modelling: Credibility of Modelling, At Copenhagen, Volume: IAHS Publ. 320, 5 p.
- SANTOS, M.M. (2005). Avaliação hidrogeológica para determinação da vulnerabilidade natural do aquífero freático em área selecionada na cidade de Londrina (PR). Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade do Estado de São Paulo, Rio Claro 159 p.
- SANTOS, A.R. (2017). Cidades e Geologia: Discussão Técnica e Proposição de Projetos de Lei de Grande Interesse para as Populações Urbanas. Rudder, São Paulo, 136 p.
- SEIMETZ, E.X. (2012). Estudos Geofísicos ao Longo do Futuro Trecho Norte do Metro de Brasília. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Instituto de Geociências, 116 p.
- SHILSTON, D.T., TEEUW, R.M., WEST, G., ENGINEERING GROUP WORKING PARTY. (2012). Chapter 6 Desk study, remote sensing, geographical information systems and field evaluation. In: M. J. Walker (ed.) Hot Deserts: Engineering, Geology and Geomorphology – Engineering Group Working Party Report. Geological Society, London, Engineering Geology Special Publications, 25: 159–200.
- SHOENEBERGER, P.J., WYSOCKI, D.A. (Ed.) (2008). Geomorphic description system. Lincoln, NE, USA, NRCS, NSSL, USDA, v. 4.1, 73 p.
- SILVA, G.G., OLIVEIRA, L.N. (2015). Análise da suscetibilidade e potencial à erosão laminar no município de São Miguel do Araguaia – GO. Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE.
- SILVA, E.M.A. (2004). Aplicação de Resistividade e Polarização Induzida na Investigação de objetos enterrados em Sítio Controlado do IAG/USP. Dissertação de Mestrado, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG), Departamento de Geofísica, Universidade de São Paulo, 75 p.
- SILVA, C.P.L. (2011). Cartografia Geotécnica Tridimensional do Setor Noroeste de Brasília. Tese de Doutorado, Publicação G.TD-072/2011, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 265 p.
- SILVA JUNIOR, E., AZEVEDO, G., WILK, A., SCHIMIDT, L., PIMENTEL, R., CARJAVAL, H. (2016). Planejamento do Uso do Solo e Zoneamento da Ameaça de Escorregamentos Rasos Deflagrados por Chuvas pelo Uso de Métodos Probabilísticos Aplicado ao Setor Taquari (DF). XVIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica (COBRASEG), 19-22 Outubro, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

- SIRLES, P.C. (2006). NCHRP Synthesis 357: Use of Geophysics for Transportation Projects, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C.
- SOARES, P.C. e FIORI, A.P. (1976). Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. *Notícia Geomorfológica*, Campinas, 16(32): 71-104.
- SOARES, P.C., FIORI, A.P., MATTOS, J.T.de. (1978). A lógica de interpretação de fotografias aéreas convencionais aplicada a imagens de satélite. *Anais: I Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, São José dos Campos, CNPq/ INPE, 2: 616-618.
- SOBREIRA, F.G. e SOUZA, L.A. (2012). Cartografia geotécnica aplicada ao planejamento urbano, *Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental (RBGEA)*, 2(1): 79-97.
- SOBREIRA, F.G. e SOUZA, L.A. (2014). Guia para elaboração de cartas geotécnicas de aptidão à urbanização frente aos desastres naturais. Brasília, Distrito Federal, 68 p.
- SOBREIRA, F.G. e SOUZA, L.A. (2015). Procedimentos para elaboração de cartas geotécnicas no planejamento urbano. *Revista Brasileira de Cartografia*, 67: 141-156.
- SCS - SOIL CONSERVATION SERVICE (1985). National engineering handbook. Section 4-Hydrology. Washington, DC.
- SOILMOISTURE (2011). OPERATING INSTRUCTIONS Guelph Permeameter Model 2800K1. Eijkelkamp, 44 p.
- SOTO, M.A., CHANG, K.H., VILAR, O.M. (2009). Análise do método do permeâmetro guelph na determinação da condutividade hidráulica saturada. *Águas Subterrâneas*, 23(01):137-152.
- SOUZA, M.T., CAMPOS, J.E.G. (2001). O papel dos regolitos nos processos de recarga de aquíferos do Distrito Federal. *Rem: Revista Escola de Minas*, 54(3): 191-198.
- SOUZA, N.C., DINIZ.C. de, ZUQUETTE, L.V. (1993). Critérios de avaliação geotécnica de unidades de terreno no planejamento urbano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, Poços de Caldas, 1993. Anais... Poço de Caldas: ABGE.
- SOUZA, C.R.G., HOLL, M.C., VEDOVELLO, R. (1998a). Método de mapeamento integrado do meio físico como suporte ao zoneamento ecológico-econômico da Baixada Santista, SP. In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica, 3, Florianópolis. ABGE, CD-ROM.
- SOUZA, L.A.P, SILVA, R. F. e IYOMASA, W. S. (1998b). Métodos de Investigação. *Geologia de Engenharia*. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, CNPq, Fapesp, ISBN – 85- 7270-002-1, São Paulo, SP, (11): 163-196.
- STRAHLER, A.N. (1952). Hypsometric (area-altitude) – analysis of erosion al topography. *Geological Society of America Bulletin*, 63(10): 1117-1142.
- SULLIVAN, T.D. (2010). The geological model. In: WILLIAMS, A. L.; PINCHES, G. M.; CHIN, C.Y., MCMORRAN, T.J., MASSEY, C.I. (eds), 'Geologically active.' *Proceedings of the 11th Congress of the International Association for Engineering Geology and the Environment*, Auckland, New Zealand, CRC Press, London, 155-170 p.
- SWEENEY, M. (2017). The Fifteenth Glossop Lecture—terrain and geohazard challenges for remote region onshore pipelines: risk management, geoteams and ground models. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 50: 13-52.
- THORNBURN, T.H., LIU, T.K. (1965). Soil strip maps: *Photogrammetric Engineering*, 31(6): 1030-1038.
- VARNES, D.J. (1974). The logic of engineering geological and related maps: a discussion of the definition and classification of map units, with special references to problems presented by maps intended for use in civil engineering. Professional Paper 837, U.S. Geological Survey, 48 p.
- VEDOVELLO, R., MATTOS, J.T. (1998). A utilização de Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs) como base para a definição de Unidades Geotécnicas: uma abordagem a partir do Sensoriamento Remoto. *Anais do Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica*. Florianópolis.

- VENEZIANI, P., ANJOS, C.E. (1982). Metodologia de interpretação de dados de sensoriamento remoto e aplicações em geologia. São Jose dos Campos, INPE-2227-MD/014, 54p.
- VILLELA, S. M., MATTOS, A. (1975). Hidrologia Aplicada. Editora Mc Graw Hill, São Paulo 245 p.
- WEST, G. (1986). Desk Studies, Air Photograph Interpretation and Reconnaissance for Site Investigation. Geological Society, London, Engineering Geology Special Publications, 2, 9-13.
- WOLSKI, M.S. (1997). Contribuição à Cartografia Geotécnica de Grandes Áreas com o Uso de Sistema de Informações Geográficas: uma Aplicação à Região do Médio Uruguai (RS). Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 103p.
- XAVIER, S., PORTELLA, A., BRESSANI, L.A. (2015). Cartografia geotécnica e planejamento urbano. 15º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 8 e 21 de outubro de 2015, Bento Gonçalves, 10 p.
- ZAINE, J.E. (2000). Mapeamento geológico-geotécnico por meio do método do detalhamento progressivo: ensaio de aplicação na área urbana do município de Rio Claro (SP). Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas. 149 p.
- ZAINE, J.E. (2011). Método de fotogeologia aplicado a estudos geológico-geotécnicos: ensaio em Poços de Caldas, MG. Tese (Livre-docência). Rio Claro: Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
- ZEE - ZONEAMENTO ECOLÓGICO E ECONÔMICO DO DISTRITO FEDERAL. (2011). Relatório técnico, Subproduto 3.1, volume 2, Distrito Federal, Brasília, 172 p. Disponível em: [http://www.zee.df.gov.br/historico/arquivos/cat\\_view/258-produtoetapa1/262-subproduto-31.html](http://www.zee.df.gov.br/historico/arquivos/cat_view/258-produtoetapa1/262-subproduto-31.html). Acesso em 05 de janeiro de 2018.
- ZEVENBERGEN, W.L., THORNE, C.R. (1987). Quantitative Analysis of Land Surface Topography. Earth Surface Processes and Landforms. 12: 47-56.
- ZUQUETTE, L. V. (1987) Análise Crítica da Cartografia Geotécnica e Proposta Metodológica para Condições Brasileiras. EESC-USP, (Tese de Doutorado). São Carlos/SP. 3 Vol.
- ZUQUETTE, L.V., GANDOLFI, N. (2004). Cartografia Geotécnica. São Paulo: Oficina de Textos, 190 p.