

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

**INVESTIGAÇÃO MULTIDISCIPLINAR DE PROCESSOS
EROSIVOS LINEARES: ESTUDO DE CASO DA CIDADE DE
ANÁPOLIS - GO**

ANDRELISA SANTOS DE JESUS

ORIENTADOR: JOSÉ CAMAPUM DE CARVALHO, Ph.D.

TESE DE DOUTORADO EM GEOTECNIA

PUBLICAÇÃO: G.T.D - 087/2013

BRASÍLIA / DF: AGOSTO / 2013

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

INVESTIGAÇÃO MULTIDISCIPLINAR DE PROCESSOS
EROSIVOS LINEARES: ESTUDO DE CASO DA CIDADE DE
ANÁPOLIS - GO


ANDRELISA SANTOS DE JESUS

TESE DE DOUTORADO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTORA.

APROVADA POR:



JOSÉ CAMAPUM DE CARVALHO, Ph.D (UnB)
(ORIENTADOR)



NEWTON MOREIRA DE SOUZA, D.Sc (UnB)
(EXAMINADOR INTERNO)



ANDRÉ LUIS BRASIL CAVALCANTE, D.Sc (UnB)
(EXAMINADOR INTERNO)



CLAUDIA VALÉRIA DE LIMA, D.Sc (UFG/IESA)
(EXAMINADOR EXTERNO)



ANTONIO JOSÉ TEIXEIRA GUERRA, Ph.D (UFRJ)
(EXAMINADOR EXTERNO)

DATA: BRASÍLIA/DF, 05 DE AGOSTO DE 2013.

FICHA CATALOGRÁFICA

JESUS, ANDRELISA SANTOS

Investigação Multidisciplinar de Processos Erosivos Lineares: Estudo de Caso da Cidade de Anápolis - GO

[Distrito Federal] 2013

xxvii, 340 p., 297 mm (ENC/FT/UnB, Doutor, Geotecnia, 2013)

Tese de Doutorado - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil

- | | |
|------------------------------|--------------------|
| 1. Erosão | 2. Meio Físico |
| 3. Caracterização geotécnica | 4. Uso do solo |
| 5. Qualidade de vida | |
| I. ENC/FT/UnB | II. Título (série) |

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

JESUS, A.S. (2013). Investigação Multidisciplinar de Processos Erosivos Lineares: Estudo de Caso da Cidade de Anápolis - GO. Tese de Doutorado, Publicação G.TD - 087/2013, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 340 p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Andreliisa Santos de Jesus

TÍTULO DA TESE DE DOUTORADO: Investigação Multidisciplinar de Processos Erosivos Lineares: Estudo de Caso da Cidade de Anápolis - GO.

GRAU / ANO: Doutor / 2013

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



Andreliisa Santos de Jesus
andreliisa.jesus@gmail.com

Ao meu pai Paulo (*in memoriam*) meu maior exemplo de sabedoria. Com sabedoria me educou com rigor de princípios e com amor transbordante, me ensinou a seguir meus próprios caminhos com otimismo e determinação. Sua ausência me ensinou também a saudade constante.

Agradecimentos

À Deus que está presente em mim e em tudo que faço e que me sustentou em todas as dificuldades que atravessei durante essa longa fase de doutoramento, renovando minha força, minhas esperanças e minha fé.

À minha mãe Luiza que, com sua pedagogia do amor, além de me alfabetizar, plantou em mim o gosto pelos estudos que me trouxe até o doutorado. Seu abraço caloroso e seu olhar maternal sempre me acolheram nos momentos de dificuldade.

Ao meu irmão Leandro que zelosamente se fez e se faz sempre presente quando preciso de sua ajuda.

Ao meu amor Bruno que, ao meu lado perdeu noites e dias de descanso me ajudando constantemente, com carinho e serenidade. Renunciou a muito do seu tempo para torna-lo meu e hoje considero essa uma conquista nossa, pois seu apoio foi fundamental para a superação desse desafio.

Ao professor José Camapum de Carvalho que me abriu as portas do mundo geotécnico e se dispôs a realizar junto comigo esse desafiante trabalho multidisciplinar alicerçado nos fundamentos de Geotecnia e na percepção de paisagem da Geografia.

À Luciana Maria Lopes que me acolheu como aluna no mestrado e me incentivou a ingressar nesse doutorado que hoje se materializa nessa tese. Mais que uma professora se tornou para mim uma referência de competência, caráter e entusiasmo pela vida.

Às amigas Leide Laura, Lorena, Juliana, Paola, Rafaela, Kátia, Gislaine, Regina, Cláudia Valéria, Cláudia Muneton e Cássia cuja amizade aliviou angustias e promoveu alegrias.

À todos os colegas da Geotecnia cuja enumeração certamente poderia incorrer na ausência da transcrição de algum nome dada a quantidade pessoas com quem tive o prazer de conviver, aprender e construir novas amizades.

À Mylane, Márcia, Petrônio, Bernardo, Josi, Ivan, Estebam, Ivonne, Jaime e Eufrosina, amigos geotécnicos com quem pude compartilhar muitas ideias desta tese e de quem recebi ajuda para elucidar muitas questões.

À todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Geotecnia que generosamente me ajudaram nessa caminhada geotécnica. Destaco o empenho do professor Newton que muito colaborou na etapa cartográfica. A presteza da professora Izabel e do professor Luiz

Fernando em esclarecer dúvidas de ensaios.

À professora Edi Guimarães do Laboratório de Difração de Raio-x da UnB que sempre foi muito gentil e prestativo permitindo a realização dos ensaios e ajudando na interpretação dos difratogramas.

À Patrícia, Elison e Diego que com prontidão colaboram na etapa cartográfica.

Ao Pedro Batista, por ter aceitado fazer parte dessa pesquisa como aluno de iniciação científica e que desempenhou um eficiente trabalho muito útil às análises dessa tese.

À Priscilla Hamada, pela colaboração no acesso a obra do túnel do ramal de acesso da ferrovia Norte/Sul em Anápolis.

Aos alunos do curso de extensão em “Erosão e Qualidade de Vida” pelo empenho e dedicação na realização das entrevistas: Ana Paula, Geymme, Josilene, Marcus Vinicius, Mônica, Paulo Eduardo e Rherison.

Aos moradores da área de estudo pela prontidão e satisfação em colaborar com a pesquisa.

À Prefeitura de Anápolis, à 15ª Promotoria de Justiça de Anápolis na pessoa da Promotora Sandra Mara Garbelini e ao Instituto de Estudos Socioambientais da UFG pelo apoio.

À Furnas Centrais Elétricas, nas pessoas de Marta e Rogério Santana que me receberam no Laboratório de Solos de Furnas e ao técnico “Baiano” que executou o ensaio de *pinhole* nesse laboratório.

À todos os técnicos do Laboratório de Geotecnia que ajudaram na execução de vários ensaios e ao técnico Vanilson sempre solícito e disposto a colaborar, que com seu conhecimento e alegria constantes tornaram mais fáceis a permanência no árido laboratório.

Ao UniCEUB, pela disponibilização do laboratório de Geotecnia para realização de muitos ensaios.

À Paulo Viana e ao Laboratório LTEC pela parceria na coleta de solos e na realização de parte dos ensaios de cisalhamento direto.

À CAPES e CNPq, cujos recursos financeiros foram fundamentais para a realização da pesquisa.

“Fazer novas perguntas e considerar novas possibilidades para enfocar velhos problemas através de um novo ângulo exigem imaginação criadora e indica o verdadeiro progresso da ciência.”
(Albert Einstein)

Resumo

O solo é produto da síntese dos demais elementos do meio físico, tais como clima, rocha e relevo. O arranjo desses elementos apresenta uma fragilidade inerente passível de ser potencializada por formas de uso e cobertura do solo, resultando em impactos como a erosão acelerada, alagamento, inundações e assoreamentos. Sendo assim, a multidisciplinaridade científica é fundamental para o entendimento tanto do solo como dos processos erosivos que o acometem. A cidade de Anápolis no estado de Goiás tem sua área urbana e periurbana intensamente afetada por esses processos. Essa pesquisa analisou a referida área que possui 415 km² enfocando pontualmente 7 voçorocas representativas dos processos erosivos na cidade, entre as quais 5 tiveram o comportamento geotécnico analisado. O entendimento desses processos e a avaliação da suscetibilidade desses terrenos buscou explicações nos elementos do meio físico e uso e cobertura do solo por meio de levantamentos e análises cartográficas; no comportamento geotécnico do solo por meio de campanha de ensaios laboratoriais. Além disso, também foram analisadas qualitativamente, por meio de entrevistas, as implicações das erosões na qualidade de vida da população que habita seu entorno. Anápolis está inserida na área de clima tropical subúmido e sua geologia é composta por quatro unidades estratigráficas: Complexo Granulítico Anápolis-Itaúçu, Grupo Araxá Sul de Goiás, Coberturas Detrito-Lateríticas e Depósitos Aluvionares. Geomorfológicamente está inserida no Planalto Central Goiano na subunidade do Planalto do Alto Tocantins-Paranaíba. Distingue-se três modelados de relevo em Anápolis: Modelado de Aplanamento composto por Topos Planos e Rampas de 1ª e de 2ª geração; Modelado de Dissecação compreendidos por Baixas Vertentes, Morros e Cristas; Modelado de Acumulação constituído por Planícies Fluviais e Terraços Fluviais. No que se refere ao aspecto geomorfológico é possível notar um padrão claro de ocorrência das voçorocas nas cabeceiras de drenagem e baixas vertentes, onde predominam elevadas declividades, diversidade altimétrica alta e nível d'água mais próximo a superfície. Pedologicamente predominam latossolos na porção leste e argissolos em associação com cambissolos e neossolos litólicos na porção oeste. A caracterização geotécnica dos solos das voçorocas apontam para presença de um horizonte laterítico sobreposto a um horizonte saprolítico. Mineralogicamente os solos lateríticos apresentaram uma proporção significativa de gibbsita e alguma quantidade de caulinita, óxido de ferro e quartzo. Já nos solos saprolíticos ocorreu aparecimento de minerais 2:1 tais como illita e montmorilonita. A porosidade dos solos é predominantemente alta sendo os solos lateríticos mais porosos. Do ponto de vista granulométrico verificou-se que as amostras de solo possuem no estado natural característica textural muito arenosa. Os estudos de comportamento hidromecânico revelaram uma predisposição a erodibilidade, com perda de massa relevante nos ensaios realizados. A forma de ocupação do solo urbano, favoreceu o surgimento de processos erosivos em diversas partes da cidade. Nesse âmbito destacam-se os sistemas de arramento impróprios para as condições do meio físico e a ausência ou ineficiência do sistema de drenagem de águas pluviais. Esses fatores favorecem a concentração do escoamento superficial e potencializam a energia cinética de fluxo. Nos cenários de suscetibilidade a inundação toda a zona central de Anápolis possui moderada à muito alta suscetibilidade à inundação sendo caracterizada fisicamente pela planície de inundação do rio das Antas e também por uma ocupação urbana consolidada e adensada. Verificou-se que além dos danos ambientais as erosões provocam danos diretos à qualidade de vida e à segurança dos moradores.

PALAVRAS CHAVES: Erosão, meio físico, caracterização geotécnica, uso do solo, qualidade de vida.

Abstract

Soil is a product generated from the synthesis of the physical environment elements, such as climate, rock and landform. The arrangement of these elements represents an inherent fragility that can be power up by the way land use and coverage is performed, with can result in impacts such as accelerated erosion, flood, overflow and siltation. Therefore, the scientific multidisciplinary is fundamental to understand both soil and its erosion processes. The city of Anápolis in the state of Goiás has its urban and periurban area highly affected by these processes. This research analyzed this area, with have 415 km², focusing on 7 gullies that are representative of the city's erosion processes, 5 of them had its geotechnical behavior analyzed as well. The understanding of these processes and the land susceptibility assessment searched explanations in the physical environment elements and land use and coverage, through cartographic analysis and evaluation and in the geotechnical behavior through laboratorial tests campaign. Furthermore, through field surveys, the erosions implications in the quality of life of the nearby population was qualitatively analyzed. Anápolis is within a sub-humid tropical climate area and its geology is composed by four stratigraphic units: Anápolis-Itauçu Granulitic Complex, Goiás South Araxá Group, Detritic-Laterite Covering and Alluvial Deposit. In the field of geomorphology, the area is within Goiás central plateau in the subunit of high Tocantins-Paranaíba plateau. Three landforms are distinguished in Anápolis city: flat landform composed by flattened tops, 1st and 2nd generation ramps; dissected landform composed by bottom slopes, hills and crests; accumulation landform composed by fluvial plains and fluvial terraces. In the geomorphological aspect, a clear pattern of gully occurrence is noticed in the bedside drainage an in the bottom slopes, where prevail steep declivities, high altimetry diversity and water level close to the surface. As for pedology, latosols prevails in east portion and argisols associated with inceptisols and udorthent prevails in the west portion. Geotechnical characterization of gully's soils indicates the presence of a lateritic horizon over a saprolitic horizon. Mineralogically the lateritic soils presented a significant proportion of gibbsite and some amount of kaolinite, iron oxide and quartz. In the saprolitic soils was observed 2:1 minerals, like illite and Montmorillonite. The soil porosity is mainly high and the lateritic one is more porous. In the view of grain size distribution, the natural state samples presented a very sandy texture. Studies of the hydromechanics behavior revealed a soil pre-disposal to erode, as soil mass loss was relevant in the performed tests. The way urban land is occupied, favored the origin of erosive processes in many parts of the city. In this context is pointed out the inappropriate street layout for the physical environment conditions and the inefficiency or inexistence of rainwater drainage system. These factors favors superficial runoff concentration and power up the flux kinetic energy. In the flood susceptibility sceneries all Anápolis downtown zone presented moderate to high flood susceptibility, being physically characterized by the Antas river floodplain and by a dense and consolidated urban area. It was also verified that, besides the environmental damages, the erosions causes direct damages to the quality of life and safety of the dwellers.

KEYWORDS: Erosion, physical environment, geotechnical characterization, land use, quality of life.

Índice

Capítulo 1 - Introdução	1
1.1 IMPORTÂNCIA DO TEMA	1
1.2 PROBLEMATIZAÇÃO.....	4
1.3 OBJETIVOS DA PESQUISA	6
1.4 ESCOPO E ORGANIZAÇÃO DA TESE.....	6
Capítulo 2 - Erosão	8
2.1 EROSÃO DOS SOLOS: NECESSIDADE DE ABORDAGEM INTERDISCIPLINAR	8
2.2 CLASSIFICAÇÃO DOS PROCESSOS EROSIVOS.....	9
2.3 GÊNESE E PROCESSO EVOLUTIVO	11
2.3.1 Clima.....	11
2.3.2 Geologia.....	12
2.3.3 Geomorfologia.....	14
2.3.4 Solo.....	14
2.3.5 Cobertura Vegetal.....	21
2.3.6 Uso do Solo.....	22
Capítulo 3 - Metodologia	24
3.1 ANÁLISE CARTOGRÁFICA.....	24
3.1.1 Diagnóstico do Meio Físico.....	25
3.1.1.1 Geologia.....	26
3.1.1.2 Geomorfologia.....	26
3.1.1.3 Aspectos Morfométricos e Morfológicos.....	27
3.1.1.4 Pedologia.....	30
3.1.1.5 Suscetibilidade a erosão.....	30
3.1.1.6 Cenários de suscetibilidade à inundação e alagamento.....	30
3.1.2 Diagnóstico do uso e cobertura do solo.....	31
3.2 TRABALHO DE CAMPO.....	35
3.2.1 Identificação e Cadastro de Erosões.....	36
3.2.1.1 Voçoroca Túnel.....	36
3.2.1.2 Voçoroca Contorno.....	38
3.2.1.3 Voçoroca Geovane Braga.....	40
3.2.1.4 Voçoroca Cidade Jardim.....	41
3.2.1.5 Voçoroca Colégio Estadual.....	42
3.2.1.6 Voçoroca Leopoldo de Bulhões.....	43
3.2.1.7 Voçoroca Frei Eustáquio.....	44
3.2.2 Coleta de solos.....	46
3.2.3 Entrevistas.....	47
3.3 TRABALHO DE LABORATÓRIO	49
3.3.1 Preparação das Amostras.....	49
3.3.2 Umidade.....	50
3.3.3 Massa específica real dos grãos.....	50
3.3.4 Granulometria.....	50
3.3.5 Limites de Consistência.....	51

3.3.6	MCT expedito	52
3.3.7	Sucção	53
3.3.8	Perda de massa por imersão	55
3.3.9	Desagregação	57
3.3.10	Inderbtizen	58
3.3.11	Pinhole	60
3.3.12	Cisalhamento Direto	60
3.3.13	Mineralogia	61
Capítulo 4 - Caracterização do Meio Físico		63
4.1	CLIMA	63
4.2	GEOLOGIA	65
4.2.1	Complexo Granulito Anápolis-Itauçu.....	65
4.2.2	Grupo Araxá Sul de Goiás	66
4.2.3	Cobertura Detrítico-Laterítica.....	66
4.2.4	Depósitos Aluvionares	66
4.2.5	Geologia Estrutural	67
4.2.6	Recursos Minerais	67
4.3	GEOMORFOLOGIA	68
4.3.1	Mapa geomorfológico.....	70
4.3.2	Atributos Morfométricos e Morfológicos.....	73
4.3.2.1	<i>Modelo de Sombras</i>	73
4.3.2.2	<i>Altimetria</i>	74
4.3.2.3	<i>Diversidade Altimétrica</i>	74
4.3.2.4	<i>Declividade</i>	75
4.3.2.5	<i>Curvatura</i>	76
4.3.2.6	<i>Orientação</i>	79
4.3.2.7	<i>Distância de Drenagem</i>	81
4.4	PEDOLOGIA	82
4.5	CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO DAS VOÇOROCAS PESQUISADAS	89
4.5.1	Voçoroca Túnel	89
4.5.2	Voçoroca Contorno.....	94
4.5.3	Voçoroca Geovane Braga	96
4.5.4	Voçoroca Cidade Jardim.....	100
4.5.5	Voçoroca Colégio Estadual	103
4.5.6	Voçoroca Leopoldo De Bulhões.....	106
4.5.7	Voçoroca Frei Eustáquio	109
4.6	ANÁLISE COMPARATIVA DAS CARACTERÍSTICAS DO MEIO FÍSICO DAS VOÇOROCAS PESQUISADAS	111
Capítulo 5 - Caracterização Geotécnica		113
5.1	VOÇOROCA TÚNEL	113
5.1.1	Mineralogia.....	113
5.1.2	Caracterização Física	116
5.1.3	Classificação dos solos	121
5.1.4	Sucção.....	125
5.1.5	Perda de Massa por Imersão	126
5.1.6	Desagregação	127

5.1.7	Inderbitzen	128
5.1.8	Pinhole	128
5.1.9	Cisalhamento Direto	129
5.2	VOÇOROCA CONTORNO	131
5.2.1	Mineralogia	131
5.2.2	Caracterização Física	133
5.2.3	Classificação dos solos	137
5.2.4	Sucção	141
5.2.5	Perda de Massa por Imersão	142
5.2.6	Desagregação	143
5.2.7	Inderbitzen	144
5.2.8	Pinhole	145
5.2.9	Cisalhamento	146
5.3	VOÇOROCA GEOVANE BRAGA	150
5.3.1	Mineralogia	150
5.3.2	Caracterização Física	152
5.3.3	Classificação dos solos	155
5.3.4	Sucção	158
5.3.5	Perda de Massa por Imersão	159
5.3.6	Desagregação	161
5.3.7	Inderbitzen	162
5.3.8	Pinhole	163
5.3.9	Cisalhamento	164
5.4	VOÇOROCA CIDADE JARDIM	167
5.4.1	Mineralogia	167
5.4.2	Caracterização Física	169
5.4.3	Classificação dos solos	172
5.4.4	Sucção	175
5.4.5	Perda de Massa por Imersão	176
5.4.6	Desagregação	177
5.4.7	Inderbitzen	178
5.4.8	Pinhole	179
5.4.9	Cisalhamento	180
5.5	VOÇOROCA COLÉGIO ESTADUAL	183
5.5.1	Mineralogia	183
5.5.2	Caracterização Física	184
5.5.3	Classificação do solo	186
5.5.4	Sucção	188
5.5.5	Perda de Massa por Imersão	189
5.5.6	Desagregação	189
5.5.7	Inderbitzen	190
5.5.8	Pinhole	191
5.5.9	Cisalhamento	191
5.6	ANÁLISE COMPARATIVA DAS CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DO SOLO DAS VOÇOROCAS PESQUISADAS	193
	Capítulo 6 - Uso e Cobertura do Solo	204
6.1	DE FREGUESIA DE SANTANA DAS ANTAS À CIDADE DE ANÁPOLIS	205

6.2	USO E COBERTURA DO SOLO EM ANÁPOLIS	212
6.3	CARACTERIZAÇÃO DO USO E COBERTURA DO SOLO NO ENTORNO DAS VOÇOROCAS PESQUISADAS	215
6.3.1	Voçoroca Túnel	216
6.3.2	Voçoroca Contorno.....	219
6.3.3	Voçoroca Geovane Braga	221
6.3.4	Voçoroca Cidade Jardim.....	224
6.3.5	Voçoroca Colégio Estadual	226
6.3.6	Voçoroca Leopoldo de Bulhões.....	228
6.3.7	Voçoroca Frei Eustáquio	230
6.4	ANÁLISE COMPARATIVA DAS CARACTERÍSTICAS DO USO E COBERTURA DO SOLO DAS VOÇOROCAS PESQUISADAS	232
	Capítulo 7 - Suscetibilidade dos terrenos	233
7.1	SUSCETIBILIDADE EROSIVA.....	234
7.2	SUSCETIBILIDADE A INUNDAÇÕES E ALAGAMENTOS	240
	Capítulo 8 - Erosão e qualidade de vida.....	244
8.1	CONCEPÇÕES TEÓRICAS DE QUALIDADE DE VIDA	246
8.2	INDICADORES DE QUALIDADE DE VIDA DA POPULAÇÃO QUE HABITA O ENTORNO DE VOÇOROCAS EM ANÁPOLIS	248
8.2.1	Escolaridade, Situação Profissional e Rentabilidade.....	249
8.2.2	Origem do morador.....	252
8.2.3	Condição de moradia	253
8.2.4	Infraestrutura Urbana.....	257
8.2.5	Serviços Disponíveis	259
8.2.6	Acesso à Lazer e Informação.....	262
8.2.7	Percepção do local onde mora	263
8.2.8	Articulação sócio-política dos moradores.....	272
8.3	QUALIDADE DE VIDA – O CONHECIMENTO COMO MEDIDA PREVENTIVA AS EROSÕES	274
	Capítulo 9 - Considerações Finais.....	282
9.1	CONCLUSÕES.....	282
9.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	284
	Referências Bibliográficas	286
	Apêndice A - Documentos cartográficos de referência	298
	Apêndice B - Documentos utilizados nas entrevistas	308
	Apêndice C - Mapas do Meio Físico	316
	Apêndice D - Mapas de uso e cobertura do solo	330
	Anexo A - Documentos do Comitê de Ética	337

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 - Perda de solo determinada pelo ensaio de Inderbitzen.....	21
Tabela 2.2 - Coeficientes de escoamento superficial segundo os tipos de cobertura do terreno (Villela & Mattos (1975 <i>apud</i> Jorge & Uehara, 1998 - adaptado).....	22
Tabela 3.1 - Modo de elaboração dos subprodutos da base cartográfica.	27
Tabela 3.2 - Diferentes graus de importância adotados nos diferentes cenários.....	31
Tabela 3.3 - Especificações das imagens utilizadas no mapeamento de uso e cobertura do solo.	32
Tabela 3.4 - Especificações dos satélites de obtenção das imagens de alta resolução espacial.	33
Tabela 3.5 - Classes de uso e cobertura do solo.	34
Tabela 3.6 - Especificação das células de carga usadas no ensaio de compressão das esferas MCT.	53
Tabela 4.1 - Descrição do Modelado de Aplanamento (adaptado de Lacerda, 2005).....	71
Tabela 4.2 - Descrição do Modelado de Dissecação (adaptado de Lacerda, 2005).	72
Tabela 4.3 - Descrição do Modelado de Acumulação (adaptado de Lacerda, 2005).	73
Tabela 4.4 - Área das classes do mapa de orientação das vertentes.....	80
Tabela 4.5 - Área das classes do mapa de distância de drenagem.....	82
Tabela 4.6 - Relação de formações superficiais com compartimentos do relevo (Adaptado de Lacerda, 2005).....	83
Tabela 4.7 - Legenda do mapeamento de solos do Plano Diretor da Bacia do Paranaíba (2005).	84
Tabela 4.8 - Comparação entre as características do meio físico das voçorocas pesquisadas.	112
Tabela 5.1 - Mineralogia da amostra de solo VTL.....	114
Tabela 5.2 - Mineralogia da amostra de solo VTS.....	115
Tabela 5.3 – Índices Físicos da voçoroca Túnel.....	116
Tabela 5.4 - Percentuais das frações granulométricas da Voçoroca Túnel - solo com umidade higroscópica.....	118
Tabela 5.5 - Percentuais das frações granulométricas da Voçoroca Túnel - solo com umidade de campo.....	118
Tabela 5.6 - Limites de Atterberg e índice de atividade dos solos da voçoroca Túnel.	120
Tabela 5.7 - Classificação SUCS para a Voçoroca Túnel - solo com umidade higroscópica.	122
Tabela 5.8 - Classificação SUCS para a Voçoroca Túnel - solo com umidade de campo. ...	122
Tabela 5.9 - Classificação MCT expedito para a voçoroca Túnel - Pastilhas.	124
Tabela 5.10 - Perda de massa por imersão do solo saprolítico da voçoroca Túnel.	126
Tabela 5.11 - Resultados do ensaio de desagregação para o solo saprolítico da voçoroca Túnel.....	127

Tabela 5.12 - Mineralogia da amostra de solo VCL.....	131
Tabela 5.13 - Mineralogia da amostra de solo VCS.....	132
Tabela 5.14 - Índices Físicos da voçoroca Contorno.....	133
Tabela 5.15 - Percentuais das frações granulométricas da Voçoroca Contorno - solo com umidade higroscópica.....	136
Tabela 5.16 - Percentuais das frações granulométricas da Voçoroca Contorno - solo com umidade de campo.....	136
Tabela 5.17 - Limites de Atterberg e índice de atividade dos solos da voçoroca Contorno.....	137
Tabela 5.18 - Classificação SUCS para a Voçoroca Contorno - solo com umidade higroscópica.....	138
Tabela 5.19 - Classificação SUCS para a Voçoroca Contorno - solo com umidade da campo.....	138
Tabela 5.20 - MCT expedito para a voçoroca Contorno - Pastilhas.....	139
Tabela 5.21 - Perda de massa por imersão do solo laterítico da voçoroca Contorno.....	142
Tabela 5.22 - Perda de massa por imersão do solo saprolítico da voçoroca Contorno.....	143
Tabela 5.23 - Resultados do ensaio de desagregação para os solos da voçoroca Contorno.....	143
Tabela 5.24 - Mineralogia da amostra de solo VGBL.....	150
Tabela 5.25 - Mineralogia da amostra de solo VGBS.....	151
Tabela 5.26 – Índices físicos da voçoroca Geovane Braga.....	152
Tabela 5.27 – Percentuais das frações granulométricas da Voçoroca Geovane Braga – solo com umidade higroscópica.....	153
Tabela 5.28 – Limites de Atterberg e índice de atividade dos solos da voçoroca Geovane Braga.....	155
Tabela 5.29 – Classificação SUCS para a voçoroca Geovane Braga – solo com umidade higroscópica.....	156
Tabela 5.30 – MCT expedito para a voçoroca Geovane Braga – Pastilhas.....	157
Tabela 5.31 – Perda de massa por imersão do solo laterítico da voçoroca Geovane Braga.....	159
Tabela 5.32 – Perda de massa por imersão do solo saprolítico da voçoroca Geovane Braga.....	160
Tabela 5.33 – Resultados do ensaio de desagregação para os solos da voçoroca Geovane Braga.....	161
Tabela 5.34 – Mineralogia da amostra de solo VCJL.....	168
Tabela 5.35 – Mineralogia da amostra de solo VCJS.....	169
Tabela 5.36 – Índices Físicos da voçoroca Cidade Jardim.....	169
Tabela 5.37 – Percentuais das frações granulométricas da voçoroca Cidade Jardim – solo com umidade higroscópica.....	170
Tabela 5.38 – Limites de Atterberg e índice de atividade dos solos da voçoroca Cidade Jardim.....	172
Tabela 5.39 – Classificação SUCS para a voçoroca Cidade Jardim – solo com umidade higroscópica.....	173

Tabela 5.40 – MCT expedito para a voçoroca Cidade Jardim – Pastilhas.....	174
Tabela 5.41 - Perda de massa por imersão do solo laterítico da voçoroca Cidade Jardim...176	176
Tabela 5.42 - Perda de massa por imersão do solo saprolítico da voçoroca Cidade Jardim.	177
Tabela 5.43 – Resultados do ensaio de desagregação para os solos da voçoroca Cidade Jardim.	177
Tabela 5.44 – Mineralogia da amostra de solo VCEL.	184
Tabela 5.45 – Índices Físicos da voçoroca Colégio Estadual.....	185
Tabela 5.46 – Percentuais das frações granulométricas da voçoroca Colégio Estadual – solo com umidade higroscópica.	185
Tabela 5.47 – Limites de Atterberg e índice de atividade dos solos da voçoroca Colégio Estadual.	186
Tabela 5.48 – Classificação SUCS para a voçoroca Colégio Estadual – solo com umidade higroscópica.....	186
Tabela 5.49 – MCT expedito para a voçoroca Colégio Estadual – Pastilhas.....	187
Tabela 5.50 – Perda de massa por imersão do solo laterítico da voçoroca Colégio Estadual.	189
Tabela 5.51 – Resultados do ensaio de desagregação para os solos da voçoroca Colégio Estadual.	189
Tabela 5.52 – Índices físicos dos solos estudados.....	194
Tabela 5.53 - Classificação dos solos estudados.	196
Tabela 5.54 - Comparação dos resultados do ensaio de <i>pinhole</i>	202
Tabela 5.55 - Valores de coesão e ângulo de atrito dos solos estudados.	203
Tabela 6.1 - Processos históricos relacionados ao surgimento e crescimento de Anápolis como cidade (Faissol, 1952; Borges, 1975; Borges, 1990; Freitas, 1995; Polonial, 1995; Estevam, 1998; Polonial, 2000; Luz, 2001; Jesus, 2007 - Adaptado).....	205
Tabela 6.2 - Evolução do uso e cobertura do solo em Anápolis.	212
Tabela 6.3 - Síntese do uso e cobertura do solo das voçorocas pesquisadas.....	232
Tabela 7.1 - Análise da fragilidade ambiental (Ross, 1994; Santos, 2007).....	235
Tabela 7.2 - Suscetibilidade a erosão linear (DAEE/IPT,1989 <i>apud</i> Salomão, 2005; Santos, 2007).....	236
Tabela 7.3 - Avaliação da suscetibilidade a erosão das áreas estudadas.	239
Tabela 8.1: Concepções teóricas sobre o conceito de qualidade de vida (Jesus, 2007 e Jesus <i>et al.</i> 2009b - Adaptado).	246
Tabela 8.2 - Tipos de infraestrutura (Mascaró & Yoshinaga, 2005 - adaptado).	258
Tabela 8.3 - Tipos de equipamentos Comunitários.	258
Tabela 8.4 - Infraestrutura disponível para as residências.....	259

Lista de Figuras

Figura 1.1 - Localização da área de estudo.	5
Figura 2.1 - Processos e formas erosivas.....	10
Figura 2.2 - Fatores condicionantes da erosão.	11
Figura 2.3 - Esquema dos modelos evolutivos das erosões no Distrito Federal (Mortari, 1994).....	13
Figura 2.4 - Ocorrências de piping: (a) Associado à infiltração concentrada a montante em Anápolis-GO; (b) Em talude de voçoroca em Goiânia, GO (Santos, 1997).	18
Figura 2.5 - Resultados de ensaios de Pinhole (Santos, 1997).....	20
Figura 2.6 - Sistemas inadequados de drenagem de águas pluviais em Anápolis-GO: (a) Rua desprovida de sistema de microdrenagem; (b) Lançamento irregular de águas pluviais em cabeceira de drenagem.....	23
Figura 3.1 - Representação esquemática das etapas metodológicas da pesquisa.	24
Figura 3.2 - Produtos cartográficos do diagnóstico do meio físico.	26
Figura 3.3 - Classificação de vertentes segundo a forma em perfil e em mapa segundo Troeh, (1965 <i>apud</i> Casseti, 2005).	29
Figura 3.4 - Voçoroca Túnel: (a) Vista em planta (Google Earth, 2005a); (b) Vista longitudinal de montante para jusante; (c) Vista de montante evidenciando canalização de lançamento de águas pluviais; (d) Vista da cabeceira em anfiteatro onde foi construída a obra do emboque 2 do Túnel 2 da Ferrovia Norte/Sul; (e) Vista em planta da cabeceira de drenagem com o túnel a esquerda e a área degradada pela voçoroca, recuperada, à direita (Google Earth, 2010a); (f) Registro de lançamento concentrado de águas na cabeceira de drenagem no momento de uma chuva;	37
Figura 3.5 - Voçoroca Contorno: (a) Vista em planta (Google Earth, 2005b); (b) Vista do interior da voçoroca; (c) Vista longitudinal de jusante para montante evidenciando cone de dejeção em primeiro plano; (d) Erosão aterrada sem os devidos cuidados de remoção do material que compunha o cone de dejeção que colmatava a drenagem; (e) Ravina que se instalou sobre o aterro da voçoroca.	39
Figura 3.6 - Voçoroca Geovane Braga: (a) Vista em planta (Google Earth, 2005c); (b) Vista longitudinal de montante para jusante; (c) Vista do interior da incisão erosiva com aterro de entulho na cabeceira.	40
Figura 3.7 - Voçoroca Cidade Jardim: (a) Vista em planta (Google Earth, 2003); (b) Croqui que demonstra as dimensões da erosão (Jesus & Santos, 2002 - modificado); (c) Movimento de massa no talude da margem direita da ramificação esquerda; (d) Tubulação de lançamento de águas pluviais na cabeceira da ramificação esquerda.	42
Figura 3.8 - Voçoroca Colégio Estadual: (a) Vista em planta (Google Earth, 2013); (b) Detalhe da instabilidade do talude na margem esquerda; (c) Em primeiro plano borda da erosão encoberta por vegetação que cresceu sobre o lixo e entulho ali depositados.....	43
Figura 3.9 - Voçoroca Leopoldo de Bulhões: (a) Vista em planta (Google Earth, 2010b); (b) Vista em planta após ocorrência de escorregamento (Google Earth, 2011); (c) Cicatriz de escorregamento; (d) Avenida Leopoldo de bulhões, parcialmente interditada com recalque.	

No detalhe recalque na calçada.	44
Figura 3.10 - Voçoroca Frei Eustáquio: (a) Vista em planta (Google Earth, 2005d); (b) Relevo côncavo a montante da voçoroca; (c) Escoamento de água concentrado na cabeceira; (d) Vista de jusante para montante, onde é possível observar grande quantidade de lixo e entulho; (e) Borda da voçoroca onde o detalhe A revela uma casa em risco e o detalhe B mostra um carro fazendo lançamento indevido de entulho.	45
Figura 3.11 - Retirada de amostras indeformadas: (a) Solo altamente intemperizado; (b) Solo saprolítico; (c) Detalhe do bloco de solo dentro da incisão erosiva preparado para ser içado; (d) Bloco de solo sendo içado para dentro da caçamba.....	46
Figura 3.12 - Amostragem das entrevistas: (a) Distribuição de residências entrevistadas por voçoroca; (b) Distribuição de pessoas entrevistadas por voçoroca.	48
Figura 3.13 - Ruptura das esferas: (a) Arranjo geral do ensaio; (b) Ensaio em execução.	53
Figura 3.14 - Ensaio de sucção pelo método do papel filtro: (a) Moldagem do corpo de prova; (b) Pesagem do corpo de prova; (c) Obtenção da umidade por gotejamento; (d) Amostras envolvidas em plástico filme e papel alumínio para estabilização da umidade.....	54
Figura 3.15 - Ensaio de perda de massa por imersão: (a) Moldagem do corpo de prova; (b) Cravação do cilindro; (c) Envolvimento da amostra em plástico filme; (d) Extração da amostra para realização do ensaio; (e) Organização das amostras para realização do ensaio; (f) Material desprendido acumulado na cápsula.....	56
Figura 3.16 - Ensaio de desagregação: (a) Moldagem dos corpos de prova; (b) Preparação do tanque para receber as amostras.	57
Figura 3.17 - Ensaio de Inderbitzen: (a) Visão geral do equipamento de nderbitzen; (b) Rampa do equipamento de Inderbitzen modificada por Santos (1997); (c) Moldagem do corpo de prova em bloco indeformado.	59
Figura 3.18 - Ensaio de Pinhole: (a) Furo axial realizado no Corpo de prova; (b) Corpo de prova de prova aberto ao final do ensaio.....	60
Figura 3.19 - Lâminas orientadas com a fração argila dos solos.....	62
Figura 4.1 - Precipitação pluviométrica anual em Anápolis (CMMBAAN, 2005).....	64
Figura 4.2 - Exploração mineral em Anápolis: (a) Pedreira de gnaiss (Google Earth, 2010c); (b) Cavas de exploração de argila na planície do córrego Catingueiro (Google Earth, 2009); (c); Caixa de empréstimo de exploração de cascalho laterítico. (Google Earth, 2010d).....	68
Figura 4.3 – Perfis esquemático de formas de relevo (Lacerda, 2005).	70
Figura 4.4 - Fluxo no maciço: (a) ampliação, redução e manutenção da área de fluxo respectivamente em formas côncava, convexa e linear em planta; (b) ampliação e redução da área de fluxo respectivamente em formas côncava e convexa e maior rebaixamento da linha freática na forma convexa em planta que na forma côncava em planta.	78
Figura 4.5 - Concentração de tensões geostáticas no maciço: (a) Concentração, alívio e manutenção das tensões respectivamente nas formas côncava, convexa e linear em planta; (b) Concentração e alívio das tensões respectivamente nas formas côncava, convexa em perfil.	79
Figura 4.6 - Plintossolo Pétrico Concrecionário: (a) Perfil de solo exposto em uma “caixa de empréstimo” na alta bacia do rio das Antas; (b) Em segundo plano, Modelado de Aplanamento, onde ocorre esse tipo de solo com presença feições erosivas no talude	

decapeado e expando o saprólito (Jesus, 2007).....	85
Figura 4.7 - Latossolo Vermelho: (a) Perfil de Latossolo Vermelho; (b) Relevo de ocorrência (Santos, 2007).....	86
Figura 4.8 - Latossolo Vermelho-Amarelo: (a) Perfil de solo exposto no talude de uma voçoroca; (b) Rampas do Modelado de Dissecação onde ocorre esse tipo de solo (Jesus, 2007).....	87
Figura 4.9 - Argissolo (a) Perfil de Argissolo; (b) Relevo de ocorrência desse solo (Santos, 2007).....	87
Figura 4.10 - Cambissolo: (a) Perfil de cambissolo; (b) Relevo de ocorrência desse solo (Santos, 2007).....	88
Figura 4.11 - Perfil de Neossolo Litólico em relevo com declividade maior que 31% (Teixeira, 2008).	88
Figura 4.12 - Gleissolo: (a) Perfil de Gleissolo na cabeceira do rio das Antas. Figura 29: Planície do rio das Antas, onde ocorre esse tipo de solo (Jesus, 2007).....	89
Figura 4.13 - Mapas do meio físico da voçoroca Túnel.	91
Figura 4.14 - Solos da voçoroca Túnel: (a) perfil de solo; (b) concreção laterítica em degradação.	92
Figura 4.15 - Mapas do meio físico da voçoroca Contorno.	95
Figura 4.16 - Mapas do meio físico da voçoroca Geovane Braga.....	98
Figura 4.17 - Solos da voçoroca Geovane Braga: (a) Perfil de solo exposto no talude; (b) Latossolo Vermelho-Amarelo; (c) Saprólito de Granulito.	99
Figura 4.18 - Solos da voçoroca Cidade Jardim: (a) Perfil de solo exposto no talude; (b) Latossolo Vermelho-Amarelo; (c) Gelissolo; (d) Saprólito.	101
Figura 4.19 - Mapas do meio físico da voçoroca Cidade Jardim.	102
Figura 4.20 - Mapas do meio físico da voçoroca Colégio Estadual.	104
Figura 4.21 - Solos da voçoroca Colégio Estadual: (a) Latossolo Vermelho sobre saprólito enriquecido em quartzo; (b) Neossolo litólico; (c) Rocha mãe; (d) Saprólito.....	105
Figura 4.22 - Perfil de solo da voçoroca Leopoldo de Bulhões.	107
Figura 4.23 - Mapas do meio físico da voçoroca Leopoldo de Bulhões.	108
Figura 4.24 - Mapas do meio físico da voçoroca Frei Eustáquio.	110
Figura 4.25 - Solos da voçoroca Frei Eustáquio: (a) Neossolo Litólico; (b) Saprólito.	111
Figura 5.1 - Difratoograma da amostra de solo VTL.	114
Figura 5.2 - Difratoograma do solo saprolítico da voçoroca Túnel.	115
Figura 5.3 - Curva granulométrica da Voçoroca Túnel - solo: (a) laterítico; (b) saprolítico.	117
Figura 5.4 - Índice de atividade dos solos da voçoroca Túnel.	120
Figura 5.5 – Carta de plasticidade dos solos da voçoroca Túnel.....	122
Figura 5.6 - Resistência das esferas.....	125
Figura 5.7 - Curva característica do solo saprolítico da voçoroca Túnel.	126

Figura 5.8 - Ensaio de desagregação do solo saprolítico da voçoroca Túnel: (a) Inundação imediata; (b) Inundação parcial.	127
Figura 5.9 - Resultados do ensaio de inderbitzen para o solo saprolítico da voçoroca Túnel.	128
Figura 5.10 - Resultado do ensaio de <i>pinhole</i> para o solo saprolítico da voçoroca Túnel. ..	129
Figura 5.11 - Cisalhamento direto do solo saprolítico da voçoroca Túnel: (a) fase de adensamento; (b) curva tensão de cisalhamento <i>versus</i> deslocamento horizontal;(c) curva deslocamento vertical <i>versus</i> deslocamento horizontal; (d) envoltória de ruptura.	130
Figura 5.12 - Difratoograma do solo laterítico da voçoroca Contorno.	132
Figura 5.13 - Difratoograma do solo saprolítico da voçoroca Contorno.	133
Figura 5.14 - Curva granulométrica da Voçoroca Contorno - solo: (a) laterítico; (b) saprolítico.	136
Figura 5.15 - Índice de atividade dos solos da voçoroca Contorno.	137
Figura 5.16 - Carta de plasticidade dos solos da voçoroca Contorno.	139
Figura 5.17 - Resistência das esferas.	141
Figura 5.18 - Curva característica dos solos da voçoroca Contorno: (a) laterítico; (b) saprolítico.	141
Figura 5.19 - Ensaio de desagregação do solo laterítico da voçoroca Contorno (a) Inundação imediata; (b) Inundação parcial.	144
Figura 5.20 - Ensaio de desagregação do solo saprolítico da voçoroca Contorno: (a) Inundação imediata; (b) Inundação parcial.	144
Figura 5.21 - Voçoroca Contorno - Resultados do ensaio de inderbitzen para o solo: (a) laterítico (b) saprolítico.	145
Figura 5.22 - Resultado do ensaio de <i>pinhole</i> da voçoroca Contorno: (a) solo laterítico; (b) solo saprolítico.	146
Figura 5.23 - Cisalhamento direto do solo laterítico da voçoroca Contorno: (a) fase de adensamento; (b) curva tensão de cisalhamento <i>versus</i> deslocamento horizontal;(c) curva deslocamento vertical <i>versus</i> deslocamento horizontal; (d) envoltória de ruptura.	147
Figura 5.24 - Cisalhamento direto do solo saprolítico da voçoroca Contorno: (a) fase de adensamento; (b) curva tensão de cisalhamento <i>versus</i> deslocamento horizontal;(c) curva deslocamento vertical <i>versus</i> deslocamento horizontal; (d) envoltória de ruptura.	149
Figura 5.25 - Difratoograma do solo laterítico da voçoroca Geovane Braga.	150
Figura 5.26 - Difratoograma do solo saprolítico da voçoroca Geovane Braga.	151
Figura 5.27 - Curva granulométrica da Voçoroca Geovane Braga - solo: (a) laterítico; (b) saprolítico.	153
Figura 5.28 - Índice de atividade dos solos da voçoroca Geovane Braga.	155
Figura 5.29 - Carta de plasticidade dos solos da voçoroca Geovane Braga.	156
Figura 5.30 - Resistência das esferas.	158
Figura 5.31 - Curva característica dos solos da voçoroca Geovane Braga: (a) laterítico; (b) saprolítico.	159

Figura 5.32 - Ensaio de desagregação dos solos da voçoroca Geovane Braga (a) Inundação parcial do solos laterítico; (b) Inundação parcial do solo saprolítico.	161
Figura 5.33 – Voçoroca Geovane Braga – Resultados do ensaio de inderbitzen para o solo: (a) laterítico (b) saprolítico.	162
Figura 5.34 - Resultado do ensaio de <i>pinhole</i> da voçoroca Geovane Braga: (a) solo laterítico; (b) solo saprolítico.	164
Figura 5.35 - Cisalhamento direto do solo laterítico da voçoroca Geovane Braga: (a) fase de adensamento; (b) curva tensão de cisalhamento versus deslocamento horizontal;(c) curva deslocamento vertical versus deslocamento horizontal; (d) envoltória de ruptura.	165
Figura 5.36 - Cisalhamento direto do solo saprolítico da voçoroca Geovane Braga: (a) fase de adensamento; (b) curva tensão de cisalhamento <i>versus</i> deslocamento horizontal;(c) curva deslocamento vertical <i>versus</i> deslocamento horizontal; (d) envoltória de ruptura.	166
Figura 5.37 – Difratoograma do solo laterítico da voçoroca Cidade Jardim.	168
Figura 5.38 – Difratoograma do solo saprolítico da voçoroca Cidade Jardim.	169
Figura 5.39 – Curva granulométrica da voçoroca Cidade Jardim – solo: (a) laterítico; (b) saprolítico.	170
Figura 5.40 - Índice de atividade dos solos da voçoroca Cidade Jardim.	172
Figura 5.41 – Carta de plasticidade dos solos da voçoroca Cidade Jardim.	173
Figura 5.42 – Resistência das esferas.	175
Figura 5.43 - Curva característica dos solos da voçoroca Cidade Jardim: (a) laterítico; (b) saprolítico.	175
Figura 5.44 - Ensaio de desagregação dos solos da voçoroca Cidade Jardim (a) Inundação parcial do solo laterítico; (b) Inundação parcial do solo saprolítico.	178
Figura 5.45 – Voçoroca Cidade Jardim – Resultados do ensaio de inderbitzen para o solo: (a) laterítico (b) saprolítico.	179
Figura 5.46 - Resultado do ensaio de <i>pinhole</i> da voçoroca Cidade Jardim: (a) solo laterítico; (b) solo saprolítico.	180
Figura 5.47 - Cisalhamento direto do solo laterítico da voçoroca Cidade Jardim: (a) fase de adensamento; (b) curva tensão de cisalhamento <i>versus</i> deslocamento horizontal;(c) curva deslocamento vertical <i>versus</i> deslocamento horizontal; (d) envoltória de ruptura.	181
Figura 5.48 - Cisalhamento direto do solo saprolítico da voçoroca Cidade Jardim: (a) fase de adensamento; (b) curva tensão de cisalhamento <i>versus</i> deslocamento horizontal;(c) curva deslocamento vertical <i>versus</i> deslocamento horizontal; (d) envoltória de ruptura.	183
Figura 5.49 – Difratoograma do solo laterítico da voçoroca Colégio Estadual.	184
Figura 5.50 – Curva granulométrica da voçoroca Colégio Estadual – solo laterítico.	185
Figura 5.51 – Índice de atividade dos solos da voçoroca Colégio Estadual.	186
Figura 5.52 – Carta de plasticidade dos solos da voçoroca Colégio Estadual.	187
Figura 5.53 - Resistência das esferas.	188
Figura 5.54 - Curva característica do solo laterítico da voçoroca Colégio Estadual.	188
Figura 5.55 - Ensaio de desagregação por inundação parcial do solo laterítico da voçoroca	

Colégio Estadual.....	190
Figura 5.56 – Resultados do ensaio de inderbitzen para o solo laterítico da voçoroca Colégio Estadual.	190
Figura 5.57 - Resultado do ensaio de <i>pinhole</i> do solo laterítico da voçoroca Contorno.	191
Figura 5.58 - Cisalhamento direto do solo laterítico da voçoroca Colégio Estadual: (a) fase de adensamento; (b) curva tensão de cisalhamento <i>versus</i> deslocamento horizontal;(c) curva deslocamento vertical <i>versus</i> deslocamento horizontal; (d) envoltória de ruptura.	192
Figura 5.59 - Comparação dos resultados do ensaio de sucção: (a) solo laterítico; (b) solo saprolítico.	198
Figura 5.60 - Comparação dos resultados do ensaio de inderbitzen: (a) solo laterítico; (b) solo saprolítico.....	200
Figura 5.61 - Comparação dos resultados do ensaio de <i>pinhole</i> : (a) solo laterítico; (b) solo saprolítico.	202
Figura 6.1 - Evolução demográfica em Anápolis (Polonial, 1995, p37; IBGE, 2010).....	208
Figura 6.2 - Mapa da evolução histórica de Anápolis (Brito, 2007).	210
Figura 6.3 - Evolução das classes urbanas de uso e cobertura do solo.....	213
Figura 6.4 - Ocorrência de feições erosivas de acordo com a expansão de áreas urbanas parceladas (Lacerda <i>et al</i> , 2005).....	215
Figura 6.5 - Mapas de uso e cobertura do solo do entorno da voçoroca Túnel.	218
Figura 6.6 - Mapas de uso e cobertura do solo do entorno da voçoroca Contorno.	220
Figura 6.7 - Mapas de uso e cobertura do solo do entorno da voçoroca Geovane Braga. ...	223
Figura 6.8 - Mapas de uso e cobertura do solo do entorno da voçoroca Cidade Jardim.	225
Figura 6.9 - Mapas de uso e cobertura do solo do entorno da voçoroca Colégio Estadual.	227
Figura 6.10 - Mapas de uso e cobertura do solo do entorno da voçoroca Leopoldo de Bulhões.	229
Figura 6.11 - Mapas de uso e cobertura do solo do entorno da voçoroca Frei Eustáquio.	231
Figura 7.1 - Mapas dos cenários de suscetibilidade a inundação e alagamento (Batista, 2011; Batista <i>et al.</i> , 2012).....	241
Figura 7.2 - Alagamentos em Anápolis: (a) Na avenida Brasil no cruzamento com a Rua Amazílio Lino de Souza - vista para montante; (b) Na avenida Brasil no cruzamento com a Rua Amazílio Lino de Souza - vista para jusante; (c) alagamento na avenida Brasil em frente ao Brasil Park Shopping; (d) Estruturas de contenção à alagamentos próximo a voçoroca Cidade Jardim.	242
Figura 8.1 - Em primeiro plano talude da voçoroca Cidade Jardim e em segundo plano uma das várias casas que estão localizadas próximas a essa voçoroca.	245
Figura 8.2 - Grau de escolaridade dos moradores que habitam o entorno das erosões.	249
Figura 8.3 - Tipo de instituição de ensino em que estudou.	250
Figura 8.4 - Dados laborais dos moradores: (a) Condição laboral atual; (b) Especificação da classe onde não se aplica condição laboral; (c) Tempo de desemprego.....	251
Figura 8.5 - Dados de rendimentos dos moradores: (a) Classe salarial; (b) Renda.....	252

Figura 8.6 - Origem dos moradores: (a) Sempre residiu em Anápolis; (b) Estado em que morava anteriormente; (c) Tempo de residência em Anápolis; (d) Motivo da mudança para Anápolis.....	253
Figura 8.7 - Bairro de moradia: (a) Sempre residiu no bairro; (b) Bairro onde residiu anteriormente; (c) Tempo de residência; (d) Motivo da escolha do bairro como residência.	254
Figura 8.8 - Acesso a moradia: (a) Tipo de moradia; (b) Valor pago pelo aluguel.....	255
Figura 8.9 - Dados gerais das residências: (a) Quantidade de residências por lote; (b) Quantidade de pessoas residentes em cada casa; (c) Área do lote; (d) Área construída; (e) Valor venal do lote; (f) Valor venal do lote construído.....	256
Figura 8.10 - Lixo residencial: (a) Coleta de lixo na residência; (b) Forma de descarte do lixo.	260
Figura 8.11 - Segurança: (a) Considera o lugar onde vive violento; (b) Motivos pelos quais não considera o local violento; (c) Motivos pelos quais considera o local violento.	261
Figura 8.12 - Saúde: (a) Visita de agentes de saúde e sanitários; (b) Forma de tratamento médico.	261
Figura 8.13 - Meios de transporte: (a) Utiliza o transporte coletivo; (b) Quantidade de conduções utilizadas; (c) Possui carro.....	262
Figura 8.14 - Formas de acesso a: (a) Lazer; (b) Informação.....	263
Figura 8.15 - Moradias próximas às erosões: (a) Vantagens em residir no local; (b) Desvantagens em residir no local.	264
Figura 8.16 - Prejuízos causados pelas erosões.	264
Figura 8.17 - Família fotografada dentro da voçoroca Contorno (acervo da família - cedido espontaneamente à esta pesquisa no ato da realização das entrevistas. Os rostos da pessoas foram ocultados para preservar a identidade das fontes).....	267
Figura 8.18 - Percepção sobre a origem dos problemas associados às erosões.....	268
Figura 8.19 - Procedimento almejado pelos moradores para resolução dos problemas associados às erosões. Erro em administração pública eficiente.....	268
Figura 8.20 - Ações da prefeitura para resolução do problema.	270
Figura 8.21 - Satisfação em residir nas adjacências das incisões erosivas: (a) Motivos de satisfação; (b) Motivos de insatisfação.....	270
Figura 8.22 - Mudança do local onde reside: (a) Motivos para permanência no local; (b) Motivos de mudança para outro local.....	271
Figura 8.23 - Possibilidade de mudança para outro bairro: (a) Bairro almejado; (b) Motivos da escolha de outro bairro.....	272
Figura 8.24 - Ações tomadas pelos moradores para resolução do problema.	273
Figura 8.25 - IPTU: (a) Valor cobrado; (b) Percepção sobre a justa adequação do valor cobrado; (c) Porque considera o valor do IPTU injusto; Porque considera o valor do IPTU justo.	274
Figura 8.26 - Distribuição da população segundo censo 2010 (IBGE, 2010) para Anápolis.	277

Figura 8.27 - Distribuição da população em 2012 para o entorno das voçorocas estudadas.	277
Figura 8.28 - Recuperação de erosão no município de Anápolis: (a) Vista de montante para jusante; (b) Vista de jusante para montante.....	278
Figura 8.29 - Execução da obra de recuperação da voçoroca da avenida Getulino Artiaga em Anápolis (Anápolis, 2008b).....	278
Figura 8.30 - Vista panorâmica da cabeceira de drenagem onde está localizada a voçoroca Túnel.....	279
Figura 8.31 - Entulhamento das voçorocas e a ação das águas pluviais: (a) voçoroca Túnel; (b) voçoroca Contorno.....	279
Figura 8.32 - Recuperação da voçoroca Contorno: Vista de jusante para montante.....	280

Lista de Símbolos, Nomenclaturas e Abreviações

Símbolos e nomenclaturas de variáveis

a	Altura do corpo de prova
c'	Coefficiente do método MCT expedito
C_C	Coefficiente de curvatura
C_t	Contração do método MCT expedito
C_U	Coefficiente de uniformidade
d	Deslocamento previsto para ruptura
D_{10}	Diâmetro pelo qual 10% dos grãos do solo são passantes
D_{30}	Diâmetro pelo qual 30% dos grãos do solo são passantes
D_{60}	Diâmetro pelo qual 60% dos grãos do solo são passantes
e	Índice de vazios
FDD	Mapa de distância de drenagem pela área de fluxo acumulado
G_s	Peso específico relativo dos sólidos
I_a	Índice de atividade de Skempton
I_P	Índice de plasticidade
M_d	Massa de solo seca, da porção desprendida do corpo-de-prova
m_L	Inclinação da reta que relaciona umidade e sucção na transição
m_S	Inclinação da reta que relaciona umidade e sucção após o valor de umidade higroscópica do solo
M_s	Massa de solo seca do corpo-de-prova como um todo
n	Porosidade
n_L	Inclinação da reta que relaciona umidade e sucção nos macroporos
n_S	Inclinação da reta que relaciona umidade e sucção nos microporos
P_i	Perda de massa por imersão
S_r	Grau de saturação
tf	Tempo requerido para ruptura
t_{100}	Tempo requerido para que ocorra 100% de adensamento pelo método de Casagrande
u_a	Poropressão do ar
u_w	Poropressão da água
$u_a - u_w$	Sucção matricial
vf	Velocidade de deslocamento
w_c	Umidade de campo
w_h	Umidade higroscópica
W_L	Limite de liquidez
w_{nat}	Umidade natural
W_P	Limite de plasticidade
$wsatL$	Umidade de saturação dos macroporos
$wsatS$	Umidade de saturação dos microporos
α_L	Valor de entrada de ar dos macroporos
α_S	Valor de entrada de ar dos microporos
γ_d	Peso específico aparente seco
γ_{nat}	Peso específico natural
γ_s	Peso específico dos grãos

Abreviaturas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
APIgaio	Proterozóico inferior a Arqueano – Granulitos paraderivados e ortoderivados
ASTER	<i>Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer</i>
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
CANG	Colônia Agrícola Nacional
CH	Argilas de alta plasticidade
CMMBAAN	Centro Meteorológico Militar da Base Aérea de Anápolis
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CONPDEC	Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil
CP	Corpo de prova
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
CTCG	Comissão Técnica de Cartografia Geotécnica e Geoambiental
D	Mapa de declividade
D1	Altamente dispersivo
D2	Dispersivo
DAEE	Departamento de Águas e Energia Elétrica
DAIA	Distrito Agroindustrial de Anápolis
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DRX	Difratometria de raios-x
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ESRI	<i>Environmental Systems Research Institute</i>
FAP-DF	Fundo de Apoio à Pesquisa do Distrito Federal
GDEM	<i>Global Digital Elevation Map</i>
IAC	Instituto Agrônomo de Campinas
IFMT	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IHS	<i>Intensity, Hue and Saturation</i>
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
IPTU	Imposto Predial e Territorial Urbano
LA/LG	Arenoso/Argiloso
LE	Latossolo Vermelho Escuro
LG	Laterítico Argiloso
LP	Latossolo Petroplúntico
LV	Latossolo Vermelho-Amarelo
MaxVer	Máxima verossimilhança
MaxVer-ICM	<i>Iterated Conditional Modes</i>
MCT	Miniatura Compacto Tropical
MH	Silte de alta plasticidade
ML	Silte de baixa plasticidade ML
NBR	Norma Brasileira
ND1	Não dispersivos
ND2	Incipientemente dispersivos
ND3	Levemente dispersivos
ND4	Moderadamente dispersivo

NG	Não Laterítico Argiloso
OMS	Organização Mundial de Saúde
OQVSA	Observatório de Qualidade de Vida de Santo André – SP
PCN	Parâmetros Curriculares Nacionais
PE	Podzólico Vermelho Escuro
PLGB	Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil
PLGB	Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil
PMa	Proterozóico Médio – Grupo Araxá
PNPDEC	Política Nacional de Proteção e Defesa Civil
PVC	Policloreto de vinil
Qa	Quartenário - Aluviões
SIEG	Sistema Estadual de Estatística e de Informações Geográficas de Goiás
SINPDEC	Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil
SM	Areia siltosa
SUCS	Sistema Unificado de Classificação dos Solos
SUS	Sistema Único de Saúde
SW-SM	Areia bem graduada siltosa
TCLE	Termo de Consentimento Livre Esclarecido
TQdl	Terciário/Quartenário – coberturas detrito-lateríticas
U	Mapa de uso e cobertura do solo
UDESC	Universidade do Estado de Santa Catarina
UEG	Universidade Estadual de Goiás
UFG	Universidade Federal de Goiás
UFMT	Universidade Federal do Mato Grosso
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UnB	Universidade de Brasília
USAF	<i>United States Air Force</i>
USP	Universidade de São Paulo
VC	Voçoroca Contorno
VCE	Voçoroca Colégio Estadual
VCEL	Voçoroca Colégio Estadual - solo laterítico
VCJ	Voçoroca Cidade Jardim
VCJL	Voçoroca Cidade Jardim - solo laterítico
VCJS	Voçoroca Cidade Jardim - solo saprolítico
VCL	Voçoroca Contorno - solo laterítico
VCS	Voçoroca Contorno - solo saprolítico
VFE	Voçoroca Frei Eustáquio
VGB	Voçoroca Geovane Braga
VGBL	Voçoroca Geovane Braga - solo laterítico
VGBS	Voçoroca Geovane Braga - solo saprolítico
VLB	Voçoroca Leopoldo de Bulhões
VT	Voçoroca Túnel
VTL	Voçoroca Túnel - solo laterítico
VTS	Voçoroca Túnel - solo saprolítico
WHO	<i>World Health Organization</i>
WHOQOL	<i>World Health Organization Quality of Life</i>

Capítulo 1 - Introdução

1.1 IMPORTÂNCIA DO TEMA

De acordo com Salomão & Antunes (1998), o solo pode ser interpretado de maneiras diversas conforme cada enfoque científico. Para a geologia a formação do solo faz parte do ciclo geológico, sendo o resultado do intemperismo físico e químico das rochas. Para a Agronomia é a camada superficial arável, possuidora de vida microbiana e nutrientes, que permite o desenvolvimento de plantas. Para a Engenharia Civil o solo é a camada escavável sem o uso de explosivos, que perde a resistência em contato com a água e configura-se como uma importante matéria prima para construção de aterros, estradas, barragens, açudes e outras obras (Salomão & Antunes, 1998; Lepsch, 2002; Das, 2007).

O solo tem uma grande importância dentro da engenharia geotécnica que baseada na ciência da mecânica dos solos, mecânica das rochas e nos conhecimentos da geologia de engenharia avalia o comportamento mecânico dos solos e também das rochas com a finalidade de utilizar esses materiais em obras em geral. Destaca-se, no entanto, a necessidade de incorporar a engenharia geotécnica informação sobre a geografia no que tange a história e bases do uso e ocupação do solo levando-se em consideração aspectos culturais relativos ao *modus vivende* na interação homem-meio físico. Também há que se levar em conta aspectos fronteiriços entre a geologia e a geografia como é o caso da geomorfologia e destes em associação ao uso e ocupação do solo.

Em síntese, a qualidade e abrangência da Engenharia Geotécnica bem como o entendimento dos fenômenos e problemas em sua origem como fundamento para a sua prática passa necessariamente pelo agir multidisciplinar como, inclusive, se verá ao longo dessa tese. Em maior nível de detalhe o solo para a geografia é mais um elemento que compõe o meio ambiente e cujas características são fundamentais na configuração de espaços geográficos distintos, pois o solo é um produto da síntese entre clima, geologia e relevo e, portanto, exige uma abordagem que transcenda a disciplinaridade. Esses distintos ambientes podem oferecer diversas possibilidades de apropriação para fins de Engenharia, Agronomia e outros. Todavia, quando essas apropriações são feitas sem considerar as características naturais do meio e sua dinâmica podem resultar em impactos ambientais. Camapum de Carvalho *et al.* (2009), aponta as obras geotécnicas como causadoras de grandes impactos ambientais, principalmente em meio urbano. Os processos erosivos acelerados por lançamento inadequado de águas a

meia encosta ou em cabeceiras de drenagem, inexistência ou ineficiência de um sistema de drenagem das águas pluviais, ruas muito longas construídas ao longo do declive, exposição do solo, impermeabilização, ocupação de áreas de preservação permanente exemplificam muito bem essa realidade, desde que observados os aspectos puramente externos ao maciço. No entanto, se o olhar se volta para o interior do maciço, o solo propriamente dito, será possível verificar, no que se refere aos solos tropicais profundamente intemperizados, que o modo como se dá o uso do solo pode afetar sua estabilidade estrutural conforme aponta Oliveira *et al.* (2012) em relação ao uso de insumos agrícolas.

De acordo com Camapum de Carvalho *et al.* (2009), é comum na engenharia a compartimentação dos estudos e projetos, perdendo-se a visão global e integrada e aprofundando-se desproporcionalmente nas questões tópicas. Para esse autor a concepção de um traçado urbanístico ou a simples construção de um prédio deveriam ter os projetos de arquitetura, estrutura, geotecnia e sistemas hidráulicos integrados entre si e com levantamentos ambientais detalhados. Existem condicionantes ambientais que devem ser valorizadas e analisadas desde a fase de diagnóstico do terreno. Observa-se, portanto, que um trabalho interdisciplinar entre os vários profissionais é indispensável para uma abordagem integrada dos parâmetros que irão nortear os projetos e nesse contexto faz-se necessário a participação de profissionais que tenham também uma visão transdisciplinar para que a junção disciplinar das especialidades seja mais benéfica e mesmo produtiva. Caseti (1991) assegura que a geografia tem grandes possibilidades potenciais de focar, em conjunto, o estudo de fenômenos naturais e sociais.

Desse modo, Christofolletti (1999) destaca o geógrafo como um profissional importante em diagnósticos, análises, avaliações e monitoramento de questões ambientais. Mesmo nesse contexto há que se praticar a multidisciplinaridade, pois tanto os fenômenos naturais como o próprio tecido social requer conhecimentos específicos que na especialidade escapam ao campo de conhecimento da Geografia, como, por exemplo, a vida no solo no caso dos fenômenos naturais e a educação e a psicologia nas questões sociais.

Segundo Jesus *et al.* (2009a) a cidade não é construída sobre as nuvens, sobre o nada, sobre o abstrato, pelo contrário, a cidade é edificada sobre substratos geológico, geomorfológico e pedológico intrinsecamente relacionados e cujo grau de fragilidade inerente pode influenciar em muito na espacialização dos objetos urbanos. Essa visão abrangente pode, com uma conotação geral, ser feita pelo geógrafo, mas não é suficiente, ela precisa se complementar

com análises técnicas mais pormenorizadas de cada um destes e de outros elementos. A geotecnia utilizando os princípios da mecânica dos solos e rochas oferecem subsídios fundamentais a essas análises técnicas, uma vez que, como aponta Sousa Pinto (2006), todas as obras de engenharia se assentam sobre o terreno e inevitavelmente requerem que o comportamento do solo seja devidamente considerado. No entanto, há que se realçar que a devida consideração do comportamento do solo foge a visão atual da engenharia que considera o solo como um elemento estático, imutável no período de projeto, o que não corresponde à realidade conforme mostrado por Lima (2003) ao estudar ravinas e voçorocas do Distrito Federal.

Portanto, para evitar problemas ambientais em relação à ocupação do solo é importante que existam atuações apropriadas das engenharias, efetividade das normas técnicas e jurídicas e educação ambiental eficiente. Logo, a interdisciplinaridade é muito profícua para interação científica, uma vez que isoladamente as áreas técnicas, jurídicas e educacionais não conseguem dar respostas para questões com causas e consequências em vários setores da realidade, tal como ocorre com os processos erosivos. Todavia, para que sejam alcançadas soluções próximas da globalidade dos processos erosivos é preciso quebrar as fronteiras disciplinares que permanecem na interdisciplinaridade por meio da transdisciplinaridade e multidisciplinaridade as quais, além da interação interdisciplinar, primam pela junção e construção de um novo contexto metodológico (Camapum de Carvalho, 2009). Cabe lembrar na discussão sobre disciplinaridade a seguinte proposição de Morin (2008, p.443).

“Este universo permanece Uno, apesar de estourado, múltiplo, policêntrico e diverso; ele produz de si mesmo desordem, ordem, organização, dispersão e diversidade. A unidade do universo é, portanto, a unidade complexa. Este universo não exclui o singular pelo geral, não exclui o geral pelo singular.”

Os solos, bem como os processos erosivos, como temas de investigação científica, assim como outros temas, também vem recebendo um tratamento especializado pelas diversas áreas do saber, tais como: engenharias, geologia, geografia e outras. Segundo Resende *et al.* (1995), é muito vantajoso ampliar os conhecimentos sobre os solos, pois ele ocupa uma posição peculiar ligada às várias esferas que afetam a vida humana. O solo como substrato principal de edificações e produção de alimentos pode ter diferenças substanciais em seus atributos, como cor, textura, consistência, estrutura, profundidade, composição química e mineralógica, topografia, afetando aspectos socioeconômicos e podendo exigir ajustamentos do homem a suas peculiaridades objetivando preservá-lo ao mesmo tempo em que dele tira proveito.

Projetar a ocupação do solo nesse sentido pode reduzir consideravelmente os custos do empreendimento e evitar ou minimizar os impactos ambientais. Camapum de Carvalho *et al.* (2008) reforça a ideia de que a falta de visão integrada da engenharia, pode resultar em vários impactos, destacando-se a erosão antrópica.

A erosão acelerada e processos associados, tais como inundações e assoreamento são exemplos destes impactos resultantes das intervenções de engenharia que negligenciam as suscetibilidades naturais do meio físico. Almeida Filho & Ridente Júnior (2001) apontam que as erosões são um grave problema no país, tanto em áreas agricultáveis como em áreas urbanizadas. Segundo esses autores os primeiros registros de erosões urbanas mais expressivas ocorreram a mais de 60 anos no oeste paulista e noroeste do Paraná. A cidade de Anápolis no estado de Goiás tem pouco mais de 100 anos e a mais de 40 anos atrás já sofria prejuízos com erosões lineares de grande porte. Atualmente toda a área urbana e periurbana da cidade são intensamente afetadas por esses processos. Lacerda (2003) cartografou pouco mais de 50 voçorocas nesta área, conforme apresentado no Apêndice A (Figura A.1). Em mapeamento mais detalhado, específico para a alta bacia urbana do rio das Antas, nesta cidade, Jesus (2007) cadastrou 14 voçorocas numa área de apenas 17 km². Tais fatos despertaram o interesse em investigar cientificamente e de maneira multidisciplinar esses processos em tese de doutorado cujos resultados são apresentados neste texto.

1.2 PROBLEMATIZAÇÃO

O município de Anápolis possui uma área de 918,37 km² e segundo o censo demográfico (IBGE, 2010), possuía em 2010 uma população de 334.613 habitantes. Cerca de 97% dessa população habita a área urbana do município. Essa pesquisa analisou a área urbana e periurbana de Anápolis, localizada entre as coordenadas 8.181.580N; 711.072E e 8.204.800N; 728.982E e possuindo uma área de 415 km². Tal localização está apresentada na Figura 1.1, sendo que um maior detalhe da malha urbana da cidade de Anápolis pode ser observado no Apêndice A (Figura A.2).

Quanto a área periurbana, trata-se das adjacências a área urbana cujo raio foi determinado arbitrariamente considerando a disponibilidade de bases cartográficas e a realização prévia de outros trabalhos de pesquisa como o de Lacerda (2003) e Lacerda (2005). Além disso, considera-se necessário o conhecimento sobre as condições do meio físico de áreas não ocupadas pelas estruturas urbanas de Anápolis, mas que com a ampliação da cidade possam

vir a ser ocupadas. Isso permite uma ocupação mais planejada, vislumbrando as suscetibilidades naturais e evitando ou minimizando a ocorrência de impactos ambientais tais como os processos erosivos.

A constatação dessa marcante concentração populacional na área urbana de Anápolis aponta para a importância da compreensão da apropriação do solo para fins de urbanização, face aos impactos ambientais que atingem a cidade e, mais especificamente no que se refere a erosão, inundações e alagamentos.

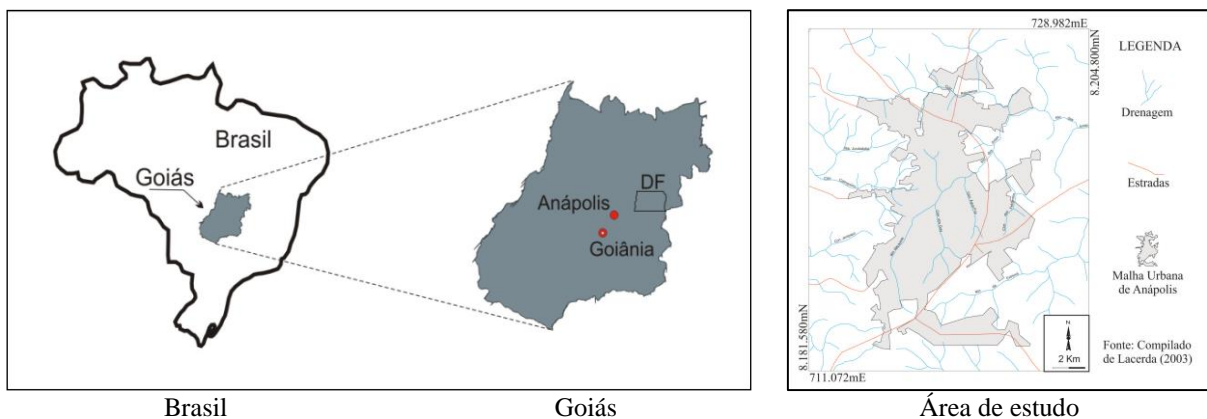


Figura 1.1 - Localização da área de estudo.

Em alguns bairros da cidade de Anápolis a intensidade dos processos erosivos, além de gerar riscos de queda de pessoas, também dificulta e/ou inviabiliza o trânsito, prejudicando a acessibilidade dos moradores a entregas de compras, serviços dos Correios, Corpo de Bombeiros, segurança policial entre outros serviços importantes para garantir o mínimo de dignidade ao habitante da cidade, como por exemplo, coleta de lixo. A falta de coleta de lixo induz os moradores a lançá-lo nas erosões. Isso, além de gerar problemas sanitários, favorece o surgimento de aterros instáveis sobre os quais muitas vezes são edificadas residências. Destaca-se ainda que as obras corretivas desses processos erosivos são muito onerosas para os cofres públicos e, por consequência, para a sociedade como um todo (Jesus *et al.*, 2009b).

Ao observar essa realidade surge a seguinte indagação: Qual a gênese e dinâmica evolutiva dos processos erosivos em Anápolis, GO? Tal indagação suscita respostas que serão buscadas ao longo da pesquisa com o amparo científico e técnico da geografia e da geotecnia permeando por outros domínios do conhecimento como o educacional e o social, partindo-se da hipótese de que a gênese dos processos erosivos está relacionada a uma suscetibilidade natural do substrato geomorfopedológico que é potencializada pela ocupação do solo carente de planejamento e entendimento técnico adequado. Essa negligência técnica perpassa um problema de ordem cultural e educacional que afetam a população em geral e por

consequência os próprios gestores públicos.

1.3 OBJETIVOS DA PESQUISA

O objetivo geral desta pesquisa é compreender a gênese e evolução dos processos erosivos na área urbana e periurbana da cidade de Anápolis (GO), para tanto, distingue-se os seguintes objetivos específicos com relação a esta área: realizar um diagnóstico do meio físico (geologia, relevo, solos); caracterizar os aspectos geotécnicos do solo; analisar o uso e cobertura da terra; identificar, cadastrar e caracterizar os processos erosivos lineares bem como alagamentos e inundações; avaliar a suscetibilidade a erosão, inundações e alagamentos; compreender a relação da população com o meio físico e com os processos erosivos e como as erosões interferem na qualidade de vida; por fim, almeja-se que os resultados dos estudos realizados ao longo desta pesquisa sirvam de subsídio a uma adequada gestão da ocupação urbana do solo em Anápolis-GO.

1.4 ESCOPO E ORGANIZAÇÃO DA TESE

Este trabalho está estruturado em nove capítulos, divididos de forma sequencial de modo a facilitar a compreensão dos assuntos abordados. Uma descrição sucinta do conteúdo de cada capítulo é dada a seguir.

O presente capítulo refere-se ao **Capítulo 1** que trata das considerações introdutórias ao trabalho e apresenta o tema e a área de estudo bem como o problema de pesquisa, as principais hipóteses e os objetivos estabelecidos.

No **Capítulo 2** é apresentado o embasamento teórico sobre erosão com a explanação de conceitos, classificações, causas e dinâmica de ocorrência.

O **Capítulo 3** trata do direcionamento metodológico da tese explicitando procedimentos técnicos operacionais e materiais utilizados na execução das várias etapas da pesquisa.

No **Capítulo 4** é apresentada e discutida a caracterização do meio físico da área de estudo como um todo abordando questões climáticas, geológicas, geomorfológicas e pedológicas. Destaca-se que foi dada uma abordagem detalhada desses elementos do meio físico para cada uma das voçorocas pesquisadas.

No **Capítulo 5** a caracterização geotécnica dos solos das voçorocas pesquisadas é discutida mediante a apresentação dos resultados da bateria de ensaios laboratoriais realizados.

O **Capítulo 6** trata da caracterização do uso e cobertura do solo em toda a área de estudo e detalhadamente para cada voçoroca pesquisada discutindo como as formas de uso e cobertura do solo pode atuar como causas deflagradoras dos processos erosivos.

O **Capítulo 7** por sua vez tratará da suscetibilidade dos terrenos estudados enfocando a erosão linear e também alagamentos e inundações, pois estes últimos tendem a ocorrer associativamente as erosões.

No **Capítulo 8** são tratadas questões de como as pessoas se relacionam com as voçorocas e por consequência como essas erosões influenciam na qualidade de vida da população que habita o seu entorno.

Por fim, no **Capítulo 9** são apresentadas as considerações finais sobre a pesquisa, evidenciando as principais conclusões resultantes desta pesquisa bem como são fornecidas algumas sugestões para pesquisas futuras.

Capítulo 2 - Erosão

“A erosão não é somente um fenômeno físico, mas também um problema social e econômico e resulta fundamentalmente de uma inadequada relação entre o solo e o homem.”

(Bertoni e Lombardi Neto)

Parte desse Capítulo compreende uma revisão bibliográfica, elaborada na fase de doutoramento no Programa de Pós-Graduação em Geotecnia da UnB e publicada, previamente, no Livro comemorativo dos Vinte Anos do Programa de Pós-Graduação em Geotecnia da UnB, no Capítulo 8 – Erosão dos Solos.

2.1 EROSÃO DOS SOLOS: NECESSIDADE DE ABORDAGEM INTERDISCIPLINAR

De acordo com Lima (2003), a erosão dos solos afeta a vida de muitas maneiras, daí ser um assunto que envolve profissionais de várias áreas do conhecimento, por vezes, com visões distintas sobre o mesmo problema. Existem linhas de pesquisa em erosão por todo o país na agronomia, geografia, geologia, geotecnia e outras áreas do conhecimento.

Barretto *et al.* (2009) tendo como referência consulta à base *ISI – Web of Knowledge* realizada em em 20 de agosto de 2008, aponta que o Brasil ocupa o 12º lugar mundial em publicações de artigos científicos sobre erosão e conservação dos solos. Esses autores analisaram ainda artigos sobre erosão em periódicos nacionais e internacionais indexados na base de dados *ISI - Web of Science* e verificaram que a pesquisa sobre erosão se concentra na região sul e sudeste principalmente nas seguintes instituições: Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS); Universidade de São Paulo (USP), incluindo todas as suas unidades; Instituto Agrônomo de Campinas (IAC); Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC) e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), incluindo todas as suas unidades.

Em contrapartida ao apresentado por Barretto *et al.* (2009), sabe-se que outras instituições tem se dedicado firmemente ao estudo de processos erosivos sendo seus resultados apresentados em dissertações, teses, livros, anais de eventos e periódicos. O que parece é que muitas das publicações não foram feitas em veículos indexados a uma base de dados científica. Logo, é necessário destacar muitos estudos realizados no Centro-Oeste na Universidade Federal de Goiás (UFG) por Selma Simões de Castro, Valter Cassetti e Maria Amélia; na Universidade de Brasília (UnB) por José Camapum de Carvalho e Newton Moreira de Souza; na Universidade

Federal do Mato Grosso (UFMT) por Fernando Ximenes de Tavares Salomão e no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso (IFMT) por Wilson Conciani. Destaca-se ainda em São Paulo o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) e no Rio de Janeiro a Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), onde o professor Antônio Teixeira Guerra tem desenvolvido inúmeros trabalhos sobre erosão dos solos.

É certo que em um país de solos tropicais inúmeros são os problemas relacionados à erosão dos solos, assim como é certo que onde houver instituição de pesquisa com área de conhecimento relacionada a esse tema haverá trabalhos científicos acadêmicos destinados a sua investigação. Sendo assim, esse breve apanhado feito sobre o assunto certamente está longe de mencionar todas as instituições e pesquisadores dedicados ao tema. Assim, embora recente no Brasil, a pesquisa sobre erosão acelerada possui vasto referencial bibliográfico. Entretanto, existe um consenso entre essas áreas que atuam com esse tema de que os fenômenos ocorrentes desde a gênese até a posterior evolução ainda não estão perfeitamente elucidados.

No meio geotécnico, as pesquisas sobre erosão tem dado maior importância ao estudo da erodibilidade dos solos e ao diagnóstico e controle de ravinas e voçorocas. Como o fenômeno erosivo depende de inúmeros fatores, sua ocorrência se dá de forma diferenciada de região para região. Logo, a implementação de métodos de controle depende do entendimento detalhado do processo evolutivo de cada erosão, como será demonstrado nos itens a seguir.

2.2 CLASSIFICAÇÃO DOS PROCESSOS EROSIVOS

A erosão pode ser hídrica (pluvial, fluvial, de subsuperfície e marinha), eólica e glacial. Ousa-se aqui dizer que a erosão hídrica, talvez, não seja o tipo de erosão mais comum, mas, com certeza, é um dos mais (senão o mais) impactante. É de se presumir que a erosão eólica seja a expressão mais generalizada do fenômeno erosivo, pois a atuação dos ventos é contínua e se dá ao longo de todo o ano, nas diferentes regiões do globo terrestre, variando apenas em intensidade. A poeira notada no dia a dia, apesar de constituir uma erosão perceptível e, portanto, comum, quase sempre não é impactante.

A erosão como processo é muito importante na esculturação da superfície terrestre, sendo, como apontam Almeida Filho & Ridente Júnior (2001), um processo natural de desenvolvimento da paisagem. Para esses autores, a atuação lenta e contínua dos processos erosivos modifica a forma do relevo, normalmente após longos períodos de tempo. A atuação

dos vários agentes erosivos sobre a superfície da terra tem provocado a diminuição, natural, de apenas 1/10 de milímetro da altitude do relevo durante cada ano (Guerra & Guerra, 2001). Nessa velocidade, se fosse desconsiderado o rejuvenescimento de algumas porções da terra por meio de orogênese e vulcanismo, o arrasamento completo das terras emersas levaria cerca de 7.000.000 anos. Contudo, cabe destacar que o processo natural de erosão do solo pode ser acelerado pelo homem por meio da ocupação inadequada do meio físico. Esse tipo de erosão desencadeada pela ação humana é conhecido na literatura como erosão acelerada, erosão antrópica ou erosão antropogenética.

A erosão-processo envolve todo um conjunto de ações evolutivas (desagregação/ transporte/sedimentação) que poderão se materializar com determinada aparência e estrutura e que permitirão distinguir as formas erosivas em sulcos, ravinas ou voçorocas. Veja-se que essas são formas aparentes, visíveis, mas existem ainda as que se processam no interior do maciço, gerando sua esqueletização. Tais manifestações são processos erosivos por si sós, os quais contribuem para o processo evolutivo dessas formas de erosão exteriorizadas, conforme mostrado por Lima (2003). Essas formas não são estáticas e imutáveis, sendo extremamente importantes na determinação de novos processos, como, por exemplo, os movimentos de massa (Figura 2.1).

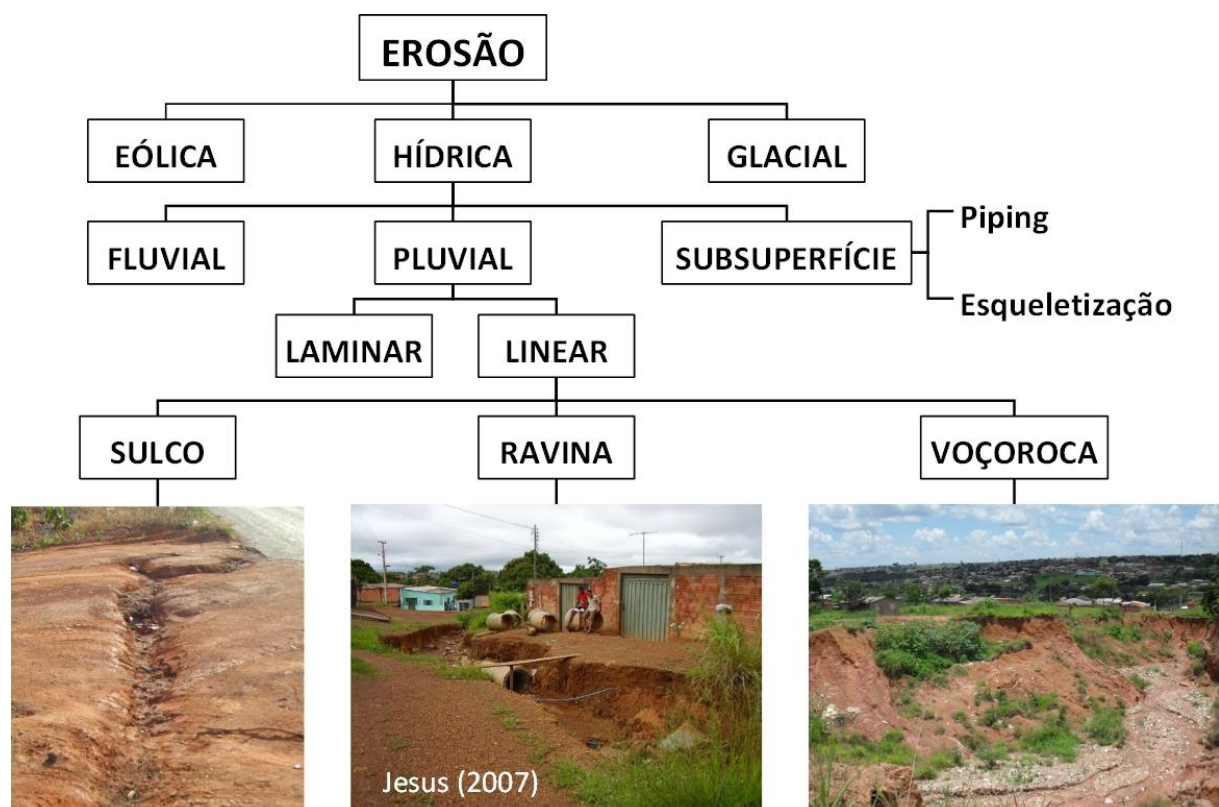


Figura 2.1 - Processos e formas erosivas.

2.3 GÊNESE E PROCESSO EVOLUTIVO

A capacidade da erosão de atuar em determinadas áreas depende, segundo a maioria dos autores, das características de elementos climático, geológico, geomorfológico, pedológico e da cobertura vegetal (Silva *et al.*, 2003; Almeida Filho & Ridente Júnior, 2001; Infanti Junior & Fornasari Filho, 1998; Iwasa & Fendrich, 1998; Salomão & Iwasa, 1995; IPT, 1991; DAEE & IPT, 1990). A Figura 2.2 ilustra fatores condicionantes da erosão associados a cada um desses elementos no âmbito de conjunto.

Santos (1997) aponta que as características do Município de Goiânia em relação à geologia, geomorfologia, solos e clima constituem fatores condicionantes dos processos erosivos atuantes. A intervenção antrópica sobre esse substrato do meio físico modifica as formas de atuação das forças erosivas, ao alterar a intensidade das chuvas. As formas de escoamento superficial proporcionam a ocorrência do fenômeno indiscriminadamente em todo o município. Uma vez deflagrado o processo erosivo, os elementos do meio físico condizionarão a forma e intensidade de evolução da erosão (Figura 2.2).

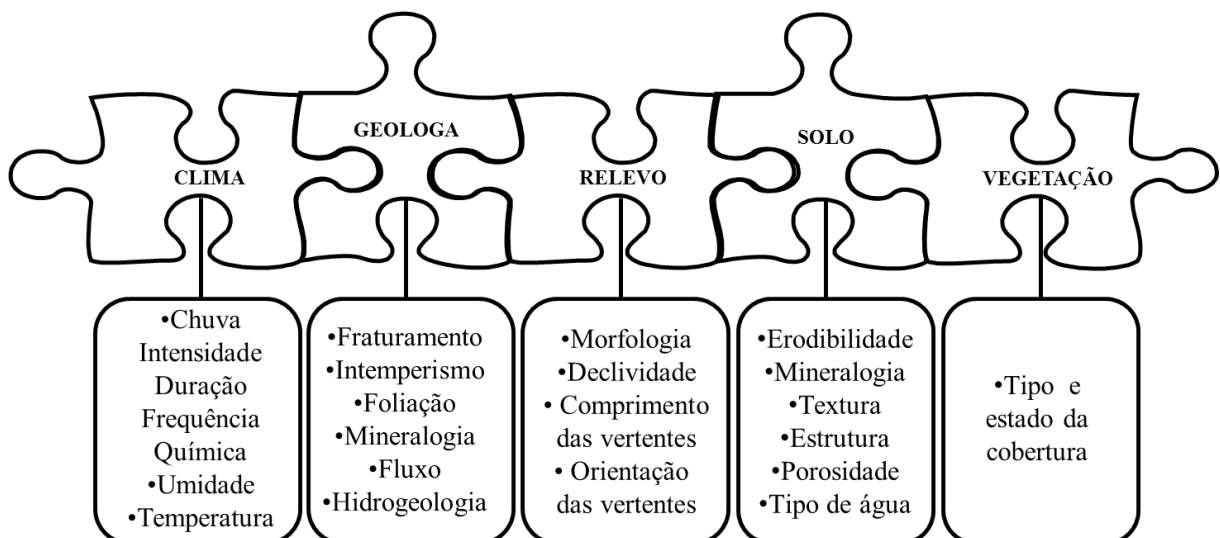


Figura 2.2 - Fatores condicionantes da erosão.

2.3.1 Clima

A precipitação é o elemento mais importante do clima no que se refere aos processos erosivos. Seu impacto sobre o solo sofre forte influência do vento. O impacto das gotas de chuva sobre o solo favorece a desagregação das partículas do solo, além do que a água também atuará como agente de transporte dessas partículas.

Conforme afirmam Almeida Filho & Ridente Júnior (2001), a ação erosiva da chuva depende

de sua distribuição e intensidade no tempo e no espaço. A capacidade erosiva da chuva é denominada de erosividade. Segundo Moreira & Pires Neto (1998), mesmo com totais de precipitação iguais, chuvas pouco intensas de longa duração provocam menos danos se comparadas às chuvas curtas e muito intensas. Infanti Junior & Fornasari Filho (1998) destacam que chuvas torrenciais, precedidas por períodos chuvosos responsáveis pela saturação do solo, determinam em locais de escoamento concentrado feições erosivas que se expandem com muita velocidade.

As análises de estabilidade e os perfis de umidade de voçorocas do Distrito Federal mostraram, segundo Mortari (1994), a influência do período chuvoso, com o avanço de uma frente de saturação, gerando queda nos parâmetros de resistência dos solos e, muitas vezes, instabilizando os taludes das voçorocas.

2.3.2 Geologia

Segundo Díaz (2001), em solos residuais e rochas meteorizadas, a erosividade está relacionada intimamente com o tipo e as características da rocha parental. As principais características litológicas que podem condicionar a erosão são o grau de fraturamento das rochas, a intensidade do intemperismo, a natureza do material alterado, especialmente no que se refere à textura.

Infanti Junior & Fornasari Filho (2001) destacam que, nas rochas pré-cambrianas, a ocorrência de voçorocas e ravinas está associada aos solos resultantes da alteração de rochas xistosas, gnáissicas e graníticas. No geral, quanto mais félsicas (ou mais ricas em quartzo e muscovita), mais friáveis serão quando decompostas. A xistosidade e a foliação também favorecem o desenvolvimento de erosões.

Segundo Mortari (1994), as erosões no Distrito Federal apresentam um quadro evolutivo diferenciado dos processos ocorrentes em outras regiões do Brasil, resultantes dos condicionantes geológico-geotécnicos que refletem uma tectônica regional complexa envolvendo falhamentos, dobramentos e redobramentos de mais de um ciclo de deformações. O perfil do subsolo é composto basicamente por uma camada superficial recobrindo saprólitos de ardósias e metarritimitos compostos por alternância de camadas cujo mergulho chega a atingir a ordem de 40° a 60°. Sob a influência dessas condições geológicas, o fluxo d'água passa a ser orientado, e as erosões evoluem segundo um modelo encaixado, materializando,

em perfil, uma forma em “V”, praticamente inexistindo o alargamento da base das voçorocas (Figura 2.3).

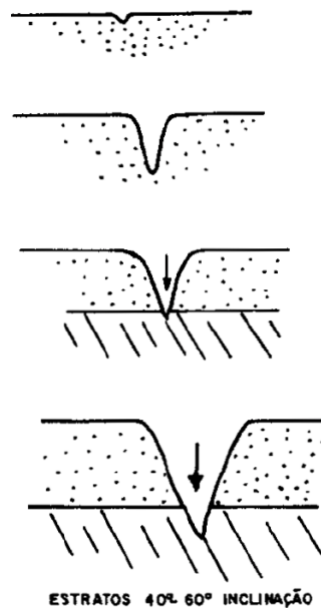


Figura 2.3 - Esquema dos modelos evolutivos das erosões no Distrito Federal (Mortari, 1994).

Lima (1999), pesquisando o processo evolutivo de voçorocas na área urbana de Manaus, AM, verificou que o contexto geológico é um fator predisponente para o processo evolutivo das voçorocas regionais. Vários feixes de falhas transcorrentes dextrais de direções E-W e NE-SW caracterizam a neotectônica de Manaus. As falhas afetam o perfil laterítico pleistocênico, gerando deslocamentos nas concreções lateríticas. A autora observou que todas as voçorocas estudadas apresentam certas características em comum, com fraturas na superfície, nas paredes e nos taludes verticais, além de grandes blocos de solo caídos. Comparando-se a orientação do avanço das cabeceiras das erosões e dessas fraturas com a orientação das falhas provenientes dos movimentos neotectônicos, observa-se uma notável coincidência entre essas orientações, indicando que a gênese e o processo evolutivo dessas voçorocas estão associados às falhas.

Nota-se, portanto, que o processo evolutivo das voçorocas na área urbana de Manaus sofre grande influência de aspectos relacionados à geologia estrutural, e os solos auxiliam nesse processo de forma secundária. Com base nos ensaios geotécnicos, Lima (1999) verificou que o perfil de solo da região de Manaus é bastante uniforme, apresentando uma camada argilosa; à medida que diminui a cota em relação ao nível do mar, o solo torna-se mais arenoso. Destaca-se que as erosões da região ocorrem tanto na camada argilosa como na camada arenosa.

2.3.3 Geomorfologia

A influência do relevo na erosão está associada principalmente à declividade, ao comprimento e à forma de vertente. Quanto maior o declive, maior a velocidade do escoamento. Se o comprimento de vertente também for extenso, essa velocidade se amplia ainda mais. Bertoni & Lombardi Neto (1999 p. 58) destacam que um terreno com 20 metros de comprimento e 20% de declividade tem a mesma taxa de perda de terra que um terreno de 180 metros de comprimento e 1% de declividade, nas mesmas condições de chuva, tipo de solo e tipo de cobertura e manejo.

Vertentes convexas, retilíneas e côncavas influenciam, de maneira distinta, no volume e na velocidade do escoamento superficial. As vertentes com curvas de nível côncavas e perfil côncavo e as vertentes com curvas de nível côncavas e perfil convexo, por exemplo, são concentradoras do fluxo superficial. Ao contrário, as vertentes com curvas de nível convexas e perfil convexo e as vertentes com curvas de nível convexas e perfil côncavo fazem com que as linhas de fluxo d'água sejam dispersadas. Portanto, os dois primeiros tipos de vertentes podem induzir mais facilmente a ocorrência de incisões erosivas.

Santos (1997) identificou dois tipos básicos de voçorocas associadas às características morfométricas do relevo no Município de Goiânia, GO. No primeiro grupo, estão as voçorocas de aspecto linear, quando vistas em planta, formadas em regiões de média declividade, cujos principais mecanismos de atuação são o fluxo superficial e os movimentos de massa. No segundo grupo, incluem-se as voçorocas de aspecto semicircular, formadas em regiões de ruptura de declive, cujos mecanismos de evolução atuam de forma mais complexa, devido à interação entre processos de erosão pelo fluxo superficial, erosão interna devida ao elevado gradiente hidráulico e movimentos de massa.

2.3.4 Solo

O solo, além de ser um fator que influencia na gênese da erosão, também é afetado por ela (DAEE & IPT, 1990). A capacidade do solo em resistir à erosividade da chuva é denominada de erodibilidade. Destacam-se as seguintes características do solo que influenciam na sua erodibilidade: composição químico-mineralógica, presença de matéria orgânica, textura, estrutura e umidade. Tais características intervêm diretamente na estabilidade estrutural do solo e na sua drenabilidade (permeabilidade), responsáveis diretos pela maior ou menor resistência dos solos frente aos processos erosivos.

A composição químico-mineralógica confere ao solo coesão real e é definidora do seu potencial de expansão e contração, comportamentos que interferem diretamente na erodibilidade. Aqui cabe destaque à relação direta dessa característica com a maior ou menor susceptibilidade do solo à erosão em consequência de mudanças químicas do meio, como as que ocorrem oriundas do escoamento superficial e/ou infiltração das águas servidas.

No que se refere à textura, deve-se considerar que as partículas de solo não são igualmente deslocadas pela água. As partículas mais finas, como a argila, vencida a força de coesão, são facilmente deslocadas e transportadas. Partículas maiores, como areia grossa, pedregulho e matacões, são, nessa escala, mais resistentes à erosão e tendem a se acumular sobre a superfície. O que diferencia a resistência de um solo argilo-siltoso daquela de um solo granular frente à erosão é a natureza das energias que resistem. Enquanto no primeiro elas são de natureza interna, a coesão, no segundo elas provêm do embricamento e da energia gravitacional, respectivamente, a forma das partículas e a massa, responsável pela maior ou menor força de atrito que resiste ao processo erosivo. Ainda quanto à textura, os solos com teores consideráveis de silte geralmente concorrem para uma elevada erodibilidade. Essa característica associa-se a solos jovens, como o Cambissolo, ou ao horizonte C de rochas félsicas com rocha alterada de estrutura conservada.

A estrutura do solo diz respeito à organização das partículas de argila, silte e areia isoladamente ou em agregados com características variadas. As partículas isoladas se organizam em estruturas floculadas e em estruturas orientadas ou dispersas nas argilas e em estruturas simples ou alveolares nos solos siltosos e arenosos. Nas estruturas que marcam as partículas de argila isoladas, a floculada resulta de interações face-bordo combinando cargas negativas com positivas, o que lhes confere coesão e maior resistência à erosão. Nas estruturas orientadas, predominam interações face-face e bordo-bordo e, portanto, interações de cargas semelhantes, contribuindo para a atuação de forças repulsivas. Essas estruturas, no entanto, só são comuns em regiões tropicais nos solos residuais jovens ou que, ainda nesse estágio de formação, foram recém-transportados, pois nos solos profundamente intemperizados, sejam eles de origem residual ou transportada, a tendência das partículas é a de se aglutinarem, formando agregados que lhes conferem característica textural de solo granular. Nos solos siltosos e arenosos, a estrutura menos estável frente à erosão é, pelo próprio arranjo dos grãos, a alveolar.

Nos solos profundamente intemperizados, a agregação e lixiviação ocorridas ao longo do

tempo conferem-lhes estrutura porosa, que é, ao mesmo tempo, altamente permeável e geralmente pouco resistente à erosão. A resistência à erosão depende da natureza do cimento formado entre os agregados. Sendo estes constituídos por pontes de argila, o solo é geralmente mais erodível. A matéria orgânica geralmente atua no solo conferindo-lhe agregação e maior estabilidade estrutural, tornando-o menos erodível. Tem-se ainda como nomenclatura dos principais tipos de estrutura os grânulos, as colunas, os prismas e os blocos.

Finalmente, destaca-se como relevante a umidade em que se encontra o solo. Ela é importante por interferir diretamente na resistência e na infiltrabilidade da água no solo. A sucção/capilaridade, que confere ao solo coesão aparente, é função da porosidade e do teor de umidade presente no solo. Além de eventual expansão, o aumento de umidade e diminuição da sucção proporcionam a redução da coesão aparente do solo; ao contrário, a sua diminuição e o aumento da sucção podem provocar contração e ser responsáveis pelo aumento dessa mesma coesão aparente. Mas a sucção, além de conferir ao solo coesão aparente, interfere em outros mecanismos controladores do processo erosivo.

Assim, por um lado, o recobrimento do solo com uma lâmina d'água ou o envolvimento de um torrão ou agregado por água, ao colocar a fase ar sob pressão positiva, pode proporcionar a desagregação do solo quando esta pressão ultrapassa a coesão real e as forças de atrito oriundas da componente gravitacional proveniente da massa do grão ou agregado, favorecendo a erosão. Por outro lado, essa mesma frente de ar que é colocada sob pressão positiva por ação da sucção forma uma barreira impermeabilizante, impedindo a infiltração e proporcionando maior escoamento superficial, o que amplia, por sua vez, a erosividade da água. No entanto, diante desse cenário, não se deve buscar a redução da umidade, porque ela gera um ganho de coesão. Esse parâmetro contribui para a menor erodibilidade do solo, pois, sendo nesse caso a coesão aparente, o seu efeito é temporário. O relevante é assegurar a proteção do solo contra os efeitos deletérios da perda de coesão e da força desagregadora do ar sob pressão, uma vez que, sendo o mecanismo de interação solo-água-atmosfera complexo, o mais seguro é preservar essa proteção do solo quando se pretende evitar erosão.

Inserindo-se na discussão de peculiaridades que marcam a erodibilidade dos solos, a permeabilidade, por ser diretamente responsável pela quantidade de água que infiltrará no solo, é um parâmetro relevante para a avaliação da erodibilidade de um determinado maciço. Ela depende da estrutura, porosidade e distribuição dos poros e umidade. A maior permeabilidade dos solos arenosos se deve à elevada presença de poros de grandes dimensões,

ou seja, à macroporosidade marcante. Os solos argilosos, pela finura textural, mesmo apresentando porosidade semelhante à de uma areia, apresentam poros menores e são menos permeáveis. No entanto, se essas argilas ou argilas e siltes, ou ainda argilas, siltes e areias, se aglutinam, formando os agregados presentes nos solos tropicais profundamente intemperizados, o solo passa a apresentar estrutura marcada pela presença de macro e microporos e tem a sua permeabilidade aumentada, aproximando-se daquela das areias.

Considera-se também que solos rasos saturam rapidamente e a água passa a escoar sobre a superfície, provocando a desagregação de partículas. O relevo também exerce influência na dinâmica da água dentro do solo. Palmieri & Larach (2000) destacam que, nas partes altas e relativamente planas, os solos apresentam boa drenagem interna; nas encostas com declives mais acentuados, a drenagem é boa ou excessiva, enquanto nas partes inferiores das vertentes e nas áreas de várzea e/ou depressão, os solos são imperfeitamente drenados ou mal drenados, dependendo da proximidade do lençol freático em relação à superfície do terreno. Essas condições de drenagem não só são definidoras da formação do solo, como também intervêm diretamente nas condições de fluxo e, portanto, na erodibilidade do maciço.

Segundo Mortari (1994), no Distrito Federal as áreas afetadas por processos de voçorocamento são constituídas por perfis de solo residuais ou transportados, fisicamente bastante homogêneos, porosos, estruturados e colapsíveis e isentos de trincas e fissuras. Como visto, as tensões de sucção têm um efeito importante na resistência dos solos não saturados e as frentes de saturação geram nesses solos diminuição significativa da resistência, resultando em processos de instabilização de taludes das ravinas e voçorocas.

Lima (2003), estudando a evolução dos processos erosivos no Distrito Federal, verificou grande influência da alteração dos solos em pequeno espaço de tempo na dinâmica evolutiva das erosões. A pesquisadora constatou que, em algumas voçorocas, ocorre perda da fração fina junto às faces da voçoroca, redução na plasticidade e dos oxi-hidróxidos de ferro e alumínio. Em outras, há um processo de carreamento e acumulação de finos junto às faces da voçoroca, provocando o aumento da fração fina e da plasticidade nessas zonas. Verificou, ainda, que a instalação das ravinas e voçorocas provoca a alteração das propriedades químicas e mineralógicas do maciço à medida que delas se aproxima. Dessa forma, pode-se afirmar que as propriedades físico-químicas e mineralógicas dos solos sofrem influência do fluxo em consequência do processo de voçorocamento; no fluxo saturado, ocorre o processo de lixiviação e, quando da predominância do fluxo não saturado, ocorre tendência ao aporte de

material para a zona próximo às bordas da voçoroca.

Na maioria das voçorocas estudadas por Lima (2003), pode-se verificar que as variações que ocorrem nas propriedades dos solos se dão de modo mais marcante até uma distância de 20 m da borda. É certo que essa distância tende a aumentar com a profundidade da voçoroca, pois é esta que comanda o fluxo tanto em meio saturado como em meio não saturado. Embora as diferenças entre as propriedades das voçorocas possam ser também devidas a outros fatores, como a geologia, ficou claro, na pesquisa de Lima (2003) que os meios, saturado e não saturado, exercem uma influência marcante no processo de alteração.

A erosão interna ocorre no interior do maciço, podendo se instalar de duas formas: concentrada, dando origem ao fenômeno da tubificação ou *piping*, e dispersa, originando a esqueletização do maciço. O *piping* ocorre em consequência do carreamento de partículas e se faz presente, segundo Santos (1997), na maioria das voçorocas. Os fenômenos de desabamentos, descalçamentos e solapamentos que ocorrem em voçorocas estão intimamente relacionados ao processo de *piping*. Santos (1997) verificou que o principal mecanismo instabilizador dos taludes das voçorocas estudadas por ele em Goiânia é o solapamento das bases dos taludes, por ação do fluxo superficial e/ou em consequência de erosão interna.

O mecanismo de atuação dos *piping* é, muitas vezes, complexo e o seu reconhecimento no campo nem sempre é fácil. A identificação do *piping* em campo pode ser feita, segundo Hagerty (1991), por indicadores diretos e indiretos. No caso de indicadores diretos, destaca-se a surgência de águas turvas indicando a remoção do material. Evidências indiretas referem-se a cavidades no talude e depósitos de sedimentos localizados abaixo das cavidades (Figura 2.4).



Figura 2.4 - Ocorrências de *piping*: (a) Associado à infiltração concentrada a montante em Anápolis-GO; (b) Em talude de voçoroca em Goiânia, GO (Santos, 1997).

Além disso, o prognóstico do potencial de surgimento de *piping* pode ser feito por meio do ensaio de laboratório denominado de *Pinhole Test*, também conhecido como ensaio do furo de agulha. Esse ensaio, segundo a proposta original, se presta a determinar direta e qualitativamente a dispersividade de solos argilosos, fornecendo a diferenciação básica entre argilas altamente dispersivas e não dispersivas. O *Pinhole Test*, proposto por Sherard *et al.* (1976), está no Brasil normatizado pela NBR 14114 (ABNT, 1998). Nesse ensaio, a dispersividade é avaliada qualitativamente a partir de um fluxo de água destilada através de um pequeno furo feito axialmente no corpo-de-prova, com imposição de diferença de carga hidráulica entre a entrada e a saída. A resistência à erosão é estimada pelo diâmetro final do furo, pela coloração da água que sai e pela vazão de percolação.

Santos (1997), no entanto, introduziu modificações nesse procedimento de modo a avaliar complementarmente o potencial de esqueletização do solo. Em sua proposta, ele realiza o ensaio aplicando estágios de cargas hidráulicas que aumentam gradativamente o gradiente hidráulico até atingir o gradiente máximo previsto para o campo. Em seguida, a proposta prevê a redução gradativa da carga hidráulica até atingir as condições iniciais de gradiente hidráulico nulo. Seguindo esse procedimento, Santos (1997) verificou que o ensaio de *Pinhole* também pode ser usado na previsão de processos erosivos de esqueletização (erosão mecânica) e não apenas na de erosão por dispersão, conforme a proposta original de Sherard *et al.* (1976). Santos (1997) observou que, para solos erodíveis, mas não dispersivos, a curva de retorno, ou seja, aquela relativa à diminuição dos valores de gradiente hidráulico até atingir gradiente nulo, apresenta uma trajetória bastante diferente daquela apresentada pela curva inicial gerada pelo aumento gradiente hidráulico. Evidencia-se, assim, de forma bastante clara, a ocorrência do processo erosivo por esqueletização.

Santos (1997) destaca ainda, que, no caso de ocorrência de erosão interna por dispersão, ocorre uma inflexão marcante no gráfico que fica com concavidade voltada para cima devido ao aumento da área do furo (Figura 2.5 - curva BP-6). Essa mesma curva, ao mostrar a linha de descarga totalmente distinta da carga, indica que o solo também sofreu processo de esqueletização. A amostra BP6 em discussão foi coletada em um talude com evidências de *piping*. Em relação aos solos não erodíveis, observam-se pequenas diferenças entre a curva inicial e a curva de retorno e não ocorre a inflexão oriunda de aumento excessivo da vazão com crescimento do gradiente hidráulico, conforme mostra a Figura 2.5 (curva BP-5).

Camapum de Carvalho *et al.* (1987) apontam que a dispersão do solo pode ser influenciada

pelo tipo de líquido percolante. Líquidos percolantes com pH ácido são capazes de agir sobre o óxido de ferro, material que atua como cimento nos solos lateríticos, tornando o solo com comportamento dispersivo.

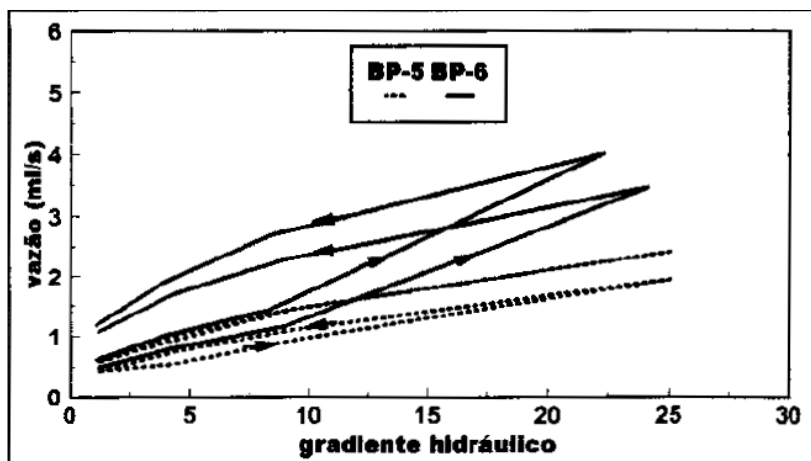


Figura 2.5 - Resultados de ensaios de Pinhole (Santos, 1997).

Buscando contribuir para o entendimento dos mecanismos de alteração do solo submetido ao fluxo em meio não saturado, Nogueira (2005) analisou, a partir de blocos de amostras indeformadas e da utilização de um modelo físico de laboratório, a alteração das propriedades e do comportamento do solo ao ser submetido a fluxo capilar de três tipos de fluido: água, solução de NaCl e solução de cal hidratada. Os resultados obtidos por Nogueira (2005), mostram alterações físico-químicas e de comportamento mecânico do solo mediante à redução do teor de areia e aumento no teor de silte aproximadamente nas mesmas quantidades para os três fluidos utilizados, mantendo o teor de argila constante. Isso aponta para a possibilidade de parte dos cimentos serem solúveis e estarem migrando da base para o topo.

Para determinar o potencial de erosão superficial, Fácio (1991), pesquisando sobre a erodibilidade dos solos da região do Distrito Federal, utilizou um equipamento baseado na proposta de Inderbitzen (1961). O aparelho foi especialmente projetado e construído para tal intento e permite a realização de três ensaios simultâneos. Foram determinados valores ideais de trabalho com relação a vazão, declividade da rampa e tempo de ensaio, que possibilitaram a sua normalização para os solos estudados. Os valores são: vazão igual a 50 ml/s, declividade da rampa igual a 10° e tempo de duração do ensaio igual a 20 minutos.

Após a realização dos ensaios normalizados, foram estudadas algumas tendências de comportamento da erodibilidade dos solos. Os resultados obtidos permitiram verificar as seguintes tendências de comportamento: a perda de solo aumenta quando o grau de saturação diminui, com o aumento da vazão e com o aumento da declividade da rampa; a perda de solo

mais significativa ocorre nos primeiros 5 minutos de ensaio. Fácio (1991) concluiu também que o estabelecimento de correlações só seria possível em análises estatísticas multiparamétricas.

Santos (1997) observou que ensaios de Inderbitzen realizados nos horizontes superiores mostram que estes possuem suscetibilidades semelhantes à atuação dos processos erosivos por fluxo superficial. Já nos horizontes inferiores, menos intemperizados, a diferença é bastante acentuada. Segundo esse autor, as modificações que ele adotou no aparelho construído por Fácio (1991), com a redução da largura da rampa e a redução proporcional da vazão, asseguram um fluxo d'água sobre a amostra, constante e homogêneo ao longo do ensaio, permitindo a obtenção de resultados mais precisos.

Comparando os resultados obtidos por Lima (1999) para Manaus, Santos (1997) para Goiânia e Fácio (1991) para o Distrito Federal, verifica-se que, embora a origem, os tipos de solos, a litologia e a formas de evolução das erosões sejam bem distintos, para os casos de Manaus e Goiânia, os valores de perda de solo são semelhantes. Por outro lado, os valores de perdas de solo do Distrito Federal foram muito superiores aos dois casos anteriores (Tabela 2.1).

Tabela 2.1 - Perda de solo determinada pelo ensaio de Inderbitzen.

REGIÃO	EROSÕES	Prof. (m)	Areia (%)	Argila (%)	Ip (%)	Perda de solo (g/mm ² × 10 ⁻³)
MANAUS (Lima, 1999)	Distrito	1,0	38,5	26,0	21,4	0,50
		3,0	61,0	28,0	16,2	0,60
		5,0	49,5	36,0	12,2	0,23
		7,0	60,0	33,5	9,9	0,90
		8,5	55,0	32,0	4,2	0,10
		3,3	31,8	36,0	10,0	0,05
		0,4	38,4	43,0	15,0	0,40
GOIÂNIA (Santos, 1997)	VC – 5	9,0	55,8	7,0	8,0	1,70
	VP – 1	0,4	49,3	35,3	7,0	0,20
	VP – 5	12,0	61,1	8,5	NP	0,84
	BP – 1	0,4	58,6	32,0	13,0	0,20
DISTRITO FEDERAL (Fácio, 1991)	Ceilândia 1	19,0	20,0	12,0	NP	7,00
	Ceilândia 2	2,5	64,0	16,0	NP	1,00
	Taguatinga 1	9,0	62,0	14,0	NP	2,70
	Taguatinga 2	2,5	46,0	27,0	NP	4,20
	Sobradinho 1	3,0	37,0	52,0	5,4	7,00
	Sobradinho 2	3,0	14,0	67,0	10,2	6,00
	Gama 1	14,0	10,0	14,0	NP	4,00
	Gama 2	2,5	6,0	4,0	NP	5,00
	Samambaia	3,0	76,0	20,0	NP	11,50

2.3.5 Cobertura Vegetal

A vegetação é a cobertura natural do solo, que dificulta a ação erosiva da água. Segundo Salomão & Iwasa (1995), ela é responsável por: proteger o solo do impacto direto das gotas

de chuva; dispersar a energia do deflúvio; aumentar a infiltração através dos poros produzidos pelo sistema radicular, e aumentar a capacidade de retenção de água. Silva *et al.* (2003) apontam o papel importante da serapilheira como barreira ao fluxo superficial impedindo a formação de linhas de escoamento.

Na Tabela 2.2 é possível notar a importância da cobertura vegetal, pois, em áreas vegetadas, o escoamento superficial tende a ser inferior a 50%. Já se a área estiver impermeabilizada, a porcentagem de infiltração é inferior a 5%, o restante escoando superficialmente e agindo no processo erosivo.

Tabela 2.2 - Coeficientes de escoamento superficial segundo os tipos de cobertura do terreno (Villela & Mattos (1975 *apud* Jorge & Uehara, 1998 - adaptado).

Características da bacia	Coeficiente de escoamento
Superfícies impermeáveis	90-95%
Florestas e matas de árvores de folhagem em terrenos com declividades variadas	5-50%

Lepsch (2002) aponta que os solos com culturas anuais, como milho, algodão e soja, estão muito mais expostos à erosão do que os cultivados com plantas perenes, como a seringueira, a laranjeira e o cafeeiro, ou plantas semi perenes, como a cana-de-açúcar. Todas essas características do meio físico influenciam a erosão potencializada mediante as variadas formas de uso e cobertura do solo, conforme será detalhado no tópico seguinte.

2.3.6 Uso do Solo

Na literatura concernente à erosão, os autores são unânimes em apontar a ocupação humana como um fator decisivo na aceleração dos processos erosivos. Segundo Drew (1994), o mais negativo dos efeitos do homem sobre o solo consiste em criar condições para que se dê a erosão parcial ou total.

Tanto as formas de ocupação urbana, como as formas de ocupação rural do solo promovem o desmatamento para implementarem suas respectivas ações e infraestrutura. Logo, o desmatamento seria uma das primeiras formas de atuação humana que impactam o meio ambiente, resultando na perda da proteção natural do terreno, como exposto no item anterior.

Na falta da cobertura vegetal, é necessário que se implemente, tanto nas áreas rurais como nas urbanas, infraestrutura adequada para evitar o fluxo concentrado do deflúvio. No caso das áreas rurais, recomendam-se terraceamentos, camalhões, plantio em curvas de nível, instalação de bebedouros para animais nas áreas mais planas, evitando que estes criem trilhas vertente abaixo até os cursos d'água. Em áreas urbanas, a primeira recomendação que se faz é

a de que a ocupação do solo se dê de modo progressivo e acompanhado da implantação de infraestrutura, evitando-se a ocupação esparsa e os desmatamentos e arruamentos inoportunos. Recomenda-se, ainda, evitar os sistemas de arruamento com ruas muito longas perpendiculares às curvas de nível, ocupação de cabeceiras de drenagem, fundos de vale e áreas muito inclinadas. Também é extremamente importante o disciplinamento das águas superficiais com instalação de sarjetas, bocas de lobo, galerias condutoras e equipamentos dissipadores da energia do escoamento.

No entanto, como essas recomendações não são geralmente observadas, principalmente em meios urbanos, mesmo terrenos pouco suscetíveis à erosão, ao serem ocupados de maneira inadequada, passam a apresentar incisões erosivas de forma intensa e acelerada (Almeida Filho & Ridente Júnior, 2001). Segundo Iwasa & Fendrich (1998), a maioria dos municípios brasileiros é afetada por erosões lineares, causadas principalmente pela concentração de águas do escoamento superficial. Lima (1999) identificou que, em Manaus, a gênese dos processos erosivos está diretamente ligada à concentração excessiva de águas superficiais.

Observa-se, portanto, que o grande detonador da erosão urbana é o escoamento superficial concentrado sobre áreas impermeabilizadas, com sistema de drenagem ineficiente ou inexistente. O lançamento de águas em locais inadequados, como a meia vertente, ou em cabeceiras de drenagem também são grandes causadoras de erosão (Figura 2.6).



Figura 2.6 - Sistemas inadequados de drenagem de águas pluviais em Anápolis-GO: (a) Rua desprovida de sistema de microdrenagem; (b) Lançamento irregular de águas pluviais em cabeceira de drenagem.

Camapum de Carvalho *et al.* (2006) destacam que, em obras de engenharia como barragens, linhas de transmissão e rodovias, o lançamento inapropriado de águas e o abandono de áreas de empréstimo exploradas sem os cuidados técnicos adequados também podem estar relacionados à gênese de processos erosivos.

Capítulo 3 - Metodologia

“O que aprende a aprender é o método. Eu não trago o método nem parto à procura do método. Não parto com o método, parto com a recusa, plenamente consciente, da simplificação”

(Edgar Morim)

Do ponto de vista operacional esta pesquisa está dividida em três etapas de trabalho: análise cartográfica, trabalho de campo e ensaios de laboratório. Conforme apresentado na Figura 3.1, essas etapas não foram desenvolvidas de modo sequencial uma vez que a finalização da análise cartográfica depende dos resultados das etapas posteriores assim como a definição das áreas de estudo em laboratório foram em parte realizadas em função das análises cartográficas iniciais.

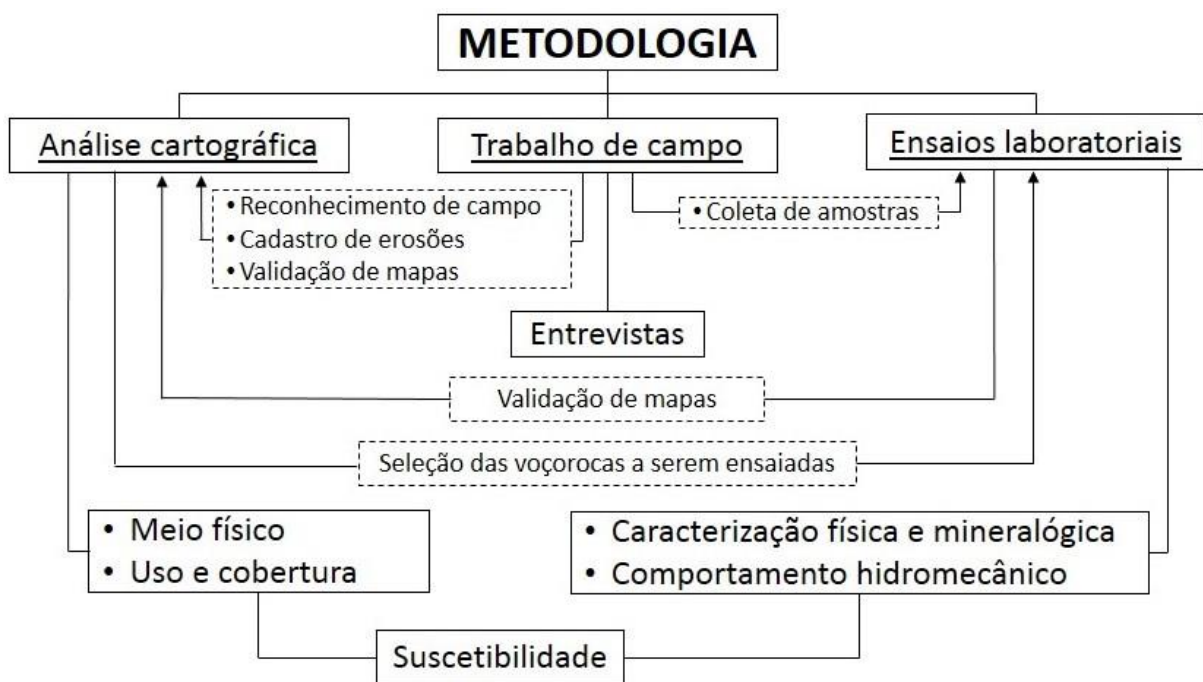


Figura 3.1 - Representação esquemática das etapas metodológicas da pesquisa.

3.1 ANÁLISE CARTOGRÁFICA

A etapa de análise cartográfica se faz necessária para diagnosticar o meio físico e as formas de uso e cobertura do solo. Quando se trabalha com áreas urbanas o ideal é utilizar escalas de detalhe, todavia no Brasil são raras as cidades que possuem um levantamento do meio físico em escala detalhada. Anápolis é uma dessas cidades carente de mapas com detalhe pertinente ao planejamento urbano. Logo, a escala do mapeamento dessa área varia de acordo com a

escala das fontes cartográficas disponíveis, conforme será explicado nos itens seguintes.

O modelo numérico do terreno elaborado para a área de estudo trata-se de um mosaico de curvas de nível com equidistância de 1m para a área urbana e com curvas de nível com equidistância de 7 m para a área periurbana. Logo, a base cartográfica e todos os seus subprodutos possui uma escala geral de 1/20.000.

A base topográfica referente à área urbana foi cedida pela Prefeitura Municipal de Anápolis e elaborada pela Topocart com base num aerolevanteamento feito em 2008. Já a base topográfica da área periurbana foi extraída do modelo numérico GDEM (*Global Digital Elevation Map*) produzidos pelo satélite Terra e pelo sensor Aster (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*) e obtido gratuitamente do site ASTER (2010). Essas curvas de nível juntamente com o detalhe das imagens de satélite de alta resolução espacial ajudaram na vetorização da rede de drenagem e estão apresentadas no Apêndice A (Figura A.3).

Boa parte deste trabalho cartográfico foi gerada com o auxílio do programa computacional Spring desenvolvido por Câmara *et al.* (1996) e cedido gratuitamente pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). A versão utilizada para produzir os mapas do meio físico foi a 4.3.3 e para confecção dos mapas de uso e cobertura do solo utilizou-se a versão 5.2.2. Salienta-se que existe possibilidade de interfaces com outros programas computacionais pertinentes, conforme apareceram as demandas para isso ao longo da pesquisa. Para alguns produtos cartográficos específicos, tais como o mapa de curvatura e também para o georreferenciamento de imagens utilizou-se o programa computacional ArcGis9.3 desenvolvido por Mccoy & Johnston (2002) e em alguns casos para a manipulação de algumas imagens foi utilizado o Envi 4.5.

3.1.1 Diagnóstico do Meio Físico

O diagnóstico do meio físico envolve uma abordagem ampla de elementos distintos, os quais requerem metodologias específicas de análise. O modelo digital do terreno, apresentado no item 3.1, permitiu o processamento de informações morfométrica e morfológica gerando os seguintes subprodutos: modelo de sombras, mapa hipsométrico, mapa de diversidade altimétrica, mapa de declividade, mapa de orientação das vertentes, mapa de curvatura, mapa de distância de drenagem e mapa de bacias hidrográficas (Figura 3.2).

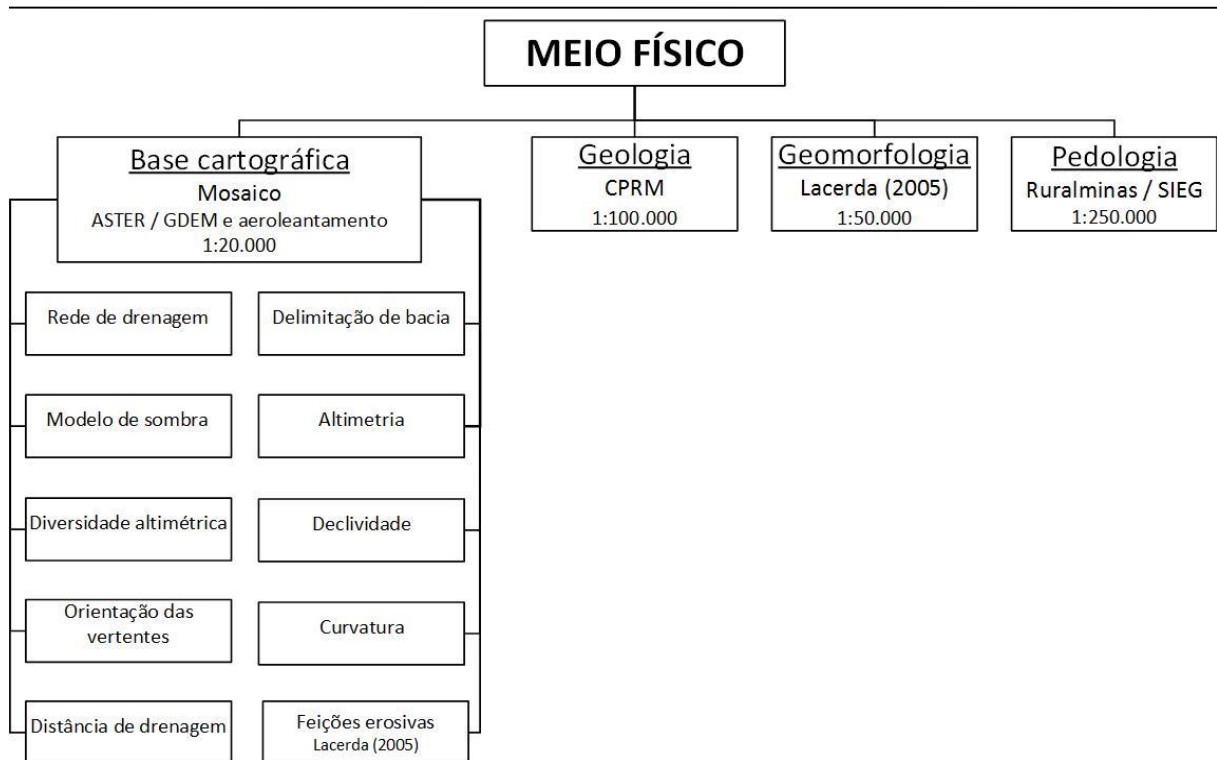


Figura 3.2 - Produtos cartográficos do diagnóstico do meio físico.

3.1.1.1 Geologia

A elaboração do mapa geológico foi feita a partir da compilação do mapa geológico da CPRM produzido por Radaelli (1994) e Araújo (1994) em escala 1/100.000. Esse mapa está apresentado nesse trabalho na base topográfica detalhada anteriormente. Informações adicionais obtidas em campo foram mencionadas e devidamente discutidas no texto.

Para a realização dessa compilação foi necessário transformar os mapas impressos (Folha Anápolis - SE. 22-X-B e Folha Nerópolis - SE. 22-X-I) em arquivos digitais. Esses arquivos foram importados para o banco de dados por meio do Impima. Em seguida, foram georeferenciados com subsídio da base topográfica e utilização das ferramentas de registro de imagem do Spring, onde foram mosaicadas e recortadas para o polígono estudado.

3.1.1.2 Geomorfologia

O mapa geomorfológico resultou de uma compilação do mapa elaborado por Lacerda (2005) na escala 1/50.000. As técnicas de compilação seguiram os mesmos procedimentos adotados para o mapa geológico com exceção da transformação do arquivo para uma versão digital, pois esse mapa já estava disponível nesse formato. A metodologia utilizada para o mapeamento baseou-se fundamentalmente em identificação e delimitação dos

compartimentos do relevo por fotointerpretação de fotos aéreas da USAF (1964;1965) somadas a análise de padrão e densidade de drenagem, declividades, hipsometrias, formações superficiais, substrato geológico e alguns trabalhos de campo classificados pelo autor como assistemáticos. Nesse mapeamento o autor adotou a taxonomia de Ross (2000) e Demek (1967 *apud* Ross 2000), classificando os compartimentos em Modelados, tendo sido distinguidos os Modelados de Aplanamento, de Dissecação e de Acumulação.

Enfatiza-se que o autor destacou como principal objetivo do mapeamento avançar no conhecimento dos condicionantes naturais da erosão acelerada na cidade de Anápolis. Observa-se, portanto, que tal objetivo converge para as intenções apresentadas nessa tese quanto a avaliação de processos erosivos lineares.

No Modelado de Aplanamento foram cartografados Topos Planos, Rampas de 1ª Geração e Rampas de 2ª Geração. No Modelado de Dissecação foram cartografados Baixas Vertentes, Morros e Cristas. Por fim, no Modelado de Acumulação foram cartografadas, Planícies e Terraços Fluviais.

3.1.1.3 Aspectos Morfométricos e Morfológicos

Os aspectos morfométricos e morfológicos do relevo são subprodutos processados a partir da base topográfica detalhada, no intuito de refinar o entendimento da geomorfologia local, sendo considerados aqui os seguintes subprodutos: modelo de sombra, hipsometria, diversidade altimétrica, declividade, orientação das vertentes, curvatura das vertentes, distancia de drenagem e localização de feições erosivas. O modo de elaboração desses elementos estão descritos na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Modo de elaboração dos subprodutos da base cartográfica.

Subproduto	Modo de Elaboração
Modelo de sombra	Ferramenta de geração de imagem do MNT no Spring.
Hipsometria	Ferramentas de fatiamento do MNT no Spring.
Diversidade altimétrica	Ferramenta de análise espacial do ArcGis, onde se levou em consideração a amplitude e o comprimento de rampa.
Declividade	Ferramentas de MNT para geração de grade triangular no Spring com uso da drenagem como linha de quebra.
Orientação	Ferramenta de MNT para saída de declividade na forma de exposição
Curvatura	Ferramenta do ArcGis/ArcToolBox de análise espacial da superfície denominada curvatura.
Distância de Drenagem	Ferramenta de mapa de distância de drenagem do Spring
Feições erosivas	Foram plotadas na base cartográfica por meio de compilação do mapa de Lacerda (2005).

O modelo de sombra permite uma visão em três dimensões do relevo da área, sendo que quanto mais detalhada for a informação topográfica melhor o modelo traduzirá a realidade das formas. No modelo gerado a área urbana ficou com uma riqueza de detalhes maior, pois a informação topográfica é oriunda do aerolevantamento. Já na área periurbana a nitidez dos detalhes sofre um comprometimento pois a informação topográfica é advinda do modelo ASTER/GDEM com maior equidistância.

A hipsometria é um importante atributo morfométrico do relevo que expressa a representação altimétrica da superfície terrestre, demonstrando a variação das altitudes, ou seja, da altura do relevo numa determinada área relativamente ao nível do mar. A distribuição altimétrica pode ser verificada em cartas topográficas. Optando-se por apresentar um fatiamento detalhado que refletiu em intervalos de compartimentos altimétricos de 10 em 10 m, onde o compartimento mais alto varia de 1155 a 1165 m e o compartimento mais baixo varia de 855 – 865 m.

O mapa de diversidade altimétrica revela onde se concentra as maiores variações de altimetria, permitindo inferências quanto o aumento da declividade associada a desníveis. Foram cartografadas na área de estudo as seguintes classes de diversidade altimétrica: baixa, média baixa, média, média alta, alta.

A declividade é determinada pela distância e a altura entre o ponto mais baixo e o mais alto do terreno, em outras palavras, entre o comprimento de vertente e a amplitude, sendo usualmente expressa em porcentagem. No intuito de fazer com que esse atributo morfométrico fosse útil na interpretação do relevo, primou-se pelo detalhe, estabelecendo-se a seguinte divisão das classes de declividade: 0-2%, 2-5%, 5-10%, 10-15%, 15-20%, 20 a 30%, 30 a 45% e >45%.

O mapa de orientação das vertentes também conhecido como mapa de exposição indica a orientação das vertentes permitindo inferir sobre a influência da incidência solar sobre o relevo. Foram cartografadas as seguintes orientações: N (Norte), NE (Nordeste), L (Leste), SE (Sudeste), S (Sul), SW (Sudoeste), W (Oeste), NW (Noroeste).

No que se refere a curvatura, destaca-se que as mesmas podem ter formas: retilínea, côncava e convexa. Vertentes retilíneas possuem ângulos de declividade aproximadamente constantes; vertentes côncavas apresentam curvatura negativa e vertentes convexas possuem curvatura positiva. Essa morfologia pode ser analisada em perfil e/ou em planta.

Troeh (1965, *apud* Casseti, 2005) apresenta uma classificação que considera não só as formas

em perfil, mas também as formas em planta (Figura 3.3), onde se distingue: vertentes com curvas de nível côncavas e perfil côncavo (tipo I); vertentes com curvas de nível côncavas e perfil convexo (tipo II); vertentes com curvas de nível convexas e perfil convexo (tipo III); e vertentes com curvas de nível convexas e perfil côncavo (tipo IV).

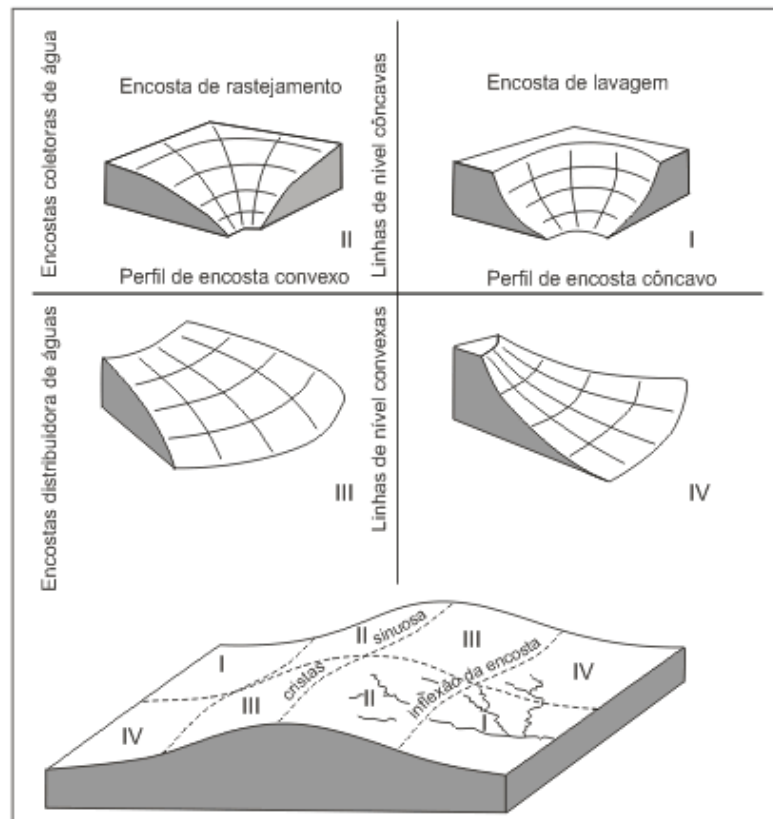


Figura 3.3 - Classificação de vertentes segundo a forma em perfil e em mapa segundo Troeh, (1965 *apud* Casseti, 2005).

O mapa de curvatura espacializa essa morfologia, sendo que foram confeccionados mapas para curvatura em planta e em perfil, mas neste trabalho será apresentado, apenas o mapa de interseção dessas curvaturas, abordando, portanto, essa classificação conjunta da morfologia. Sendo assim, foram cartografados os seguintes compartimentos morfológicos, considerando a interseção de curvatura plana/perfil: Côncavo-Côncavo, Côncavo-Retilíneo, Côncavo-convexo, Convexo-Côncavo, Convexo-Convexo, Convexo-Retilíneo, Retilíneo-Retilíneo, Retilíneo-Côncavo, Retilíneo-Convexo.

O mapa de Distância de Drenagem com o fatiamento das classes de distância resultou nas seguintes classes: 0 a 50 m, 50 a 100 m, 100 a 200 m, 200 a 500 m, 500 a 1000 m e >1000m. Esse mapa permite observar a proximidade da ocupação urbana das drenagens, bem como fazer verificações associativas com outros mapas, por exemplo de faixas muito declivosas ou de baixo declive próximo as drenagens.

3.1.1.4 *Pedologia*

O mapa pedológico compreende uma compilação do mapa de solos 1:250.000 elaborado para o plano diretor da bacia do Rio Paranaíba (SIEG, 2005) pela UFV – Ruralminas e disponibilizado pelo Sistema de Informação Geográfica do SIEG (Sistema Estadual de Estatística e de Informações Geográficas de Goiás).

3.1.1.5 *Suscetibilidade a erosão*

No que se refere a suscetibilidade à erosão linear foram feitas análises interativas entre os subprodutos cartográficos e os resultados laboratoriais levando em consideração a metodologia de análise da fragilidade ambiental de Ross (1994) e a metodologia de previsão de erosão linear do DAEE/IPT (1989 *apud* Salomão, 2005). Essas análises foram feitas no entorno de 7 voçorocas selecionadas conforme o item 3.2.1. Desse modo, foi elaborada uma tabela comparativa de parâmetros do meio físico, uso do solo e características geotécnicas dos solos para o entorno das voçorocas selecionadas atribuindo-lhes um grau de suscetibilidade conforme é possível verificar no Capítulo 7.

3.1.1.6 *Cenários de suscetibilidade à inundação e alagamento*

Esses cenários de suscetibilidade à inundação e alagamento foram elaborados por Pedro Henrique Lopez Batista que atuou como aluno de iniciação científica para dar suporte ao desenvolvimento da presente tese de doutorado vinculada ao Projeto Pronex financiado pela FAP-DF/CNPq, intitulado Estruturas de infiltração da água da chuva como meio de prevenção de inundações e erosões e integrado pelo Programa de Pós-Graduação em Geotecnia da Universidade de Brasília e pelo Programa de Pós-Graduação em Geotecnia e Construção Civil da Universidade Federal de Goiás sob a coordenação do primeiro. Nos estudos realizados no âmbito dessa iniciação científica se somaram na parceria a participação dos professores Marianna Jacomini de Amorim Mendes (então vinculada a Universidade Católica de Brasília) e do professor Newton Moreira de Souza (vinculado ao Programa de Pós-Graduação em Geotecnia da UnB) que juntamente com a autora dessa tese orientaram teórica e metodologicamente o então aluno bolsista na operacionalização de alguns procedimentos cartográficos. Os cenários de suscetibilidade à inundação e alagamento resultaram no trabalho final de curso do aluno e outras publicações conjuntas foram produzidas (Batista *et al.* 2012, Batista *et al.* 2013).

A metodologia utilizada para construção do modelo e cenários de inundação baseou-se em operações algébricas entre classes de mapas morfométricos do meio físico, mapas hidrológicos e mapa de uso e cobertura do solo, onde os mapas morfométricos, correspondem a hipsometria e declividade; os mapas hidrológicos se referem a área de fluxo acumulado e a distância de drenagem (mapa de distâncias ou *buffer*). Por fim o mapeamento do uso e cobertura do solo do ano de 2010 forneceu estimativa de áreas impermeabilizadas. Neste contexto, o potencial de inundação pode ser definido pela Eq. 3.1 (Batista, 2011; Batista *et al.* 2012).

$$\text{Inundação} = f(\text{declividade}, \text{hipsometria}, \text{fluxo acumulado}, \text{distância de drenagem}, \text{uso e cobertura}) \quad (3.1)$$

Por meio da Eq. 3.1, Batista (2011) gerou 6 cenários distintos, variando o grau de importância de cada um dos atributos conforme demonstrado na Tabela 3.2, onde *FDD* corresponde ao mapa de distância de drenagem pela área de fluxo acumulado; *D* diz respeito ao mapa de declividade; e *U* se refere ao mapa de uso e cobertura do solo.

Tabela 3.2 - Diferentes graus de importância adotados nos diferentes cenários.

Importância	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 5	Cenário 6
Alta	$V_1. FDD$	$V_1. D$	$V_1. U$	$V_1. U$	$V_1. D$	$V_1. FDD$
	$V_2. D$	$V_2. FDD$	$V_2. FDD$	$V_2. D$	$V_2. U$	$V_2. U$
Baixa	$V_3. U$	$V_3. U$	$V_3. D$	$V_3. FDD$	$V_3. FDD$	$V_3. D$

3.1.2 Diagnóstico do uso e cobertura do solo

Uso do solo, ou uso da terra são os termos mais utilizados para designar as formas de ocupação humana na superfície terrestre. De acordo com Carlos (2001) Para suprir as necessidades de existência, produzindo, consumindo, habitando, enfim vivendo, o homem faz apropriações e usos do solo. Todavia, nem sempre são avaliadas as consequências, para a própria existência humana, dos diversos tipos de uso do solo.

Nessa pesquisa foram elaborados mapas de uso e cobertura do solo com base em imagens de 6 anos diferentes de modo a traçar um cenário da evolução do uso e cobertura do solo na área urbana e periurbana de Anápolis de 1965 a 2010. Esses mapas permitiram verificar a evolução do uso do solo, admitindo inferências quanto ao aparecimento de processos erosivos e quanto aos níveis de impermeabilização da área por edificações. Foram obtidas por meio do arquivo da Prefeitura Municipal de Anápolis as seguintes imagens: fotos aéreas de (USAF,1965), aerolevantamentos da Prefeitura em 1977 e 1989, imagem Ikonos (2001), imagem Quik Bird

(mosaico de 2008/2007) e Geo Eye (2010). O detalhamento da resolução espacial e escala de obtenção e apresentação dessas imagens se encontra na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 - Especificações das imagens utilizadas no mapeamento de uso e cobertura do solo.

Imagem de Satélite	Ano da imagem	Resolução Espacial	Escala de obtenção/ produção/ visualização	Modo de obtenção
USAF	1965	6 m	1:60.000	Aerolevantamento
Terrafoto S.A.	1977	4,5 m	1:8.000	Aerolevantamento
Fotomosaico	1989	4 m	1:9.000 a 1:15.000	Aerolevantamento
Ikonos	2001	1 m	1:2.000	Imageamento orbital
Quickbird	2008/2007	0,6 m	1:1.200	Imageamento orbital
GeoEye	2010	0,5 m	1:1.000	Imageamento orbital

As fotos aéreas verticais em preto e branco do ano de 1965 (Apêndice A, Figura A.4), referentes ao mês de julho, foram tomadas através de um sobrevôo da USAF (*United States Air Force*) na escala de 1:60.000, formando um mosaico das imagens de nº. 47.365, 47.366 e 47.367. As imagens digitais possuem 6 m de resolução dos *pixels* e 16 bits de resolução radiométrica. As fotografias aéreas de 1977 (Apêndice A, Figura A.5) foram obtidas em preto e branco, na escala 1:8.000 por aerolevantamento realizado pela empresa Terrafoto S.A. Estão em formato digital com *pixels* na resolução de 4,5 m, realizadas em um aerolevantamento. O fotomosaico do ano de 1989 (Apêndice A, Figura A.6) é resultante de um sobrevoo da cidade de Anápolis no mês de julho, para a escala que varia de 1:9.000 a 1:15.000, que foi digitalizado com *pixels* na resolução de cerca de 4 m e 8 bits. As imagens de 2001, 2008/2007 e 2010 (Apêndice A, Figura A.7, A.8 e A.9), são de alta resolução espacial e foram obtidas respectivamente pelos satélites Ikonos, QuickBird e GeoEye cujos parâmetros estão descritos na Tabela 3.4. Destaca-se que essas imagens repassadas pela Prefeitura de Anápolis não vieram acompanhadas da banda infravermelho próximo.

Para elaboração desses mapas foi construído um banco de dados no programa Spring 5.2.2 para armazenamento de todas as imagens necessárias ao mapeamento e também com a base cartográfica usada para a construção dos mapas do meio físico. Para a fotointerpretação das imagens aéreas foi utilizada a ferramenta de desenho e correção de dados vetoriais *Editor* do programa ArcGIS 9.3 da Environmental Systems Research Institute (ESRI).

Os mapas de uso e cobertura foram elaborados por meio de técnicas de fotointerpretação e de análise digital quantitativa de classificação, especificamente a classificação supervisionada utilizada foi a da máxima verossimilhança (*MaxVer*) gaussiana. Foi utilizado também um

algoritmo que observa as informações contextuais da classificação, dependendo do valor atribuído aos *pixels* vizinhos, em uma reclassificação, chamado de *MaxVer-ICM (Iterated Conditional Modes)*. A reamostragem utilizada, para todos os processos do presente trabalho (importação de imagem, degradação, mosaicos, etc), foi a do vizinho mais próximo. As ferramentas de análise quantitativa utilizadas foram do *software Spring*.

Tabela 3.4 - Especificações dos satélites de obtenção das imagens de alta resolução espacial.

Parâmetros	GeoEye	QuickBird	Ikonos
Resolução espacial	0,46 m (sensor pancromático) 1,84 m (sensor multiespectral)	0,46 m (sensor pancromático) 1,84 m (sensor multiespectral)	0,82 m (sensor pancromático) 3,2 m (sensor multiespectral)
Resolução espectral	450 a 900 nm (pancromática) 450 a 520 nm (azul) 520 a 600 nm (verde) 630 a 690 nm (vermelho) 760 a 900 nm (infravermelho próximo-1)	450 a 900 nm (pancromática) 450 a 520 nm (azul) 520 a 600 nm (verde) 630 a 690 nm (vermelho) 760 a 900 nm (infravermelho próximo-1)	526 a 929 nm (pancromático) 445 a 516 nm (azul) 506 a 595 nm (verde) 632 a 698 nm (vermelho) 757 a 853 nm (infravermelho próximo-1)
Resolução temporal	Entre 1 a 4 dias	Entre 1 a 4 dias	Entre 1,5 a 3 dias
Resolução radiométrica	11 bits por pixel	11 bits por pixel	11 bits por pixel
Altitude orbital	450 km	450 km	680 km
Faixa de imageamento	16,5 km	16,5 km	11,3 km
Visada lateral	Acima de 25° e quando solicitado acima de 45°	Acima de 25° e quando solicitado acima de 45°	Acima de 60°
Órbita	Heliossíncrona	Heliossíncrona	Heliossíncrona

Quanto a fotointerpretação, para todos os mapas, foi fixado uma escala de 1:10.000 e vetorizadas as principais áreas de mapeamento, visando separar principalmente aquelas com feições estritamente urbanas daquelas em condições rurais ou naturais, por meio da ferramenta *Editor* do ArcGIS. A fotointerpretação resultou em polígonos de contorno das feições desejadas, que depois foram exportados para o Spring, submetendo as imagens a recortes, sendo que cada pedaço recortado era classificado quantitativamente pelo método da máxima verossimilhança. Esse procedimento foi necessário para evitar a contaminação dos alvos espectrais e confusão na classificação supervisionada, melhorando os resultados.

Outro passo importante foi a reamostragem (degradação da imagem) e filtração das imagens orbitais, principalmente para a redução no custo computacional das operações de classificação digital e mistura dos alvos espectrais, reduzindo a possibilidade de confusão entre os alvos na fase de classificação, respectivamente. No entanto, a reamostragem para 5m e os filtros passa-baixa 7x7, com duas interações foram aplicados somente nos mapas de uso e cobertura do solo dos anos de 2010, 2008/2007 e 2001.

Para auxiliar na fotointerpretação das feições e amostragem de feições para a classificação supervisionada, apenas para as imagens do ano de 2010 (GeoEye), 2008/2007 (Quickbird) e 2001 (Ikonos), foram adotadas técnicas de realce da imagem de transformação pelas Componentes Principais (*Principal Component Transform*) e transformação *IHS* (*intensity, hue e saturation*).

Por sua vez, os mapas dos anos de 1989, 1977 e 1965 passaram apenas pela fotointerpretação, recorte das feições desejadas e pela classificação digital, sem a necessidade de reamostragem ou filtros, devido os *pixels* dessas imagens serem de menor resolução espacial em comparação com os outros mapas

Após a obtenção dos mapas de uso e cobertura do solo, todos eles foram reinterpretados e corrigidos, tendo por objetivo à remoção dos excessos e imprecisões derivadas da classificação supervisionada, por meio da ferramenta “Edição Matricial” do Spring. Esse procedimento de inspeção visual foi repetido diversas vezes, tanto quanto necessário para eliminar confusões de interpretação do programa computacional. Salienta-se a importância de mapeamentos anteriores para fragmentos dessa área (Brito, 2007; Ferreira, 2006; Jesus, 2007; Souto & Lacerda, 2004; Souza *et al.*, 2004; Souza & Teixeira, 2003; Teixeira *et al.*, 2005; Teixeira & Romão, 2009; Guimarães & Lacerda, 2005) bem como, trabalhos de campo que deram suporte ao reconhecimento das feições e classes a serem mapeadas.

As classes de mapeamento foram definidas com base nos trabalhos do IBGE (2006), IBGE (1992), Almeida Filho & Almeida (2001), Almeida & Freitas (1996), Jesus (2007), Ribeiro & Walter (1998), Batista (2011) e Batista *et al.* (2012) e são apresentadas na Tabela 3.5.

Tabela 3.5 - Classes de uso e cobertura do solo.

Classe	Definição
Área Urbana Consolidada	Área densamente ocupada por edificações, pavimentação.
Área Urbana em Consolidação	Área urbana em expansão, com densidade de ocupação de média a alta com alguns vazios urbanos.

Classe	Definição
Área Urbana Parcelada	Área urbana com ocupação de média a baixa densidade, por vezes marcada somente por um loteamento com sistema de arruamento e edificações esparsas.
Área Urbana Parcelada com Vegetação Antropizada	Área urbana com vegetação antropizada, de predominância herbácea e arbustiva, encravada na área urbana.
Área Urbana Industrial	Compreende uma área onde o parcelamento é destinado para fábricas, e indústrias de portes variados.
Área Urbana Industrial Parcelada	Área destinada atividades industriais sem efetiva ocupação
Cultivo Temporário e Perene	São plantações e cultivos anuais ou cíclicos (sofrem mudanças sazonais) e permanentes ou de longo ciclo (permite sucessivas fases de colheita).
Pastagem	Área de vegetação rasteira natural, cultivada ou antropizada.
Formação Florestal	Formações arbóreas em estágio evoluído de sucessão ecológica
Formação Savânica (Cerrado)	Formação de estrato gramíneo, com dossel descontínuo de árvores e arbustos espalhados.
Solo Exposto	Parcelas da superfície desprovidas de vegetação, podendo corresponder a áreas de construção, caixas de empréstimo, ruas não pavimentadas e áreas de erosão.
Área Minerada	Áreas que sofreram os vários tipos de atividades de extração mineral (lavra, garimpo, etc.).
Aterro Sanitário	Local de disposição final de resíduos sólidos.
Estação de Tratamento de Esgoto	Infraestrutura de tratamento de águas residuais domésticas e industriais.
Cemitério	Essa classe comumente está inserida dentro da área urbana e é destinada a sepultamentos.
Aeroporto	Área para atendimento de serviços de decolagem e aterrissagens de aeronaves.
Via Principal	Áreas pavimentadas que ligam e comunicam a malha urbana.
Água, Lago e Lagoa	Águas interiores passíveis de mapeamento.
Nuvem	Ar resfriado em ponto de orvalho, formando gotículas de água e gelo, que afetam a visibilidade e quantificação de feições na imagem.

3.2 TRABALHO DE CAMPO

Nesta etapa foram realizadas as seguintes atividades: identificação e cadastro das erosões, coleta de amostras para a realização de ensaios de laboratório, aquisição de dados na prefeitura, entrevistas com a população local. Além disso, foram feitas inspeções gerais quanto aos aspectos do meio físico e de uso e cobertura do solo para fins de validação dos mapas elaborados.

3.2.1 Identificação e Cadastro de Erosões

O inventário dos impactos ambientais iniciou-se na etapa anterior com a interpretação da imagem de satélite e fotografias aéreas. Os dados obtidos com estes procedimentos permitiram um direcionamento dos trabalhos de campo a fim de realizar o cadastro dos impactos, percorrendo-se preferencialmente os locais identificados a priori. Essas erosões foram cadastradas em campo segundo sua localização, dimensões e processo evolutivo utilizando fichas de cadastros adaptadas de Lima (2003) e Oliveira *et al.* (2005). Posteriormente, foram espacializadas cartograficamente. Uma espacialização preliminar foi feita com base na compilação de um trabalho de Lacerda *et al.* (2005), onde as erosões foram espacializadas por meio de fotointerpretação e alguns trabalhos de campo.

Nessa pesquisa foram selecionadas 7 incisões erosivas do tipo voçoroca para serem estudadas mais detalhadamente. Essas voçorocas são representativas dos compartimentos geomorfológicos onde estão inseridas, sendo que 4 destas estão na porção leste da área de estudo, onde a dissecação e as declividades são menos acentuadas e outras 3 estão na porção oeste muito dissecada e com declividades muito elevadas. A seleção das voçorocas também levou em conta a própria tipologia das incisões erosivas, tendo sido selecionadas 2 voçorocas de vertente, 1 de drenagem e 4 de cabeceira de drenagem.

As referidas voçorocas foram denominadas nesse trabalho da seguinte forma: Voçoroca Túnel, Voçoroca Contorno, Voçoroca Geovane Braga, Voçoroca Cidade Jardim, Voçoroca Colégio Estadual, Voçoroca Leopoldo de Bulhões e Voçoroca Frei Eustáquio. Tais incisões erosivas são eventualmente designadas no texto pelas respectivas nomenclaturas VT, VC, VGB, VCJ, VCE, VLB, VFE. Em alguns casos associou-se essas siglas ao tipo de solo sendo considerados os solos laterítico designado por L e os solos saprolítico designados por S. Dessa associação resultaram para os solos lateríticos as siglas: VTL, VCL, VGBL, VCJL, VCEL, VLBL, VFEL e para os saprolíticos as siglas: VTS, VCS, VGBS, VCJS, VCES, VLBS, VFES.

3.2.1.1 Voçoroca Túnel

Essa voçoroca localiza-se próximo ao Kartódromo de Anápolis, no entroncamento entre a BR-153 e a Av. Brasil nas coordenadas 717.594 E / 8.186.432 N. Essa voçoroca se desenvolveu na cabeceira de drenagem do rio das Antas (Figura 3.4 a, b, c). Por sua proximidade com o Kartódromo muitos autores que estudaram o local usaram esse nome para

se referir a essa erosão. Com a instalação do canteiro de obras para construção de um túnel ao lado da incisão também passou a ser denominada de Voçoroca Túnel (Figura 3.4 d).



Figura 3.4 - Voçoroca Túnel: (a) Vista em planta (Google Earth, 2005a); (b) Vista longitudinal de montante para jusante; (c) Vista de montante evidenciando canalização de lançamento de águas pluviais; (d) Vista da cabeceira em anfiteatro onde foi construída a obra do emboque 2 do Túnel 2 da Ferrovia Norte/Sul; (e) Vista em planta da cabeceira de drenagem com o túnel a esquerda e a área degradada pela voçoroca, recuperada, à direita (Google Earth, 2010a); (f) Registro de lançamento concentrado de águas na cabeceira de drenagem no momento de uma chuva;

Em 2008 as obras para construção do túnel incluíram a estabilização do processo erosivo que

já possuía mais de 40 anos, uma vez que tal erosão pode ser vista em fotografia aérea de 1965. A estabilização incluiu retaludamento, aterros e drenagem (Figura 3.4e). Quando ativa essa erosão ficava geograficamente disposta na direção sudeste/noroeste com morfologia irregular e com dois avanços em anfiteatro na margem direita. Possuía paredes íngremes a montante e suas dimensões eram de aproximadamente 250 m de comprimento, 150 m de largura e 20 m de profundidade.

A concavidade das vertentes que formam a cabeceira de drenagem favorece a concentração de fluxos tanto superficiais como sub superficiais, nessas áreas o lençol freático possui maior proximidade com a superfície e os processos geomorfológicos de entalhamento fluvial são atuantes. Isso torna as cabeceiras de drenagem naturalmente instáveis e somado a isso, o fato do lançamento concentrado de águas captadas a montante podem ser consideradas as causas do processo erosivo que evoluiu por décadas e que passou recentemente por intervenções objetivando recuperar a área degradada (Figura 3.4f).

Jesus *et al.* (2009c) aponta que a obra de construção do emboque do Túnel 2 da Ferrovia Norte/Sul nessa cabeceira de drenagem tem localização ambientalmente questionável em função de localizar-se nas cabeceiras de drenagem. Esse questionamento encontra-se em consonância com o fato de que mesmo após estabilização dos taludes no emboque com grampos, concreto projetado e drenos sub horizontais houveram rupturas sucessivas do talude.

3.2.1.2 *Voçoroca Contorno*

A voçoroca Contorno é assim denominada por atingir rua de mesmo nome, no bairro Polocentro I, localizado na margem leste da alta bacia urbana do rio das Antas, que por sua vez situa-se na porção sudoeste da cidade de Anápolis, nas coordenadas 716.647 E / 8.188.619 N. Essa incisão erosiva possui forma linear e evoluiu sobre a vertente na direção sudeste/noroeste chegando a atingir 272 m de comprimento, 25 m de largura e com profundidades variáveis atingindo 9 m na cabeceira (Figura 3.5a e b).

A Prefeitura Municipal de Anápolis (Anápolis, 2008a) estimou o volume erodido em 47.541 m³. O escoamento superficial concentrado a montante ao longo da Avenida Contorno, promoveu a jusante nas vertentes inferiores a formação da erosão. Tal incisão tornou-se durante anos alvo do lançamento inadequado de lixo e entulho por parte dos moradores, empresas de coleta de entulho e pela própria prefeitura. Isso proporcionou o surgimento de um horizonte antrópico de espessura métrica que vai ficando mais delgada de montante para

jusante. A jusante, na desembocadura da erosão, formou-se um cone de dejeção bem esboçado, constituído tanto por solo como pelos materiais lançados na cabeceira da erosão (Figura 3.5c). Esse cone de dejeção é responsável pelo assoreamento localizado da planície do rio das Antas e pelo desvio do seu curso natural.



Figura 3.5 - Voçoroca Contorno: (a) Vista em planta (Google Earth, 2005b); (b) Vista do interior da voçoroca; (c) Vista longitudinal de jusante para montante evidenciando cone de dejeção em primeiro plano; (d) Erosão aterrada sem os devidos cuidados de remoção do material que compunha o cone de dejeção que colmatava a drenagem; (e) Ravina que se instalou sobre o aterro da voçoroca.

Em agosto de 2008 iniciou-se um processo de mitigação da voçoroca Contorno por meio de aterramento, conforme visualizado na Figura 3.5d. Atualmente esse aterro está sendo reesculpido por sulcos e por ravinas que possuem cerca de 2 m de profundidade, o que na ocasião da coleta de solos facilitou a retirada das amostras de saprólito (Figura 3.5e).

3.2.1.3 Voçoroca Geovane Braga

A voçoroca Geovane Braga localiza-se em bairro de mesmo nome e está bordejada a montante pela rua 13 de Maio e em sua margem esquerda pela Rua Ouvidor e rua 4 nas coordenadas 717.928 E / 8.189.088 N. Esse processo de voçorocamento se instalou na vertente perpendicularmente ao Córrego Góes, tributário do rio das Antas (Figura 3.6a).

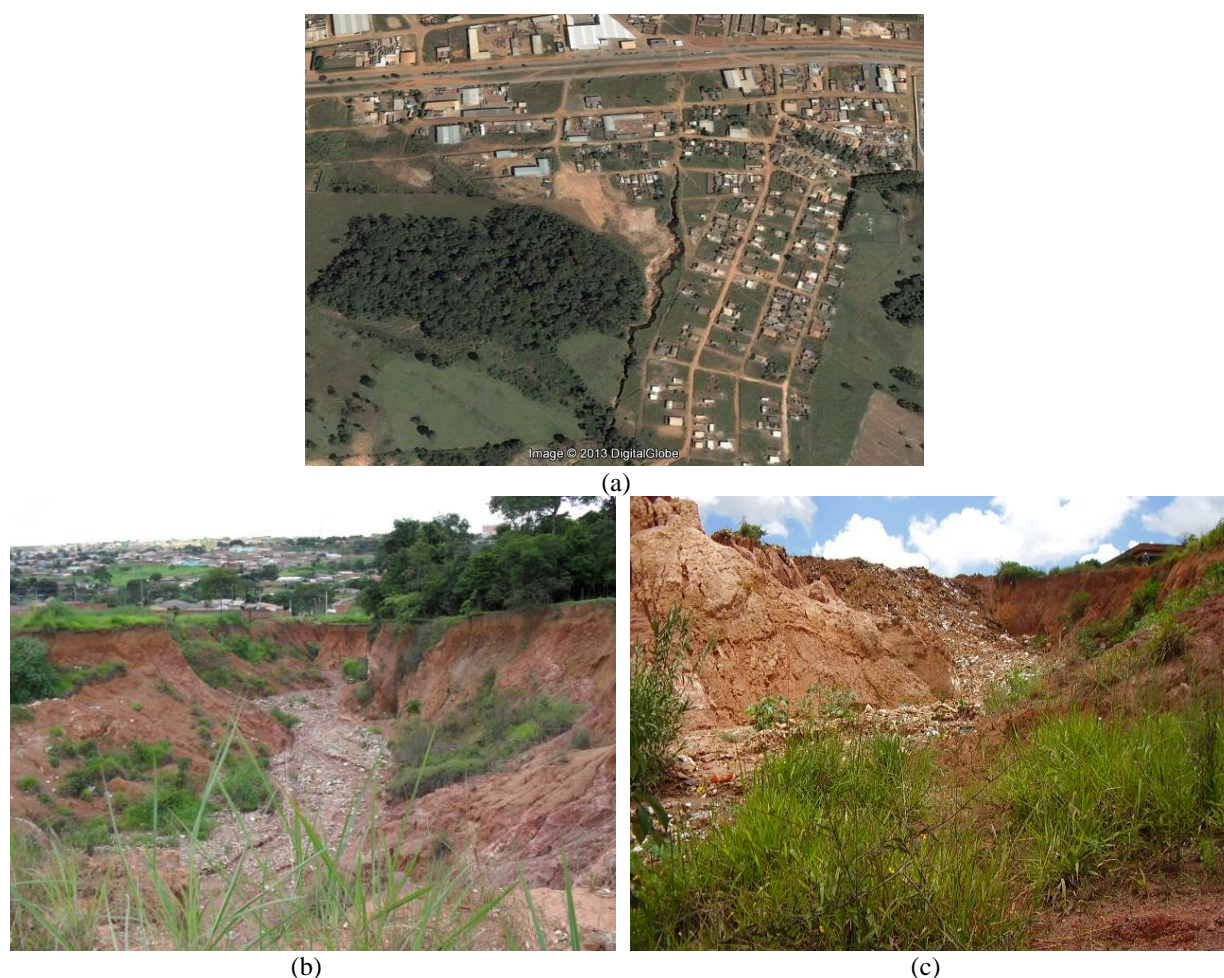


Figura 3.6 - Voçoroca Geovane Braga: (a) Vista em planta (Google Earth, 2005c); (b) Vista longitudinal de montante para jusante; (c) Vista do interior da incisão erosiva com aterro de entulho na cabeceira.

A erosão está disposta na direção Noroeste/Sudeste, possui forma linear com comprimento aproximado de 550m, largura média com cerca de 25 m e profundidade média aproximada de 12 m (Figura 3.6b). Suas margens estão em continua expansão, em virtude da ocorrência dos

movimentos de massa do tipo escorregamento e sua cabeceira possui grande quantidade de aterro com entulho e lixo (Figura 3.6c).

A posição da cabeceira da voçoroca numa vertente côncava, a impermeabilização do solo a montante e o sistema de drenagem ineficiente e rua extensa no sentido do declive favorecem a concentração do fluxo do escoamento desta encosta colaborando para os processos erosivos. Além disso, o lançamento de água do sistema de captação de águas pluviais a meia encosta pode ser destacado como deflagrador do voçorocamento.

3.2.1.4 *Voçoroca Cidade Jardim*

Esta voçoroca localiza-se no bairro Cidade Jardim e é bordejada a oeste pela Av. Brasil Norte, pela Avenida Nova Capital ao norte, a nordeste pela Av. Jânio Quadros e a leste pela Av. Perimetral nas coordenadas 719.923 E / 8.195.429 N. Esse processo de voçorocamento se instalou em uma pequena drenagem tributária do rio das Antas, sendo denominada de Córrego Boa Vista. Estudos anteriores, fazendo referência a esse nome do córrego, chegaram a se referir a tal voçoroca como Boa Vista e até mesmo São Carlos, bairro vizinho da Cidade Jardim (Figura 3.7a).

Essa erosão está disposta na direção norte/sul, possui forma linear com comprimento aproximado de 675m, largura média de cerca de 25m e profundidade média aproximada de 15 m, apresenta ramificações cujas cabeceiras têm forma em anfiteatro (Figura 3.7b). Suas margens estão em contínua expansão, em virtude da ocorrência dos movimentos de massa do tipo escorregamento e da ação das águas fluviais e pluviais (Figura 3.7c). Na margem esquerda da erosão foi construído um aterro de entulhos contendo lixo doméstico, com dimensões de aproximadamente 100m de largura e 700m de comprimento. O lixo do aterro é carreado para a calha da incisão erosiva provocando o seu entulhamento.

O terreno apresenta uma fragilidade inerente às altas declividades, a existência de um solo superficial pouco espesso facilmente interceptado pela ação erosiva da chuva e um saprólito extremamente friável e que rompe com facilidade propiciando o avanço da erosão. A impermeabilização generalizada da bacia de contribuição deste terreno somada ao lançamento de águas pluviais nas cabeceiras das ramificações podem, portanto, serem considerados os deflagradores do processo erosivo (Figura 3.7d).

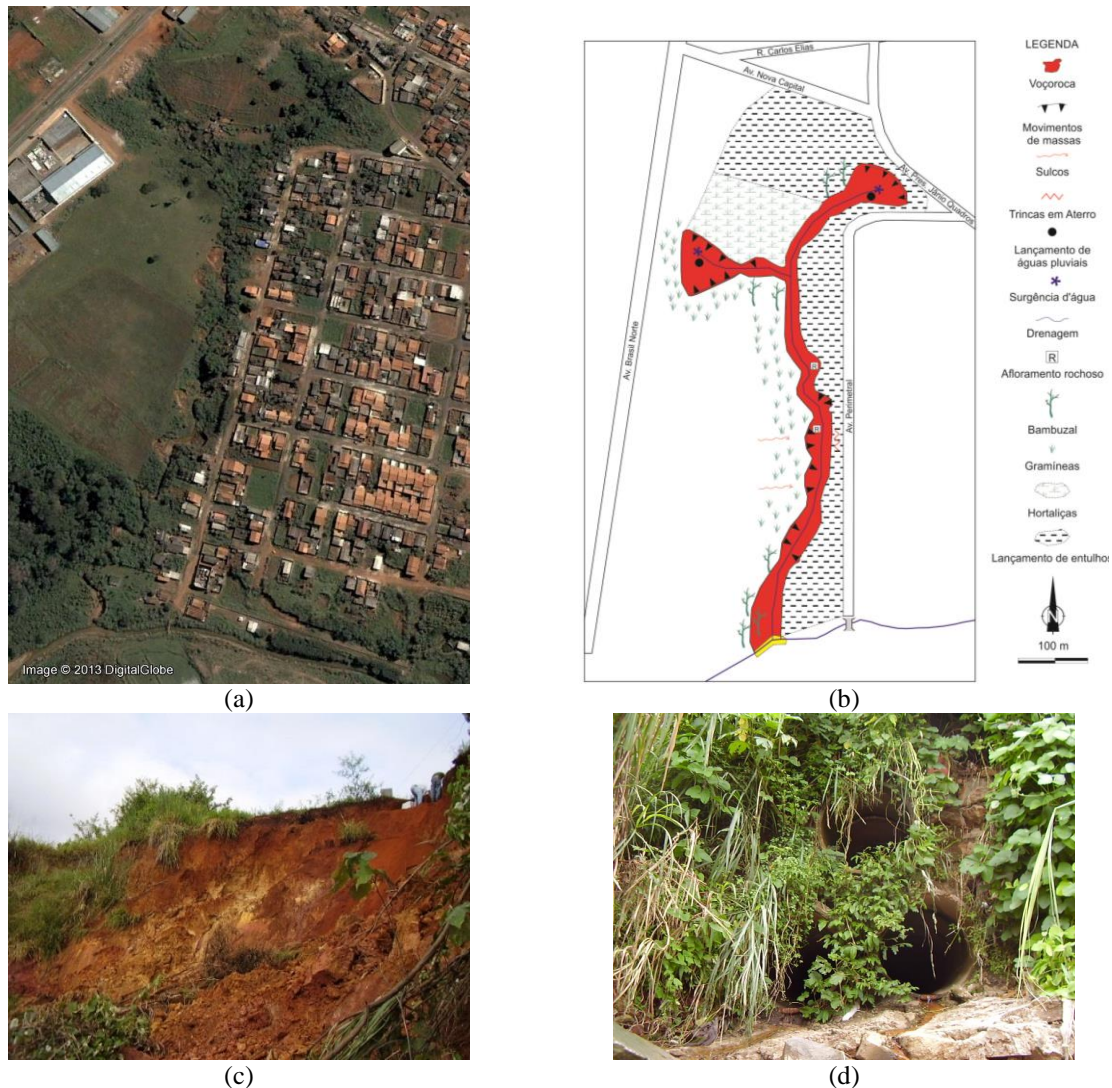


Figura 3.7 - Voçoroca Cidade Jardim: (a) Vista em planta (Google Earth, 2003); (b) Croqui que demonstra as dimensões da erosão (Jesus & Santos, 2002 - modificado); (c) Movimento de massa no talude da margem direita da ramificação esquerda; (d) Tubulação de lançamento de águas pluviais na cabeceira da ramificação esquerda.

3.2.1.5 Voçoroca Colégio Estadual

A voçoroca Colégio Estadual localiza-se perpendicularmente à rua Miguel Torres próximo ao Colégio Estadual na Vila Brasil divisa com o Setor Central nas coordenadas 717.546 E / 8.193.930 N. Esse processo de voçorocamento se instalou na cabeceira de um pequeno tributário do córrego Catingueiro. A erosão está disposta na direção Leste/Oeste, possui forma linear com comprimento aproximado de 100 m, largura média de cerca de 10 m e profundidade aproximada de 8 m. Suas margens estão em contínua expansão, em virtude da ocorrência dos movimentos de massa do tipo escorregamento (Figura 3.8a e b). Além disso, sua cabeceira e margem direita estão com depósito de lixo e entulho sobre o qual cresce vegetação do tipo *Ricinus communis* (mamona) e *brachiaria* o que dificulta a geração de fotos

que revelem sua morfologia e dimensões (Figura 3.8 c).

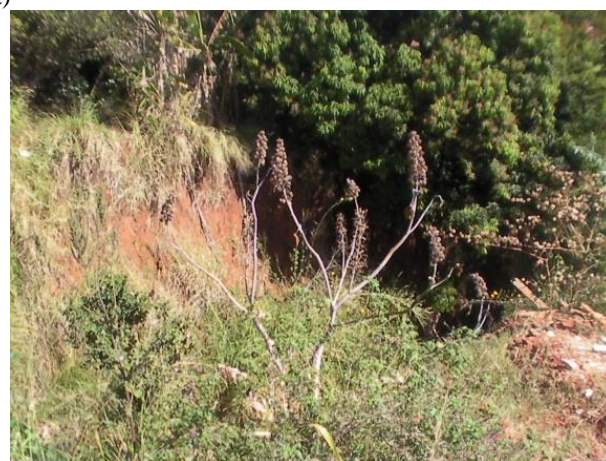
O terreno apresenta uma fragilidade inerente às altas declividades e ao processo natural de dissecação do relevo característico de área de cabeceira de drenagem. Essa fragilidade foi acentuada com impermeabilização generalizada a montante e o lançamento de águas pluviais nas cabeceiras deflagrando o processo erosivo que atualmente está em franca atividade.



(a)



(b)



(c)

Figura 3.8 - Voçoroca Colégio Estadual: (a) Vista em planta (Google Earth, 2013); (b) Detalhe da instabilidade do talude na margem esquerda; (c) Em primeiro plano borda da erosão encoberta por vegetação que cresceu sobre o lixo e entulho ali depositados.

3.2.1.6 Voçoroca Leopoldo de Bulhões

A voçoroca Leopoldo de Bulhões localiza-se perpendicularmente a Av. Leopoldo de Bulhões no Setor Central nas coordenadas 717.766 E / 8.195.491 N. Esse processo de voçorocamento se instalou na cabeceira de um tributário do córrego Catingueiro (Figura 3.9a). A erosão disposta na direção Leste/Oeste possui forma linear e sua cabeceira contém um aterro de entulho geotécnicamente instável que no início de 2011 sofreu um escorregamento que derrubou uma casa e atingiu pelo menos duas outras edificações (Figura 3.9 b e c).

Além disso, destaca-se a presença de recalque na Av. Leopoldo de Bulhões imediatamente a montante do aterro (Figura 3.9d). Esse recalque recorrente, danifica a via e causa transtornos diversos ao tráfego no local, sendo remediado com aterros paliativos que não resistem por muito tempo. A erosão já existe há mais de 20 anos e a causa mais provável para seu surgimento é o aterramento da cabeceira de drenagem para construção da avenida, sem os devidos cuidados para com a drenagem das águas subsuperficiais, além da concentração de fluxos superficiais. Os recalques constantes da avenida podem estar relacionados a um carreamento de finos por fluxos subsuperficiais oriundos da oscilação do lençol e dos possíveis vazamentos em redes de águas pluviais.



Figura 3.9 - Voçoroca Leopoldo de Bulhões: (a) Vista em planta (Google Earth, 2010b); (b) Vista em planta após ocorrência de escorregamento (Google Earth, 2011); (c) Cicatriz de escorregamento; (d) Avenida Leopoldo de bulhões, parcialmente interditada com recalque. No detalhe recalque na calçada.

3.2.1.7 Voçoroca Frei Eustáquio

Esta voçoroca localiza-se na Vila São Jorge na divisa com o bairro Frei Eustáquio sendo bordejada a montante pela Av. José Gomes de Paula e rua 4 e pela rua da liberdade na sua margem esquerda nas coordenadas 717.207 E / 8.194.538 N. Esse processo de voçorocamento

se instalou em uma das cabeceiras de drenagem do córrego Catingueiro. Essa erosão possui orientação Leste/Oeste com profundidade de 20 m na cabeceira. Seu surgimento pode ser atribuído assim como nas demais erosões ao lançamento concentrado de águas favorecido pela morfologia da área (Figura 3.10 a e b).



Figura 3.10 - Voçoroca Frei Eustáquio: (a) Vista em planta (Google Earth, 2005d); (b) Relevo côncavo a montante da voçoroca; (c) Escoamento de água concentrado na cabeceira; (d) Vista de jusante para montante, onde é possível observar grande quantidade de lixo e entulho; (e) Borda da voçoroca onde o detalhe A revela uma casa em risco e o detalhe B mostra um carro fazendo lançamento indevido de entulho.

Essa voçoroca possui grande quantidade de lixo e entulho, o que inclusive foi um dos fatores que inviabilizaram a coleta de solo no local (Figura 3.10 c). Enfatiza-se que essa erosão coloca pelo menos duas casas próximas das bordas em situação de risco eminente, sendo que uma já apresenta trincas na sua estrutura e no muro (Figura 3.10 d).

3.2.2 Coleta de solos

Conforme apresentado anteriormente, 7 voçorocas foram analisadas nessa tese. Todavia, destaca-se que em 2 dessas erosões, Frei Eustáquio e Leopoldo de Bulhões, houveram grandes obstáculos que inviabilizaram a coleta de solo. Entre os impeditivos da coleta destaca-se que ambas as incisões são muito profundas e repletas de uma enorme quantidade de entulho e lixo dificultando, portanto, o acesso ao perfil de solo no talude.

Desse modo, foram realizados ensaios geotécnicos para as 5 demais erosões. Nessas erosões foram coletados dois tipos de solos: solos altamente intemperizados e solos saprolíticos (Figura 3.11 a e b), sendo que na voçoroca Túnel não foi coletada amostra indeformada para o solo laterítico e na voçoroca Colégio Estadual foi realizada a coleta (amostras deformadas e indeformadas) apenas de solo laterítico.



Figura 3.11 - Retirada de amostras indeformadas: (a) Solo altamente intemperizado; (b) Solo saprolítico; (c) Detalhe do bloco de solo dentro da incisão erosiva preparado para ser içado; (d) Bloco de solo sendo içado para dentro da caçamba.

A coleta de solos aconteceu em dois momentos distintos: os solos das voçorocas Contorno, Geovane Braga, Cidade Jardim e Colégio Estadual foram coletados em fevereiro de 2011 e os solos das voçorocas Túnel e Contorno foram coletados em agosto de 2011.

Para amostragem dos solos altamente intemperizados foram escavados poços com profundidades variadas de modo a eliminar a matéria orgânica. A amostragem do solo saprolítico foi realizada na face do talude das voçorocas, tomando-se todas as precauções de limpeza do perfil de solo. Para ambos os solos foram moldados três blocos indeformados com dimensões de 30x30x30 cm além da coleta de aproximadamente 20 kg de solo deformado.

A coleta dos blocos foi bastante dificultada por causa da profundidade da incisão erosiva e da inclinação do talude (Figura 3.11 c). Após moldados, parafinados e armazenados em caixas de madeira os blocos foram içados com ajuda de um guindaste do tipo *munk* acoplado em um caminhão (Figura 3.11 d).

3.2.3 Entrevistas

Foram realizadas entrevistas com os moradores do entorno das áreas com incisões erosivas selecionadas para realização dessa pesquisa. Essas entrevistas foram feitas com o intuito de verificar a interação das pessoas com os processos erosivos e como estes interferem na qualidade de vida dessas pessoas que habitam o entorno das incisões erosivas. Nas entrevistas utilizou-se um questionário guia previamente analisado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da UFG e pelo Comitê de Ética em Pesquisa do Instituto de Ciências Humanas da UnB conforme comprovam as atas de aprovação constantes do Anexo A.1 a A.3.

Foram necessários dois Comitês de Ética, pois essa pesquisa de doutorado está vinculada ao Programa de Pós-Graduação em Geotecnia da UnB, mas a autora possui vínculo com a Universidade Federal de Goiás. Na UFG foi criado um curso de extensão em “Erosão e Qualidade de Vida”, onde os alunos receberam treinamento para realizar as entrevistas em campo. O curso foi conduzido pela autora da tese que também supervisionou e coordenou a coleta de informações em campo no período de 16 a 17 de julho de 2012. A equipe de campo foi composta por 10 alunos e pela coordenadora do curso. Todos estavam devidamente munidos de crachás, guias de entrevistas e instrumentos de gravação das conversas. A abordagem dos moradores era feita em suas residências por duplas de entrevistadores que após se identificarem apresentavam o Termo de Consentimento Livre Esclarecido (TCLE) solicitando a autorização do morador para participar do estudo. O TCLE (Apêndice B.1) é

exigido pelos comitês de ética para que a pesquisa seja aprovada. O documento traz todas as informações sobre a pesquisa e sobre os direitos do entrevistado, sendo que a cópia assinada fica com a equipe de pesquisa e outra com o morador.

A metodologia de elaboração do guia de entrevistas baseou-se na proposta de Jesus (2007) que entrevistou moradores da alta bacia do rio das Antas em Anápolis com o mesmo propósito apresentado por essa pesquisa. Além disso, as questões que compunham o guia de entrevistas (Apêndice B.2) também seguiu as proposições de Coelho (2001), contemplando campos que revelam as condições socioeconômicas da população.

Foram aplicados os questionários em 72 residências, onde um representante maior de idade conversava com o entrevistador fornecendo dados de todos os moradores da casa. Dessa maneira foi possível adquirir informações de um total de 264 pessoas. A quantidade de residências entrevistadas não foi igual em todas as incisões erosivas. O acesso às residências dependeu de vários fatores dentre eles: presença de morador, disponibilidade e permissão do morador em participar da pesquisa, tamanho da erosão, quantidade de casas próximas à erosão (Figura 3.12 a e b). Destaca-se ainda que não foram realizadas entrevistas no entorno da voçoroca Túnel, pois ela está numa área periférica a ocupação urbana, sem residências nas suas proximidades.

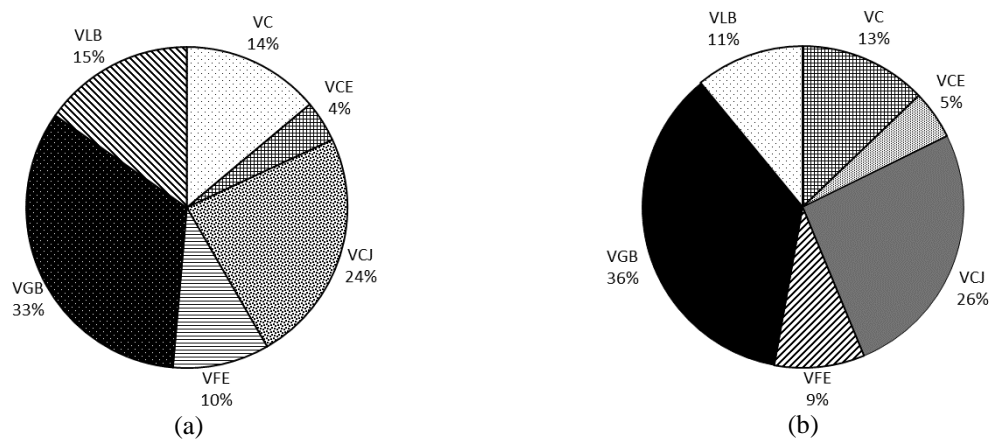


Figura 3.12 - Amostragem das entrevistas: (a) Distribuição de residências entrevistadas por voçoroca; (b) Distribuição de pessoas entrevistadas por voçoroca.

Enfatiza-se que a aproximação de moradores relatando espontaneamente fatos relacionados às incisões erosivas sempre foi muito comum e constante nos trabalhos de campo para fins de análise do meio físico, nesta e em outras pesquisas realizadas pela autora dessa tese. Diante desse comportamento dos moradores despertou-se para essa linha de investigação socioambiental. Todavia, salienta-se que a exigência dos comitês de ética para que os moradores além de assinarem o TCLE também forneçam o número de suas carteiras de

identidade, mesmo com todos os esclarecimentos escritos e verbais, assusta muitos possíveis entrevistados dificultando esse tipo de atividade.

3.3 TRABALHO DE LABORATÓRIO

A etapa de laboratório foi constituída de ensaios para caracterização física e mineralógica, ensaios para verificação do comportamento mecânico e hidráulico e ensaios destinados à classificação dos solos investigados. Para cada local analisado estes ensaios foram feitos no todo ou em parte segundo a necessidade e possibilidade.

Na perspectiva da engenharia, a classificação dos solos é realizada com o objetivo de poder estimar o provável comportamento do solo ou, pelo menos, o de orientar um programa de investigação necessário para permitir a adequada análise de um problema. Logo, é muito importante uma boa identificação e classificação dos solos, pois todos os trabalhos posteriores dependem da qualidade desses resultados (Sousa Pinto, 2006).

3.3.1 Preparação das Amostras

Todos os ensaios foram feitos seguindo a normatização específica para sua elaboração. Mas, além disso, também foram feitas adaptações das normas procurando-se realizar alguns ensaios considerando as condições do solo conforme coletado em campo. Entre as principais adaptações feitas destaca-se a realização de ensaios com a umidade de campo preservada, onde a quantidade de solo úmido utilizada foi sempre equivalente à quantidade de solo seco prescrita em norma. Além disso, quando a norma determinava o peneiramento em peneiras de malha # 40, quando se mantinha a umidade de campo o peneiramento foi feito em peneiras de malha # 10, pois o peneiramento do solo úmido é mais difícil em função da maior facilidade de colmatação da malha da peneira, pois o solo tende a aderir na sua superfície obstruindo-a. Ressalta-se que o fato de se trabalhar com solos finos cuja textura desagregada é bem inferior a agregada facilitou essa adaptação.

A metodologia empregada nos ensaios de caracterização convencionais seguiu as especificações constantes nas normas da ABNT, sendo a preparação das amostras realizada conforme as prescrições da NBR 6457 (ABNT, 1986a), realizando-se, então, as operações de secagem, destorroamento e quarteamento.

3.3.2 Umidade

As determinações dos teores de umidade foram realizadas de acordo com a norma NBR 6457 (ABNT, 1986a). Para determinação da umidade natural de campo foram utilizadas amostras nas condições em que foram coletadas. Já a determinação da umidade higroscópica foi realizada com amostra seca ao ar sem controle da umidade relativa e temperatura do ar no ambiente de secagem.

3.3.3 Massa específica real dos grãos

A massa específica real dos grãos consiste na relação entre a massa dos grãos do solo e o seu real volume. Para se determinar a massa específica da amostra de solo natural foram obedecidos os procedimentos estabelecidos pela NBR 6508 (ABNT, 1984a). Todos procedimentos desse ensaio foram repetidos para os solos das voçorocas Túnel e Contorno utilizando-se, no entanto, as amostras sem secagem prévia.

3.3.4 Granulometria

Para caracterização granulométrica dos solos foram realizados ensaios de granulometria por sedimentação. A sedimentação baseia-se no tempo de queda das partículas verificados pela variação de densidade da água, conforme as partículas vão decantando. Os ensaios por sedimentação foram feitos segundo as determinações da NBR 7181 (ABNT, 1984b). De acordo com Camapum de Carvalho *et al.* (1996) a realização de ensaios de granulometria com e sem o uso de defloculante em solos tropicais pode gerar diferenças, muitas vezes, substanciais. Assim, quando se realiza o ensaio de granulometria com o uso de defloculante, pode-se não obter a granulometria real do solo. Devido a estas características optou-se pela realização de análises granulométricas com o uso de defloculante (hexametáfosfato de sódio) e apenas com uso de água destilada, objetivando a análise da estabilidade estrutural dos micro agregados. Todos procedimentos do ensaio de granulometria foram repetidos para os solos das voçorocas Túnel e Contorno utilizando-se também as amostras sem secagem prévia.

Em ambos os ensaios, com e sem secagem prévia, o solo foi pesado e peneirado na peneira nº 10 (2 mm), o material retido foi lavado e submetido a secagem em estufa e posteriormente peneirado no conjunto de peneiras indicado para peneiramento grosso. Da porção passante na peneira nº 10 (2 mm), foram separadas 140 gramas, das quais 70 gramas foram adicionadas a

125 ml de defloculante (hexametáfosfato de sódio) e às outras 70 gramas foi adicionada água destilada. As soluções solo/água e solo/defloculante foram deixadas em repouso por 12 horas e em seguida, esta última foi levada ao dispersor por 15 minutos. Então, os materiais foram colocados em provetas com água destilada para verificação da densidade em intervalos de tempo variáveis durante 24 horas utilizando o auxílio de um densímetro. Terminada a sequência de leituras, o material que decantou foi lavado, colocado em estufa e posteriormente peneirado em um jogo de peneiras indicado para o peneiramento fino.

3.3.5 Limites de Consistência

O teor de umidade determina comportamentos distintos do solo, sendo muito importante o conhecimento dos limites de consistência (limite de liquidez e limite de plasticidade) que estão diretamente relacionados à umidade. O limite de liquidez (w_L) refere-se ao teor de umidade do solo que separa o estado líquido do estado plástico e é obtido por meio de ensaio de laboratório, sendo determinado graficamente, obtendo-se uma reta interpolada por três pontos, segundo a NBR 6459 (ABNT, 1984c). No presente estudo trabalhou-se com cinco pontos. O limite de plasticidade (w_P) refere-se ao teor de umidade que separa o estado plástico do estado semissólido e pode ser obtido por ensaios de laboratório executando-se três determinações, de acordo com a norma de ensaio NBR 7180 (ABNT, 1984d). No presente estudo trabalhou-se com cinco pontos. A diferença entre estes dois limites permite a obtenção do índice de plasticidade (IP). Esses dados são muito utilizados nos sistemas de classificação dos solos como, por exemplo, na classificação SUCS (Sistema Unificado de Classificação dos Solos). Além disso, utilizando-se o índice de plasticidade é possível determinar o índice de atividade de Skempton (I_a), que pode ser obtido a partir da Eq. 3.2:

$$I_a = \frac{I_p}{\% < 0,002mm} \quad (3.2)$$

Onde I_p é o índice de plasticidade.

Este índice representa a propriedade que as argilas têm de poder transmitir em maior ou menor grau um comportamento argiloso a amostra.

Todos os procedimentos realizados nesses ensaios também foram repetidos para todos os solos mantendo-se a umidade de campo.

3.3.6 MCT expedito

Os ensaios para classificação MCT expedita permite, segundo Nogami & Villibor (1994), a classificação do solos em lateríticos e saprolíticos e tem uma forte relação com as características físicas e mineralógicas do solo, permitindo além da classificação também uma avaliação preliminar do comportamento do solo. O ensaio MCT expedito consiste na moldagem de pastilhas de solo espatulado, passado na peneira nº40 (0,42 mm), com teor de umidade suficiente para formar uma pasta. A moldagem é feita quando a pasta de solo apresenta penetração de 1 mm quando submetida ao peso de um penetrômetro com 10 gramas e ponta chata de 1,3 mm de diâmetro. Nessa condição foram moldadas três pastilhas dentro de um anel com 20 mm de diâmetro interno e 5 mm de altura. Além disso, foram moldadas 6 bolinhas de solo, com diâmetro aproximado de 20 mm, para a determinação da resistência seca.

As pastilhas de solo foram secas ao ar por 12 horas. Posteriormente foi determinada a contração diametral, por medida direta do diâmetro da pastilha com o auxílio de um paquímetro. Em seguida, estas pastilhas foram colocadas sobre papel filtro repousado em uma pedra porosa saturada e em contato constante com a água, por um tempo de 2 horas, onde ocorreu uma absorção de água por capilaridade. Depois dessa etapa, verificou-se a expansão das pastilhas e determinou-se a resistência à penetração do penetrômetro. Os resultados obtidos foram a média das 3 contrações determinadas na etapa anterior (Ct), expressa em milímetros e o coeficiente c' pelo uso da Eq. 3.3 (Ct entre 0,1 e 0,5 mm) e Eq. 3.4 ($Ct > 0,6$ mm). Com estes valores obteve-se a classificação do solo com base na Carta de Classificação do Método das Pastilhas.

$$c' = \frac{(\log Ct + 1)}{0,904} \quad (3.3)$$

$$c' = \frac{(\log Ct + 0,7)}{0,5} \quad (3.4)$$

Onde c' é o coeficiente e Ct a contração.

As esferas foram secas em duas condições, sendo 3 esferas secas ao ar e 3 esferas secas em estufa regulada a 110° C por 12 horas. Após a secagem, verificou-se a resistência das esferas pelos seguintes métodos: Método empírico, onde se exerceu a pressão das mãos sobre as esferas. Para mensurar de maneira mais precisa a tensão necessária para romper as esferas também foi usada uma prensa (Figura 3.13).

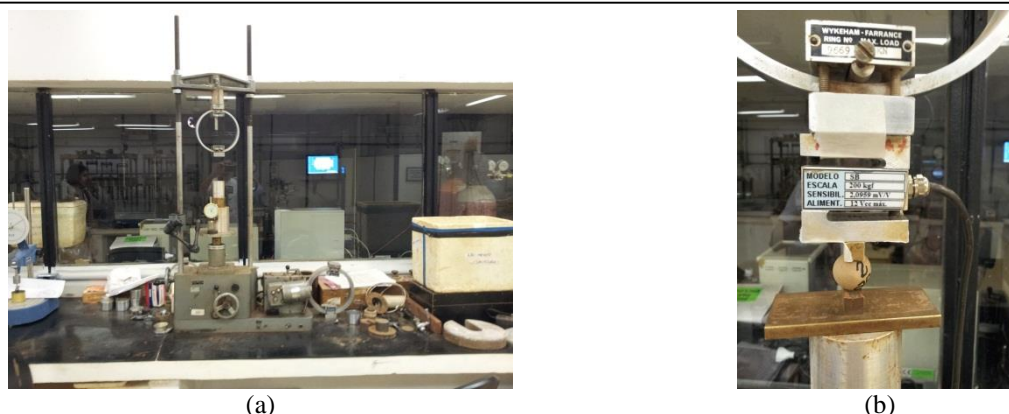


Figura 3.13 - Ruptura das esferas: (a) Arranjo geral do ensaio; (b) Ensaio em execução.

Para ruptura com uso das mãos foram selecionadas 2 esferas, sendo respectivamente uma seca ao ar e outra em estufa. Quando as esferas resistiam ao esforço aplicado com as mãos elas eram junto com as demais submetidas à pressão em uma prensa regulada em uma velocidade de 0,0762 mm/min, na qual foram utilizadas células de carga de 50 e 200 kgf (Tabela 3.6).

Tabela 3.6 - Especificação das células de carga usadas no ensaio de compressão das esferas MCT.

Célula	50 kgf	200 kgf
Nº de série	112051-T	169061-T
Modelo	SB-50	SB-200
Sensibilidade	2000 mV/V	20959 mV/Vx

Todos os procedimentos realizados nesse ensaio também foram repetidos para todos os solos mantendo-se a umidade de campo conforme as condições descritas no item referente a preparação de amostra.

3.3.7 Sucção

A diferença entre a poropressão do ar e a poropressão da água ($u_a - u_w$) é chamada de sucção matricial. Esta sucção pode ser influenciada por variações internas ao solo como quantidade volumétrica de água e o tamanho de poros, sendo a sucção uma função inversa desses elementos. Fredlund (1995) salienta que a sucção é fortemente influenciada pelas condições ambientais uma vez que estas condições alteram o estado de tensões do solo. A sucção atuante no solo corresponde, portanto, a uma situação de equilíbrio de energia e como tal depende da energia interna (interação solo-água enfatizando-se a química da água e a química e mineralogia do solo) e da energia externa (temperatura, pressão atmosférica, umidade relativa do ar e por via reflexa, das tensões aplicadas, pois estas interferem diretamente na porosidade). A relação entre o conteúdo volumétrico ou gravimétrico da água e a sucção matricial é expressa pela curva de retenção de água também conhecida por curva característica de retenção de água ou simplesmente curva característica. A curva característica

pode ser obtida pela técnica do papel filtro segundo padronização D 5298 (ASTM, 2003).

Nessa pesquisa foram moldados a partir de blocos indeformados 12 corpos de prova de 50 mm de diâmetro e altura de 20 mm (Figura 3.14 a) para cada amostra. Após moldados, os corpos de prova tiveram sua umidade ajustada por gotejamento ou secagem ao ar dependendo da necessidade de cada amostra de modo a permitir a obtenção das curvas características para uma ampla gama de sucções (Figura 3.14 b e c). Esse modo de realização do ensaio é conhecido como de trajetória mista, pois parte dos corpos de prova são submetidos a trajetória de secagem e parte a trajetória de umedecimento. Ela apresenta a vantagem de ser mais compatível com o que ocorre no campo.

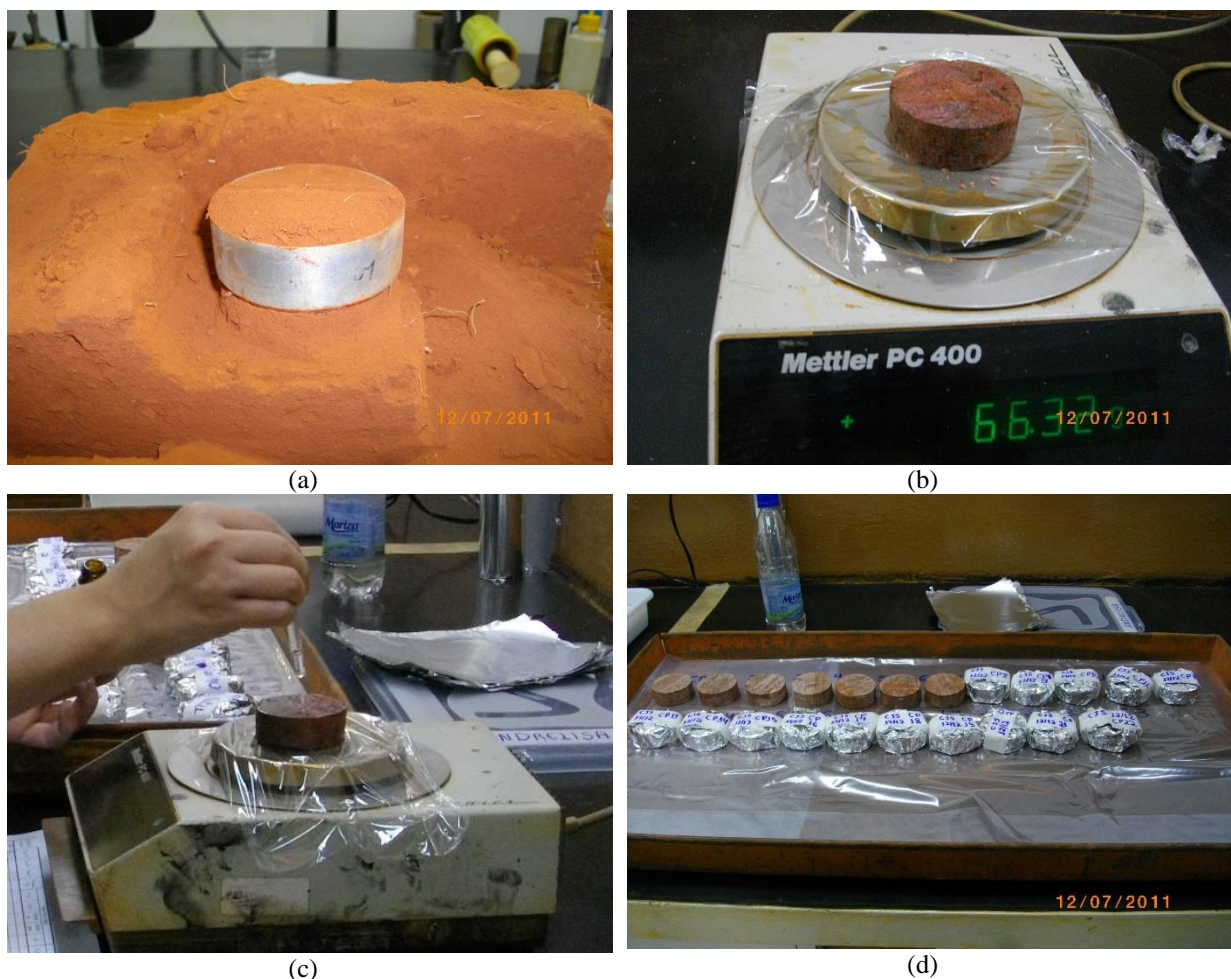


Figura 3.14 - Ensaio de sucção pelo método do papel filtro: (a) Moldagem do corpo de prova; (b) Pesagem do corpo de prova; (c) Obtenção da umidade por gotejamento; (d) Amostras envolvidas em plástico filme e papel alumínio para estabilização da umidade.

Ao atingir a saturação almejada foram colocados três papéis filtro sobre a amostra. Os papéis da base e superior possuíam tamanho igual ao diâmetro da amostra e o do meio um pouco menor para evitar contaminação. Em seguida os corpos de prova eram envolvidos em filme plástico e papel alumínio e posteriormente armazenados por 15 dias em caixa de isopor bem

vedada, de modo a garantir a estabilização da umidade sem que ocorressem perdas ou ganhos pelo corpo de prova como um todo (Figura 3.14 d). Após o tempo de estabilização os corpos de prova foram abertos para a pesagem dos papéis filtro em balança digital de precisão e levados para estufa de 105° por cerca de 3 horas. Ao serem removidos da estufa os papéis foram pesados novamente. A pesagem do papel superior permite a validação dos valores verificados no papel do meio, sendo que Lima (2003) ao comparar valores de sucção dos dois papéis concluiu que não existem diferenças significativas. O papel filtro em contato com o solo é desprezado por encontrar-se frequentemente contaminado pelo mesmo. Com o término dessa etapa, foi feita a obtenção do peso específico natural pelo método da balança hidrostática e da umidade dos corpos de prova de cada solo ensaiado.

Lima (2003) aponta que em geral as curvas características são representadas graficamente pela umidade gravimétrica versus a sucção. No entanto, para se levar em conta o índice de vazios do solo, recomenda-se que as curvas características também sejam apresentadas em função do grau de saturação (S_r), o qual envolve a umidade e a porosidade. A sucção é geralmente apresentada no meio geotécnico em kPa. Camapum de Carvalho & Leroueil (2004) optam por apresentá-las em dois eixos um em kPa na escala logarítmica e o outro em pF que corresponde ao logaritmo decimal da sucção em centímetros de coluna de água. A unidade em kPa é muito corriqueira em engenharia civil, porém em agronomia não é raro o uso de pF. Logo, a representação gráfica que contemple ambas as unidades permite um uso mais amplo das informações por diversos profissionais.

3.3.8 Perda de massa por imersão

A determinação da perda de massa por imersão foi realizada a partir de uma adaptação dos procedimentos descritos na norma DNER ME 256 (DNER, 1994). Foram moldados no campo corpos de prova com diâmetro e altura de aproximadamente 50 mm. A moldagem foi feita no talude com o auxílio de um anel de PVC (Figura 3.15 a e b).

Para cada tipo de solo foram moldados 4 corpos de prova que foram protegidos com filme plástico, colocados em caixa de isopor e armazenados em câmara úmida até a data de realização do ensaio (Figura 3.15 c). Para realização do ensaio os corpos de prova foram deslocados do molde, com o uso do extrator, de maneira que o seu topo ficasse 10 mm, acima do cilindro (Figura 3.15 d). Os moldes com os corpos-de-prova foram transferidos para um tanque, onde foram colocados na posição horizontal (Figura 3.15 e), com a ajuda de um

suporte. Para cada corpo-de-prova, posicionou-se uma cápsula de alumínio de maneira que o seu centro coincidissem com a vertical passando pelo centro da base do molde, para a captação da massa que poderia ser despreendida com a imersão do corpo-de-prova, sendo o tempo total de imersão de 24 h. (Figura 3.15 f).



Figura 3.15 - Ensaio de perda de massa por imersão: (a) Moldagem do corpo de prova; (b) Cravação do cilindro; (c) Envolvimento da amostra em plástico filme; (d) Extração da amostra para realização do ensaio; (e) Organização das amostras para realização do ensaio; (f) Material despreendido acumulado na cápsula.

Após este período, as cápsulas contendo as massas desprendidas foram levadas à estufa, por 24 h. Em seguida, determinou-se o valor de P_i para cada teor de umidade utilizando a Eq. 3.5.

$$P_i = \frac{10 * M_d * a}{M_s} \quad (3.5)$$

Onde P_i representa a perda de massa por imersão (expressa em porcentagem); M_d a massa de solo seca, da porção desprendida do corpo-de-prova (em gramas); a a altura do corpo de prova (em milímetros) e M_s a massa de solo seca do corpo-de-prova como um todo (em gramas).

3.3.9 Desagregação

Este ensaio não é normatizado e foi realizado com base na proposta de Santos & Camapum de Carvalho (1998) para verificar o potencial de desagregação de amostras de solo submetidas à imersão em água destilada. Para realização do ensaio foram moldados quatro cubos com lados de 6 cm para cada amostra de solo (Figura 3.16 a). Esses corpos de prova cúbicos foram armazenados em sacos plásticos na câmara úmida até o momento do ensaio para preservar sua umidade inicial.



Figura 3.16 - Ensaio de desagregação: (a) Moldagem dos corpos de prova; (b) Preparação do tanque para receber as amostras.

Para proceder com a realização do ensaio dois pares de cada amostra foram para um tanque onde foi realizada a imersão imediata e outros dois pares de cada amostra foram para outro tanque onde foi realizada a imersão gradual. Os tanques foram previamente forrados com uma camada de areia uniforme coberta com papel filtro (Figura 3.16 b). Essa preparação do tanque serviu para simular uma pedra porosa e garantir uma uniformidade no processo de saturação da amostra e evitar turbulência que pudesse vir a comprometer a integridade dos corpos de

prova, sendo as amostras submetidas à imersão gradual até ocorrer a completa imersão.

O tanque de imersão total devidamente preparado e contendo as amostras a serem ensaiadas foi imediatamente preenchido com água, permanecendo nessa condição por 24 horas. O tanque de imersão gradual teve quatro ciclos de enchimento sendo o primeiro com água apenas na base da amostra, o segundo com água até um 1/3 da altura da amostra, o terceiro até 2/3 da altura da amostra e o quarto e último com imersão completa. Os ciclos de enchimento tiveram intervalos de 15 minutos entre eles, sendo que ao atingir a imersão completa a amostra permaneceu nessa condição até completar 12 horas de ensaio.

3.3.10 Inderbitzen

Este ensaio proposto por Inderbitzen (1961) também é conhecido como erosômetro ou ainda como ensaio de erosão que simula o efeito do escoamento superficial sobre o solo. Neste ensaio a amostra indeformada é colocada em rampa com inclinação que pode ser ajustada às condições de campo. Em seguida ela é submetida a um fluxo uniforme com vazão constante e mede-se a perda de solo seco erodido com relação a área da amostra e ao tempo de fluxo.

Fácio (1991) desenvolveu um equipamento de Inderbitzen modificado para o Laboratório de Geotecnia da UnB (Figura 3.17 a) onde ele testou várias amostras em condições variadas de inclinação. Os ensaios dessa pesquisa foram realizados com uma adaptação do equipamento desenvolvido por Fácio (1991) de modo a permitir a utilização da mesma amostra para mais de uma condição de fluxo e/ou rampa. Ajustes na largura da rampa foram adotadas por Santos (1997). Nessa pesquisa a rampa foi adaptada com laterais de acrílico para que tivesse uma largura de 100 mm, sendo mantido o comprimento de 69 cm até o compartimento onde é rosqueado o cilindro contendo o corpo de prova. Após o corpo de prova foi mantido o comprimento de rampa de 46,5 cm (Figura 3.17 b).

Além disso, para a execução dos ensaios dessa pesquisa foi adotada uma inclinação única de rampa de 10°, o que equivale aproximadamente a 18% de inclinação, e uma vazão constante de 17,5 ml/s. Os corpos de prova submetidos a essas condições de ensaio foram moldados em um cilindro rosqueado externamente onde foi acoplado um anel bizelado que facilitou a moldagem das amostras com dimensões de 100 mm de diâmetro por 100 mm de altura. As amostras não foram submetidas a umedecimento prévio sendo ensaiadas com suas respectivas umidade de campo (Figura 3.17 c). De modo à preservar a umidade dos corpos de prova, posteriormente a moldagem eles foram protegidos com filme plástico e armazenados na

câmara úmida até o momento da execução do ensaio.



Figura 3.17 - Ensaio de Inderbitzen: (a) Visão geral do equipamento de inderbitzen; (b) Rampa do equipamento de Inderbitzen modificada por Santos (1997); (c) Moldagem do corpo de prova em bloco indeformado.

No momento da realização do ensaio e obedecendo as condições de execução descritas anteriormente o anel contendo o solo indeformado foi acoplado ao orifício existente na rampa por meio do sistema de rosqueamento. Com a ajuda de um embolo a amostra de solo foi elevada até atingir o nivelamento com a rampa e então procedeu-se a liberação do fluxo da água. Cada ensaio durou 30 minutos com seis ciclos de 5 minutos cada um, sendo que segundo Santos & Camapum de Carvalho (1998) isso melhora a caracterização da curva de perda de solo versus tempo.

Em cada ciclo a amostra era novamente nivelada à rampa e o material erodido era coletado em um jogo de peneiras de número 40, 100 e 200 dispostas a partir da superior nessa sequência. Em seguida o material retido em cada peneira foi colocado em cápsulas individualizadas e levadas para estufa para posterior pesagem. Não foi feito nenhum tratamento quantitativo do material passante na peneira número 200. Os resultados do ensaio estão apresentados no Capítulo 5 sob a forma de gráficos de perda acumulada de solo (em $\text{g}/\text{mm}^2 \times 10^{-3}$) versus o tempo em minutos, facilitando a comparação dos resultados obtidos.

3.3.11 Pinhole

Este ensaio também conhecido como ensaio do furo de agulha foi concebido para determinar direta e qualitativamente a dispersibilidade de solos argilosos, pelo fluxo de água destilada através de um pequeno furo feito axialmente através do corpo-de-prova (Figura 3.18), com imposição de uma diferença de carga hidráulica inicial de 50 mm e ampliada para 180 mm, 380 mm e 1020 mm. Tal ensaio fornece a diferenciação básica entre argilas altamente dispersivas e não dispersivas e foi executado segundo as instruções da NBR 14.114 (ABNT, 1998). Deste modo, os solos argilosos podem ser classificados quanto à dispersibilidade em seis categorias: não dispersivos (ND1); incipientemente dispersivos (ND2); levemente dispersivos (ND3); moderadamente dispersivos (ND4); dispersivos (D2) e altamente dispersivos (D1).



Figura 3.18 - Ensaio de Pinhole: (a) Furo axial realizado no Corpo de prova; (b) Corpo de prova de prova aberto ao final do ensaio.

Destaca-se que Santos (1997) ampliou a análise dos resultados desses ensaios introduzindo o ciclo de descarga, ou seja, de redução das cargas hidráulicas impostas, de modo a avaliar a degradabilidade estrutural do solo. Nessa interpretação proposta por Santos (1997) a degradação estrutural do solo em consequência do fluxo amplia com o aumento da diferença entre as curvas de vazão nos ciclos de carga e descarga. Nessa pesquisa foi adotado o ciclo completo conforme proposição metodológica de Santos (1997).

3.3.12 Cisalhamento Direto

O ensaio de cisalhamento direto foi realizado, segundo as recomendações da norma D 3080 (ASTM, 2004), em amostras indeformadas com umidade natural. Para as voçorocas Túnel e

Contorno a inundação do corpo de prova ocorreu após 60 minutos do início da consolidação e para as demais voçorocas a inundação ocorreu após 30 minutos. Em todas as amostras a etapa de consolidação foi mantida até a estabilização dos deslocamentos verticais.

A etapa de cisalhamento foi realizada a uma velocidade que garantisse a drenagem do corpo de prova, de forma a não gerar poro pressões. Para definir a velocidade de cisalhamento necessita-se do tempo requerido para ruptura, t_f , que é determinado pela Eq. 3.6 apresentada por Gibson e Henkel (1954) *apud* Head (1982).

$$t_f = 12,7.(t_{100}) \quad (3.6)$$

Onde t_f , representa o tempo requerido para ruptura e t_{100} o tempo requerido para que ocorra 100% de adensamento pelo método de Casagrande.

Considerando-se um deslocamento relativo entre as partes da caixa de cisalhamento de 2 mm e um valor de t_f médio de 25,4 min, obteve-se uma velocidade de deslocamento máxima, correspondente ao tempo requerido para a ruptura (Eq. 3.7).

$$v_f = \frac{d}{t_f} \leq 0,079(mm/min) \quad (3.7)$$

Onde v_f , representa a velocidade de deslocamento e d , o deslocamento previsto para ruptura.

Adotou-se então, como velocidade de ruptura o valor de 0,045 mm/min, sendo duas horas de ruptura para um deslocamento relativo máximo igual 10%, ou seja, 6 mm de deslocamento cisalhante na caixa de seção quadrada usada nos ensaios e medindo 6 cm x 6 cm.

3.3.13 Mineralogia

Dentre os vários métodos existentes para caracterização mineralógica a difração de raios-x (DRX) tem sido um dos mais utilizados por ser um processo qualitativamente preciso, rápido e mais barato que outras técnicas. A técnica de difratometria de Raios X consiste em determinar as distâncias interplanares basais, ou seja, distâncias mantidas pelos átomos formadores dos cristais distribuídos coplanarmente na superfície das camadas sucessivas. Essas distâncias são determinadas pelo conhecimento do ângulo formado pelo feixe de Raios X incidente e o plano atômico que o difrata e do comprimento de onda desses raios.

As amostras foram preparadas de acordo com a rotina de análise do laboratório de Difratometria de Raios-X da UnB (Guimarães, 1999) e analisadas no equipamento RIGAKU

D/MAX – 2/C operando com tubo de cobre, sob voltagem de 35 kV e 15 mA, velocidade de varredura de 2°/minuto, no intervalo de 2° a 80° para 2 θ (para as amostras total e fração argila) e de 2° a 50° para 2 θ (amostra glicolada e aquecida). Os resultados são apresentados em forma de gráficos, denominados difratogramas. Os difratogramas foram interpretados com auxílio do *software* JADE 3.0 da MDI que faz uma procura automática dos picos dos minerais em um banco de dados mineralógicos do *International Centre for Diffraction Data*.

Foram preparadas lâminas com a amostra total e lâminas orientadas com a fração argila de cada um dos solos estudados conforme mostrado na Figura 3.19. Seguindo as instruções de Guimarães (1999) a preparação da amostra total, objetivou identificar os minerais das frações areia e silte. Desse modo, as amostras foram trituradas em gral de ágata e procedeu-se com a montagem das lâminas de alumínio vazada pressionando-se o pó para o preenchimento da abertura da lâmina. A preparação da lâmina orientada consistiu na separação da fração argila por dispersão de cerca de 15 gramas de amostra destorroada e dispersa em água. Essa dispersão é feita em centrífuga sob 750 rpm durante 7 min. Após esse procedimento a fração silte precipita, enquanto a fração argila permanece em suspensão. Posteriormente a fração argila é decantada por centrifugação a 1500 rpm. A pasta resultante desse processo é utilizada na preparação de lâminas com amostras orientadas por esfregaço. A amostra orientada sobre a lâmina é deixada ao ar para secagem e posteriormente é submetida ao ensaio.



Figura 3.19 - Lâminas orientadas com a fração argila dos solos.

Capítulo 4 - Caracterização do Meio Físico

“É preciso conversar com a terra”
(Álvaro Rodrigues dos Santos)

Esse capítulo apresentará os resultados e discussões referentes à caracterização do meio físico da área de estudo como um todo e detalhadamente do entorno de cada uma das voçorocas estudadas nessa pesquisa, sendo apresentados dados de clima, geologia, geomorfologia e pedologia.

4.1 CLIMA

A região Centro-Oeste possui, de acordo com Nimer (1989), um clima tropical subquente e subúmido, sendo o município de Anápolis inserido na área de clima tropical subúmido com duas estações bem definidas. A estação seca ocorre de abril a setembro e a estação chuvosa predomina de outubro a março com precipitações médias variando de 1.750mm a 2.000mm. Segundo Freitas (1995), a precipitação pluviométrica anual em Anápolis é de cerca de 1.450 mm. De acordo com o Centro Meteorológico Militar da Base Aérea de Anápolis - CMMBAAN (2005), que apresenta as precipitações médias anuais para o período 1985-2004 (Figura 4.1) em alguns anos registrou-se pouco mais de 2000 mm de precipitação. Segundo esses dados a precipitação média anual é de 1.569 mm. Destaca-se que nos relatórios de dados da CMMBAAN (2005) não estavam disponíveis os dados para os anos de 1987, 1988, 1989 e 1996 e, portanto, os mesmos não se encontram inseridos nas análises. Verifica-se que a precipitação média dos dados do CMMBAAN (2005) é consideravelmente superior a média apresentada por Freitas (1995). Tal diferença deve ser avaliada com cautela, pois a escala temporal trabalhada pelos referidos autores não é necessariamente a mesma e a precipitação em região tropical apresenta expressiva variação temporal e espacial, portanto, essas diferenças são justificáveis.

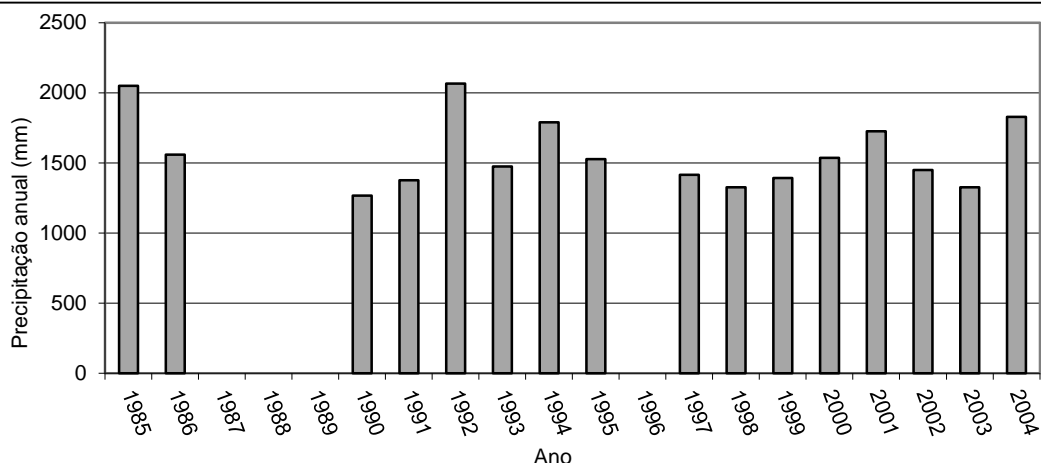


Figura 4.1 - Precipitação pluviométrica anual em Anápolis (CMMBAAN, 2005).

Freitas (1995) registra que nos períodos secos a umidade relativa do ar fica em torno de 50 % a 60 %, ultrapassando 80 % nos períodos chuvosos. Todavia, os termômetros tem registado, mesmo que pontualmente umidades abaixo de 10 % nos dias mais críticos de seca. Quanto à temperatura, o autor afirma que no mês de julho pode chegar a 7°C, e de janeiro a março pode atingir 30°C, sendo que a média anual varia entre 20°C e 23°C. Também para o caso das temperaturas, pontualmente são registradas temperaturas acima de 30°C.

Esses dados climáticos foram suficientes para Jesus (2007) inserir Anápolis na classificação do clima regional. Todavia, há que se salientar a existência de pequenas diferenças referentes ao elemento temperatura com relação a outras cidades, tais como Goiânia. Observações empíricas apontam para temperaturas mais baixas em torno de 3°C para a cidade de Anápolis. Essa pequena diminuição da temperatura é justificada pela variação altimétrica que conforme Ayode (1991) pode, a cada 100 m de altitude, diminuir em até 0,6°C, sendo que Anápolis está a cerca de 300 m de altitude acima de Goiânia. Além disso, é importante considerar que as temperaturas mais elevadas de Goiânia possuem uma influência do aglomerado urbano eficiente, por meio das edificações, transformar a radiação solar em calor sensível, além da alta concentração de veículos automotores circulantes na cidade liberando gases capazes de interagir com a radiação solar liberando-a na forma de energia térmica. Casseti (1991), aponta, inclusive para existência de ilha de calor com elevação da temperatura e umidade relativa do ar no centro de Goiânia com tendência de decréscimo nas temperaturas e acréscimo na umidade relativa do ar nos bairros mais periféricos.

Considerando o exposto, salienta-se ainda que em relação às elevadas altitudes e a morfologia plana de Anápolis há um favorecimento para um maior volume de precipitação bem como para um incremento na velocidade dos ventos. Ressalta-se, entretanto, que tais afirmativas

devem ser melhor avaliadas a partir de estudos climáticos mais detalhados em escala temporal e espacial, que fogem do escopo dessa pesquisa, de forma que evidencie o efeito topoclimático nas variações de temperatura, precipitação, ventos e umidade relativa do ar entre Anápolis e Goiânia.

Essas particularidades percebidas a nível empírico no clima de Anápolis, afetam a interação solo-atmosfera e por consequência podem afetar as condições de intemperismo do solo, intervindo, em princípio, na capacidade de infiltração, nos processos erosivos e na estabilidade das encostas e taludes das erosões.

4.2 GEOLOGIA

A geologia de Anápolis é descrita nessa pesquisa segundo os dados de Radaelli (1994) na Folha Anápolis SE.22-X-B-II e Araújo (1994) na Folha Nerópolis - SE. 22-X-I. Essas folhas integram o Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil (PLGB). Segundo o relatório dessas Folhas, Anápolis está inserida no Maciço Mediano de Goiás que, segundo Almeida *et al.* (1976 *apud* Radaelli, 1994), se situa entre o cráton do São Francisco, a leste, e o cráton Amazônico, a oeste. Essa área correspondente a Folha Anápolis é, segundo (Radaelli, 1994), constituída por terrenos metamórficos.

A área pesquisada é composta por quatro unidades estratigráficas (Apêndice C, Figura C.1): Complexo Granulítico Anápolis-Itauçu (APIgaio), Grupo Araxá Sul de Goiás (PMA), Coberturas Detrito-Lateríticas (TQdl) e Depósitos Aluvionares. (Qa). As unidades pertencem, respectivamente, ao Arqueano superior/Proterozóico inferior, Proterozóico médio, Cenozóico terciário/quaternário e Cenozóico quaternário).

4.2.1 Complexo Granulito Anápolis-Itauçu

O Complexo Granulito Anápolis-Itauçu possui as seguintes unidades litoestratigráficas: granulitos ortoderivados e paraderivados. Os granulitos ortoderivados são compostos basicamente por rochas de origem vulcânica de filiação básica-ultrabásica, predominantemente máficas, tais como os metagabros, anfibolitos, metapiroxenitos e charnokitos, apresentando granulação geralmente fina e proeminente orientação dos seus minerais, que gera pronunciada foliação das rochas. Essa litoestratigrafia é predominante na área estudada. Cabe destacar que a foliação em geral está preservada no saprólito e dependendo da orientação em relação as vertentes e taludes das erosões podem ou não

favorecer aos escorregamentos de taludes. Os granulitos paraderivados constituídos por rochas essencialmente félsicas oriundas de antigas rochas sedimentares, destacando-se os gnaisses aluminosos que apresentam granulação geralmente fina, além de granada-gnaisses com granulação grosseira. Estes últimos aparecem restritamente no extremo sul da folha, não tendo sido cartografados dentro do limite da área de estudo dessa tese.

Todavia, Jesus (2007), em observações de campo percebeu evidências da presença de paragrulitos por meio de saprólito com coloração róseo-esbranquiçada exposto nos taludes de profundas erosões. Esse saprólito possui estrutura conservada da rocha, mas com os minerais primários, exceto quartzo, totalmente intemperizados e substituídos por minerais secundários que conferem uma coloração esbranquiçada ao maciço. Segundo essa autora a maior proporção de minerais félsicos em relação aos máficos, aponta para o fato da rocha dominante na área ser de caráter félsico, ácido, integrante da unidade paraderivada.

4.2.2 Grupo Araxá Sul de Goiás

O Grupo Araxá Sul de Goiás é dividido, de acordo com os ambientes de formação, em quatro unidades: A – ambiente continental; B – marinho raso; C – litorâneo; D – litorâneo supramaré. Estas unidades geralmente são pouco espessas e se encontram dispostas, por aloctonia, sobre o Complexo Granulítico Anápolis-Itaúçu. Na área de estudo, ocorre apenas a Unidade B tendo como rocha predominante os gnaisses. Essa estratigrafia está cartografada ao norte, leste, sudeste e pontualmente a oeste da área de estudo.

4.2.3 Cobertura Detrítico-Laterítica

A Cobertura Detrítico-Laterítica é uma unidade autóctone extensamente distribuída na Folha Anápolis sobre as unidades mais antigas, ocorrendo preferencialmente nas superfícies planas em altitudes por volta de 1000 m. As coberturas detrítico-lateríticas apresentam-se sob a forma de crostas ferruginosas com níveis de degradação que aumentam conforme aumentam os declives das vertentes. Na área de estudo as lateritas foram cartografadas predominantemente ao norte e sul e mais restritamente a oeste.

4.2.4 Depósitos Aluvionares

Os Depósitos Aluvionares foram cartografados nas calhas de alguns rios, destacando-se as planícies do rio das Antas, dos córregos Catingueiro e Reboleiras e do ribeirão Extrema. O

detalhe da base cartográfica dessa pesquisa permite inferir que os limites dessa estratigrafia podem ser ampliados. Segundo Radaelli (1994) esses depósitos são constituídos por sedimentos arenosos formados basicamente por grãos de quartzo e minerais pesados como magnetita e ilmenita com intercalações de níveis síltico-argilosos, tendo sido verificadas ocorrências pontuais de turfa e cascalho.

4.2.5 Geologia Estrutural

No que se refere a geologia estrutural, processos tectônicos atuantes na região causaram o fatiamento crustal e imbricamento entre as partes, respondendo pelo contato mecânico entre os diferentes tipos litológicos de idades distintas. Esses eventos deformacionais geraram uma série de falhas transcorrentes com orientação dominante WNW / ESSE. Lacerda (2003), observando o mapa de drenagem percebeu grande número de drenagens orientadas a NW, tais como as cabeceiras do rio das Antas e seus afluentes da margem direita, sugerindo uma relação desse alinhamento com um sistema de falhas.

4.2.6 Recursos Minerais

A exploração mineral na área ocorre no Complexo Granulítico, nos Depósitos Aluvionares, na Cobertura Detrito-Laterítica e em aquíferos freáticos. No Complexo Granulítico é feita a mineração do gnaiss para utilização como brita, sendo que atualmente registra-se uma pedreira em atuação na poção sudeste da área estudada na margem direita do ribeirão Extrema (Figura 4.2 a). Nos Depósitos Aluvionares é feita a exploração de argila para confecção de telhas e tijolos, principalmente nas jazidas da planície da bacia do córrego Catingueiro a noroeste da área estudada, onde situam-se inúmeras olarias (Figura 4.2 b).

Atualmente muitas das jazidas aluvionares foram esgotadas procedendo-se com escavações no talude onde o solo tem uma característica bem argilosa associada ao B textural de argissolos. Esse procedimento, em geral, favorece a ocorrência de processos erosivos. Essas áreas foram intensamente mineradas nas décadas de 40 e 50, fornecendo telhas e tijolos para construção de Goiânia e Brasília.

Na Cobertura Detrito-Laterítica são implantadas “caixas de empréstimo” para retirada do cascalho laterítico (Figura 4.2 c). Em Anápolis existem muitos locais de retirada cascalho que, de um modo geral, não seguem um plano de recuperação de áreas degradadas quando cessam as explorações. Assim, esses locais passam a expor o saprólito sem nenhuma cobertura

vegetal, facilitando a ação erosiva das águas superficiais. Quase todas as “caixas de empréstimo” abandonadas são afetadas por processos erosivos laminares e lineares de variados portes. A exploração dos aquíferos freáticos ocorre por meio de duas extrações de água mineral.



Figura 4.2 - Exploração mineral em Anápolis: (a) Pedreira de gnaiss (Google Earth, 2010c); (b) Cavas de exploração de argila na planície do córrego Catingueiro (Google Earth, 2009); (c); Caixa de empréstimo de exploração de cascalho laterítico. (Google Earth, 2010d).

4.3 GEOMORFOLOGIA

Domínio dos chapadões recobertos por cerrados e penetrados por matas galerias é como Ab’Saber (1977) descreve o relevo da região do cerrado o qual, segundo esse autor, é caracterizado por apresentar amplos interflúvios, planos de cimeira e planos intermediários.

Goiás está inserido dentro desse domínio, onde dos diversos compartimentos de relevo identificados e mapeados destaca-se o Planalto Central Goiano, originalmente proposto por Pena *et al.* (1975 *apud* Mamede *et al.* 1983) e reconhecidos por Nascimento (1992); Mamede (1993) e Lacerda Filho (1999). Nesse compartimento está inserida, a subunidade do Planalto do Alto Tocantins-Paranaíba, onde se localiza Anápolis. Esta subunidade está localizada entre o Planalto do Distrito Federal e o Planalto Rebaixado de Goiânia, representando um segundo nível altimétrico com altitudes variando entre 800 e 1650m. Os relevos com altitudes variando

entre 1000 e 1200m apresentam topos truncados ou superfícies elevadas conservadas, niveladas por processo de pediplanação o que, segundo Nascimento (1992), pode ser observado em diversas cidades, tais como Anápolis.

As principais bacias hidrográficas que compõem a cidade de Anápolis estão localizadas na porção oeste e leste da cidade, sendo a Bacia do rio das Antas a leste e a do córrego Catingueiro a oeste (Apêndice C, Figura C.2). O rio das Antas, afluente pela margem direita do rio Corumbá, possui como principais sub-bacias, dentro da área de estudo, as bacias do córrego Reboleiras e do ribeirão Piancó (manancial de abastecimento de Anápolis) na sua margem esquerda e do ribeirão Extrema na sua margem direita. Já a bacia do córrego Catingueiro é tributária da bacia do ribeirão João Leite, onde são feitas as captações de água para abastecimento de Goiânia.

Segundo Lacerda (2005) a bacia do rio das Antas apresenta uma baixa densidade de drenagem, inferior a $1\text{km}/\text{km}^2$ e declividades predominantemente inferiores a 10%. Tais características morfométricas estão associadas à existência de solos profundos e permeáveis que faz com que as drenagens sejam raras e espaçadas. Todas estas drenagens são perenes, apresentam canal de forma retilínea, e possuem padrão de drenagem, de um modo geral, dendrítico, mas a alta e média bacia do rio das Antas possui um padrão de drenagem retangular demonstrando a influência geológica na conformação hidrográfica (Jesus, 2007). O rio das Antas, a partir do seu médio curso corre encaixado numa falha determinando a assimetria da bacia. Jesus (2007) destaca que, embora outras direções de fraqueza não tenham sido mapeadas, as drenagens retilíneas e paralelas, em ambas as margens da alta bacia, e os ângulos de 90° na sua confluência com o rio das Antas sugerem controle estrutural da drenagem apontado no item 4.2 referente a geologia.

A bacia do Córrego Catingueiro apresenta um padrão de drenagem predominantemente dendrítico, um número relevante de vales secos e uma densidade de drenagem bastante adensada com valores de densidade de drenagem de 2 a $4\text{ km}/\text{km}^2$ e declividades elevadas em torno de 20% (Santos & Lacerda, 2004). Essa rede de drenagem forma um arco com convexidade voltada para a parte centro-leste evidenciando logo numa primeira observação da rede hidrográfica dois compartimentos distintos na área de estudo o de oeste e o de leste conforme foi apresentado.

A geomorfologia de Anápolis é descrita em trabalhos pontuais, desenvolvidos por vários autores para algumas partes da cidade tais como: porção centro-leste de Anápolis (Jesus &

Lacerda, 2004), porção noroeste (Santos & Lacerda, 2004, Santos & Lopes 2007), alta bacia do rio das Antas (Teixeira *et al.*, 2005; Jesus & Lopes, 2006), porção sudoeste (Ávila & Lacerda, 2006); bairro Geovane Braga (Santos & Lemes, 2007), bacia do ribeirão extrema (Teixeira & Romão, 2009). Mapeamento geomorfológico contemplando a área urbana e periurbana foi desenvolvido por Lacerda (2005), que denomina esse mapeamento como “mapa fotointerpretado de formas de relevo”. Com base nesse material cartográfico, será descrito no item a seguir, os compartimentos do relevo da área estudada nessa tese.

4.3.1 Mapa geomorfológico

Do ponto de vista dos processos atuantes, Lacerda (2005), distingue três modelados de relevo em Anápolis. Modelado de Aplanamento, Modelado de Dissecação e Modelado de Acumulação. Estes modelados cartografados por Lacerda (2005) podem ser observados em mapa no Apêndice C (Figura C.3). O Modelado de Aplanamento é composto por Topos Planos e Rampas de 1ª e de 2ª geração. O Modelado de Dissecação é composto pelos seguintes compartimentos: Baixas Vertentes, Morros e Cristas. Por fim, o Modelado de Acumulação é composto por formas de acumulação fluvial, caracterizadas como Planícies e Terraços Fluviais. A Figura 4.3 permite a visualização do perfil esquemático de cada um dos compartimentos que compõem esses modelados.

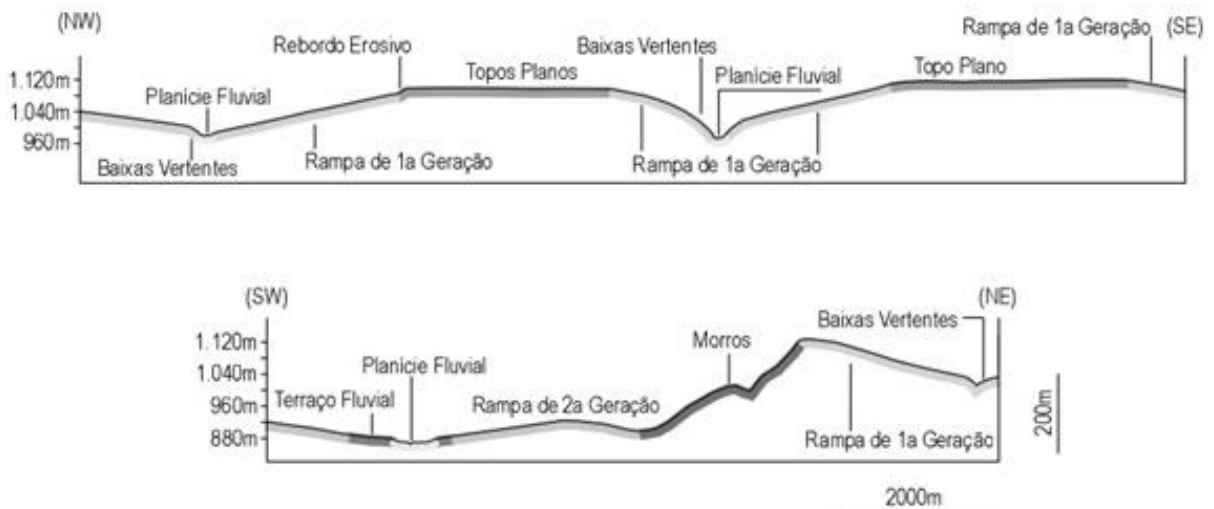


Figura 4.3 – Perfis esquemático de formas de relevo (Lacerda, 2005).

No Modelado de Aplanamento os Topos constituem, segundo Lacerda (2005), os divisores das principais bacias hidrográficas da área de estudo tendo sido cartografados ao sul e ao norte da área (Tabela 4.1). As Rampas de 1ª geração constituem amplos interflúvios posicionados entre os Topos Planos e as Baixas Vertentes, tendo sido amplamente

cartografadas nas porções leste da área (Tabela 4.1). Os limites das Rampas de 1ª Geração com os Topos Planos ocorrem por meio de rebordos erosivos, descritos por Lacerda (2005) como pequenos segmentos de vertentes, com declividades geralmente entre 10% e 20%, amplitude altimétrica da ordem de 20m e comprimento de 80m. Esses rebordos não aparecem no mapa geomorfológico de Lacerda (2005), todavia, no mapa de declividade em escala 1:20.000, elaborado nessa tese, esses rebordos são muito nítidos exibindo as altas declividades descritas por Lacerda (2005). As Rampas de 2ª geração foram restritamente cartografadas na porção oeste da área estudada, onde também assumem a posição de interflúvio, ora conectando compartimentos de morros entre si, ora conectando os morros ao Modelado de Acumulação (Tabela 4.1).

Tabela 4.1 - Descrição do Modelado de Aplanamento (adaptado de Lacerda, 2005).

Descrição	Modelado de Aplanamento		
	Topos planos	Rampas de 1ª Geração	Rampas de 2ª Geração
Localização	Sul e norte	Leste	Oeste
Altitude	1080 a 1120 m	1000 a 1080 m	1000 a 1080 m
Declividade	< 2%	2 a 8%	4 a 6%
Dimensões	Larguras variáveis, podendo atingir cerca de 2500 m	700 m de comprimento de rampa	1500 m de comprimento de rampa
Forma em Perfil	Tabular	Longitudinalmente retilínea e transversalmente convexa	Retilínea

No Modelado de Dissecação as Baixas Vertentes foram cartografadas na porção leste na forma de faixas bordejando as drenagens (Tabela 4.2). Os principais limites das Baixas Vertentes são com as Rampas de 1ª geração, mais raramente também fazem contato com Topos Planos nas cabeceiras de drenagem. Esses limites são marcados por ruptura de declive positiva geralmente acompanhada de uma mudança na morfologia.

Os Morros são restritos a porção oeste, onde a dissecação é caracterizada por Lacerda (2005) como homogênea, sendo que nos limites com os Topos Planos e Rampas de 1ª geração formam-se cabeceiras de drenagem, marcadamente côncavas em planta e perfil, constituindo anfiteatros erosivos com paredes íngremes, sendo registrado nesses locais as maiores declividades, com valores de 20 a >45% (Tabela 4.2). No restante da área, as vertentes são geralmente dissecadas por pequenas drenagens perenes ou intermitentes existindo diversos vales secos. O compartimento de Cristas é constituído por uma associação de cristas isoclinais, onde as encostas exibem formas complexas, com ressaltos devido às influências litoestruturais (Lacerda, 2005). O compartimento de Cristas ocorre em meio ao

compartimento de Morros na porção sudoeste da área. Esse compartimento possui segundo Lacerda (2005) forma em arco, bem como a orientação das elevações, sugere tratar-se de uma charneira de dobra (Tabela 4.2).

Tabela 4.2 - Descrição do Modelado de Dissecação (adaptado de Lacerda, 2005).

Descrição	Modelado de Dissecação		
	Baixas Vertentes	Morros	Cristas
Localização	Leste	Oeste	Sudoeste
Altitude	Predominantemente inferior a 1000 m acompanhando os fundos de vales	Se projetam de áreas com 1080 a 1120 m a áreas com 920 m de altitude	920 a 1040 m
Declividade	8 a 20%	8 a >45%	10 a 20%
Dimensões	200 a 500 m de comprimento de rampa	200 a 500 m de comprimento de rampa	500 m de comprimento e 100 m de largura
Forma em Perfil	Predominantemente convexas e raramente retilíneas	Côncava em cabeceiras de drenagem, convexa e retilínea nas vertentes	Cristas isoclinais

No Modelado de Acumulação as Planícies ocorrem a leste em quase toda a extensão do córrego Reboleiras e Ribeirão Extrema e em boa parte da extensão do rio das Antas, em oeste destaca-se a Planície do córrego Catingueiro (Tabela 4.3). Por sua relação com as formas de uso do solo, Lacerda (2005) destacou a Planície Fluvial do Rio das Antas e do córrego Catingueiro, sendo que a primeira foi ocupada no processo de urbanização e constitui a principal área de inundações da cidade Anápolis. Já a segunda abriga numerosas lavras de argila para cerâmica vermelha conforme já foi descrito no item 4.2.6 referente a geologia. Os Terraços são compartimentos alçados em relação às planícies de inundação adjacentes (Tabela 4.3). Eles ocorrem na margem direita do baixo curso do rio das Antas, margem direita do baixo curso do córrego Reboleiras e em ambas as margens do córrego Catingueiro, tendo largura e comprimento mais expressivos na margem esquerda desse córrego.

No que se refere à suscetibilidade erosiva Lacerda (2005) aponta o Modelado de Dissecação como crítico e o Modelado de Aplanamento com baixa suscetibilidade. O primeiro é naturalmente favorável à instalação de processos erosivos, devido às declividades médias a muito fortes e presença de cabeceiras de drenagem em anfiteatros erosivos. O segundo possui declividades muito fracas a fracas, todavia possui grandes comprimentos de rampa que em função de determinados tipos de uso do solo concentradores de fluxo d'água tem desencadeado a formação de ravinas e voçorocas.

Tabela 4.3 - Descrição do Modelado de Acumulação (adaptado de Lacerda, 2005).

Descrição	Modelado de Acumulação	
	Planícies Fluviais	Terraços Fluviais
Localização	Leste (córrego Reboleiras, ribeirão Extrema e rio das Antas) e oeste (córrego Catingueiro)	Leste (córrego Reboleiras e rio das Antas) e oeste (córrego Catingueiro)
Altitude	Inferiores a 1000 m	Inferiores a 1000 m
Declividade	< 2%	< 2%
Dimensões	<p>Rio das Antas Largura: 300 m a jusante da área urbana e 100 m próximo ao centro da cidade Comprimento: 11500 m</p> <p>Córrego Reboleiras Largura: 200 m Comprimento: 10000 m</p> <p>Córrego Catingueiro Largura: 500 m Comprimento: 5000 m</p>	<p>Rio das Antas Largura: 1000 m Comprimento: 3600 m</p> <p>Córrego Reboleiras Largura: 900 m Comprimento: 1300 m</p> <p>Córrego Catingueiro Largura: 1200 m Comprimento: 3600 m</p>
Forma em Perfil	Plana	Plana ou ligeiramente inclinada

Na porção sudeste na bacia do ribeirão Extrema, Teixeira (2008) também constatou nos compartimentos de vertentes do Modelado de Dissecação uma alta suscetibilidade a erosão, tendo constatado nele 14 voçorocas e 18 ravinas. A Superfície de Cimeira naturalmente não suscetível a ocorrências erosivas, também tem sido alvo do escoamento superficial concentrado, especialmente em estradas que não contam com sistema de drenagem e cascalheiras desprovidas de vegetação natural. Nas estradas foram registradas quatro áreas com ocorrência de sulcos e três ravinas. Cinco cascalheiras foram mapeadas com ocorrência de processos erosivos intensos.

4.3.2 Atributos Morfométricos e Morfológicos

Os atributos morfométricos e morfológicos referem-se ao modelo de sombras, mapa hipsométrico, mapa de diversidade altimétrica, mapa de declividade, orientação das vertentes, mapa de curvatura, mapa de distância de drenagem. Esses elementos são produtos do processamento da base topográfica detalhada podendo acrescentar informações ao mapa geomorfológico de Lacerda (2005).

4.3.2.1 Modelo de Sombras

O Modelo de sombras (Apêndice C, Figura C.4) permite, especialmente para a área em que o

modelo possui maior detalhe, uma visão geral e tridimensional da área estudada, revelando um processo de dissecação por vales bem entalhados separados por topos ora planos ora ligeiramente convexizados, destacando-se um entalhamento mais acentuado a oeste conforme os dados morfométricos abordados a seguir irão demonstrar.

4.3.2.2 *Altimetria*

As características altimétricas apresentadas no mapa hipsométrico (Apêndice C, Figura C.5) mostram que as áreas mais elevadas estão associadas aos topos dos interflúvios e as áreas mais baixas estão nos fundos de vale, sendo que as altitudes vão decrescendo como fruto do entalhamento promovido pela drenagem. As maiores cotas altimétricas atingem 1165 m e predominam nos topos localizados na porção sul e norte já as menores altitudes atingem 855 m concentrando-se nos vales da porção oeste de Anápolis. Considerando as maiores e menores altitudes verifica-se uma amplitude altimétrica da ordem de 310 m. Na bacia do córrego Catingueiro as maiores altitudes estão em torno de 1040 m e as menores são de aproximadamente 855 m respondendo por considerável amplitude de 185 m em um eixo longitudinal de aproximados 7 km apenas. Já na bacia do rio das Antas as maiores altitudes estão em torno de 1165 m e as menores estão em torno de 960 m respondendo por uma amplitude de 205 m, valor muito próximo do apresentado pela bacia do córrego Catingueiro, porém em um eixo longitudinal três vezes maior, de cerca de 21 km. Logo, a amplitude da bacia do rio das Antas, apresenta com relação a bacia do córrego Catingueiro, uma amplitude consideravelmente baixa.

4.3.2.3 *Diversidade Altimétrica*

Desníveis altimétricos acentuadas em determinada porção da área estudada podem ser melhor observados no mapa de diversidade altimétrica (Apêndice C, Figura C.6). Esse mapa revela uma diversidade altimétrica de Média Alta a predominantemente Alta, nas nascentes do córrego Piracanjuba, na margem esquerda do ribeirão Reboleiras e marcadamente na porção oeste de Anápolis na bacia do córrego Catingueiro. Diversidade altimétrica de Média a predominam em toda a área urbana de Anápolis onde estão a bacia do rio das Antas à margem direita do córrego Reboleiras e alta bacia do ribeirão Extrema. Todavia, dentro dessa área ocorrem mais restritamente ao longo das baixas vertentes Média Alta a Alta diversidade altimétrica. As áreas de diversidade altimétrica coincidem com os locais de ocorrência de

erosão. Em Goiânia Nunes *et al.* (2008) concluíram que as classes de maior diversidade altimétrica se refletiram nas porções nordeste e predominantemente na porção sudeste do município, onde predomina uma maior dissecação do relevo no que se refere aos processos erosivos.

4.3.2.4 Declividade

A diversidade altimétrica pode ser refletida na declividade e o mapa de declividade da área (Apêndice C, Figura C.7) mostra essa relação. A porção oeste com alta diversidade altimétrica também possui uma concentração de altas declividades de 15 % a > 45 % que também aparecem à esquerda do córrego Reboleiras e nas nascentes do córrego Piracanjuba. De um modo geral em toda a área de estudo as cabeceiras de drenagem e baixas vertentes apresentam altas declividades. Além disso, a transição entre os topos planos e as vertentes também é marcada por altas declividades. As baixas declividades, declividades inferiores a 2 %, evidenciam topos planos e planícies fluviais cartografadas por Lacerda (2005) no mapa geomorfológico descrito no item anterior. Ross (1994) aponta que o aumento da declividade amplia a fragilidade do relevo em relação a ocorrência de erosões, sendo que declividade de 20 a > 30% elevam essa fragilidade para forte a muito forte.

Em Anápolis a maior parte das erosões ocorre em declividades elevadas superiores a 15%, mas faz-se necessário uma maior reflexão sobre essa ocorrência. Considerando-se o efeito da energia externa proveniente da força de percolação da água, à medida que a declividade se acentua, para uma mesma morfologia de relevo, amplia-se a energia trativa da água sobre o solo no fluxo superficial, e por consequência, o seu potencial erosivo. Fácio (1991) realizando ensaios de erodibilidade em solos do Distrito Federal no equipamento de inderbitzen verificou que aumentar a inclinação da rampa ocorria um aumento na perda de solo, confirmando que a erodibilidade do solo pode se acentuar em maiores declividades.

Internamente, a diferença de potencial gravitacional aumenta com a ampliação da declividade induzindo alterações mais aceleradas no maciço e favorecendo a sua mais rápida instabilização. Outro aspecto pouco considerado diz respeito à influência da ocupação e uso do solo no topo plano dos maciços tanto em área rural como urbana. A química introduzida no solo pode, ao atingir a encosta migrar rapidamente alterando a estabilidade estrutural do solo e favorecendo o desencadeamento de processos erosivos (Oliveira *et al.*, 2012). É importante destacar que, predominantemente, esses processos erosivos se associam a fluxos de

subsuperfície realçando assim a possível importância do carreamento desses compostos químicos por meio do fluxo no desencadeamento e evolução dos processos erosivos.

4.3.2.5 *Curvatura*

O mapa de curvatura em planta (Apêndice C, Figura C.8) mostra que as formas côncavas tendem a ser restritas às cabeceiras de drenagem. Na porção leste as cabeceiras côncavas a montante possuem interflúvios retilíneos e a jusante fazem transição diretamente para formas convexas nas médias e baixas vertentes. A porção leste possui uma concentração de formas retilíneas em planta, sendo essa morfologia menos frequente na porção oeste e sul, onde concentram-se formas convexas seguidas de formas côncavas.

O mapa curvatura em perfil (Apêndice C, Figura C.9) da área estudada demonstra que as áreas côncavas respondem por cabeceiras de drenagem e fundos de vale em geral, as áreas retilíneas estão relacionadas a topos planos e algumas vertentes e as formas convexas estão relacionadas a topos convexos e médias vertentes. Na porção oeste e sul predominam interflúvios convexas se conectando a fundos de vale côncavos. Na porção leste os interflúvios tendem a serem marcados por topos ou vertentes retilíneas que transicionam para vertentes convexas que por sua vez transicionam para vertentes côncavas.

A intersecção entre a espacialização da curvatura em planta com a espacialização da curvatura em perfil (Apêndice C, Figura C.10), permitiu verificar que assim como nos demais parâmetros morfológicos e morfométricos, a porção leste e oeste apresentam comportamento distinto, tendo em comum apenas o fato de ambos os compartimentos apresentarem morfologia côncava-côncava nas cabeceiras de drenagem e muito pontualmente nas baixas vertentes. Na porção leste predominam interflúvios retilíneos-retilíneos que se conectam a baixas vertentes com morfologia predominantemente convexo-retilínea e mais raramente convexa-convexa, as quais podem transicionar para formas côncavas-retilíneas que nas margens dos cursos d'água respondem pela existência de planícies fluviais. Na porção oeste os interflúvios são marcados por morfologia convexo-convexo que transicionam ora para morfologias côncavo-convexo ora para morfologia convexo-retilínea destacando-se a jusante das cabeceiras de drenagem morfologias retilíneas-retilíneas e próximo ao leito do córrego Catingueiro morfologias côncavo-retilíneas.

A morfologia pode comandar os fluxos superficiais e subsuperficiais, tanto no maciço saturado como no não saturado. Desse modo, faz-se necessário separar os mecanismos

atuantes de superfície daqueles de subsuperfície. Nos mecanismos de superfície a forma côncava em planta atua concentrando o fluxo e ampliando o potencial erosivo da água precipitada. Essa ampliação da concentração do fluxo superficial geralmente se dá por dois motivos pela declividade lateral favorável à concentração e pela tendência ao estreitamento da área de fluxo. No relevo convexo em planta as tendências são contrárias a estas. Ainda quanto ao fluxo superficial considerando a forma do relevo em perfil é possível depreender que na forma convexa existe uma tendência a reduzir a força trativa da água devido à menor componente de tensão normal. Na forma côncava esta tensão normal tende a ser mais elevada assumindo, embora com maior perda de energia, um potencial erosivo elevado. Na forma convexa a tensão normal tende a assumir valor intermediário, porém ocorre menor perda de energia que na forma côncava.

Considerando-se agora o fluxo de subsuperfície a forma do relevo em planta e em perfil também são passíveis de intervirem no processo erosivo. Na forma côncava se tem no manto não saturado uma maior preservação da umidade junto ao talude que na forma convexa. Isso porque na superfície côncava a área externa de evaporação é inferior à interna ao maciço. Essa diferença em relação à área externa de evaporação se amplia à medida que se penetra no maciço e isso contribui para a preservação da umidade. Na forma convexa ocorre o inverso favorecendo, assim, por meio da evaporação a maior desidratação do maciço. Esse comportamento do fluxo de subsuperfície no manto não saturado oferece dois reflexos sobre o processo erosivo: por um lado a maior umidade presente nos maciços de forma côncava propiciam maior instabilidade ao talude podendo por meio de sua ruptura desencadear processos erosivos, e por outro, quanto mais desidratado o solo, maior a sucção/capilaridade nele atuante e por consequência maior o risco de no processo de infiltração das águas pluviais se atingir pressões na fase ar que ultrapassem a coesão do solo favorecendo o processo erosivo superficial. Essa situação é, portanto, crítica na forma convexa seja em planta, seja em perfil.

No manto saturado, por motivos similares, mas agora realçando a importância da concavidade e da convexidade em planta devido a maior importância do efeito gravitacional sobre o fluxo, se tem a presença de pressões neutras mais elevadas junto aos taludes côncavos em planta que nos convexos. Com isso nas formas côncavas se tem maiores pressões neutras junto aos taludes e por consequência maior risco de ruptura e desencadeamento de processos erosivos. Também nessa forma em planta se tem maiores gradientes junto ao pé do talude o que favorece a processos de erosão interna e solapamento dos pés dos taludes. Na Figura 4.4 (a) e

(b) são apresentados os croquis que permitem uma melhor visualização do exposto.

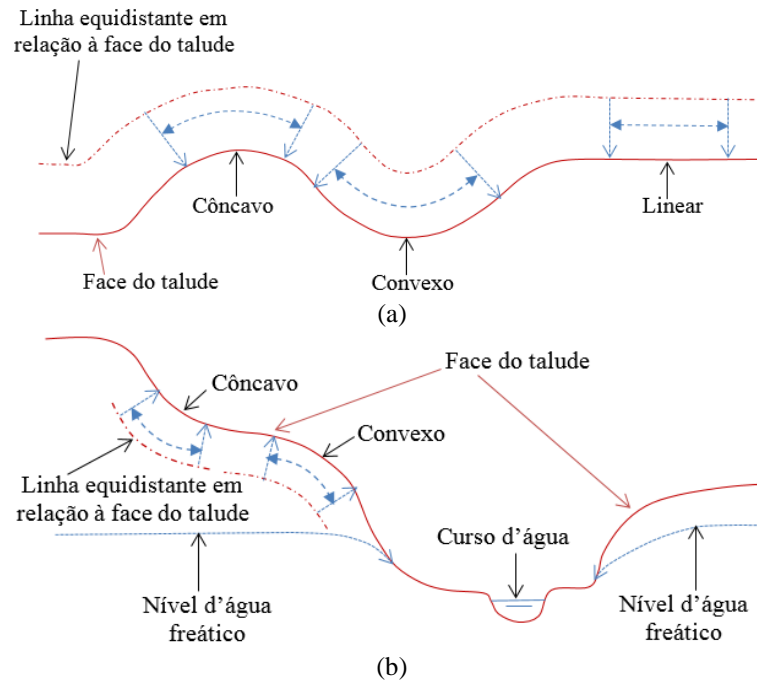


Figura 4.4 - Fluxo no maciço: (a) ampliação, redução e manutenção da área de fluxo respectivamente em formas côncava, convexa e linear em planta; (b) ampliação e redução da área de fluxo respectivamente em formas côncava e convexa e maior rebaixamento da linha freática na forma convexa em planta que na forma côncava em planta.

Toda essa reflexão a respeito da influência da forma do relevo sobre o modo como ocorre o fluxo e sua interferência no desencadeamento e evolução dos processos erosivos requer, no entanto, ser complementada pela análise da importância que exerce a forma do relevo na atuação das tensões geostáticas no maciço.

Usando-se as mesmas conformações geométricas apresentadas na Figura 4.4 (a) e (b) é mostrado na Figura 4.5 (a) em planta e na Figura 4.5 (b) em perfil o que ocorre em termos das tensões geostáticas ao se alterar a forma do relevo. Observa-se que na forma côncava em planta se tem uma concentração das tensões à medida em que se aproxima do talude o que amplia a resistência do solo. Já na forma convexa ocorre uma relaxação dessas tensões contribuindo para a perda de resistência do solo. No seguimento linear ela se mantém inalterada ao longo do maciço. Se considerado agora o perfil os efeitos serão similares. Com isso se tem que a influência da propagação das tensões no processo erosivo, tanto no seu desencadeamento como na sua evolução, é oposta ao que se verificava quanto ao fluxo. Por consequência, o desencadeamento e evolução da erosão serão facilitados no ponto crítico oriundo do balanço entre as duas componentes de influência que se contrapõem, o fluxo e o estado de tensão. Fatores como a natureza e estrutura do solo e o próprio nível de curvatura

nas formas côncavas e convexas interferirão na definição do ponto crítico. Com isso, não raro o ponto crítico situa-se em posição intermediária ou seja fugindo um pouco do ponto de raio mínimo das formas geométricas.

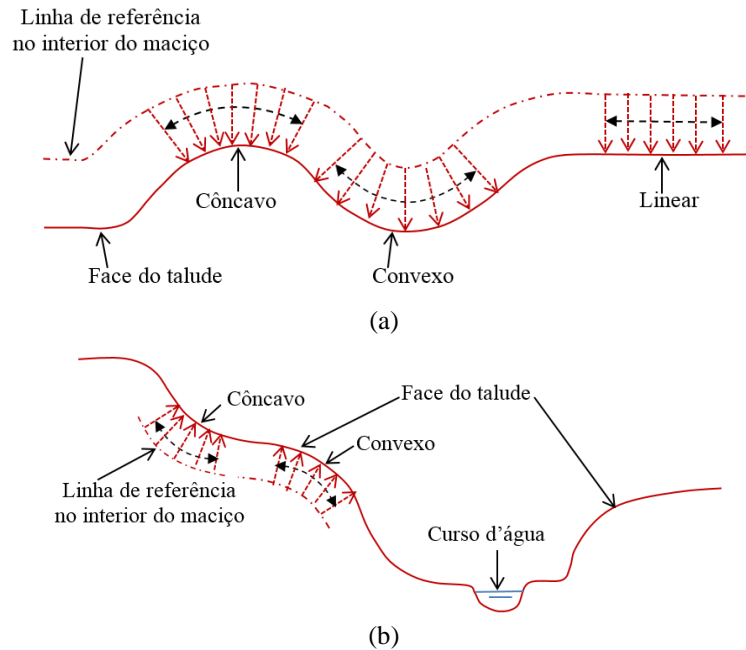


Figura 4.5 - Concentração de tensões geostáticas no maciço: (a) Concentração, alívio e manutenção das tensões respectivamente nas formas côncava, convexa e linear em planta; (b) Concentração e alívio das tensões respectivamente nas formas côncava, convexa em perfil.

Em Anápolis essa dinâmica dos fluxos e tensões pode ser utilizada na explicação da evolução dos processos erosivos com ênfase em vertentes côncavas, tal como o observado nas cabeceiras de drenagem. As cabeceiras de drenagem são muito afetadas nessa área por processo de voçorocamento sendo cinco das sete voçorocas selecionadas para esse estudo situadas em cabeceira de drenagem. As outras duas voçorocas são situadas em vertente com o terço superior ligeiramente concavizado e a porção a jusante suavemente convexa. Nesse caso, embora com maior dispersão do fluxo d'água o maciço mais desidratado induziria a pressões na fase ar que ultrapassam a coesão do solo favorecendo a erosão mediante a infiltração das águas da chuva conforme descrito anteriormente.

4.3.2.6 Orientação

No que se refere ao mapa de orientação das vertentes (Apêndice C, Figura C.11) é possível verificar que não existem discrepâncias relevantes quanto ao percentual de vertentes com relação às orientações geográficas, sendo aproximadamente 37% orientadas a Leste, outras 37% orientadas a Oeste, 14% a Norte e, por fim, cerca de 11% orientadas a Sul (Tabela 4.4).

Todavia, a distribuição espacial dos diversos tipos de orientações apresenta um padrão heterogêneo com a seguinte distribuição: a porção Noroeste apresenta um predomínio de vertentes orientadas a Sul e Sudoeste; na porção Sudoeste vertentes com orientação para Noroeste ganham destaque; na porção Leste, a margem direita dos cursos d'água possui uma forte tendência de orientação a Leste e Nordeste com alguns interflúvios com orientação a Noroeste, enquanto a margem esquerda dos cursos d'água se orientem predominantemente a Sul, Sudeste e Sudoeste.

Tabela 4.4 - Área das classes do mapa de orientação das vertentes.

Classe	Área km ²	Área %
N	53.045.400	14,0
NE	52.651.975	13,9
NW	50.538.175	13,3
S	44.017.750	11,6
SE	43.262.075	11,4
SW	46.283.525	12,2
W	44.523.500	11,7
L	45.500.750	12,0
Total	379.823.150	100,0

Luiz (2012) destaca a importância de considerar a exposição e a orientação das vertentes e as características climáticas que comandam a oferta e a demanda de umidade na interface solo/atmosfera, principalmente quando se consideram os fluxos a partir do ganho e da perda de temperatura e umidade no solo. Essa autora verificou para a cidade de Goiânia que as temperaturas mais elevadas na superfície ocorrem, principalmente, nas vertentes orientadas para norte, nordeste, noroeste e leste e, com menor expressão, em ordem decrescente, nas vertentes voltadas para sudeste, oeste, sul e sudoeste. Todavia, a que se destacar a influência da cobertura do solo na constatação de Luiz (2012).

Esse tipo de correlação entre temperatura da superfície com orientação das vertentes e cobertura do solo não faz parte do escopo dessa pesquisa. Contudo, vale destacar a orientação das vertentes como atributo do relevo que pode favorecer a ocorrência de processos erosivos ou contribuir no seu processo evolutivo. Lima (2003) verificou em Brasília que a borda de incisões erosivas, do tipo voçoroca, expostas a maiores interações com a atmosfera resultou em modificações físico-química do solo contribuindo para evolução desse processo.

Em Anápolis as vertentes da porção Noroeste orientadas a Sul e Sudeste recebem o sol da manhã e não possuem um ganho calorífico significativo ao longo do ano, todavia as altas

declividades da área favorecem a um acúmulo de energia elevando a temperatura da superfície durante o ano. As vertentes da porção Sudoeste orientadas predominantemente a Noroeste recebem a radiação solar do período da tarde com um acentuado ganho calorífico durante o ano, quadro agravado pelas altas declividades que favorecem a concentração de energia na superfície. Na porção leste as vertentes da margem direita dos cursos d'água orientadas predominantemente à Leste, Nordeste e Noroeste e as vertentes da margem esquerda dos cursos d'água orientadas a Sul, Sudeste e Sudoeste atribuem uma configuração mista a área no que se refere a incidência da radiação solar predominando o sol da manhã nas vertentes orientadas a Leste, Nordeste, Sul e Sudeste e o sol da tarde na vertentes orientadas a Noroeste. As vertentes orientadas para o quadrante Norte (Nordeste, Noroeste) favorecem o acúmulo de energia calorífica ao longo do ano, mas as baixas declividades porção Leste proporcionam um ganho de energia mais homogêneo com uma distribuição da energia na superfície. Logo, o arranjo de orientação e declividade das vertentes da porção Oeste de Anápolis favorecem a uma maior interação solo/atmosfera que podem ser mais acentuadas pelo uso e cobertura do solo como será observado no Capítulo 6.

Em geral a degradação do maciço é mais relevante nas superfícies que recebem o sol da tarde e/ou naquelas que recebem o sol o dia todo, isso porque ocorre um grande gradiente térmico entre o dia e a noite. Esse gradiente promove a secagem do solo que por sua vez tende a aumentar a pressão na fase ar induzindo maior quantidade de trincas de contração que podem se refletir no interior do maciço instabilizando-o e favorecendo ao processo erosivo. Das sete erosões estudadas cinco estão em áreas que recebem uma maior energia calórica em função da sua exposição. Numa análise geral nota-se que a gênese da erosão não possui uma vinculação direta com a orientação do relevo. Por outro lado, uma vez instalado o processo a radiação solar mais intensa em um dos taludes influencia, junto com outros fatores do meio físico, na dinâmica evolutiva da erosão. Tal influência pode ser observada nas voçorocas Túnel, Contorno e Geovane Braga como está descrito no item 4.5 deste capítulo

4.3.2.7 Distância de Drenagem

O mapa de distância de drenagem (Apêndice C, Figura C.12) mostra uma predominância de áreas bem distantes dos cursos d'água como resposta a conformação geomorfológica da área onde predominam amplos interflúvios, sendo que aproximadamente 71 % da área estudada está a mais de 100 m de distância de um curso d'água (Tabela 4.5). Todavia, na porção oeste

onde a dissecação é mais acentuada, os interflúvios são menores e as classes de distância de 0 a 50m em vários pontos chegam a se interconectar. Portanto, a porção oeste está entre os 21 % da área mapeada localizadas de 0 e 100 m de distância dos cursos d'água (Tabela 4.5). As áreas próximas aos cursos d'água tendem a apresentar um nível freático mais elevado e portanto mais fácil de ser interceptado na presença de erosão linear, facilitando portanto o surgimento de processos de voçorocamento. Destaca-se que porção oeste já é muito afetada por voçorocas que se instalaram em cabeceiras de drenagem.

Tabela 4.5 - Área das classes do mapa de distância de drenagem.

Classe	Área (km ²)	Área (%)
0 a 50m	49.532.400	11
50 a 100m	44.370.100	10
100 a 200m	74.951.600	17
200 a 500m	161.263.600	37
500 a 1000m	100.328.600	23
>1000m	10.486.500	2
Total	440.932.800	100

4.4 PEDOLOGIA

Não existem mapeamentos pedológicos detalhados para a área de estudo, com exceção de trabalhos pontuais de Jesus (2007) para a alta bacia do rio das Antas, Santos & Lopes (2007) para a bacia do córrego Lagoinha na porção noroeste e Teixeira (2008) para a bacia do ribeirão Extrema à sudeste. Lacerda (2005) elaborou um esboço das formações superficiais apresentado em escala 1/50.000 para toda a área estudada. O esboço de formações superficiais de Lacerda (2005) apresenta uma associação de formações descritas da base para o topo do maciço, sendo distinguidas 4 associações de formações superficiais, conforme sua ocorrência no relevo (Tabela 4.6).

Embora, muito útil para entendimento da evolução do maciço de solo, esse esboço não oferece informação pedológica detalhada, pois foi elaborado numa perspectiva geológica embasada em mapas geológicos e trabalho de campo que teve como mapa base de solos o mapa pedológico elaborado por Novaes *et al.* (1983) apresentado em escala 1:1.000.000 para compor o RadamBrasil. Informação de solos com maior detalhe nos níveis de classificação pedológica para toda a área de estudo só pode ser obtido por meio do mapeamento pedológico realizado pelo Plano Diretor da bacia do rio Paranaíba (SIEG, 2005), todavia esse mapeamento foi feito, ainda em escala pequena, sem grande detalhe espacial e adotando a

antiga classificação de solos (Apêndice C, Figura C.13).

Tabela 4.6 - Relação de formações superficiais com compartimentos do relevo (Adaptado de Lacerda, 2005)

Formação superficial	Relevo de ocorrência
Saprólito; Couraça Laterítica; Latossolo Vermelho-Amarelo Concrecionário	Topos Planos Rampas de 1ª Geração
Saprólito; Cascalhos com fragmentos de concreções lateríticas; Cascalho com fragmentos de quartzo; Latossolo Vermelho-Escuro	Rampas de 2ª Geração
Saprólito; Cascalhos com fragmentos líticos e de quartzo de veio; Podzólico Vermelho-Amarelo	Cristas e Morros
Saprólito; Aluviões; Depósitos tecnogênicos	Planícies e Terraços Fluviais

Nesse mapeamento foram cartografados na área de estudo as seguintes classes de solos: Latossolo Vermelho-Amarelo (LV), Latossolo Vermelho Escuro (LE), Podzólico Vermelho Escuro (PE) e Latossolo Petroplântico (LP). Na atual classificação de solos da Embrapa (1999), o Podzólico e o Latossolo Petroplântico são denominados, respectivamente, de Argissolo e Plintossolo Pétrico. Na área de estudo esses solos foram aqui cartografados em associação com outros tipos de solo como descrito na Tabela 4.7.

Na área de estudo o Latossolo Petroplântico (LPd) foi cartografado apenas na porção sudeste no divisor de águas entre a bacia do rio das Antas e do ribeirão Extrema. O Latossolo Vermelho-Amarelo (LVd) na sua associação 2 (LVd2) ocorre a noroeste e nordeste da área em interflúvios do ribeirão Piancó. Já na sua associação 3 (LVd3) foi cartografado na porção sul em interflúvios que separam as bacias do Rio das Antas, ribeirão Extrema e Córrego Piracanjuba. O Latossolo Vermelho Escuro (LE) foi amplamente cartografado na área em dois tipos de associações (LEd2 e LEd5). O LEd2 ocorre na porção centro leste e mais restritamente no extremo oeste. Já o LEd5 ocorre na porção sul nas cabeceiras do córrego Piracanjuba e nas vertentes da bacia do Ribeirão Extrema. Por fim, o Podzólico Vermelho Escuro foi cartografado na área mais dissecada da porção oeste que corresponde no mapa geomorfológico ao Modelado de Dissecação em Morros e Cristas.

No que se refere ao Latossolo Petroplântico eles foram cartografados como Plintossolo Pétrico Concrecionários em escala mais detalhada nos Topos da bacia do ribeirão Extrema e rio das Antas e Córrego Lagoinha, podendo ser associado, em Anápolis, ao compartimento de Topos Planos do mapa geomorfológico e ao TQdl do mapa geomorfológico, onde o mapeamento do

Plano Diretor da bacia do rio Paranaíba (SIEG, 2005) registrou a presença de Latossolo Vermelho-Amarelo em associação com Latossolo Petroplântico. Segundo Jesus (2007) a gênese desse solo está associada a alternâncias pretéritas de períodos secos e úmidos que criaram as condições necessárias para a formação de petroplintitas ou concreções. Os perfis de Plintossolo na área obedecem aos requisitos determinados pela EMBRAPA (1999) para designa-los como tal. Possuem horizonte plântico ou litoplântico começando dentro de 40 cm, ou dentro de 200 cm quando imediatamente abaixo do horizonte A ou E, ou ainda subjacente a horizontes pálidos ou variegados ou com abundantes. Todavia, os horizontes petroplânticos e/ou litoplântico variam em espessura e no tamanho das plintitas.

Tabela 4.7 - Legenda do mapeamento de solos do Plano Diretor da Bacia do Paranaíba (2005).

Solo	Associação	Descrição
Latossolo Vermelho Amarelo	LVd2	Associação de Latossolo Vermelho-Amarelo textura muito argilosa relevo plano e suave ondulado mais Latossolo Petroplintico textura muito argilosa.
	LVd3	Associação de Latossolo Vermelho-Amarelo textura argilosa ou muito argilosa em relevo plano mais Latossolo Vermelho-Amarelo petroplintico ou endopetroplintico textura argilosa cascalhenta ou argilosa/muito argilosa cascalhenta.
Latossolo Vermelho Escuro	LEd2	Associação de Latossolo Vermelho-Escuro mais Latossolo Roxo, ambos distróficos com horizonte A moderado com textura argilosa ou muito argilosa e relevo plano a suave ondulado.
	LEd5	Associação de Latossolo Vermelho Escuro mais Latossolo Vermelho-Amarelo, ambos distróficos e com textura argilosa associados a relevo suave ondulado e plano, mais Cambissolo distrófico ou álico Tb com textura argilosa cascalhenta ou media cascalhenta associado a relevo ondulado e suave ondulado. Todos possuem horizonte A moderado.
Podzólico Vermelho Escuro	PEe1	Associação de Podzólico Vermelho-Escuro eutrófico ou distrófico, respectivamente A chernozêmico e A moderado, textura media/argilosa ou argilosa relevo ondulado mais Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico com horizonte A moderado textura media cascalhenta/argilosa cascalhenta e relevo ondulado e forte ondulado, ambos Tb Mais Terra Rocha Estruturada Eutrófica com horizonte A chernozêmico de textura argilosa e relevo de ocorrência suave ondulado e ondulado.
Latossolo Petroplântico	LPd	Associação de Latossolo Petroplântico textura argilosa cascalhenta ou argilosa cascalhenta a muito argilosa cascalhenta fase pedregulhosa ou endopedregulhosa mais Latossolo Vermelho-Amarelo textura muito argilosa ou argilosa, ambos distróficos com horizonte A moderado e relevo de ocorrência plano e suave ondulado.

Na bacia do rio das Antas Jesus (2007) descreve que o perfil desse solo possui um horizonte C e, imediatamente acima deste, uma zona com pequenos nódulos de óxidos e hidróxidos de ferro em matriz amarelada, sobreposta por um horizonte petroplântico concrecionário que pode atingir mais de 2 metros (Figura 4.6). Acima deste horizonte pode ocorrer um horizonte com presença de cascalho ou arenoso, que se forma em função da degradação do horizonte concrecionário.



Figura 4.6 - Plintossolo Pétrico Concrecionário: (a) Perfil de solo exposto em uma “caixa de empréstimo” na alta bacia do rio das Antas; (b) Em segundo plano, Modelado de Aplanamento, onde ocorre esse tipo de solo com presença feições erosivas no talude decaído e expondo o saprólito (Jesus, 2007).

Já na bacia do córrego Lagoinha, Santos (2007) aponta que o solo é constituído por nódulos soltos marrom-amarelados imersos em matriz de mesma cor, sendo os nódulos dominantes com relação a matriz. Nos vários estudos realizados em Anápolis sobre esse solo (Jesus, 2007; Santos, 2007; Teixeira, 2008) foi verificado que os Plintossolos apresentam-se mais espessos nos topos planos com baixas declividades, sendo que esse perfil vai ficando gradualmente mais delgado conforme as declividades aumentam até transicionarem para outros tipos de solo em geral os Latossolos. Tal característica encontra-se certamente associada às condições de drenagem, pois nos topos planos com baixa declividade é favorecido o fluxo vertical e a consequente alteração em maiores profundidades, enquanto com o aumento da declividade favorece-se o fluxo subsuperficial lateral e também o escoamento superficial, responsáveis pela degradação do horizonte petroplântico.

No que se refere aos Latossolos Vermelho Escuro (LEd2), classificados atualmente pela EMBRAPA (1999) Latossolo Vermelho foram também cartografados por Santos (2007) em relevo suave ondulado com declividades inferiores a 12% (Figura 4.7). Já o Latossolo Vermelho Escuro (LEd5), que aparece ao sul da área pesquisada, em associação com Latossolo Vermelho-Amarelo e com Cambissolo também foi cartografado por Teixeira (2008) com essas associações para a bacia do ribeirão Extrema localizada justamente na porção sul.



Figura 4.7 - Latossolo Vermelho: (a) Perfil de Latossolo Vermelho; (b) Relevo de ocorrência (Santos, 2007).

Trabalhos de campo realizados nessa pesquisa revelaram especialmente que a porção centro-leste onde foram cartografados o Latossolo Vermelho Escuro (LEd2) também existe Latossolo Vermelho-Amarelo em geral com material de origem félsico. Além disso, nas Baixas Vertentes os Latossolos apresentam uma característica muito peculiar, pois embora com um horizonte B latossólico possuem, como constatado por Jesus (2007), uma sequência de horizontes A, Bw pouco espessa sobreposta a um horizonte C muito espesso e friável e não raramente com grande contribuição coluvionar nos horizontes superficiais (Figura 4.8). Isso torna esses solos especialmente suscetíveis a erosões lineares profundas como as voçorocas. Essa característica permite, segundo Jesus *et al.* (2009a), que incisões erosivas ultrapassem rapidamente o horizonte B de textura argilosa e pouco espesso com estrutura em blocos fracamente desenvolvida que se desfaz em grânulos, de modo que, ao atingir o horizonte C, o processo erosivo se acelera e se acentua em função da textura, mineralogia, estrutura e do fato resultante do material constituinte ser muito friável. Nesse caso, verifica-se que a propagação da incisão, como mostra a Figura 4.8 (a), se dá paralelamente a orientação estrutural de acamamento. Nesse caso o alívio das tensões de confinamento favorece a expansão estrutural do maciço condicionando o avanço lateral ou à montante do processo erosivo, conforme o caso. Há ainda que se levar em conta a atuação antrópica no desencadeamento e avanço dos processos erosivos como será demonstrado no Capítulo 6.

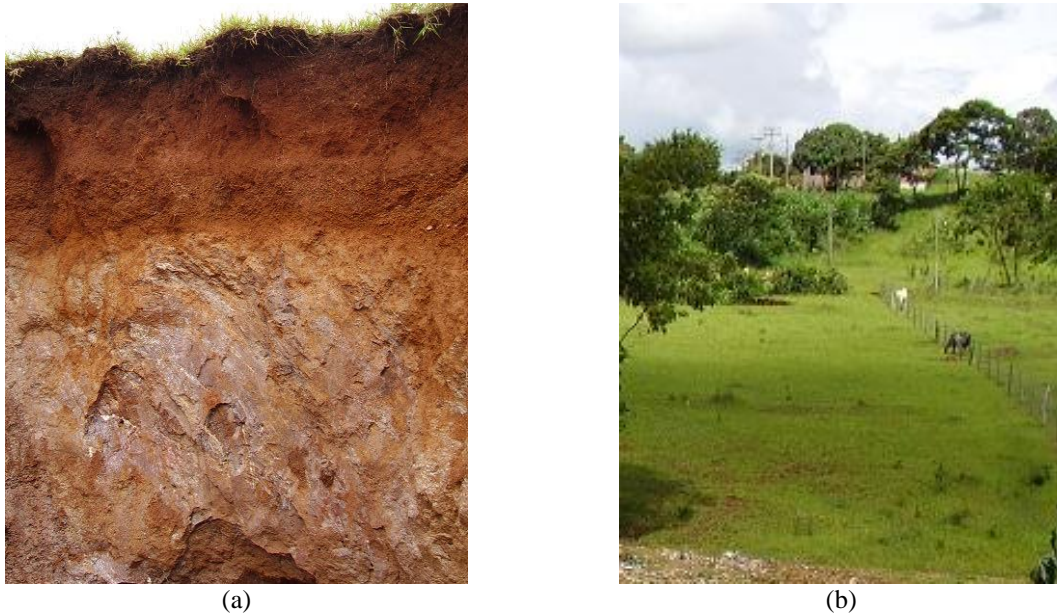


Figura 4.8 - Latossolo Vermelho-Amarelo: (a) Perfil de solo exposto no talude de uma voçoroca; (b) Rampas do Modelado de Dissecação onde ocorre esse tipo de solo (Jesus, 2007).

O Podizólico Vermelho Escuro atual Argissolo na classificação de solos da EMBRAPA (1999) foi cartografado a oeste em associação com Podizólico Vermelho-Amarelo. Nessa porção oeste, mais especificamente na bacia do Córrego Lagoinha Santos & Lopes (2007) também verificaram a presença Argissolo Vermelho-Amarelo em associação com Cambissolo e Neossolo Litólico. Segundo esses autores os Argissolos ocorrem na bacia em relevo ondulado e forte ondulado, onde as declividades variam de 12 % a mais de 30 % (Figura 4.9).

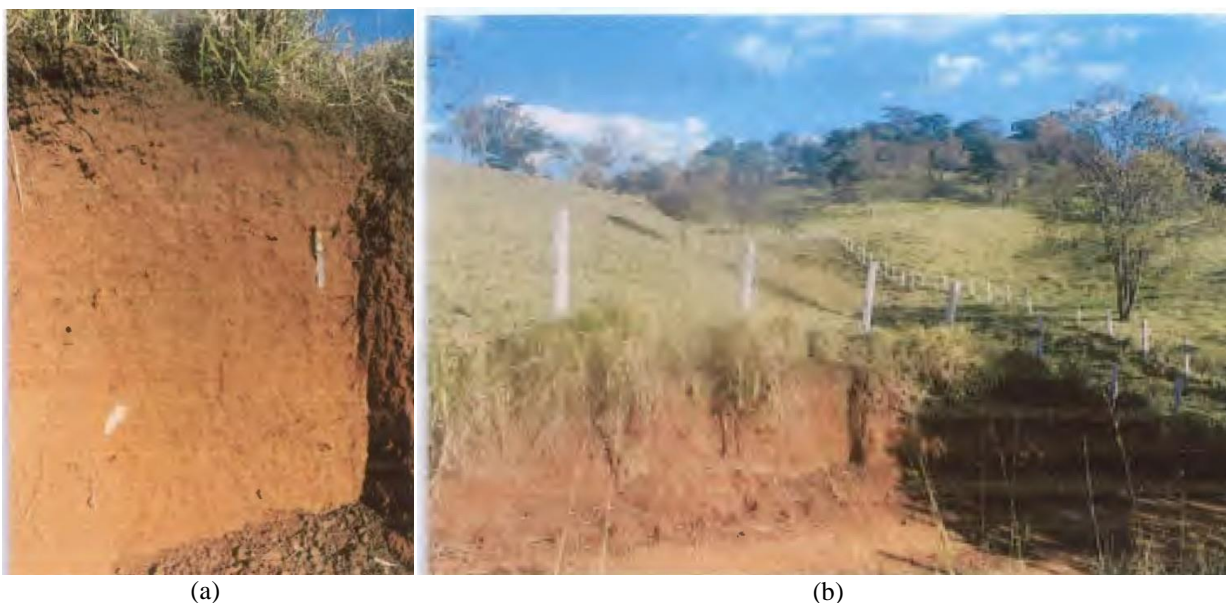


Figura 4.9 - Argissolo (a) Perfil de Argissolo; (b) Relevo de ocorrência desse solo (Santos, 2007).

Cambissolos e Nossolos Litólicos também foram cartografados por Teixeira (2008) na bacia do ribeirão Extrema. A ocorrência de Cambissolos está relacionado a relevos ondulados a

forte ondulados com altas declividades, tendo sido observado em campo por Santos (2007) no terço médio da vertente com 35% de declividade (Figura 4.10). Nesses relevos com perfis inclinados o fluxo tende a seguir paralelo ao declive devido à ação gravitacional dificultando a formação de mantos de pedológicos espessos resultando em solos pouco profundos como os que foram verificados na área.

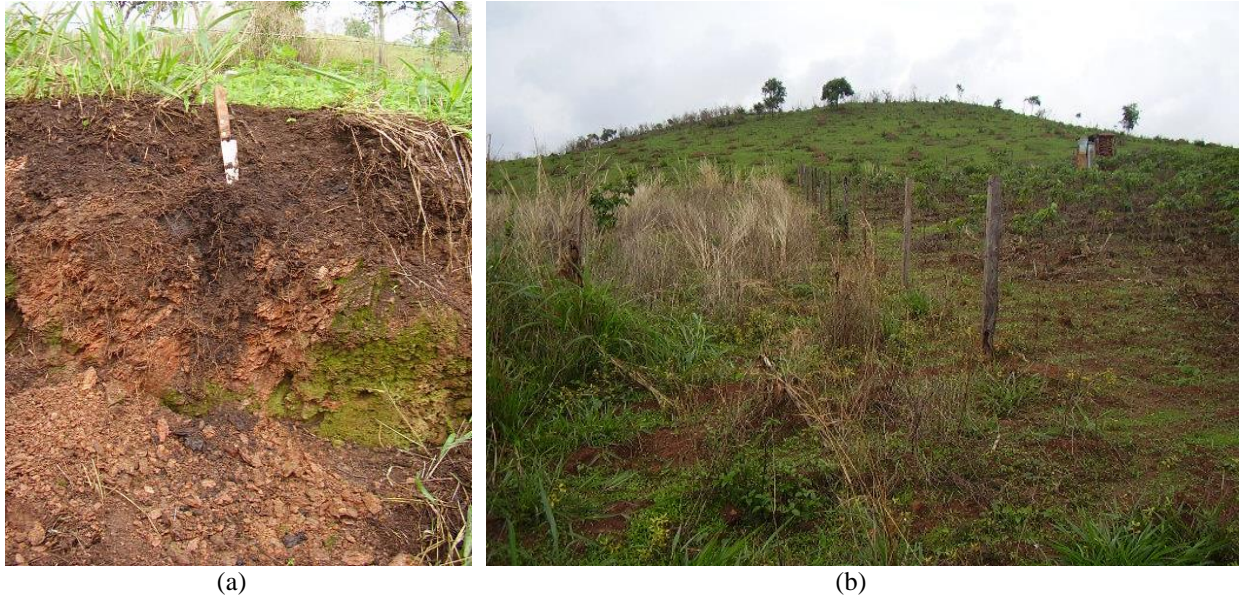


Figura 4.10 - Cambissolo: (a) Perfil de cambissolo; (b) Relevos de ocorrência desse solo (Santos, 2007).

Segundo Santos (2007), na bacia do córrego Lagoinha os Neossolos Litólicos ocorrem em relevos ondulados a forte ondulados com declividades superiores a 30% e relacionados a presença de quartzitos (Figura 4.11).



Figura 4.11 - Perfil de Neossolo Litólico em relevo com declividade maior que 31% (Teixeira, 2008).

Segundo Santos & Lopes (2007) as características de profundidade, textura e estrutura tornam

essa associação de argissolos com cambissolos particularmente vulnerável à erosão laminar e em sulcos rasos como os já existentes na área da bacia do córrego Lagoinha.

O Mapa pedológico do Plano Diretor da bacia do rio Paranaíba (SIEG, 2005), em função da sua escala, não exhibe solos hidromórficos do tipo Gleissolo (Figura 4.12). Mas este pode ser verificado nos mapeamentos pontuais e detalhados mencionados anteriormente. A observação do Modelado de Acumulação revela a presença de planícies que são extremamente indicativas da ocorrência desses solos que também estão presentes em cabeceiras de drenagem e margens de alguns cursos d'água mais encaixados.

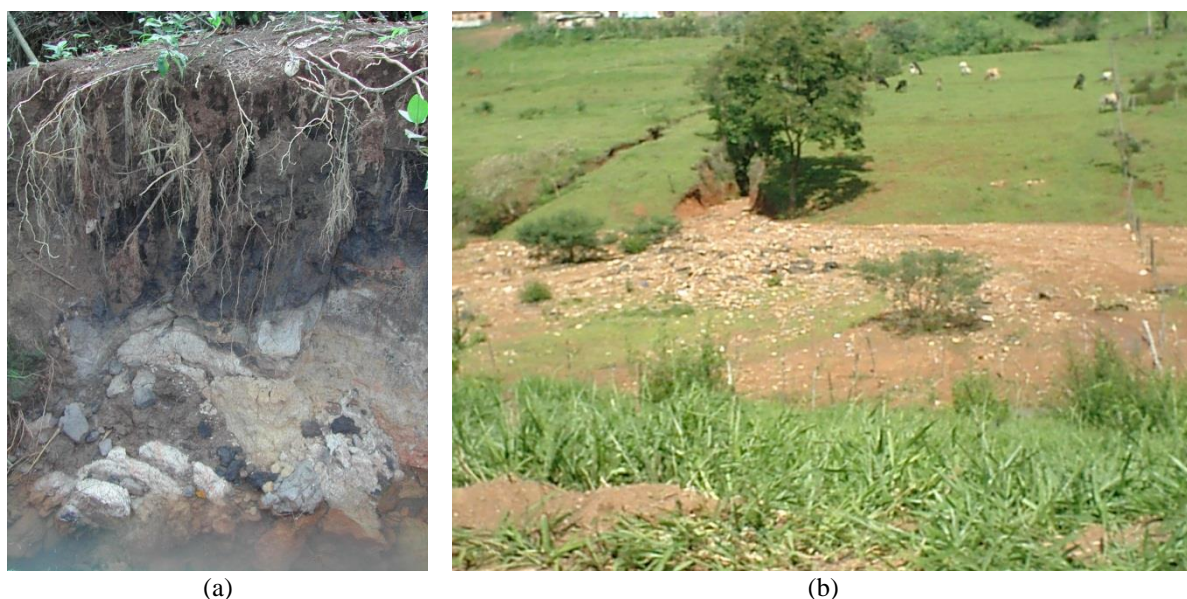


Figura 4.12 - Gleissolo: (a)Perfil de Gleissolo na cabeceira do rio das Antas. Figura 29: Planície do rio das Antas, onde ocorre esse tipo de solo (Jesus, 2007).

4.5 CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO DAS VOÇOROCAS PESQUISADAS

Apresenta-se nesse item um detalhamento das informações do meio físico onde estão inseridas cada uma das voçorocas estudadas nessa pesquisa, de modo a compreender a influência de cada elemento do meio físico apresentado anteriormente na sua dinâmica evolutiva. A descrição, comparação e análise dessas características foi feita com base em trabalhos de campo e mapas apresentados no final da descrição de cada voçoroca.

4.5.1 Voçoroca Túnel

A voçoroca Túnel evoluiu na cabeceira de drenagem do rio das Antas, onde a geologia é representada por Coberturas Detrito-Lateríticas dispostas a montante e por granulitos do Complexo Granulítico Anápolis-Itaúçu a jusante da cabeceira (Figura 4.13). Essa cabeceira de

drenagem está encaixada no Topo Plano localizado a leste e segue entalhando a superfície na direção oeste caracterizando o Modelado de Dissecação que nessa área é representado pelo compartimento de Baixas Vertentes (Figura 4.13).

O embaciamento característico da cabeceira de drenagem é notado no modelo de sombras que também revela pequenas elevações preservando o topo plano na margem esquerda do curso d'água (Figura 4.13). As maiores altitudes estão no Modelado de Aplanamento e seguem diminuindo conforme o rio das Antas provoca o entalhamento da superfície (Figura 4.13). A diversidade altimétrica no Modelado de Aplanamento é de Média/Baixa a Média, mas no Modelado de Dissecação essa diversidade é acentuadamente Alta (Figura 4.13) As características da diversidade altimétrica são confirmadas pela declividade que no Modelado de Aplanamento são extremamente baixas, predominantemente de 0 a 2% caracterizando os topos planos (Figura 4.13).

Já no Modelado de Dissecação as declividades são mais acentuadas variando de 10 % a mais de 45% predominando, no entanto, declividades em torno de 20%. Morfologicamente os topos planos apresentam curvatura retilínea/retilínea transicionando para curvaturas convexo/retilínea a convexo/côncava, as quais por sua vez transicionam para curvaturas côncavo/côncavo que marcam a cabeceira de drenagem em anfiteatro e o fundo de vale. No que se refere à orientação do relevo, nesse trecho, a margem direita do Rio das Antas possui vertentes orientadas para Sudoeste e Oeste. Na margem esquerda as vertentes estão orientadas predominantemente à Norte e Noroeste.

No que se refere a orientação das faces do talude, o da margem direita está orientado a Sul e o da margem esquerda está orientado a norte, recebendo maior radiação solar no período da tarde o que proporciona uma redução da umidade do maciço, como pode ser observado em campo. Por fim, verifica-se comparando o mapa de distância de drenagem com o mapa geomorfológico que o Modelado de Aplanamento está distante de 200 a 100 m do curso d'água e no Modelado de dissecação as distâncias passam a ser de 0 a 100 m caracterizando um vale bem encaixado.

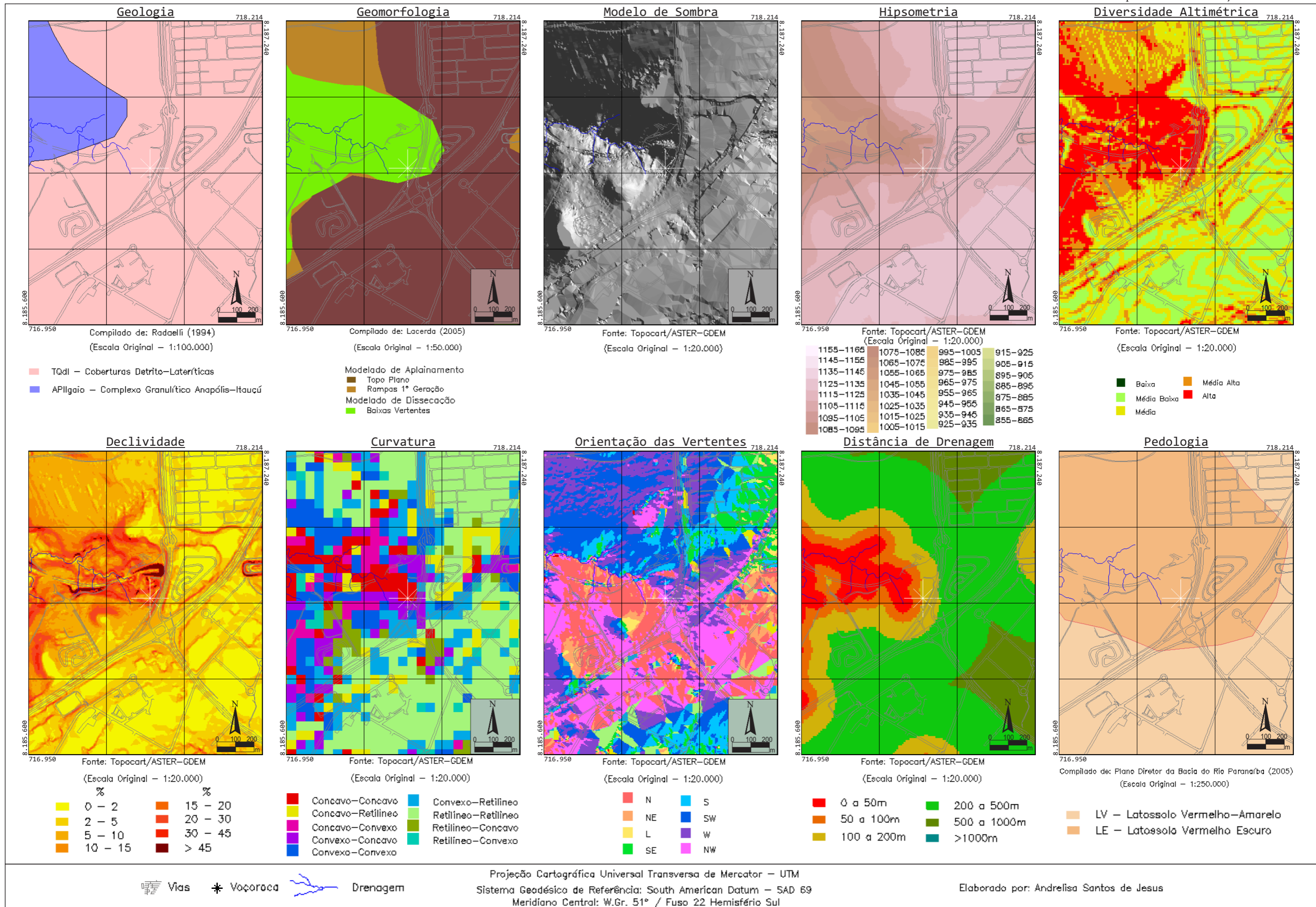


Figura 4.13 - Mapas do meio físico da voçoroca Túnel.

Quanto aos solos, o mapa pedológico apresenta Latossolo Vermelho Escuro associado ao Modelado de Dissecção e Latossolo Vermelho-Amarelo no Modelado de Aplanamento. Em campo verificou-se que os Topos Planos estão recobertos pelos Plintossolos Pétricos descritos no mapa geológico como Coberturas Detrito-Lateríticas enquanto que na alta bacia do rio das Antas predominam Latossolos Vermelho-Amarelos. Observações pontuais do perfil de solo no talude da obra do túnel construído no local revelaram a existência de perfil composto por quatro horizontes distintos, descritos por Jesus *et al.* (2009c) do topo para a base da seguinte maneira (Figura 4.14 a): solo hidromórfico do tipo Gleissolo; concreção ferruginosa do tipo laterita em franco processo de degradação (Figura 4.14 b); zona mosqueada e, por fim, o saprólito. Esse saprólito evolui da intemperização de um granulito paraderivado.

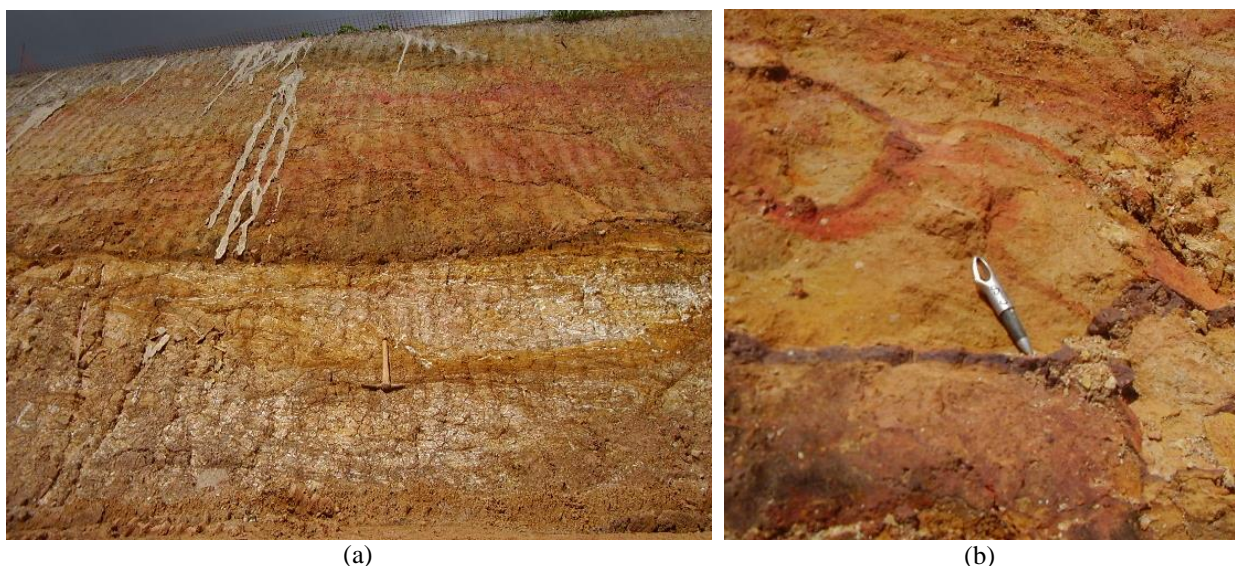


Figura 4.14 - Solos da voçoroca Túnel: (a) perfil de solo; (b) concreção laterítica em degradação.

Segundo Jesus *et al.* (2009c) a dissecção do topo revestido por laterita pelo rio das Antas criou um ambiente hidromórfico que favoreceu a transformação da laterita, originando o gleissolo e colaborando para a degradação da couraça, a qual apresenta um “esqueleto” de concreções de óxidos de ferro preenchidas por material friável. Segundo esses autores todos esses processos ocorreram no clima atual mais úmido, proporcionando mudanças mineralógicas e estruturais que concorrem para a degradação da couraça laterítica maciça.

Informações mais detalhadas sobre as características geotécnicas desse maciço bem como de sua constituição mineralógicas serão apresentados no capítulo seguinte. Mas essa análise comparativa e interativa dos diversos atributos do meio físico do entorno onde evolui essa voçoroca permitem avaliar a existência de uma suscetibilidade natural da área para instalação de processos erosivos. Destaca-se como atributos que conferem maior suscetibilidade ao

ambiente geomorfológico de cabeceira de drenagem onde os processos de erosão produzindo o entalhamento fluvial são naturais e favorecem as alterações químico-mineralógicas do maciço, bem como a alta diversidade altimétrica, elevadas declividades, morfologia Côncava-Côncava concentradora de fluxos e vertentes cuja orientação favorecem uma maior interação do solo com a radiação solar.

Nessa voçoroca o talude da margem esquerda, quando a voçoroca era ativa, tendia a recuar por movimentos de massa e formando alcovas de regressão numa dinâmica erosiva bem mais acentuada do que a verificada na margem direita. A margem esquerda recebe o sol da tarde e, portanto, apresenta um perfil de solo mais ressecado o que segundo Futai (2002) poderia aumentar o fator de segurança do talude, uma vez que segundo esse autor o fator de segurança diminui em condições de maior saturação do maciço. Isso efetivamente é o que se verifica em um dado instante, no entanto, se considerados os ciclos de molhagem e secagem a longo prazo surge a possibilidade de maior degradação do maciço em condições de maior desidratação. Ao mesmo tempo, superfícies que recebem muito sol durante o dia apresentam um gradiente térmico entre o dia e a noite que pode resultar em variações volumétricas indutoras de trincas e microfissuras que tendem a se propagar para o interior do maciço fragilizando-o. Também quando do maior ressecamento e por consequência aumento da sucção o solo tende a gerar maior pressão na fase ar quando da infiltração favorecendo processos erosivos de superfície

Destaca-se que com a instalação das obras do túnel tanto na margem esquerda como na margem direita, mas principalmente nessa última, foram registradas rupturas sucessivas do talude sobressaindo mais uma vez, pelo menos aparentemente, a importância da orientação das vertentes em relação à insolação. Na implantação da obra os taludes tiveram a face impermeabilizada, apesar da implantação de drenos, essa impermeabilização gerou o aumento da umidade interna do maciço na camada superior não saturada provocando a perda de resistência do solo. Mesmo considerando a impermeabilização das faces dos taludes a superfície do terreno é mais favorável à evaporação na margem esquerda permitindo assim maior umidade residual na margem direita e por consequência mais rupturas. Antes tais rupturas não ocorriam porque a condição de hidratação crítica não era atingida. Logo, parece que a influência da insolação nesses taludes se somam as características geomorfológicas do ambiente de cabeceira de drenagem associadas a nível d'água alto ou aflorado e à convergência de fluxos subsuperficiais que podem saturar o solo especialmente em condições climáticas com maior participação da precipitação na elevação do nível freático ou simplesmente gerar alterações de umidade nas camadas que se mantêm não saturadas.

4.5.2 Voçoroca Contorno

A voçoroca Contorno está localizada na vertente da margem direita do rio das Antas no trecho da alta bacia. No extremo leste da área numa faixa que vai de norte a sul paralelamente ao curso d'água estão as Coberturas Detrito-Lateríticas seguidas dos granulitos do Complexo Granulítico Anápolis-Itauçú (Figura 4.15).

Extrapolando um pouco o limite das Coberturas Lateríticas está esculpido o Modelado de Aplanamento que nessa área apresenta Topos Planos muito restritos seguidos de Rampas de 1ª Geração que transicionam para Baixas Vertentes do Modelado de Dissecação, sendo que o entalhamento do vale não pode ser observado no modelo de sombras por causa do arranjo dos tons de cinza desse ponto. Obviamente as maiores altitudes estão nos topos e decrescem com o entalhamento do relevo até o curso d'água (Figura 4.15).

No Modelado de Aplanamento a diversidade altimétrica varia de Média a Média/Alta (Figura 4.15), sendo que faixas bem estreitas de alta diversidade na divisa com os Topos Planos com as Rampas de 1ª Geração marcam os rebordos erosivos descritos por Lacerda (2005), mas não cartografados no mapa geomorfológico. Já nas baixas vertentes a diversidade altimétrica é predominantemente alta. As características de diversidade altimétrica são coerentes com as declividades da área, declividades inferiores a 2% nos Topos Planos, de 2% a 10% nas Rampas de 1ª Geração de 10 a mais de 45% nas Baixas Vertentes, predominando declividades em torno de 20% (Figura 4.15). No que se refere à curvatura do relevo predominam no Modelado de Aplanamento curvaturas Retilíneo-Retilíneo as quais transicionam para curvaturas Convexo-Retilíneo e posteriormente para Convexo-Convexo que marcam o local de ruptura positiva de declive a partir de onde passam a predominar curvaturas Côncavo-Côncavo e Côncavo-Retilíneo que caracterizam o fundo de vale (Figura 4.15).

A orientação desse relevo é marcadamente distinta na margem direita e esquerda do curso d'água, sendo que na margem esquerda predominam vertentes orientadas para Nordeste e Leste enquanto que na margem direita predominam vertentes orientadas a Oeste e Sudoeste e em menor proporção orientadas a Noroeste (Figura 4.15). O talude da margem direita da voçoroca está voltado para Sudeste recebendo a radiação solar da manhã enquanto que o talude da margem esquerda está orientado para Noroeste, recebendo uma maior incidência da radiação solar no período da tarde e conseqüentemente diminuindo sua umidade com relação ao outro talude. Quanto a distância de drenagem o modelado de acumulação está distante de 100 a 1000 m dos cursos d'água e o modelado de dissecação dista de 0 a 100 m.

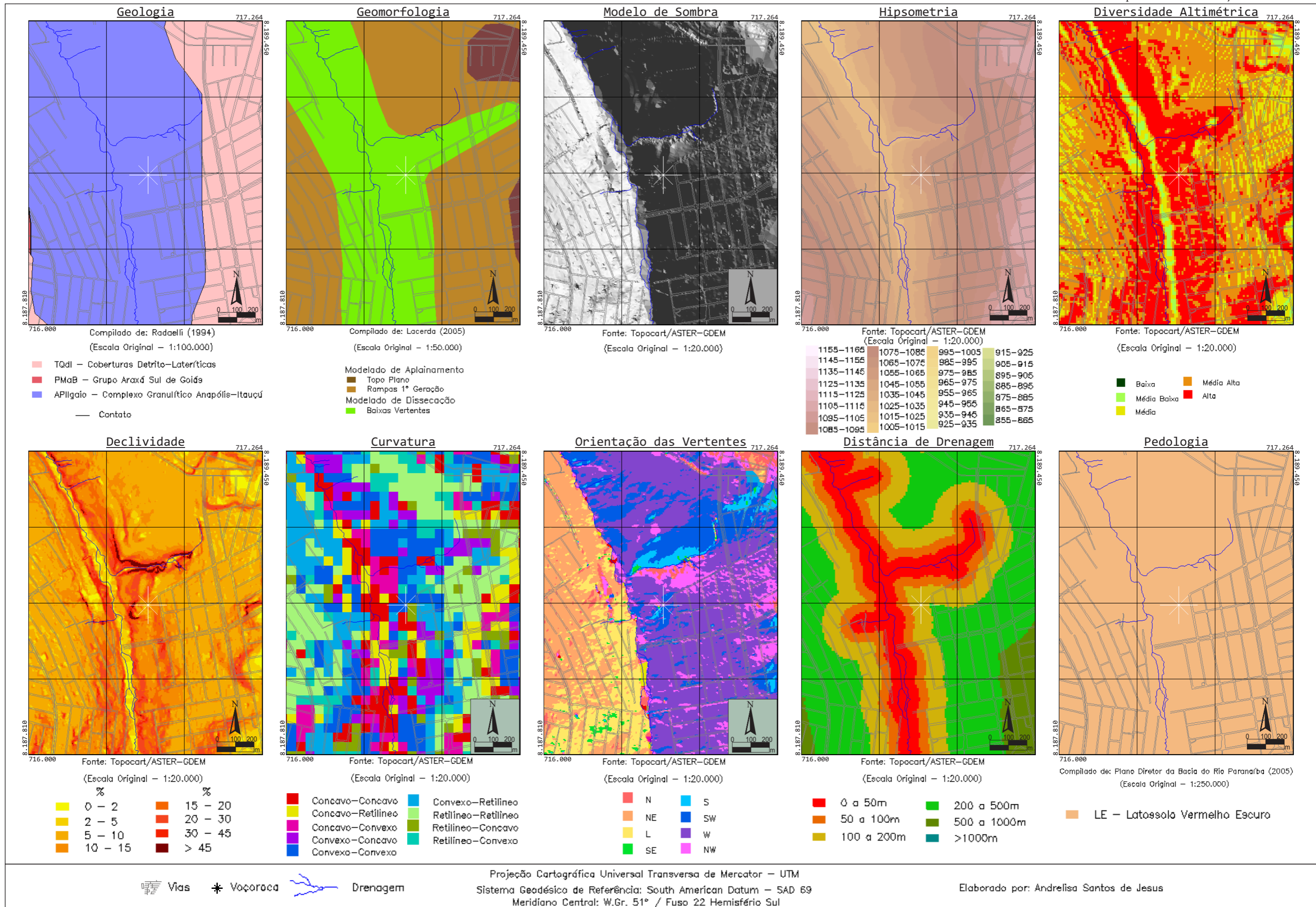


Figura 4.15 - Mapas do meio físico da voçoroca Contorno.

O pouco detalhe do mapa pedológico (Figura 4.15) aponta para presença de apenas Latossolo Vermelho Escuro, mas observações de campo e outros mapeamentos pontuais demonstram a presença de Plintossolo Pétrico nos Topos Planos e Latossolo Vermelho-Amarelo nas Rampas de 1ª Geração e Baixas Vertentes. É sobre esse Latossolo que se esculpiu a voçoroca Contorno. Ela apresenta, nas Baixas Vertentes, um *Solum* (horizontes A+B) pouco espesso, como demonstrado na Figura 4.8.

Informações mais detalhadas sobre as características geotécnicas desse maciço bem como de sua constituição mineralógica seguem no capítulo seguinte. Mas, a análise comparativa e interativa dos diversos atributos do meio físico do entorno onde evoluiu essa voçoroca permitem avaliar a existência de uma suscetibilidade natural da área para instalação de processos erosivos relacionados a rampas longas com ruptura positiva de declive na baixa vertente onde predominam alta diversidade altimétrica e declividades elevadas em vertentes cuja orientação favorece o acúmulo de energia calorífica e com solos rasos com estrutura granular. Evolutivamente, a margem direita que recebe menor insolação tende a evoluir lateralmente de maneira mais acentuada, pois a margem a esquerda encontra resistência de um pequeno morro quartzítico. Nesse, caso a geologia atenua o efeito do ressecamento do talude da margem esquerda e o talude mais úmido com maior influência da saturação tende a romper com mais facilidade. Destaca-se, contudo que ultrapassado o obstáculo geológico a evolução da margem esquerda se acentua que é possível observar na Figura 3.5 (a) do Capítulo 3. Os condicionantes do uso e cobertura do solo na deflagração e evolução dessa voçoroca serão abordados no Capítulo 6.

4.5.3 Voçoroca Geovane Braga

A voçoroca Geovane Braga evoluiu na vertente da margem esquerda do córrego Góes, tributário do rio das Antas. A geologia dessa área é composta por Coberturas Detrito-Lateríticas localizadas à sul e oeste, enquanto na porção leste predominam os granulitos do Complexo Granulítico Anápolis-Itaçu (Figura 4.16). Geomorfológicamente o Modelado de Aplanamento está esculpido predominantemente na estratigrafia referente as Coberturas Detrito-Lateríticas apresentando Topos Planos no divisor de águas e conectados a Rampas de 1ª Geração. O Modelado de dissecação representado pelo compartimento de Baixas Vertentes está disposto no Complexo Granulítico (Figura 4.16).

As maiores altitudes estão nos topos divisores de águas e as menores próximas aos talwegues.

Sendo que nos topos predominam uma diversidade altimétrica de Média/Baixa a Média que se acentuam pontualmente em rebordos erosivos dos Topos Planos a oeste e no modelado de dissecação a leste onde sobressai uma diversidade altimétrica predominantemente Alta (Figura 4.16). Os locais de diversidade altimétrica Alta também possuem elevadas declividades de 10 a mais de 45%. O detalhe topográfico permite observar até mesmo a inclinação dos taludes marcados por declividades superiores a 45%. Na margem esquerda da voçoroca as declividades predominantes variam de 5 a 10% e na margem direita predominam declividades entre 15 e 30% (Figura 4.16). As baixas declividades inferiores a 2% esboçam os topos aplanados. Imediatamente a montante da voçoroca é possível verificar a presença de relevo Côncavo-Côncavo pontual transicionando para vertentes predominantemente Retilíneas-Retilíneas e posteriormente Côncavo-Convexo que na cabeceira da voçoroca se tornam Convexo-Côncava e posteriormente Côncavo-Convexo, sendo esta última muito concentradora de fluxos (Figura 4.16).

No que se refere a orientação das vertentes a margem oeste do divisor de águas está predominantemente orientada a Oeste e Noroeste. Na margem leste do divisor de águas onde os processos tem uma relação direta com a voçoroca descrita nesse item predominam vertentes orientadas a leste, mas as margens mais próximas da voçoroca possuem uma orientação distinta, sendo a margem esquerda orientada a Sul e a direita a Norte. Logo a margem direita recebe maior radiação solar, sendo que essa interação solo/atmosfera pode ser observada em campo, pois o talude dessa margem apresenta-se menos úmido do que o da outra margem. Evolutivamente, a margem direita que recebe maior insolação tende a evoluir lateralmente de maneira mais acentuada como é possível notar na Figura 3.6 (a) do Capítulo 3. Por outro lado, observa-se que nessa margem o alargamento acentuado diminui com presença nas porções onde o talude é margeado por um fragmento de mata galeria. Nesse, a vegetação pode estar agindo como um atenuante da ação da radiação solar. Quanto a distância de drenagem o Modelado de Aplanamento permanece distante de 100 a 1000 m dos curso d'água enquanto no modelado de dissecação dista de 0 a 100 m (Figura 4.16), sendo a interceptação do lençol freático provocada pelo grande aprofundamento da incisão.

Aspectos geotécnicos do solos dessa voçoroca bem como os condicionantes do uso e cobertura do solo na deflagração e evolução dessa voçoroca serão abordados respectivamente no Capítulo 5 e Capítulo 6.

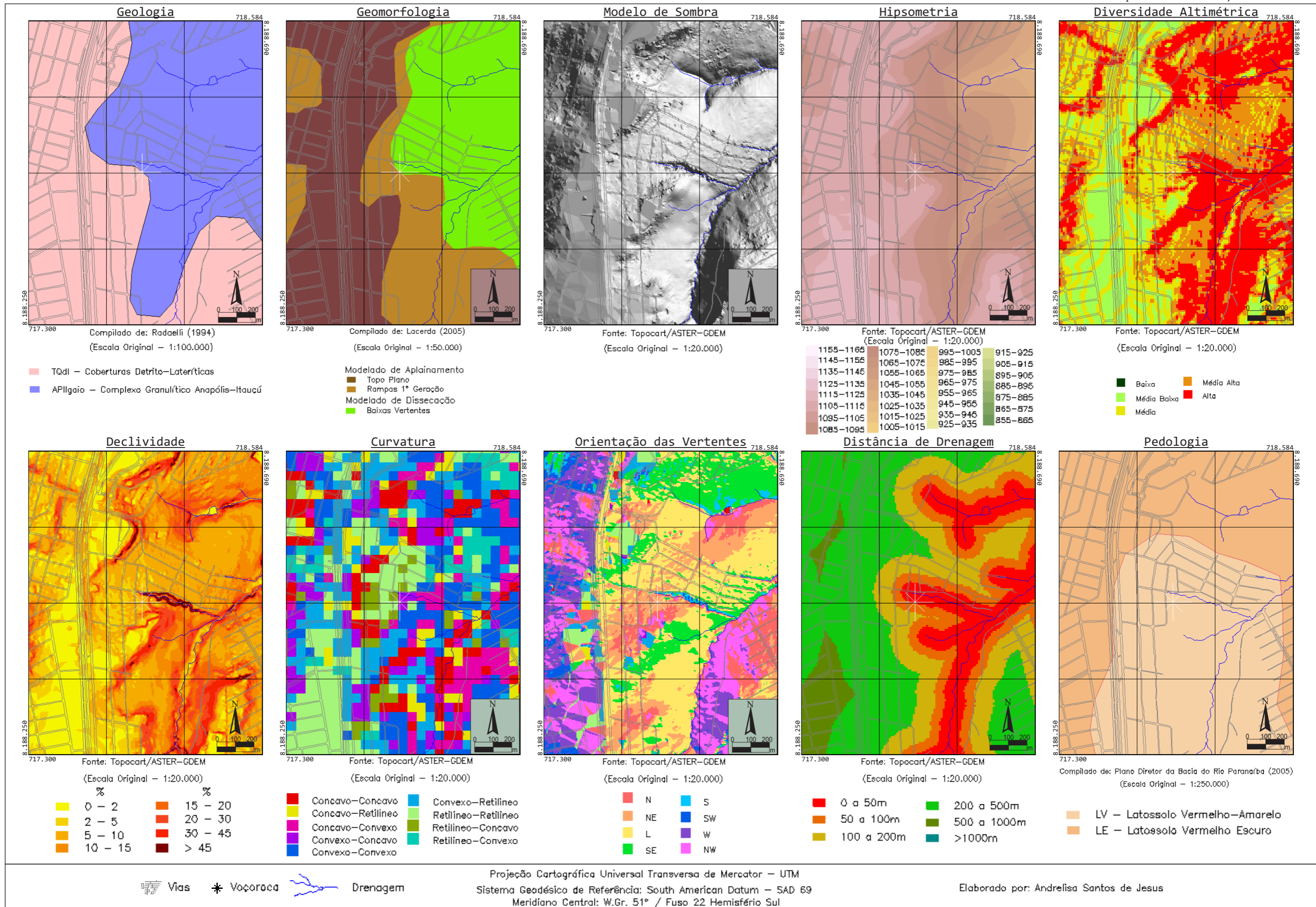


Figura 4.16 - Mapas do meio físico da voçoroca Geovane Braga.

O Mapa de solos da área aponta para existência de Latossolo Vermelho-Amarelo na porção central e Latossolo Vermelho Escuro a oeste e norte (Figura 4.16). Todavia as observações de campo permitiram verificar que os solos desta área variam conforme a mudança do relevo, especialmente no que se refere ao aspecto morfométrico declividade. Nos topos localizados a montante da voçoroca predominam as concreções lateríticas pedologicamente equivalentes ao Plintossolos Concrecionários.

Conforme a declividade aumenta as concreções de tamanho métrico vão degradando para pisólitos centimétricos que evoluem para um solo areno-argiloso no terço inferior da vertente identificado como Latossolo Vermelho-Amarelo (Figura 4.17 a e b). As características do horizonte C deste solo apontam para a estrutura conservada da rocha onde é possível observar um bandamento gnáissico com presença de minerais primários alterados, com exceção do quartzo e muscovita, para minerais secundários (Figura 4.17 c). As bandas claras de textura macia são caulinitas advindas da alteração de feldspatos, com lentes cinza de quartzo nelas inseridas. As bandas avermelhadas são resultantes da alteração de minerais máficos em goethita e hematita.

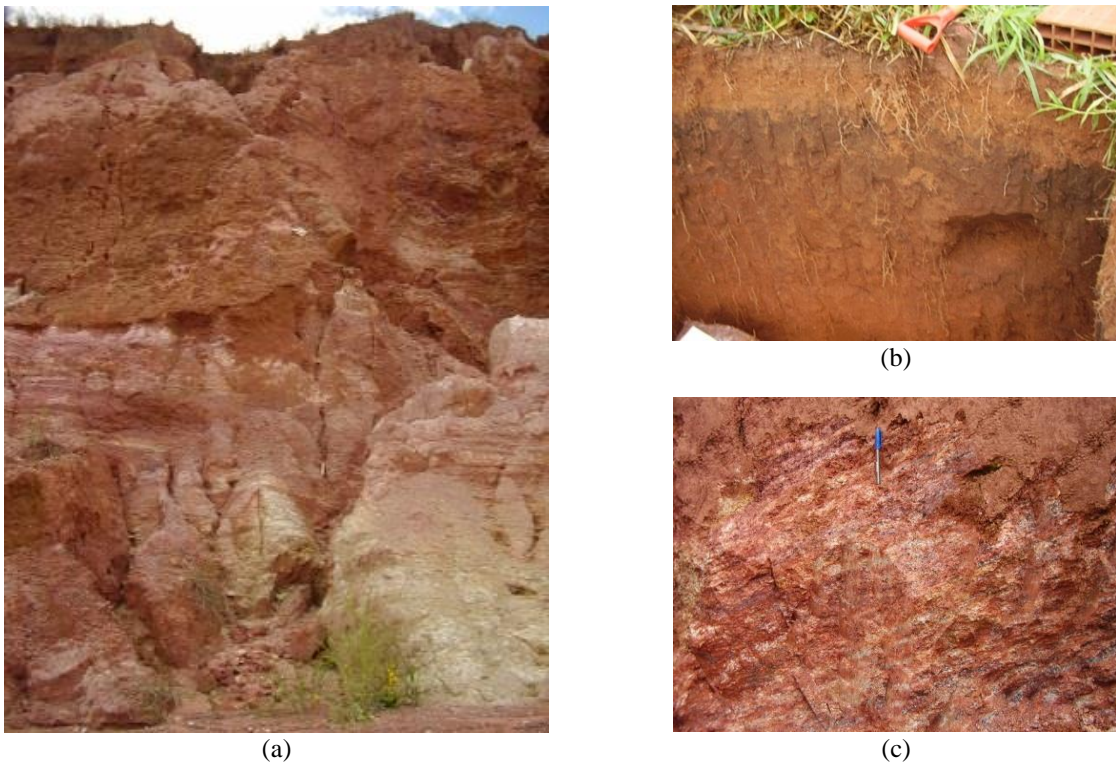


Figura 4.17 - Solos da voçoroca Geovane Braga: (a) Perfil de solo exposto no talude; (b) Latossolo Vermelho-Amarelo; (c) Saprólito de Granulito.

Informações mais detalhadas sobre as características geotécnicas desse maciço bem como de sua constituição mineralógicas seguem no capítulo seguinte. Até então, a análise comparativa e interativa dos diversos atributos do meio físico do entorno onde evoluiu essa voçoroca

permitem avaliar a existência de uma suscetibilidade natural da área para instalação de processos erosivos relacionada a rampas longas com ruptura positiva de declive na baixa vertente onde predominam alta diversidade altimétrica e declividades elevadas em vertentes cuja orientação favorece o acúmulo de energia calorífica e com solos rasos com estrutura granular. A influência do uso e cobertura do solo na evolução dessa voçoroca será abordada no capítulo 6.

4.5.4 Voçoroca Cidade Jardim

A voçoroca Cidade Jardim se instalou em um pequeno tributário do rio das Antas denominado córrego Boa Vista. Essa área possui um substrato geológico composto por Granulitos do Complexo Granulítico Anápolis-Itaúçu (Figura 4.19). Destaca-se ainda a existência de formações aluvionares na porção sudeste a jusante da confluência dos referidos cursos d'água. Geomorfologicamente a área possui no Modelado de Aplanamento Rampas de 1ª Geração, no Modelado de Dissecação Baixas Vertentes e no Modelado de Acumulação Planície Fluvial (Figura 4.19).

As maiores altitudes estão nas rampas e as menores na planície, sendo que de um modo geral a área apresenta diversidade altimétrica Média/Baixa a Média nas rampas e na planície passando para uma diversidade altimétrica Alta nas proximidades da incisão. As rampas e as planícies são evidenciadas por declividades inferiores a 5%. Nas Baixas Vertentes predominam declividades elevadas de 15 a mais de 45%, sendo que nas duas cabeceiras de drenagem e nas margens do córrego Boa Vista os taludes são muito íngremes e as declividades predominam com valores superiores a 45% (Figura 4.19). Do ponto de vista morfológico as rampas a montante do processo erosivo são predominantemente Retilínea-Retilínea e nas cabeceiras das ramificações da voçoroca possuem morfologia Convexo-Côncavo que transicionam para morfologias Côncavas-Côncavas em planta e perfil, sendo que da cabeceira para jusante a morfologia tende a ser Convexo-Convexo ou Convexo-Retilíneo (Figura 4.19).

No que se refere a orientação, as vertentes da margem direita da drenagem, estão orientadas predominantemente a Sudeste e Leste e as da margem esquerda se orientam a sul e sudoeste (Figura 4.19). Já os taludes da margem direita estão com a face para Leste recebendo insolação predominantemente no período da manhã e os taludes da margem esquerda estão voltados para oeste recebendo maior insolação no período da tarde. O Modelado de

Aplanamento permanece distante de 200 a 1000 m dos cursos d'água enquanto no modelado de dissecação essa distância se reduz para 0 a 100 m (Figura 4.19).

O mapa de solos aponta para existência de Latossolo Vermelho Escuro (Figura 4.19), mas os trabalhos de campo revelaram que a área está recoberta por Latossolo Vermelho-Amarelo de textura argilosa e estrutura granular e forte presença de raízes fasciculadas (Figura 4.18 a). Os horizontes A e B são pouco desenvolvidos não ultrapassando 2 m de espessura (Figura 4.18 b). Localmente, na calha da drenagem é possível verificar a presença de Gleissolos resultantes de forte processo de hidromorfia (Figura 4.18 c). As características do horizonte C indicam estrutura conservada da rocha onde é possível observar um bandamento gnáissico com presença de algumas dobras. Do ponto de vista mineralógico observa-se a presença de minerais primários como quartzo e muscovita e lentes de biotita em alteração (Figura 4.18 d). As bandas claras de textura macia são caulinitas advindas da alteração de feldspatos, com lentes de quartzo. As bandas avermelhadas são resultantes da alteração de minerais máficos em goethita e hematita.

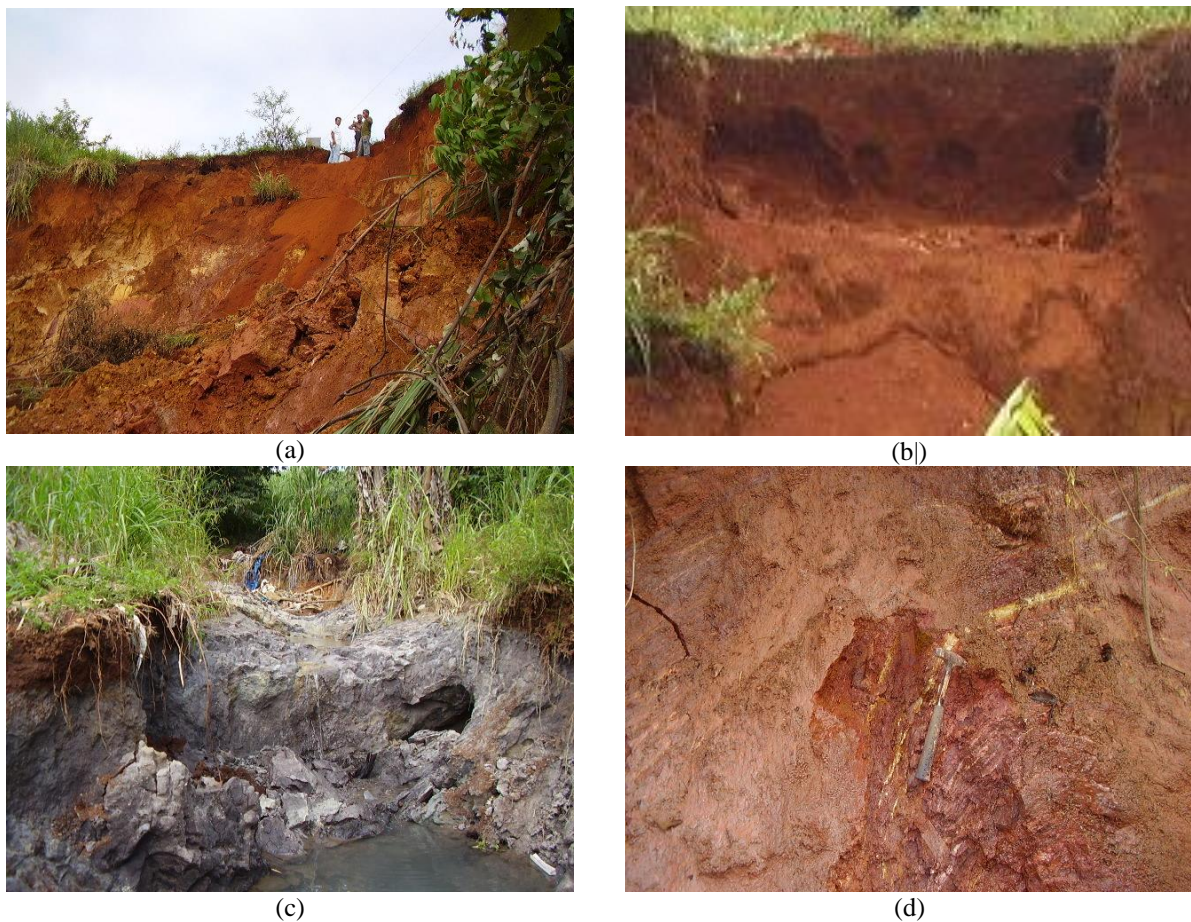


Figura 4.18 - Solos da voçoroca Cidade Jardim: (a) Perfil de solo exposto no talude; (b) Latossolo Vermelho-Amarelo; (c) Gleissolo; (d) Saprólito.

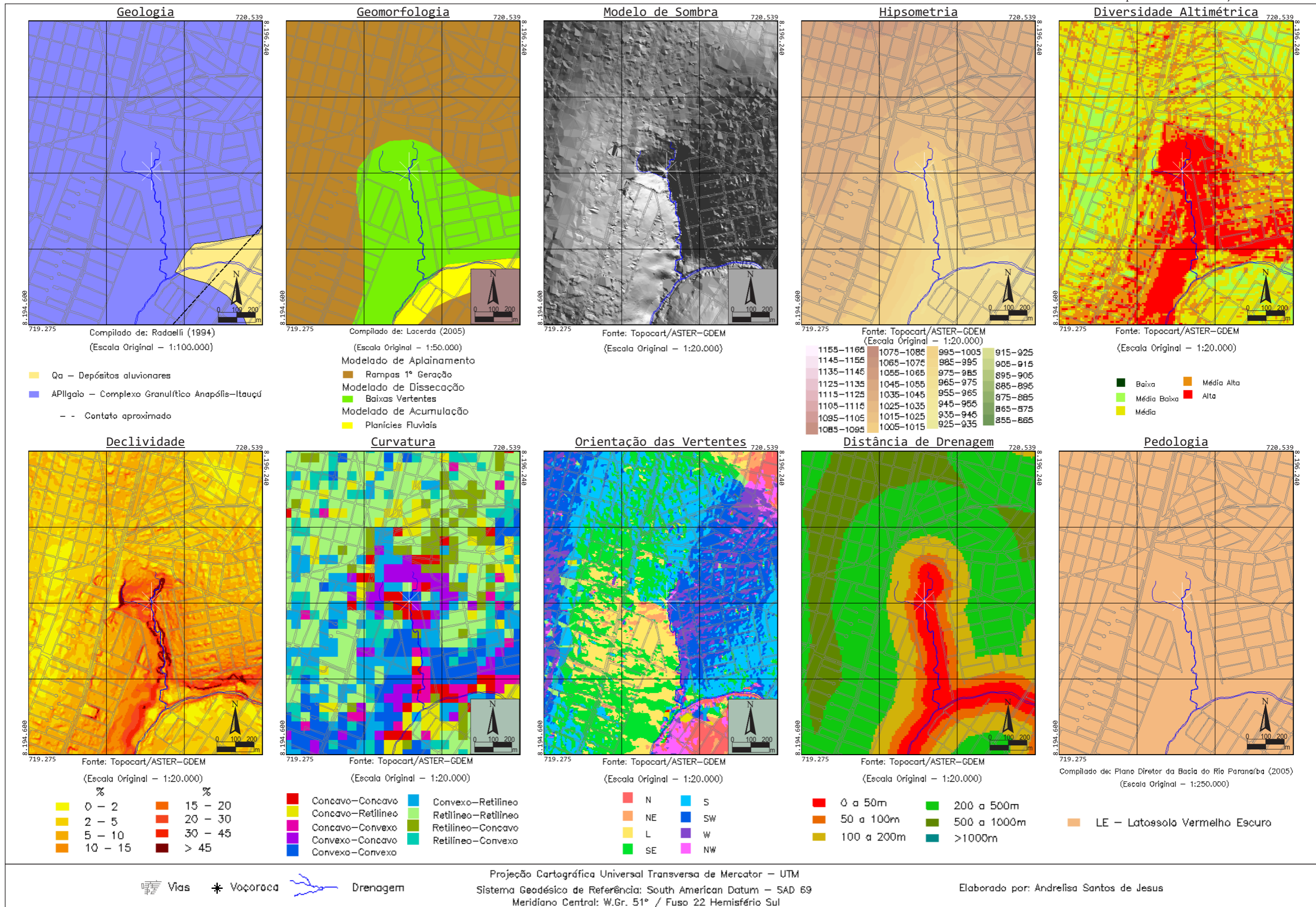


Figura 4.19 - Mapas do meio físico da voçoroca Cidade Jardim.

Informações mais detalhadas sobre as características geotécnicas desse maciço bem como de sua constituição mineralógica seguem no capítulo seguinte. Mas a análise comparativa e interativa dos diversos atributos do meio físico do entorno onde evoluiu essa voçoroca permitem avaliar a existência de uma suscetibilidade natural da área para instalação de processos erosivos relacionada a Cabeceiras de drenagem e curso d'água com margens declivosas marcadas por uma diversidade altimétrica acentuada e por solos rasos com estrutura granular. A influência o uso e cobertura no processo evolutivo dessa voçoroca será tratada no Capítulo 6.

4.5.5 Voçoroca Colégio Estadual

Essa voçoroca está instalada na cabeceira de drenagem de um pequeno tributário do córrego Catingueiro onde segundo o mapa geológico existe apenas uma unidade referente ao Complexo Anápolis-Itaúçu (Figura 4.20). As observações de campo permitiram identificar uma litologia diferenciada com caráter máfico com alguns veios de quartzo assemelhando-se a um anfibolito. Do ponto de vista geomorfológico predominam Rampas de 1ª Geração a Leste e Morros a Oeste (Figura 4.20).

A variação altimétrica está entre 925 m e 1000 m com uma diversidade altimétrica muito acentuada, predominando diversidade Alta em quase toda a área (Figura 4.20). Diversidades Médias ocorrem apenas no extremo leste, onde também estão restritas a declividade mais baixas, inferiores a 2%. A declividade tende a aumentar ao longo das rampas estando entre 5 e 15% e se tornando mais acentuadas nos Morros onde variam de 15% a valores superiores a 45%. Nas cabeceiras de drenagem e margens de drenagem, inclusive onde está instalada a voçoroca denominada de Colégio Estadual, as declividades predominantes são superiores a 45% (Figura 4.20).

No compartimento de Rampas a morfologia predominante é Retilíneo/Retilíneo transicionando para morfologias Convexo-Retilíneas que nas proximidades com a voçoroca transicionam para Convexo-Côncavo e posteriormente para Côncavo-Côncavo e Côncavo Convexo, sendo essas últimas caracterizadoras da cabeceira de drenagem (Figura 4.20). A orientação das vertentes da margem Norte se dá predominantemente para Oeste e Sudoeste enquanto as vertentes da margem esquerda são acentuadamente orientadas para Noroeste e Oeste (Figura 4.20). O mapa permite observar que o talude da margem direita está orientado para Sul e o da margem esquerda está orientado para Norte tendo portanto maior probabilidade de ser influenciado pela radiação.

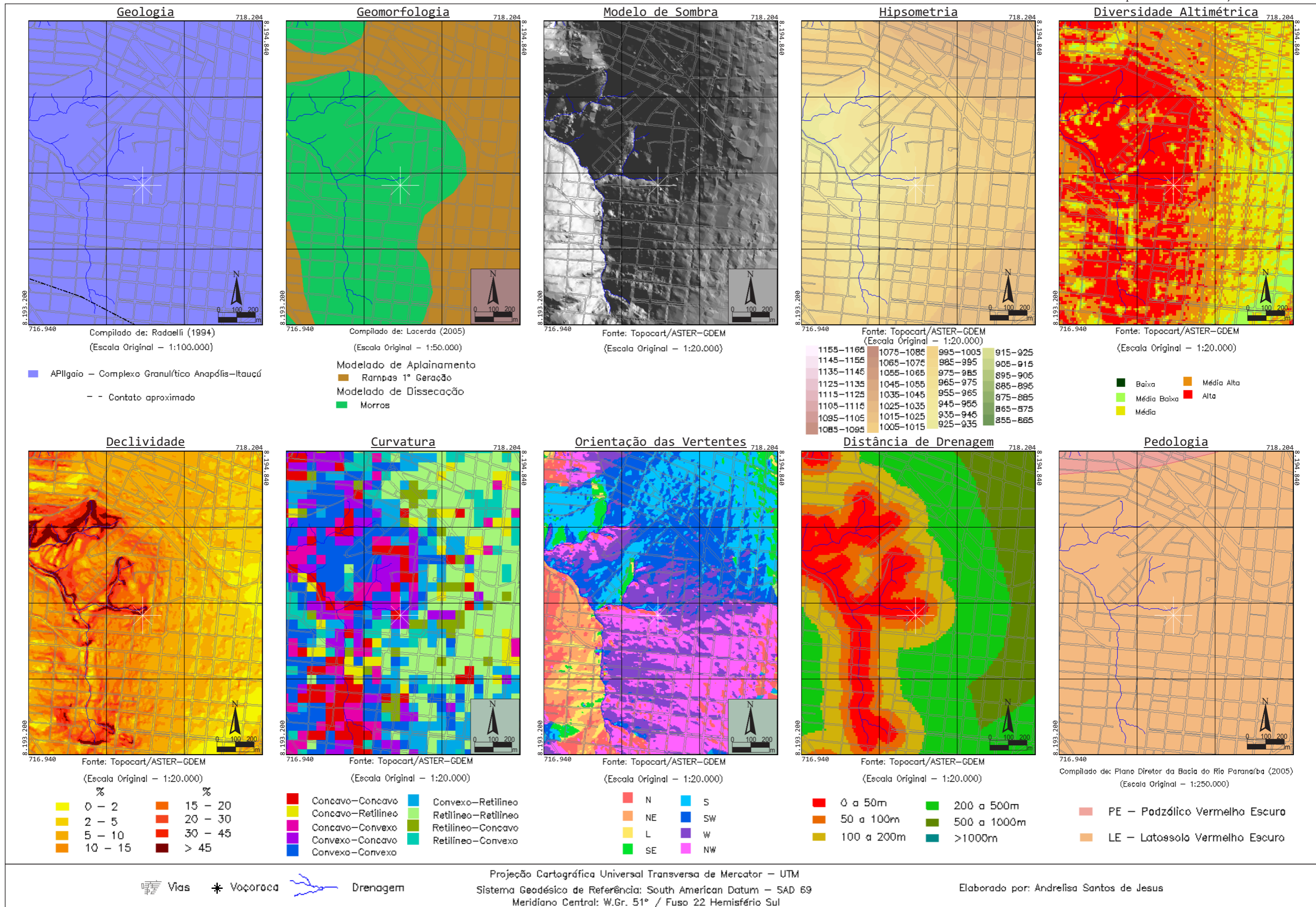


Figura 4.20 - Mapas do meio físico da voçoroca Colégio Estadual.

O Modelado de Aplanamento dista de 200 a 1000 m dos cursos d'água, por outro lado no Modelado de Dissecação as distâncias dos cursos d'água são inferiores a 200 m, nesse local a dissecação é muito acentuada formando interflúvios pequenos, onde as classes de distância de 0 a 50 m chegam a se interconectar (Figura 4.20).

O mapa pedológico aponta para o predomínio de Latossolo Vermelho Escuro (Latossolo Vermelho na atual classificação de solos da EMBRAPA (1999)). De fato as observações de campo revelaram a presença desse tipo de solo (Figura 4.21 a). Esse solo profundo e bem evoluído e com estrutura granular predomina ao longo dos 100 m da voçoroca. Em seguida ocorre uma mudança abrupta e o solo que aparece no perfil passa a ser um Neossolo Litólico (Figura 4.21 b). O Horizonte C desse solo apresenta a estrutura conservada da rocha mãe (Figura 4.21 c) com minerais máficos em razão da presença de biotita e anfibólios (Figura 4.21 d).



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 4.21 - Solos da voçoroca Colégio Estadual: (a) Latossolo Vermelho sobre saprólito enriquecido em quartzo; (b) Neossolo litólico; (c) Rocha mãe; (d) Saprólito.

A presença de veios de quartzo colabora para a friabilidade do saprólito. Esse saprólito não

pode ser observado no perfil de Latossolo Vermelho, tendo se registrado sua presença apenas na associação com o Neossolo Litólico o qual situa-se a jusante do processo de voçorocamento, portanto, não foram feitas amostragens e ensaios desse solo.

Informações sobre as características geotécnicas desse maciço, bem como sobre a influência do uso e cobertura do solo no processo evolutivo da voçoroca, seguem respectivamente no Capítulo 5 e Capítulo 6, mas a análise do meio físico permite constatar a existência de uma suscetibilidade natural da área para instalação de processos erosivos relacionados a cabeceiras de drenagem e curso d'água com margens declivosas marcadas por uma diversidade altimétrica acentuada e por solos granulares, não tendo sido observado uma evolução assimétrica das margens da erosão.

4.5.6 Voçoroca Leopoldo De Bulhões

Essa voçoroca se instalou na cabeceira de drenagem de um pequeno tributário do córrego Catingueiro, onde a geologia é composta pelo Complexo Granulítico Anápolis e Coberturas Detrito-Lateríticas que se prolongam de nordeste para o centro da área (Figura 4.23). O mapeamento geomorfológico identificou na área dois modelados: Modelado de Aplanamento e Modelado de Dissecação (Figura 4.23). No Modelado de Aplanamento estão Rampas de 1ª Geração a leste numa faixa larga que vai de norte a sul; no Modelado de Dissecação estão Morros na porção oeste e Baixas Vertentes restritas a uma pequena faixa a nordeste. As altitudes mais elevadas estão no Modelado de Aplanamento e diminuem no Modelado de Dissecação (Figura 4.23).

A diversidade altimétrica no compartimento de Morros é acentuadamente Alta, enquanto nas rampas é predominantemente Média (Figura 4.23). As declividades nas rampas predominam entre 5 e 10% e ficam muito fortes no modelado de dissecação indo de 15 a mais de 45%, sendo que na cabeceira de drenagem onde se instalou a voçoroca abordada nesse item as declividade são superiores a 45%. Morfológicamente as rampas possuem curvatura Retilíneo-Retilíneo a Retilíneo-Convexo seguidas de curvaturas Convexo-Convexo que transicionam para curvaturas Convexo-Côncavo e Côncavo-Côncavo (Figura 4.23). Essas duas últimas curvaturas marcam a cabeceira de drenagem em anfiteatro.

No que se refere à orientação das vertentes, o mapa de orientação de vertentes mostra que a porção a montante da voçoroca está orientada predominantemente a Leste e em menor proporção a Sudeste e Nordeste, respectivamente (Figura 4.23). A jusante a margem direita da

voçoroca está orientada para Sul e Sudoeste e a margem esquerda está orientada predominantemente a Noroeste. No que se refere às distâncias de drenagem, as Rampas distam de 200 a 1000 m dos cursos d'água e no Morros essas distâncias são inferiores a 200 m, sendo que nesse local a dissecação muito acentuada formando interflúvios pequenos faz com que as classes de distância de 0 a 50 m em se interconectem (Figura 4.23).

O mapa de solos apresenta dois tipos de solo na área de Latossolo Vermelho Escuro e Podzólico Vermelho Escuro (atuais Latossolo Vermelho e Argissolo Vermelho segundo a classificação da EMBRAPA, 1999). O Latossolo está cartografado restritamente a leste e o Argissolo foi amplamente cartografado a oeste (Figura 4.23). Santos (2007) identificou em áreas correlatas na bacia do córrego Catingueiro os Argissolos em associação com Cambissolos e Neossolos Litólicos. No local da erosão não foi possível observar nenhum perfil de solo típico, pois a área está muito alterada por depósitos tecnogênicos que incorporaram horizontes métricos de resíduo de construção civil e outros tipos de resíduos sólidos à superfície. O que se verificou, portanto, foi um perfil com dois horizontes identificáveis, no topo horizonte espesso de entulho e na base rocha alterada apresentando um saprólito avermelhado indicando o processo de alteração de rocha mãe máfica (Figura 4.22).

Como foi explicitado no Capítulo 3, referente à metodologia, os solos dessa voçoroca não foram submetidos a ensaios laboratoriais. No tange a influência do uso e cobertura do solo nesse processo erosivo as análises estão apresentadas no Capítulo 6.



Figura 4.22 - Perfil de solo da voçoroca Leopoldo de Bulhões.

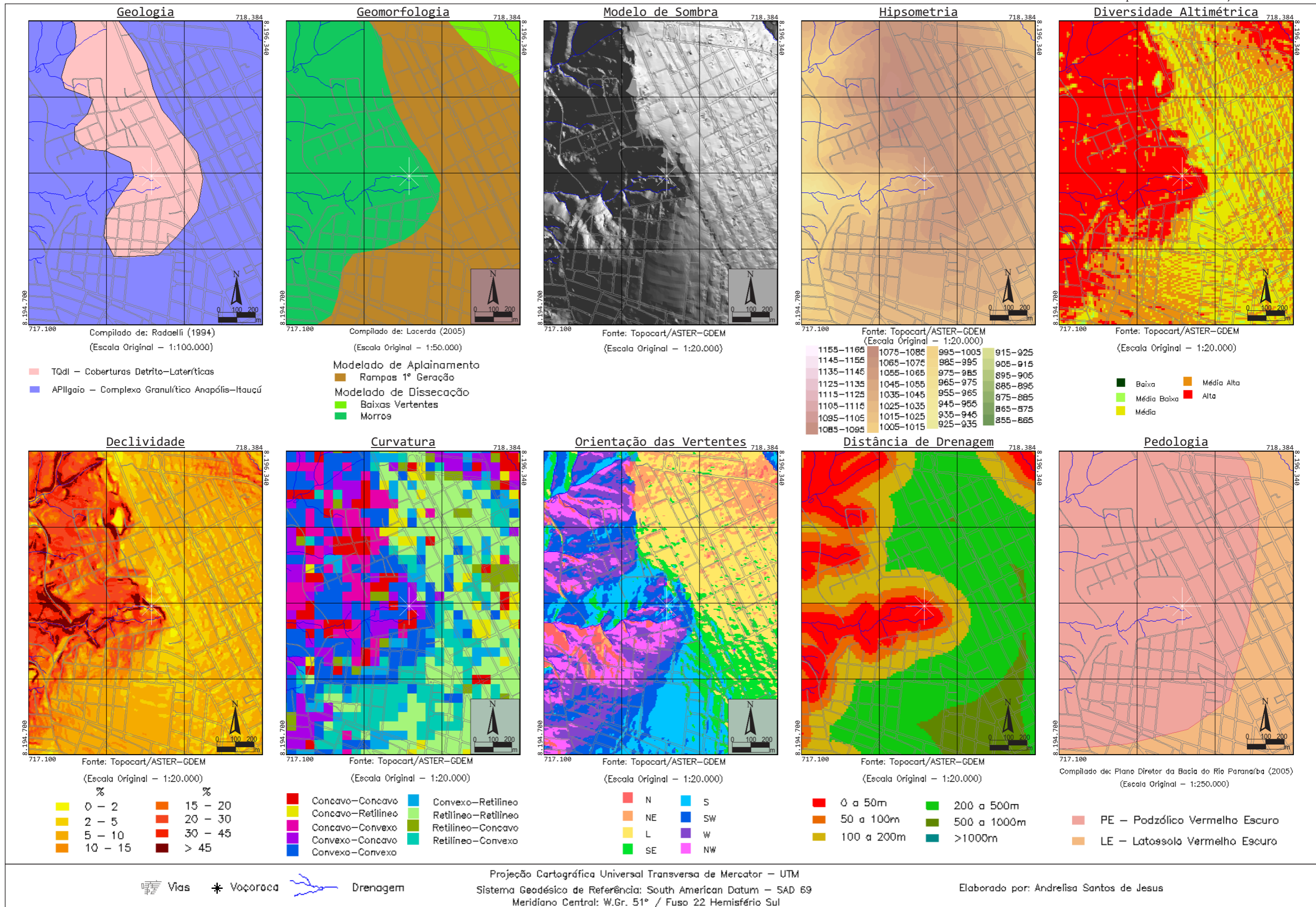


Figura 4.23 - Mapas do meio físico da voçoroca Leopoldo de Bulhões.

4.5.7 Voçoroca Frei Eustáquio

A voçoroca Frei Eustáquio está instalada na cabeceira de drenagem de um pequeno tributário do córrego Catingueiro. A estratigrafia dessa área é representada pelo Complexo Granulítico Anápolis-Itauçú aparecendo de forma restrita na porção noroeste e nordeste, respectivamente, depósitos aluvionares e coberturas detrítico-lateríticas (Figura 4.24). Foram cartografados três compartimentos de relevo, sendo o Modelado de Aplanamento representado por Rampas de 1ª Geração localizadas a oeste com uma faixa estreita proeminente em direção à porção central (Figura 4.24). O Modelado de Dissecção representado por Morros que predominam por toda a área e o Modelado de Acumulação, representado por pequenos polígonos de Planície Fluvial. As maiores altitudes estão nas rampas e decrescem em direção aos morros até atingirem as planícies onde se registra as menores altitudes em torno de 915 m (Figura 4.24).

Toda a área possui uma diversidade altimétrica acentuada com diversidade de Média/Alta a Alta com pontos muito restritos de diversidade altimétrica Média (Figura 4.24). As declividades de 0 a 10% predominam no compartimento de rampas. Já no compartimento de Morros as declividades tendem a variar de 10 a mais de 45% sendo que na cabeceira de drenagem onde se instalou a voçoroca Frei Eustáquio as declividades são predominantemente superiores a 45% (Figura 4.24).

A morfologia dessa área é bastante variada, mas a cabeceira de drenagem é marcada por formas com curvatura Convexo-Côncavo e Côncavo-Côncavo caracterizando o embaciamento concentrador de águas (Figura 4.24). A orientação das vertentes a montante da cabeceira é predominantemente a Sul e Sudoeste. A margem esquerda dessa cabeceira de drenagem apresenta a mesma orientação, já a margem direita está orientada predominantemente a Sudeste (Figura 4.24). A alta densidade de drenagem dessa área faz com que as classes de distância de drenagem de 0 a 50 m estejam conectadas (Figura 4.24).

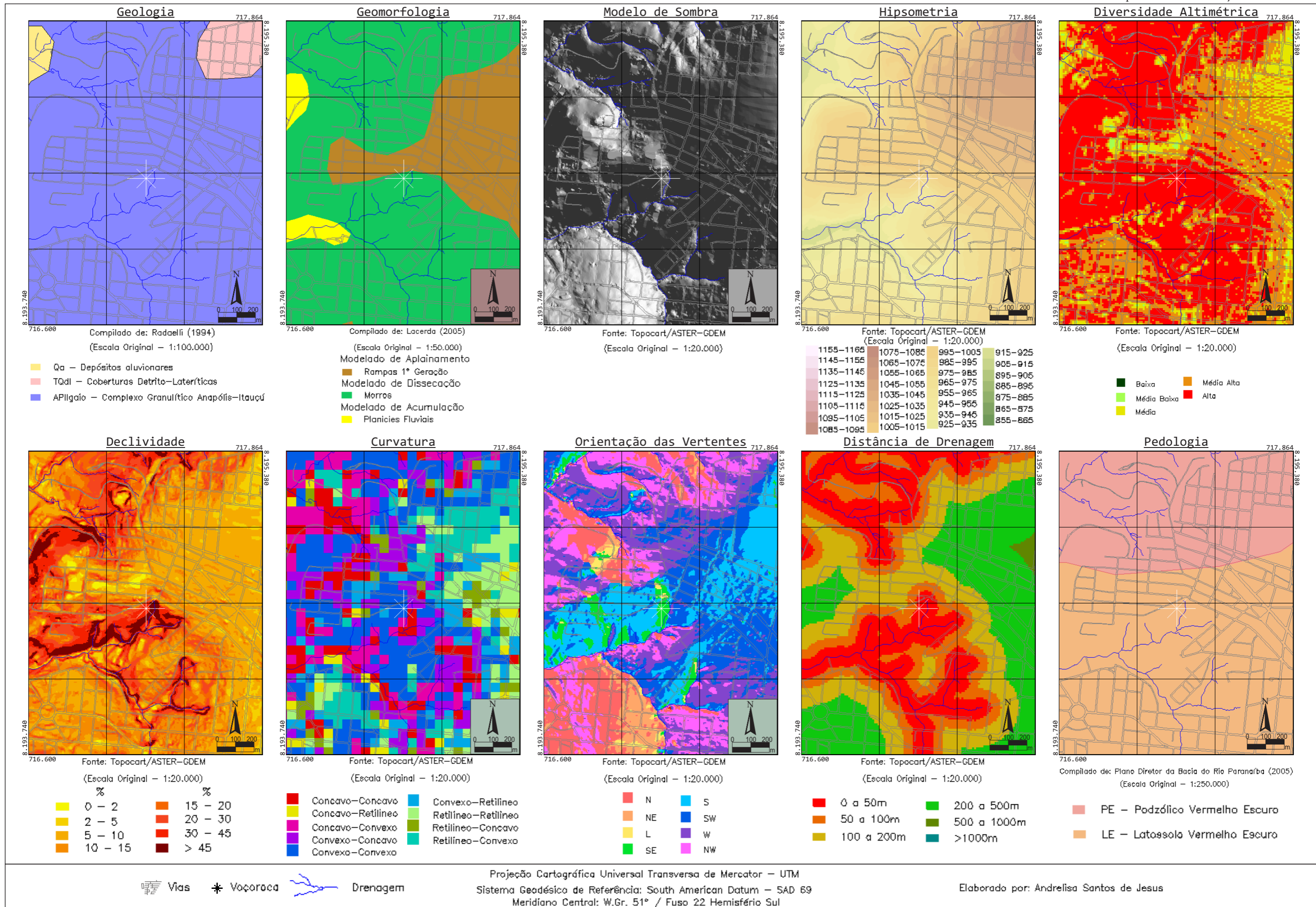


Figura 4.24 - Mapas do meio físico da voçoroca Frei Eustáquio.

Do ponto de vista pedológico o mapa de solos aponta para existência de dois tipos de solo na área Latossolo Vermelho Escuro e Podzólico Vermelho Escuro (atuais Latossolo Vermelho e Argissolo Vermelho segundo a classificação da EMBRAPA, 1999) (Figura 4.24). Sendo a voçoroca abordada nesse item inserida nos polígonos mapeados como Latossolo Vermelho Escuro. Em campo a grande quantidade de resíduos sólidos diversos e entulho de construção e demolição depositados na incisão erosiva dificultaram o acesso ao perfil de solo para estudos detalhados. Mas a inspeção de campo revelou presença de Neossolo Litólico com influência coluvionar de material de montante (Figura 4.25 a). O horizonte C corresponde a um saprólito félsico extremamente quartzoso (Figura 4.25 b).



Figura 4.25 - Solos da voçoroca Frei Eustáquio: (a) Neossolo Litólico; (b) Saprólito.

4.6 ANÁLISE COMPARATIVA DAS CARACTERÍSTICAS DO MEIO FÍSICO DAS VOÇOROCAS PESQUISADAS

Analisando as características do meio físico de cada uma das voçorocas pesquisadas foi possível verificar um padrão de ocorrência com relação às variáveis do meio físico (Tabela 4.8). Como a informação geológica não é muito detalhada é difícil atribuir a ela maior ou menor influência. No que se refere aos aspectos geomorfológicos, as voçorocas tendem a ocorrer em cabeceiras de drenagem e baixas vertentes com diversidade altimétrica Alta e com declividades superiores a 15% podendo atingir valores superiores a 45%. A morfologia do relevo tende a ser Côncava/Côncava na cabeceira da voçoroca. Uma variação de solos e orientação das vertentes sugere que a geomorfologia, entre as demais variáveis do meio físico, contribui mais significativamente, para conferir instabilidade natural nos terrenos estudados.

Tabela 4.8 - Comparação entre as características do meio físico das voçorocas pesquisadas.

Atributos do Meio Físico		VOÇOROCAS						
		VT	VC	VGB	VCJ	VCEL	VLB	VFE
Geologia		TQDI/ APllgaio	APllgaio	TQDI/ APllgaio	APllgaio	APllgaio	TQDI/ APllgaio	APllgaio
Geomorfologia		Cabeceira de drenagem	Baixa Vertente	Baixa Vertente	Baixa Vertente	Cabeceira de drenagem	Cabeceira de drenagem	Cabeceira de drenagem
Diversidade Altimétrica		Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta
Declividade		15 – > 45%	20%	10 a >45%	15 – > 45%	15 – > 45%	15 – > 45%	> 45%
Curvatura		Côncava/Côncava na cabeceira	Côncava/Côncava na cabeceira	Côncavo/Convexo que na cabeceira da voçoroca se tornam Convexo/Côncava e posteriormente Côncavo/Convexo	Côncava/Côncava na cabeceira	Côncavo/Côncavo na cabeceira	Côncavo/Côncavo na cabeceira	Côncavo/Côncavo na cabeceira
Orientação	Margem Direita	Sudoeste e Oeste	Oeste e Sudoeste	Norte	Sudeste e Leste	Oeste e Sudoeste	Sul e Sudoeste	Sudeste
	Margem Esquerda	Norte e Noroeste	Nordeste e Leste	Sul	Sul e Sudoeste	Noroeste e Oeste	Noroeste	Sul e Sudoeste
Distância de drenagem		0 – 100 m	0 – 200 m	0 – 200 m	0 -50 m	0-50 m	0-50 m	0 – 50 m
Solos		Concreção ferruginosa em degradação	Latossolo Vermelho-Amarelo	Latossolo Vermelho-Amarelo	Latossolo Vermelho-Amarelo	Latossolo Vermelho-Escuro	Argissolo Vermelho Escuro	Neossolo Litólico

Capítulo 5 - Caracterização Geotécnica

“A capacidade criativa da engenharia quase sempre, se bem exercida, possibilita o desenvolvimento de opções capazes de mitigar ou mesmo eliminar as erosões”

(José Camapum de Carvalho)

Esse capítulo apresenta os resultados e as análises referentes aos ensaios de caracterização física, comportamento hidromecânico e análise mineralógica para as voçorocas Túnel, Contorno, Geovane Braga, Cidade Jardim e Colégio Estadual. O conjunto de resultados será analisado por erosão uma vez que se pretende entendimento de cada uma delas. Optou-se por iniciar a análise pelos aspectos mineralógicos, pois estes possuem uma relação direta com muitas propriedades físicas do solo bem como com seu comportamento hidromecânico passando-se em seguida para as demais análises para cada erosão. Destaca-se que por adversidades de campo não foi possível coletar amostras indeformadas para o solo laterítico da voçoroca Túnel (VTL) e amostras indeformadas e deformadas para o solo saprolítico da voçoroca Colégio Estadual conforme apontado no Capítulo 3.

5.1 VOÇOROCA TÚNEL

5.1.1 Mineralogia

Observando o difratograma da amostra do solo VTL é possível verificar que a amostra total apresentou maior intensidade de pico para o quartzo, seguida de caulinita e gibbsita com traço de hematita (Tabela 5.1) Já na fração argila aparecem em maior intensidade de pico a gibbsita seguida da caulinita sem a presença de minerais com pequena intensidade ou como traço (Tabela 5.1). Dentre esses minerais o quartzo e a gibbsita apresentam um grau de cristalinidade elevado dadas as características dos picos do difratograma predominantemente estreitos e relativamente altos (Figura 5.1). A hematita também apresenta picos indicativos de boa cristalinidade para os padrões desse mineral. Já a caulinita apresenta um padrão de cristalização não muito acentuado, onde os picos, embora não sejam muito largos são muitas vezes de pequena intensidade dependendo do seu grau de cristalinidade.

A presença da gibbsita, no solo laterítico, com picos proporcionalmente mais pronunciados que no solo saprolítico que será visto a seguir indica uma alteração intempérica acentuada desse solo e confirma o caráter laterítico do mesmo.

Tabela 5.1 - Mineralogia da amostra de solo VTL.			
Amostra	Mineralogia		
	Picos de maior intensidade	Picos de menor intensidade	Traço
Fração argila	Gibbsita Caulinita	-	-
Amostra total	Quartzo Caulinita Gibbsita	Hematita	-

Quanto a presença marcante de quartzo na amostra total ela é reflexo dos elevados percentuais de areia da amostra como será apresentado no item referente a granulometria. Destaca-se ainda que o fato da hematita encontrar-se presente na amostra total e ausente na fração argila se deve provavelmente a ela estar formando películas fortemente adsorvidas nas partículas de quartzo ou encontrar-se formando nódulos de modo que no processo de centrifugação para preparar a lâmina orientada de argila ela se decanta. O problema pode eventualmente ser ainda metodológico uma vez que devido à elevada densidade da hematita as condições de centrifugação deveriam ser abrandadas de modo a evitar sua precipitação.

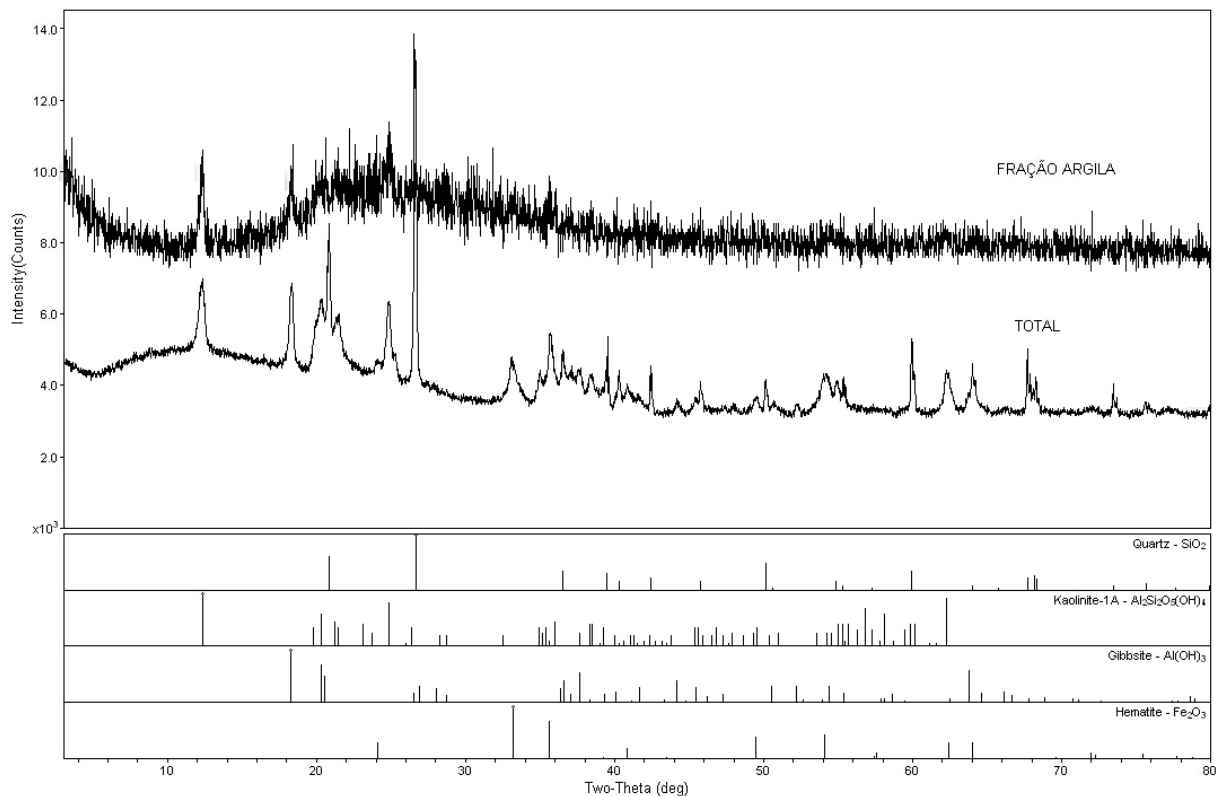


Figura 5.1 - Difratoograma da amostra de solo VTL.

O difratograma da amostra do solo VTS indica na amostra total uma maior intensidade dos picos de quartzo, seguido de caulinita, gibbsita e illita e com menor intensidade muscovita seguida de hematita sem a presença de minerais traços (Tabela 5.2). Na fração argila o

quartzo também aparece em picos de elevada intensidade, seguido da caulinita de montmorilonita e, em menor proporção, gibbsita e hematita sem a presença de mineral traço (Tabela 5.2).

Tabela 5.2 - Mineralogia da amostra de solo VTS.

Amostra	Mineralogia		
	Picos de maior intensidade	Picos de menor intensidade	Traço
Fração argila	Quartzo Caulinita Montmorilonita	Gibbsita Hematita	-
Amostra total	Quartzo Caulinita Gibbsita Ilita	Muscovita Hematita	-

Tanto os picos do quartzo como da caulinita que aparecem com maior intensidade em ambas as amostras, total e fração argila, são altos e com largura estreita a meia altura indicando estarem bem cristalizados (Figura 5.2). A presença de muscovita, ilita e montmorilonita indicam o baixo grau de alteração intempérica do solo e ainda apontam para um comportamento expansivo desse solo. A presença de gibbsita nesse tipo de amostra não é muito comum, mas, considerando a heterogeneidade de solos saprolíticos na zona de transição ou próximo dela, pode estar relacionada a porções da amostra mais intemperizadas. Além disso, o pico extremamente baixo e largo indica baixa cristalinidade desse mineral.

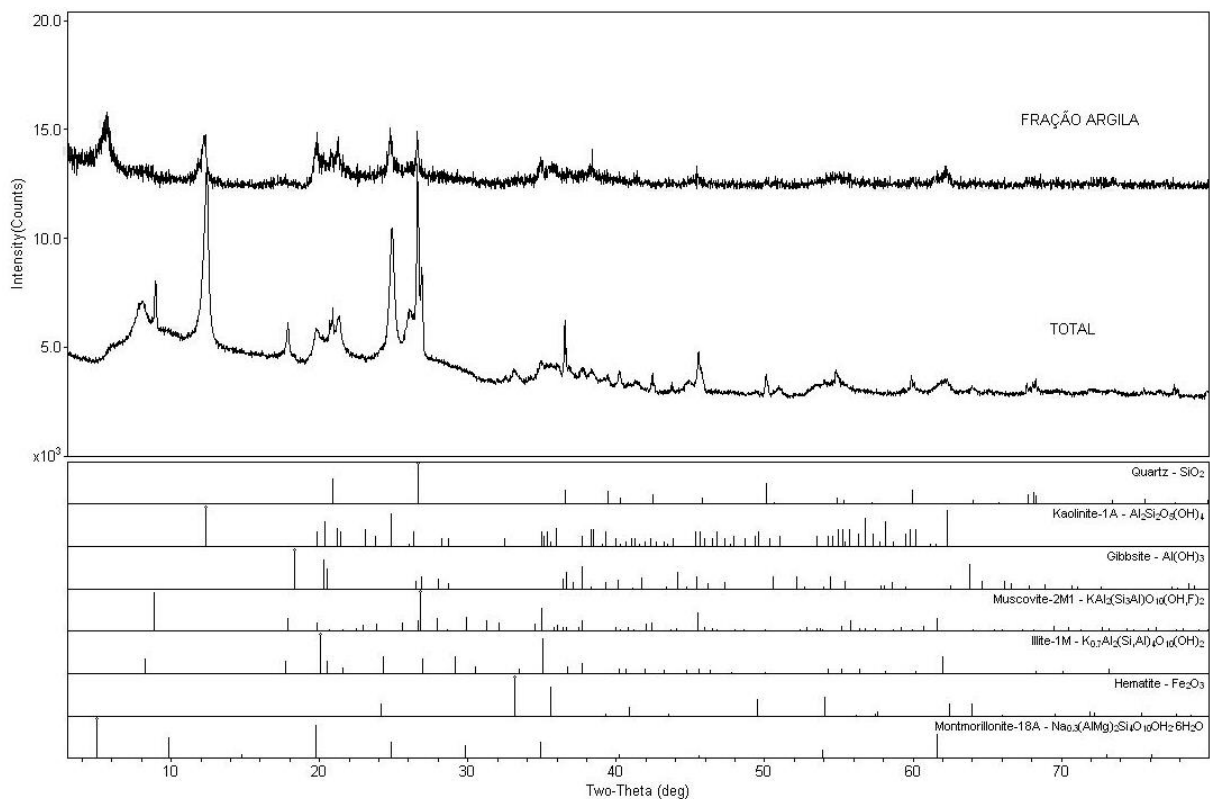


Figura 5.2 - Difratoograma do solo saprolítico da voçoroca Túnel.

Do ponto de vista do processo erosivo a existência de montmorilonita nesse solo pode levar a instabilização do talude, pois esse mineral é mineralogicamente instável diante de flutuações de umidade. Destaca-se que essas flutuações são recorrentes em ambiente de cabeceira de drenagem como o que esse solo está localizado e, onde, inclusive já ocorreram algumas rupturas de talude mencionadas no Capítulo 3.

5.1.2 Caracterização Física

A Tabela 5.3 apresenta os índices físicos dos solos da voçoroca Túnel, sendo que (w_{nat}) corresponde à umidade natural, (w_h) à umidade higroscópica, (γ_{nat}) ao peso específico natural, (G_s) ao peso específico relativo dos sólidos do solo, (γ_s) ao peso específico dos grãos, (γ_d) ao peso específico aparente seco, (e) ao índice de vazios, (n) à porosidade e (S_r) ao grau de saturação.

Tabela 5.3 – Índices Físicos da voçoroca Túnel.

Solo	w_{nat} (%)	w_h (%)	γ_{nat} (kN/m ³)	G_s	γ_s (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	e	n (%)	S_r (%)
Laterítico	19,7	2,9	---	2,81	---	---	---	---	---
Saprolítico	40,0	5,3	17,4	2,86	28,0	12,5	1,247	55,5	91,2

Nessa voçoroca tanto a umidade de campo como a umidade higroscópica tendem a aumentar consideravelmente com a profundidade do perfil (Tabela 5.3). A umidade do saprolito está relacionada ao nível d'água e a capilaridade podendo ainda estar sendo influenciada pela natureza mineralógico do solo devido a presença em especial da montmorilonita, destacando-se a existência de cabeceira de drenagem onde o nível d'água tende a ser alto durante todo o ano. O solo laterítico por sua vez tem sua umidade reduzida por causa de uma maior interação com atmosfera e de sua maior drenabilidade, destacando-se que esse solo foi coletado num período seco com umidades do ar bastante reduzidas.

No que se refere à umidade higroscópica verificou-se a manutenção desse padrão com horizontes superficiais com menores umidades e horizontes mais profundos onde está o saprolito com umidades maiores o que é igualmente condizente com a mineralogia do solo (Tabela 5.3). Nesse caso a umidade relativamente alta do saprolito pode encontrar explicação na presença de argilominerais diversos, inclusive de alta atividade como a montmorilonita, descritos no item anterior. Os argilominerais possuem superfície específica elevada implicando em maior tensão superficial que promove a retenção da água higroscópica.

O peso específico relativo do solo laterítico foi de 2,81g/cm³ e do solo saprolítico de

2,86 g/cm³. Conforme mostrado por Cardoso (2002), o peso específico relativo do solo laterítico é influenciado pelos óxidos e hidróxidos de ferro presentes nesse solo. Já o peso específico relativo ligeiramente elevado do solo saprolítico pode ser atribuído a presença de minerais magnéticos de ferro observados com a utilização de um imã próximo a amostra de solo (Tabela 5.3).

Os dados referentes a caracterização granulométrica dos solos da voçoroca Túnel são apresentados nos gráficos da Figura 5.3, sendo a classes texturais apresentadas na Tabela 5.4 e na Tabela 5.5. Os ensaios foram realizados a partir da umidade de campo (w_c) e após remeter as amostras a suas respectivas umidades higroscópicas (w_h). O procedimento foi adotado objetivando verificar quais solos das erosões satisfaziam às hipóteses levantadas por Roseno & Camapum de Carvalho (2007) e quais correspondem a hipótese que se levanta nessa tese. Segundo esses autores a presença de minerais com diferentes coeficientes de dilatação térmica formando os agregados conduziam ao estabelecimento de uma meta-estabilidade estrutural durante o processo de secagem capaz de gerar a desagregação dos agregados quando do ensaio de sedimentação. A hipótese que se levanta nessa tese é de que no processo de secagem os oxi-hidróxidos de ferro e/ou alumínio podem se precipitar ou simplesmente mudar o seu estado formando cimentos que estabilizam os agregados ou mesmo que gerem novos agregados.

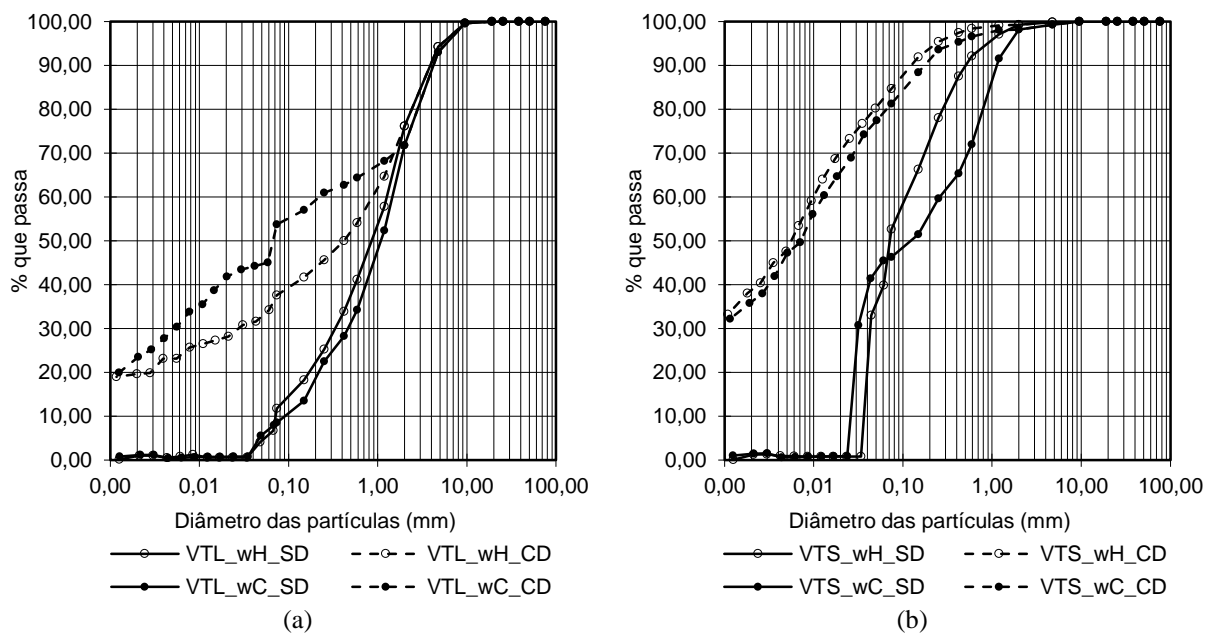


Figura 5.3 - Curva granulométrica da Voçoroca Túnel - solo: (a) laterítico; (b) saprolítico.

Tabela 5.4 - Percentuais das frações granulométricas da Voçoroca Túnel - solo com umidade higroscópica.

Fração granulométrica	Solo laterítico		Solo saprolítico	
	Com defloculante (%)	Sem defloculante (%)	Com defloculante (%)	Sem defloculante (%)
Pedregulho grosso	0,0	0,0	0,0	0,0
Pedregulho médio	4,3	4,3	0,1	0,1
Pedregulho fino	19,6	19,6	0,6	0,6
Areia grossa	21,9	34,6	0,8	7,1
Areia média	10,6	19,7	4,7	20,0
Areia fina	9,5	16,1	11,5	32,7
Silte	14,5	4,8	43,5	38,4
Argila	19,7	0,9	38,7	1,1

Tabela 5.5 - Percentuais das frações granulométricas da Voçoroca Túnel - solo com umidade de campo.

Fração granulométrica	Solo laterítico		Solo saprolítico	
	Com defloculante (%)	Sem defloculante (%)	Com defloculante (%)	Sem defloculante (%)
Pedregulho grosso	0,0	0,0	0,0	0,0
Pedregulho médio	5,2	5,2	0,5	0,5
Pedregulho fino	22,9	22,9	1,3	1,3
Areia grossa	7,4	37,2	1,6	25,8
Areia média	5,4	16,5	5,6	16,7
Areia fina	13,2	11,1	11,5	10,2
Silte	22,6	5,8	43,4	43,9
Argila	23,3	1,1	36,1	1,5

No que se refere às características granulométricas do solo laterítico dessa voçoroca ensaiado com a umidade higroscópica é possível verificar que pouco mais de 23% da amostra ensaiada é composta por pedregulho fino e médio, sendo este último mais proeminente no solo. Além disso, o solo revelou um grau de agregação considerável, pois o ensaio realizado sem defloculante apresentou percentuais de silte e argila muito baixos, respectivamente cerca de 5% e 1%. Com o uso do defloculante no ensaio esses percentuais aumentaram em aproximadamente 19% para a argila e 10% para o silte. Isso significa que silte e argila estavam se comportando como areia a qual teve seus percentuais acentuadamente reduzidos em cerca de 29% quando dos ensaios com o uso do defloculante químico, sendo que as maiores reduções ocorreram na areia grossa, seguida da areia média e depois pela areia fina.

Quanto ao solo saprolítico ensaiado com umidade higroscópica este apresentou um percentual quase irrelevante de pedregulho, teor inferior a 1%. Esse solo, quando ensaiado sem o uso de defloculante revelou percentuais muito reduzidos da fração argila com relação as demais frações granulométricas. Todavia, com o uso de defloculante houve um aumento considerável dessa fração granulométrica para em torno de 39%. Constatou-se também aumento sutil de aproximadamente 5% nos percentuais de silte. O aumento desses percentuais é oriundo da

diminuição dos percentuais de areia em cerca de 43% quando do uso do defloculante químico, sendo que as maiores reduções ocorreram na areia fina, seguida da areia média e da areia grossa.

Os solos dessa voçoroca quando ensaiados com umidade de campo apresentaram a mesma tendência de agregação da argila na fração areia no caso das amostras de solo laterítico e de agregação do silte na fração areia no caso de amostras de solo saprolítico. Todavia, observou-se uma tendência no solo laterítico ensaiado com umidade de campo apresentar menor percentual de areia e conseqüentemente maior percentual de finos como pode-se notar da comparação entres as curvas granulométricas (Figura 5.3 a).

Observa-se que a curva referente ao solo ensaiado com umidade de campo e uso de defloculante está consideravelmente acima da curva referente ao solo ensaiado com umidade higroscópica especialmente no trecho abaixo de 2 mm de diâmetro. Portanto, confirma-se que para essa erosão o solo segue a hipótese apresentada nessa tese de que a secagem pode em certos casos gerar ou fortalecer agregados presentes nos perfis de intemperismo desenvolvidos em clima tropical. Sem o uso de defloculante o solo seco ao ar apresentou-se ligeiramente mais agregado o que pode situar a variação dos resultados na própria variabilidade estatística dos resultados, podendo evidentemente indicar para o fato de que determinados agregados se deterioram com a secagem conforme a hipótese formulada por Roseno & Camapum de Carvalho (2007). Cabe destacar que para o solo saprolítico a tendência tende a se inverter com o uso do defloculante, mas se mantém sem o seu uso.

Analisando-se agora o reflexo desses comportamentos sobre o processo erosivo é possível antever que a secagem do solo exposto ao ar e insolação torna-o mais susceptível a erosão devido a ampliação do potencial desagregador por ocasião de precipitações. Destaca-se ainda que ação de agentes químicos defloculadores oriundos de lançamentos de águas servidas ou lixo, embora provocadores de instabilidade estrutural em todo o maciço serão mais nocivas na camada de solo saprolítico quando esta for submetida à desidratação. Essa análise é relevante, pois faz sobressair a importância de práticas como a da revegetação dos taludes feita com as devidas precauções quanto a ação dos insumos sobre a estabilidade estrutural do solo, e de não se permitir o lançamento de águas servidas e lixo nas incisões erosivas.

No que se refere aos limites de consistência verificou-se que a amostra VTL quando ensaiado com a umidade de campo preservada revelou valores de limite de liquidez, limite de plasticidade e índice de plasticidade, ligeiramente inferiores aos da amostra ensaiada com

umidade higroscópica (Tabela 5.6). Esse solo, tanto na amostra com umidade de campo preservada como na amostra com umidade higroscópica, foi classificado como inativo (Figura 5.4). Esse comportamento de um solo sem atividade é coerente com a composição mineralógica do solo rica em minerais produto de alto grau de alteração intempérica como a gibbsita confirmando o caráter laterítico do mesmo.

Tabela 5.6 - Limites de Atterberg e índice de atividade dos solos da voçoroca Túnel.

Dados	Solo Laterítico		Solo Saprolítico	
	Umidade de campo	Umidade higroscópica	Umidade de campo	Umidade higroscópica
W _L (%)	42	52	88	92
W _P (%)	33	37	50	41
I _P (%)	9	15	38	51
IA	0,24	0,38	1,00	1,28

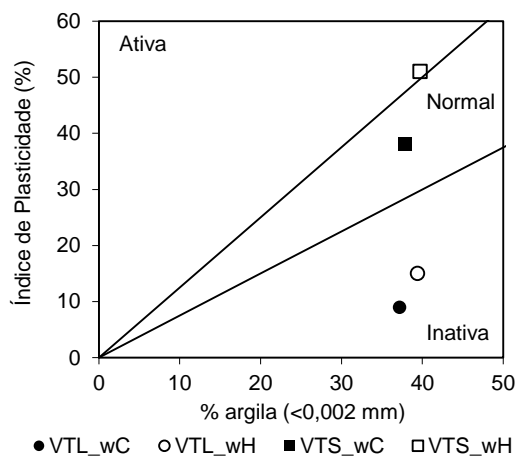


Figura 5.4 - Índice de atividade dos solos da voçoroca Túnel.

Já o solo da amostra VTS revelou um comportamento mais inconstante (Tabela 5.6), onde quando ensaiada com a umidade de campo apresentou o limite de liquidez muito próximo do limite de liquidez da amostra ensaiada com secagem prévia. No limite de plasticidade o valor para a amostra com umidade de campo foi notavelmente superior ao da amostra seca ao ar. O comportamento desse solo quanto ao índice de plasticidade foi exatamente o contrário do apresentado no limite de plasticidade uma vez que os Limites de Liquidez foram praticamente mantidos (Tabela 5.6). No índice de atividade a amostra seca ao ar foi classificada como uma argila ativa (Figura 5.4). Já a amostra ensaiada com umidade de campo foi classificada como uma argila normal, mas é importante observar que a plotagem do ponto correspondente a atividade ficou muito próximo da linha A.

Essa pequena diferença também ocorreu com o solo laterítico (VTL), verificando-se nessa voçoroca uma tendência de aumento do índice de atividade com a secagem prévia. Porém essa diferença pode ter ocorrido também em função da heterogeneidade das amostras, uma vez que

as análises mineralógicas indicam a existência de minerais 2:1 tais como a montmorilonita que justificam a atividade do solo saprolítico.

O conjunto de resultados aponta para a maior fragilidade dos agregados diante da espatulação realizada para a determinação dos Limites de Liquidez e Plasticidade quando o solo foi submetido a secagem prévia. O comportamento distinto observado para o limite de plasticidade do solo saprolítico pode ser explicado pela provável incapacidade dos argilominerais expansivos recuperarem a água perdida na secagem durante o ensaio de limite de plasticidade. Isso ocorreria em menor grau no limite de liquidez devido a maior umidade requerida pelo solo para atingir o estado líquido. Associando os resultados a evolução dos processos erosivos depreende-se que a secagem continua apontando para a maior susceptibilidade dos solos ao processo erosivo.

5.1.3 Classificação dos solos

Granulometricamente o solo laterítico com umidade higroscópica e com umidade de campo é classificado como areno-argiloso quando ensaiado com defloculante e arenoso quando ensaiado sem defloculante. Já no solo saprolítico ambas as amostras ensaiadas com umidade higroscópica e com umidade de campo foram classificadas com uso de defloculante como silto-argilosa e sem o uso de defloculante como arenosa. Para a análise e previsão do comportamento desses solos é recomendável que se considere a classificação efetuada sem o uso de defloculante por corresponder as condições de campo, no entanto, quando se lança águas servidas e lixo nas incisões erosivas é importante observar como o solo passará a se comportar em função da possível desagregação, pois isso poderá ter importantes reflexos sobre o fluxo e estabilidade dos taludes da voçoroca.

De acordo com as análises granulométricas e com os valores de limite de plasticidade e índice de plasticidade foi possível classificar o solo segundo o sistema de classificação unificada dos solos (SUCS), conforme mostrado na Tabela 5.7 para os solos ensaiados com umidade higroscópica e na Tabela 5.8 para solos ensaiados com umidade de campo. Os resultados encontram-se também na carta de plasticidade da Figura 5.5.

Tabela 5.7 - Classificação SUCS para a Voçoroca Túnel - solo com umidade higroscópica.

Dados	Solo Laterítico		Solo Saprolítico	
	Com defloculante	Sem defloculante	Com defloculante	Sem defloculante
% de pedregulho (retido na # 4)	5,7	5,7	0,1	0,1
% de areia (passa na # 4 e retido na # 200)	56,7	82,5	15,2	47,3
% de finos (passa na #200)	37,6	11,8	84,7	52,6
D ₆₀	---	1,286	---	---
D ₃₀	---	0,343	---	---
D ₁₀	---	0,072	---	---
C _U	---	17,86	---	---
C _c	---	1,28	---	---
Classificação	SM (Areia siltosa)	SW-SM (Areia bem graduada siltosa)	MH (Silte de alta plasticidade)	MH (Silte de alta plasticidade)

Tabela 5.8 - Classificação SUCS para a Voçoroca Túnel - solo com umidade de campo.

Dados	Solo Laterítico		Solo Saprolítico	
	Com defloculante	Sem defloculante	Com defloculante	Sem defloculante
% de pedregulho (retido na # 4)	7,0	7,0	0,7	0,7
% de areia (passa na # 4 e retido na # 200)	39,3	84,4	18,1	53,0
% de finos (passa na #200)	53,7	8,6	81,2	46,3
D ₆₀	---	1,508	---	---
D ₃₀	---	0,469	---	---
D ₁₀	---	0,096	---	---
C _U	---	15,71	---	---
C _c	---	1,52	---	---
Classificação	ML (Silte de baixa plasticidade)	SW-SM (Areia bem graduada siltosa)	MH (Silte de alta plasticidade)	SM (Areia siltosa)

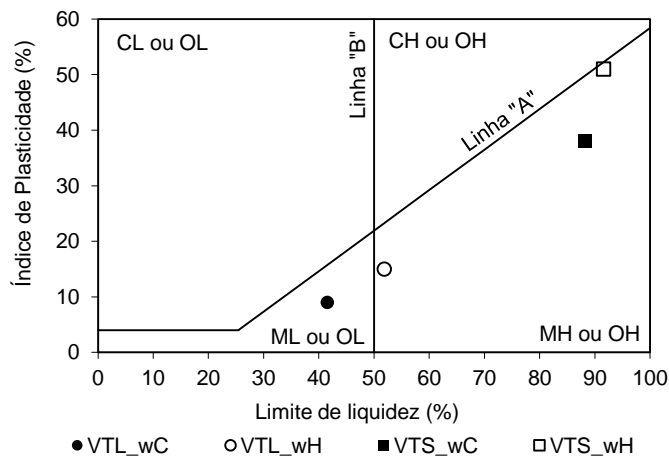


Figura 5.5 – Carta de plasticidade dos solos da voçoroca Túnel.

Sendo assim a amostra VTL com secagem prévia quando submetida no ensaio de granulometria a ação do defloculante foi classificada como uma areia siltosa (SM), pois seu percentual de finos é inferior a 50% já quando ensaiada sem ação do defloculante foi classificada como uma areia bem graduada siltosa (SW-SM) (Tabela 5.7). A amostra com umidade de campo submetida a ação do defloculante no ensaio granulométrico foi classificada como um silte de baixa plasticidade (ML). Essa amostra sem a influência do defloculante foi classificada como uma areia bem graduada siltosa (SW-SM) (Tabela 5.8).

Na amostra VTS com umidade higroscópica, conforme foi verificado na análise granulométrica, predominaram os finos. Isso se reflete fortemente na classificação SUCS desse solo fazendo tanto a amostra com defloculante como a amostra sem defloculante serem classificadas como silte de alta plasticidade (MH) (Tabela 5.7). Destaca-se que, os valores de I_P e W_L da amostra quando plotados na carta de plasticidade geraram um ponto que ficou extremamente próximo da linha A, que separa as argilas de alta plasticidade (CH) dos siltes de alta plasticidade (MH), sendo que existe uma tendência de ocorrência de minerais 2:1, como a illita e a montmorilonita, acima desta linha e abaixo dela minerais 1:1 como a caulinita (Figura 5.5).

Logo, essa classificação é bastante condizente com o alto índice de atividade encontrado nesse solo em consequência de sua composição mineralógica contendo montmorilonita. A amostra VTS quando submetida ao ensaio com umidade de campo preservada no solo com defloculante foi classificada como as demais amostras desse solo ensaiada com umidade higroscópica sendo classificada como um silte de alta plasticidade (MH). Todavia, quando a amostra foi ensaiada sem defloculante ficou classificada como uma areia siltosa (SM) (Tabela 5.8).

Assim, para a análise do desencadeamento e evolução do processo erosivo é importante que se leve em conta o estado do solo segundo as condições de interação com a atmosfera (insolação, vento, cobertura, altura e declividade do talude, forma do relevo, dentre outros) e com agentes químicos agressivos como as águas servidas e o lixo.

Na classificação MCT expedida a análise das pastilhas dos solos dessa voçoroca confirmaram o caráter laterítico do solo superficial e saprolítico do solo mais profundo. Todavia, ocorreram algumas variações no comportamento dos solos ensaiados com umidade de campo em relação aos ensaiados com umidade higroscópica (Tabela 5.9).

Tabela 5.9 - Classificação MCT expedito para a voçoroca Túnel - Pastilhas.

Dados	Solo Laterítico		Solo Saprólítico	
	Umidade de campo	Umidade higroscópica	Umidade de campo	Umidade higroscópica
c'	1,56	1,81	2,51	2,51
Tempo de ascensão (mm:ss)	02:45	07:05	22:06	29:01
Penetração (mm)	0	0	5	4
Classificação	LA/LG' (Laterítico Arenoso / Argiloso)	LG' (Laterítico Argiloso)	NG' (Não Laterítico Argiloso)	NG' (Não Laterítico Argiloso)

No solo laterítico com umidade de campo o coeficiente de contração (c') e o tempo de ascensão de água foi ligeiramente inferior ao do solo com umidade higroscópica. Isso fez com que o solo com umidade de campo fosse classificado como Laterítico Arenoso/Argiloso (LA/LG). Já o solo ensaiado com umidade higroscópica foi classificado como Laterítico Argiloso (LG). Esse comportamento estaria apontando para a maior desagregação do solo conduzido a umidade higroscópica o que corresponde aos resultados obtidos nas análises granulométricas realizadas sem o uso de defloculante.

No solo saprolítico o valor do coeficiente de contração permaneceu o mesmo, ocorrendo uma ligeira variação no tempo de ascensão de água que foi maior na pastilha preparada com solo com umidade higroscópica o que mais uma vez confirma os resultados de análise granulométrica sem o uso de defloculante. Além disso, houve uma variação quase insignificante na penetração das pastilhas, onde o solo com umidade de campo apresentou penetração de 5 mm e o solo com umidade higroscópica apresentou penetração de 4 mm. Essas pequenas diferenças de comportamento não se refletiram na classificação, sendo ambos os solos saprolíticos classificados como Não Laterítico Argiloso (NG'). Cabe destacar que nos solos saprolíticos, geralmente a inexistência de agregados, presentes nos solos lateríticos, cedem espaço para os pacotes de argila.

A Figura 5.6 apresenta o resultado de resistência das esferas com os valores de tensão de ruptura nas ordenadas de modo a permitir uma comparação gráfica entre o comportamento das esferas. Essas esferas foram plotadas lado a lado conforme o tipo de preparação laboratorial que a amostra sofreu. Verificou-se nos solos lateríticos uma tendência da tensão de ruptura permanecer próximo a 500 kPa independente da amostra ter sido ou não preparada com secagem prévia e também independente se a esfera foi seca ao ar ou em estufa. Por outro

lado, as esferas de solo saprolítico apresentaram um comportamento mais errático no que se refere a tensão de ruptura. A amostra ensaiada com umidade higroscópica cujas esferas foram secas ao ar romperam em tensões diferentes, sendo uma com aproximadamente 3000 kPa e outra com tensão de ruptura próxima a 1000 kPa. Já a esfera moldada com solo com umidade de campo e seca ao ar teve tensão de ruptura em torno de 2000 a 2500 kPa. As esferas preparadas tanto com solo com umidade campo como umidade higroscópica ambas secas em estufa apresentaram tensão de ruptura próxima a 500 KPa. Nesse caso a secagem em estufa proporcionou certa instabilidade nas esferas provavelmente devido a hipótese levantada por Roseno & Camapum de Carvalho (2007) em relação aos agregados.

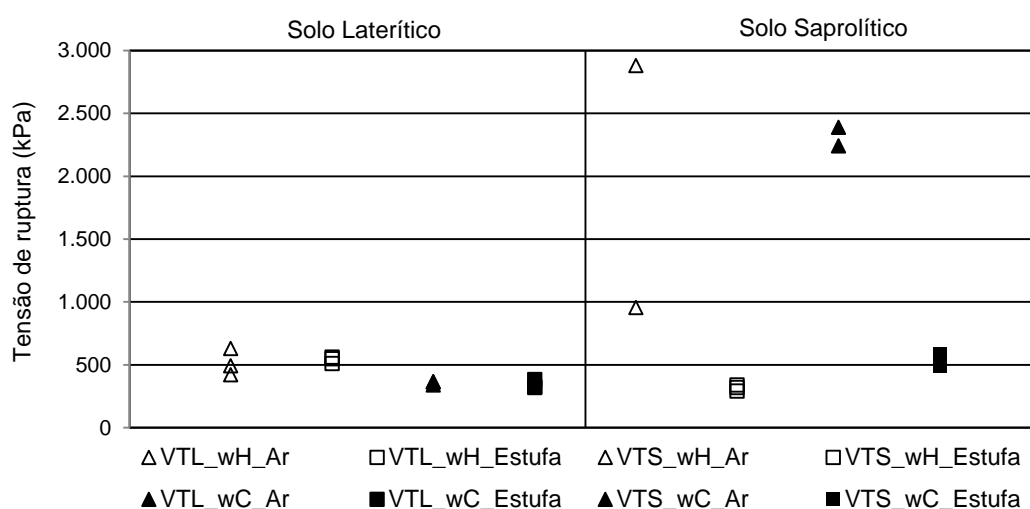


Figura 5.6 - Resistência das esferas.

5.1.4 Sucção

Conforme já foi explicitado anteriormente, para essa erosão foi possível determinar apenas a curva característica do solo saprolítico, pois o ensaio para obtenção da curva característica depende de amostras indeformadas as quais não foram coletadas para o solo laterítico dessa voçoroca. Por se tratar de um saprólito o solo é constituído por uma distribuição de poros mais uniforme ou melhor graduada gerando assim distribuição de poros da mesma natureza. Desse modo, o ponto de entrada de ar nos poros do solo obtido a partir da interpolação é de aproximadamente 100 kPa o que equivale a uma umidade nesse ensaio de 25% (Figura 5.7).

O comportamento da curva característica e os valores da sucção correspondente à entrada de ar relativamente elevada aponta para a sucção como um elemento importante para o comportamento hidromecânico do solo no que tange ao potencial de evolução do processo erosivo, pois pequenas variações de umidade podem provocar relevantes variações na

resistência do solo. Também quando da infiltração de água a fase ar pode se submeter a elevados valores de pressão instabilizando localmente o solo e favorecendo as erosões de superfície ou a solapamentos do pé de talude diante de ascensões rápidas do nível d'água no interior da incisão erosiva. Santos (1997) mostrou ao estudar erosões de Goiânia que esse mecanismo pode ser responsável pela ampliação das erosões.

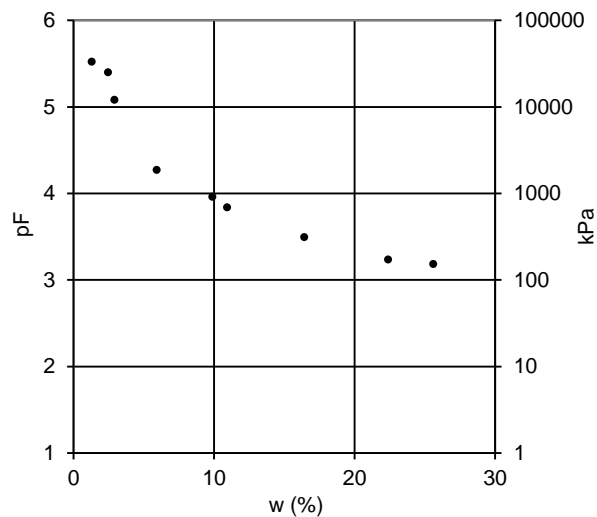






Figura 5.7 - Curva característica do solo saprolítico da voçoroca Túnel.

5.1.5 Perda de Massa por Imersão

Os resultados de perda de massa por imersão, obtidos para o solo saprolítico estão apresentados na Tabela 5.10.

Tabela 5.10 - Perda de massa por imersão do solo saprolítico da voçoroca Túnel.

Descrição	Corpo de Prova			
	1	2	3	4
Umidade do CP	37,74	37,74	37,74	37,74
Desplacamento	Não	Não	Não	Sim
Pi (%)	0,2	3	0,9	175,8
Corpo de prova após o ensaio				

Na Tabela 5.10 são mostradas também imagens obtidas ao final dos ensaios para a perda por imersão. No ensaio de perda de massa por imersão do solo saprolítico da voçoroca Túnel verificou-se que ocorreu deslocamento em uma dos corpos de prova submetidos ao ensaio. A

perda de massa do solo foi consideravelmente baixa na maioria dos corpos de prova não ultrapassando 3% de P_i , todavia o deslocamento foi responsável por uma perda elevada de solo de cerca de 176% de P_i . Esse deslocamento tende a ocorrer quando existem planos favoráveis a rupturas podendo ser indicativo de expansibilidade que por sua vez, foi confirmada na análise mineralógica que indicou a presença de argilominerais ativos como a montmorilonita.

5.1.6 Desagregação

A Tabela 5.11 apresenta os resultados do comportamento do solo saprolítico da voçoroca Túnel no ensaio de desagregação.

Tabela 5.11 - Resultados do ensaio de desagregação para o solo saprolítico da voçoroca Túnel.

Solo	Fases		Descrição	w_c (%)
Saprolítico	Inundação Imediata		Pequena desagregação e rachadura nas fraturas	39,8
	Inundação Parcial	Amostra com água na base do CP por 30 min Água em 1/3 da altura do CP Água em 2/3 da altura do CP Imersão completa do CP	Desagregação pequena Desagregação pequena Desagregação pequena 24 horas depois a amostra manteve-se estável sem desmoronar	

Esse solo sofreu uma desagregação pequena com predomínio de rachaduras nas fraturas geológicas preservadas nesse saprólito, sendo que tanto com inundação completa como com inundação parcial as amostras não sofreram abatimento (Figura 5.8). Esse comportamento indica baixo potencial de erodibilidade do solo a partir das condições de umidade estudadas ou em condição mais úmida quando submetido a inundação, exceto nos locais onde preexistam trincas de origem estrutural. Para umidades iniciais inferiores as ensaiadas faz-se necessários estudos complementares.



Figura 5.8 - Ensaio de desagregação do solo saprolítico da voçoroca Túnel: (a) Inundação imediata; (b) Inundação parcial.

5.1.7 Inderbitzen

No ensaio de *inderbitzen* realizado sobre o solo saprolítico da voçoroca Túnel, foi possível observar no gráfico de perda de solo *versus* tempo que a perda total de solo foi de $2,8 \text{ g/mm}^2 \times 10^{-3}$ em 30 minutos (Figura 5.9). Essa perda foi distribuída da seguinte maneira, nos primeiros 5 minutos de ensaio ocorreram as maiores perdas concentradas de solo e essas perdas foram muito próximas para o material retido em todas as peneiras #40, #100 e #200. Com 10 minutos de ensaio houve um ligeiro aumento na perda, sendo que estas ficaram mais concentradas nas partículas retidas na peneira #40 e #100. O aumento continuou sutil até iniciar a estabilização em 20 minutos que se completou no fim do ensaio em 30 minutos. Esses resultados mostram que o fluxo superficial nas condições de declividade e vazão adotadas (inclinação da rampa igual 10° e vazão igual a $17,5 \text{ mm}^3/\text{min}$) gera erosão no solo quando exposto.

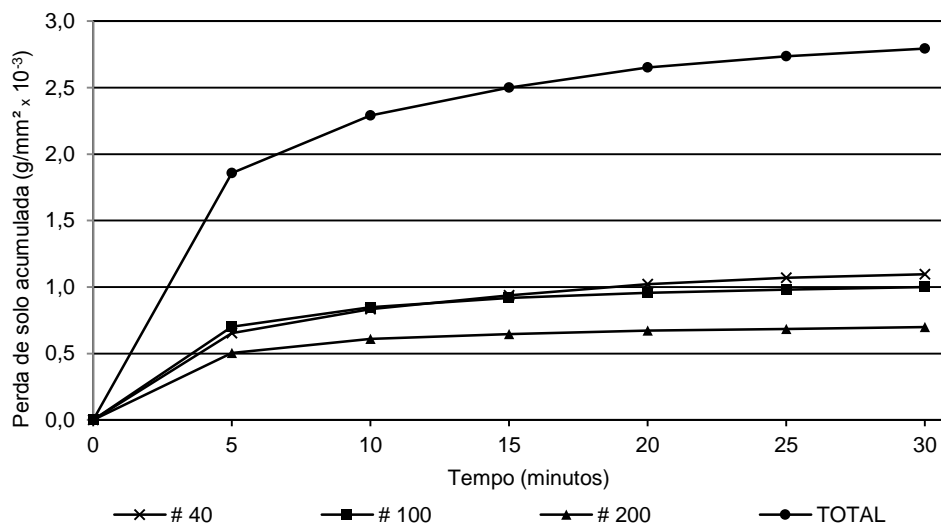


Figura 5.9 - Resultados do ensaio de *inderbitzen* para o solo saprolítico da voçoroca Túnel.

5.1.8 Pinhole

O ensaio de *pinhole* para o solo saprolítico da voçoroca Túnel apresentou mediante a aplicação das cargas hidráulicas, fluxos que permitiram, segundo a NBR 14114 (ABNT, 1998), classificá-lo como não dispersivo (ND1), constatando-se a liberação de um efluente claro. No gráfico de vazão *versus* carga hidráulica (Figura 5.10) é possível verificar na curva de carga um comportamento quase linear com uma ligeira inflexão voltada para baixo confirmando o comportamento não dispersivo apontado pela classificação. Por sua vez, a curva de descarga aparece plotada muito próxima à curva de carregamento, sendo esse comportamento indicativo de uma vazão de retorno semelhante à vazão de carregamento. Isso

permite inferir que não houve um aumento significativo do diâmetro do furo. Portanto, esse solo não tem potencial para submeter-se ao processo de erosão interna e nenhum para apresentar problema de eluviação ou esqueletização do maciço.

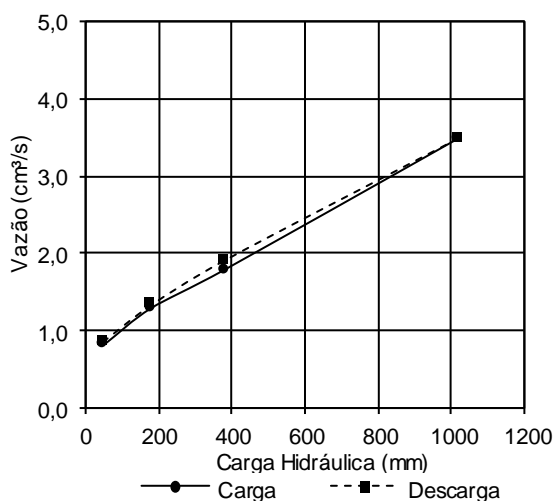


Figura 5.10 - Resultado do ensaio de *pinhole* para o solo saprolítico da voçoroca Túnel.

5.1.9 Cisalhamento Direto

Nesses ensaios de cisalhamento direto realizados sobre o solo saprolítico da voçoroca Túnel foi possível observar, na fase de adensamento (Figura 5.11 a), um recalque imediato mais sutil mediante a aplicação de baixas tensões confinantes, sendo que para as maiores tensões confinantes o recalque foi mais acentuado. Após a inundação verificou-se para todas as tensões confinantes uma ligeira elevação da trajetória de recalque, indicando possível expansão do corpo de prova haja vista sua composição mineralógica com montmorilonita conforme apresentado no item 5.1.1. Observou-se ainda, no final do período de adensamento a estabilização dos recalques para todas as tensões confinantes.

Durante a fase de cisalhamento verificou-se na curva tensão de cisalhamento *versus* deslocamento horizontal a ocorrência de picos para os três níveis de tensão confinante. No entanto, a perda de resistência entre o pico e o valor residual foi semelhante para as duas menores tensões e, como esperado, menor para a maior tensão aplicada. Isso revela um comportamento similar ao de argilas pré-adensadas ou de areias compactas (Figura 5.11 b). Verifica-se ainda na curva deslocamento vertical *versus* deslocamento horizontal (Figura 5.11 c) a ocorrência de uma pequena dilatância na curva referente a tensão confinante de 50 kPa, onde volume do corpo de prova aumenta durante o ensaio. Nas demais tensões observou-se a compressão do corpo de prova durante o cisalhamento, indicada pelo aumento absoluto do

deslocamento vertical. Diante desse comportamento conclui-se que este solo provavelmente possui estrutura que lhe confere uma tensão de pré-adensamento ou de pseudo pré-adensamento entre 50 e 100 kPa. Pseudo, pois pode ser apenas correspondente a resquícios estruturais da rocha mãe.

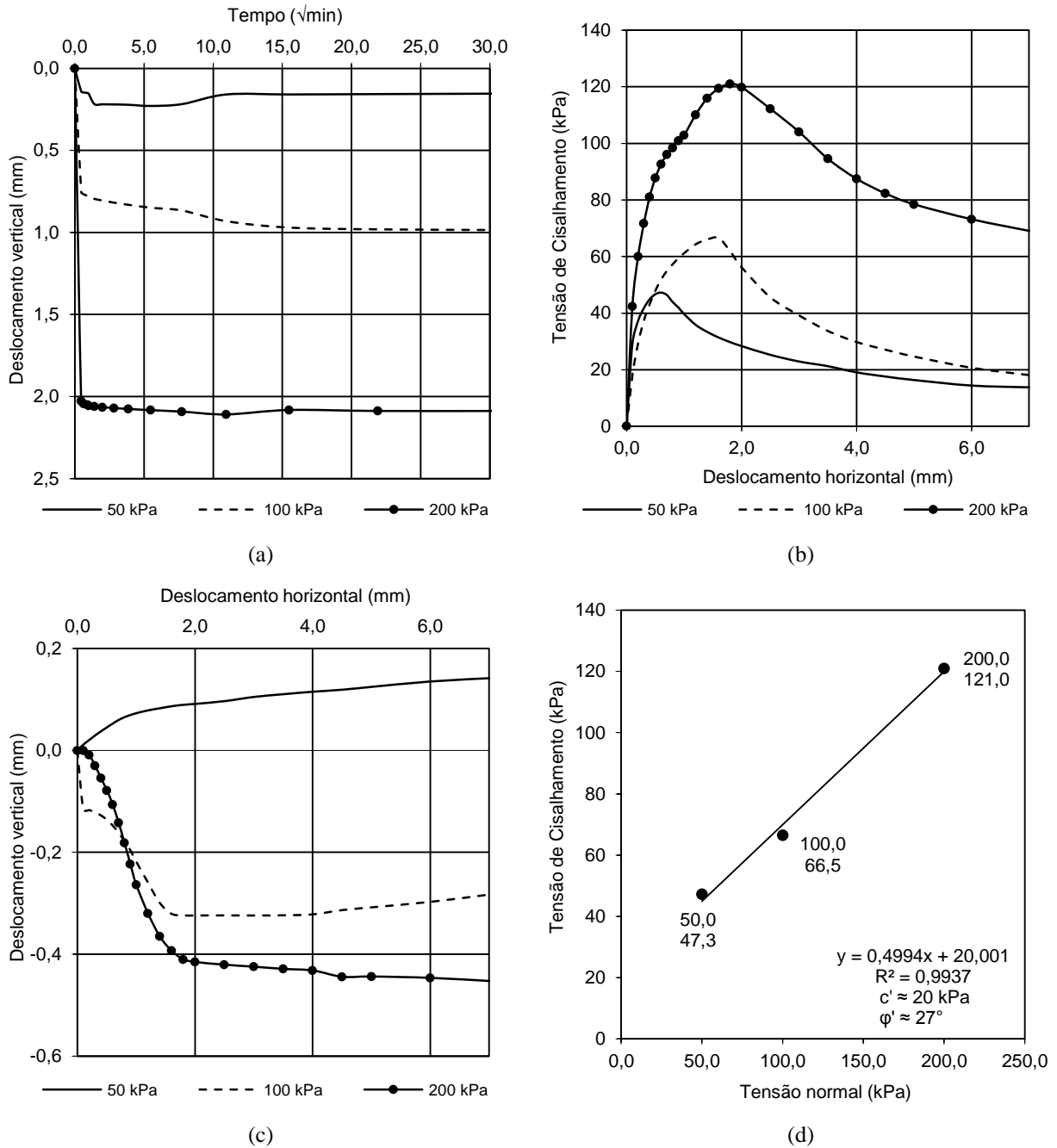


Figura 5.11 - Cisalhamento direto do solo saprolítico da voçoroca Túnel: (a) fase de adensamento; (b) curva tensão de cisalhamento *versus* deslocamento horizontal; (c) curva deslocamento vertical *versus* deslocamento horizontal; (d) envoltória de ruptura.

Por fim, no gráfico da Figura 5.11 (d) é apresentada a envoltória de resistência para o solo VTS, sendo possível notar a existência de uma coesão de 20 kPa e um ângulo de atrito de 27°.

No entanto, se considerado que o ponto obtido para 50 kPa de tensão confinante corresponde a um estado bem mais estruturado que os demais, ter-se-á como mostra, o esboço de comportamento mostrado nessa figura com uma elevação da coesão e do ângulo de atrito do solo. Esses valores são característicos de solos arenosos que é como o solo em questão se apresenta em campo, conforme foi demonstrado pela análise granulométrica (item 5.1.2) onde os ensaios granulométricos sem o uso de defloculante apontam para um percentual de areia entre 50% e 60%.

5.2 VOÇOROCA CONTORNO

5.2.1 Mineralogia

Os difratogramas do solo VCL indicam na amostra total a presença dos seguintes minerais na sequência de maior intensidade de pico, respectivamente, quartzo, caulinita e gibbsita (Tabela 5.12 e Figura 5.13). Na fração argila a sequência respectiva de minerais corresponde a caulinita, gibbsita e ilita (Tabela 5.12). Tanto na fração argila como na amostra total não foram verificados minerais com menor proporção de ocorrência nem mineral traço.

Tabela 5.12 - Mineralogia da amostra de solo VCL

Amostra	Mineralogia		Traço
	Picos de maior intensidade	Picos de menor intensidade	
Fração Argila	Caulinita Gibbsita Ilita	-	-
Amostra Total	Quartzo Caulinita Gibbsita	-	-

A maior intensidade de pico da caulinita na fração argila do que na amostra total se deve à eliminação de parte do quartzo presente na fração total e que passa a ausente na amostra orientada da fração argila o que amplia o pico dos demais minerais (Figura 5.12).

Na fração argila o pico desse mineral é intenso e estreito apontando para o estado bem cristalizado. Verifica-se também um pico pequeno à esquerda no difratograma. Esse pico refere-se à ilita que, em geral, tende a desaparecer cedendo lugar à caulinita a medida que o solo é intemperizado tornando-se mais laterítico. O pico da gibbsita está bem definido, principalmente na fração argila, indicando que, em proporção, se sobrepõem a ilita. A presença de gibbsita com característica bem cristalizada indica, mesmo com a presença de ilita, um alto grau de evolução intempérica do solo.

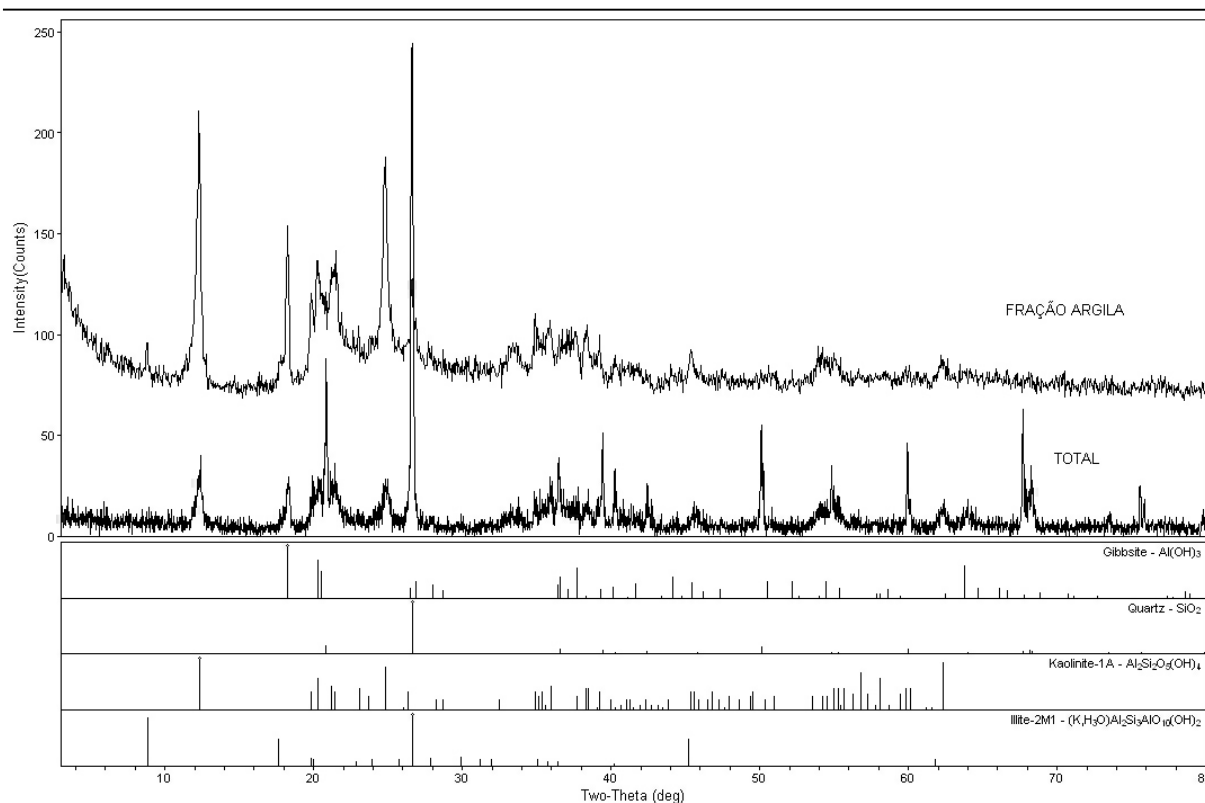


Figura 5.12 - Difratoograma do solo laterítico da voçoroca Contorno.

O difratograma da amostra VCS indicou tanto na fração argila como na amostra total a presença de quartzo e caulinita não tendo sido registrado a presença de mineral traço (Tabela 5.13 e Figura 5.13). Na amostra total o quartzo aparece com maior intensidade de picos seguido da caulinita, enquanto na fração argila a caulinita aparece com picos mais intensos do que o quartzo.

Tabela 5.13 - Mineralogia da amostra de solo VCS

Amostra	Mineralogia		
	Picos de maior intensidade	Picos de menor intensidade	Traço
Fração Argila	Caulinita	Quartzo	-
Amostra total	Quartzo Caulinita	-	-

Observando os difratogramas verifica-se que na amostra total de fato o quartzo possui picos melhor esboçados do que na fração argila, onde os picos mais bem definidos são da caulinita. Verifica-se também que em ambos os minerais os picos são muito mais altos e mais estreitos do que os observados na amostra VTL, indicando uma melhor cristalinidade desses minerais na amostra VTS. Esse comportamento mineralógico é equivalente ao solo saprolítico já com certo grau de intemperização. Cabe salientar o fato de não ter sido registradas as presenças de illita e gibbsita verificadas na camada de solo laterítico sendo a primeira esperada e a segunda

pouco provável de ocorrer para o nível de intemperização do solo.

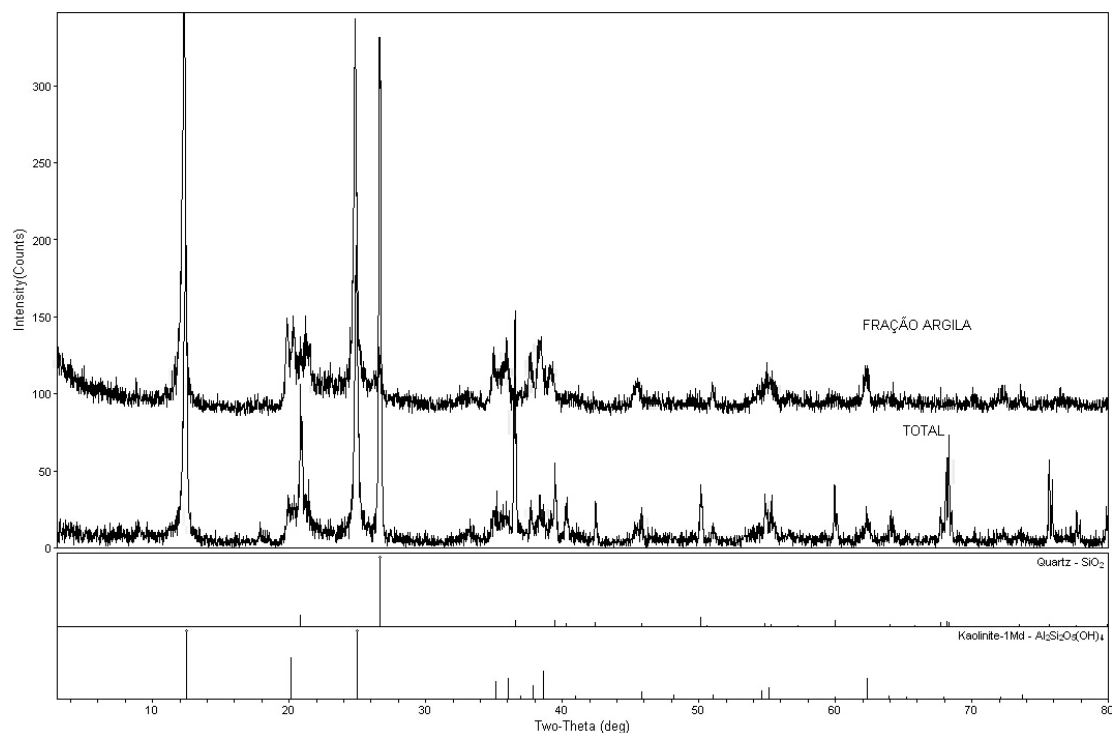


Figura 5.13 - Difratoograma do solo saprolítico da voçoroca Contorno.

Do ponto de vista do processo erosivo o solo não apresenta propriedades mineralógicas que por si só sejam preocupantes, pois os minerais encontrados são geralmente estáveis em presença de água, exceto a ilita que pode em certos casos ser expansiva.

5.2.2 Caracterização Física

A Tabela 5.14 apresenta os índices físicos dos solos da voçoroca Contorno, sendo que (w_{nat}) corresponde à umidade natural, (w_h) à umidade higroscópica, (γ_{nat}) ao peso específico natural, (G_s) peso específico relativo dos sólidos do solo, (γ_s) ao peso específico dos grãos, (γ_d) ao peso específico aparente seco, (e) ao índice de vazios, (n) à porosidade e (S_r) ao grau de saturação.

Tabela 5.14 - Índices Físicos da voçoroca Contorno.

Solo	w_{nat} (%)	w_h (%)	γ_{nat} (kN/m ³)	G_s	γ_s (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	e	n (%)	S_r (%)
Laterítico	15,0	2,7	17,4	2,79	27,4	15,1	0,808	44,7	52,8
Saprolítico	19,4	0,8	18,1	2,76	27,1	14,7	0,840	45,7	63,7

Na voçoroca Contorno houve um aumento sutil da umidade de campo ao longo do perfil sugerindo a influência do nível d'água no saprólito e influência da atmosfera na umidade do solo laterítico (Tabela 5.14). No que se refere à umidade higroscópica a tendência foi inversa,

o solo laterítico apresentou umidade superior à verificada no solo saprolítico que teve uma umidade higroscópica muito baixa (Tabela 5.14). Essa característica do solo saprolítico pode estar relacionada à predominância de quartzo nesse solo. O quartzo normalmente está associado à fração granulométrica arenosa e possui superfície específica pequena que aliada à natureza mineralógica implica numa baixa tensão superficial que promove a retenção da água. O peso específico relativo do solo laterítico é de 2,79 e do solo saprolítico 2,76, sendo estes valores compatíveis com solos de baixos teores de óxidos de ferro como constatado nas análises mineralógicas do perfil de solo da voçoroca Contorno (Tabela 5.14).

Quanto à porosidade apresentada esperava-se valores maiores para o solo laterítico. Isso aliado a presença de ilita no laterítico e ausência no saprolítico está apontando ou para diferenças geológicas nas duas camadas ou para o fato do solo laterítico ter sido transportado. Sendo essa última hipótese mais provável dado o posicionamento do perfil na baixa vertente, ficando suscetível de contribuição coluvionar de material transportado de montante.

Os dados referentes à caracterização granulométrica dos solos laterítico e saprolítico da voçoroca Contorno são apresentados nos gráficos da Figura 5.14, sendo as classes texturais obtidas para os solos ensaiados com umidade higroscópica apresentadas na Tabela 5.15 e as dos solos ensaiados com umidade de campo preservada apresentadas na Tabela 5.16.

Quanto às características granulométricas do solo laterítico dessa voçoroca ensaiado com umidade higroscópica, é possível verificar que pouco mais de 22% da amostra ensaiada é composta por pedregulho com maior participação do pedregulho fino, seguido do pedregulho médio e um percentual muito pequeno de pedregulho grosso. Essa amostra ao ser ensaiada sem o uso de defloculante apresentou um teor de argila muito pequeno, inferior a 1%. Ao ser dispersa em defloculante os percentuais de argila da amostra aumentaram em torno de 31%. Em contrapartida as demais frações granulométricas sofreram uma redução proporcional a esse aumento dos percentuais de argila. Na areia média foi notavelmente onde ocorreram as maiores reduções, seguida por reduções bem menores da areia fina e grossa e por último do silte que sofreu uma redução discreta de cerca de 1%. Tais variações nas frações granulométricas revelam um solo altamente agregado, onde os agregados de argila possuem o tamanho de areia, principalmente areia média.

O solo saprolítico apresentou um percentual baixo de pedregulho de aproximadamente 6%. Esse solo, quando ensaiado sem o uso de defloculante apresentou percentuais muito pequenos de fração argila inferiores a 1%. Quando submetido à ação do defloculante a fração argila

desse solo sofreu um aumento considerável de cerca de 19%. O silte sofreu um aumento um pouco menor, aproximadamente 17%, mas como ele possuía no ensaio sem defloculante um percentual mais elevado do que o da argila, esse aumento garantiu que essa fração se destacasse no solo com cerca de 29%. A areia média também teve um pequeno aumento em torno de 3%. Concomitantemente a areia grossa e média sofreram reduções em seus percentuais, sendo que as maiores reduções ocorreram na areia grossa com cerca de 33%. As reduções na areia média foram pequenas, em torno de 5%. Verifica-se, portanto, que esse saprólito silto-argiloso se comporta, no campo, como uma areia grossa a média e que parte dessa textura é atribuída a agregações presentes no solo.

Quando ensaiados com umidade de campo os solos dessa voçoroca apresentaram a mesma tendência de agregação da argila na fração areia. Entretanto, assim como observado na voçoroca Túnel, nessa voçoroca o solo laterítico ensaiado com a umidade de campo preservada apresentou menor percentual de areia e conseqüentemente maior percentual de finos.

No gráfico de curvas granulométricas (Figura 5.14 a), observa-se que sem o uso de defloculante a curva referente ao solo ensaiado com umidade de campo tende a se localizar ligeiramente abaixo da curva referente ao solo ensaiado com umidade higroscópica sendo que quando do uso do defloculante a curva correspondente ao solo ensaiado na condição de campo localiza-se acima da que se refere à umidade higroscópica. Com isso se tem que, embora as diferenças registradas possam se situar no campo da variabilidade do solo e do próprio ensaio, a secagem oriunda das variações atmosféricas pode afetar ligeiramente a estabilidade dos agregados no estado natural concordando com as observações apresentadas por Roseno & Camapum de Carvalho (2007) para um perfil de solo do Distrito Federal. No entanto, os resultados obtidos com o uso de defloculante indicam que a secagem ao ar melhora a estabilidade de grande parte dos agregados o que estaria coerente com a hipótese apresentada nessa tese de que a mesma ocasionaria a precipitação dos oxi-hidróxidos de ferro e/ou alumínio melhorando a estabilidade dos mesmos. Portanto, a pré-secagem pode melhorar a estabilidade dos agregados frente à erosão quando da presença de águas servidas e lixo.

No que diz respeito ao solo saprolítico se observa tendência de que com o uso de defloculante os resultados são semelhantes, no entanto, sem o uso de defloculante a secagem tende a melhorar a estabilidade dos agregados tornando-o menos susceptível ao processo erosivo superficial, no entanto, se presentes águas servidas e lixo a tendência é a tornar-se mais

vulnerável ao processo erosivo.

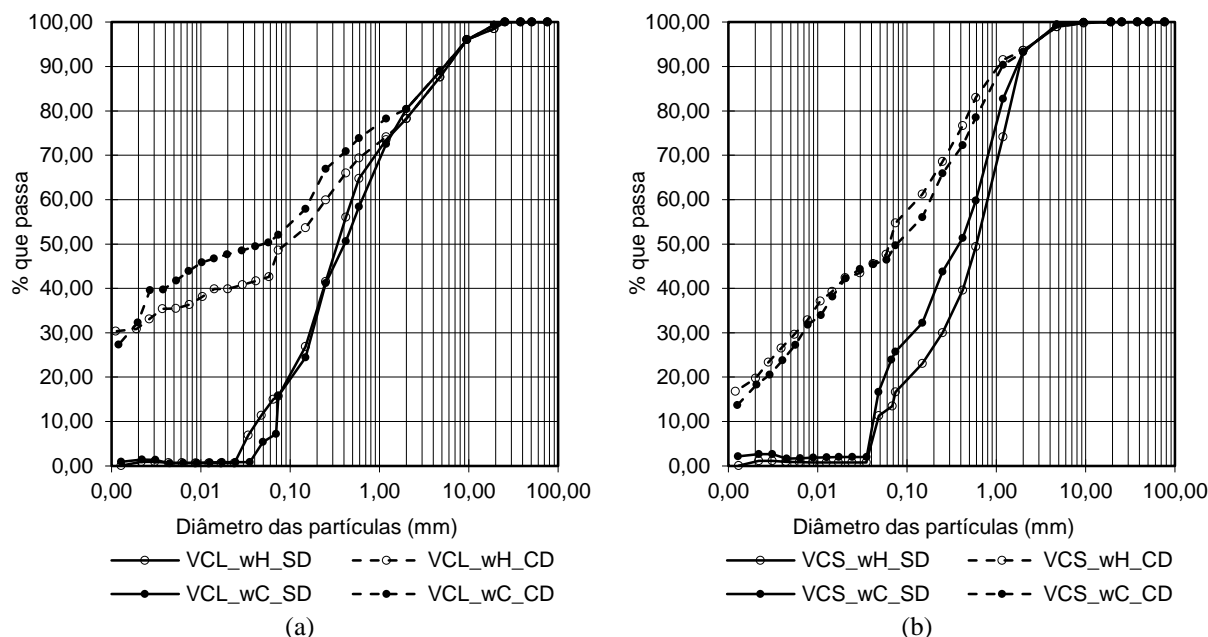


Figura 5.14 - Curva granulométrica da Voçoroca Contorno - solo: (a) laterítico; (b) saprolítico.

Tabela 5.15 - Percentuais das frações granulométricas da Voçoroca Contorno - solo com umidade higroscópica.

Fração granulométrica	Solo laterítico		Solo saprolítico	
	Com defloculante (%)	Sem defloculante (%)	Com defloculante (%)	Sem defloculante (%)
Pedregulho grosso	1,3	1,3	0,0	0,0
Pedregulho médio	8,9	8,9	0,8	0,8
Pedregulho fino	11,6	11,6	5,6	5,6
Areia grossa	8,8	13,4	10,5	43,8
Areia média	12,6	30,6	18,2	23,2
Areia fina	13,5	20,3	16,6	14,0
Silte	12,2	13,2	28,7	11,7
Argila	31,1	0,8	19,6	0,9

Tabela 5.16 - Percentuais das frações granulométricas da Voçoroca Contorno - solo com umidade de campo.

Fração granulométrica	Solo laterítico		Solo saprolítico	
	Com defloculante (%)	Sem defloculante (%)	Com defloculante (%)	Sem defloculante (%)
Pedregulho grosso	0,5	0,5	0,0	0,0
Pedregulho médio	8,7	8,7	0,4	0,4
Pedregulho fino	10,3	10,3	6,3	6,3
Areia grossa	6,5	21,7	14,5	33,1
Areia média	11,5	25,8	17,7	22,1
Areia fina	11,8	26,5	14,4	16,8
Silte	18,0	5,0	28,7	18,7
Argila	32,6	1,3	17,9	2,5

No que se refere aos limites de consistência o solo da amostra VCL quando ensaiado com a umidade de campo preservada revelou valores de limite de liquidez e de limite de

plasticidade, ligeiramente inferiores aos da amostra ensaiada após a secagem prévia. Já o I_p apresentou uma diferença pouco significativa entre as amostras (Tabela 5.17). No que se refere a atividade, esse solo tanto na amostra com umidade higroscópica como na amostra com umidade de campo foi classificado como uma argila inativa (Figura 5.15). Essa inatividade das argilas confirma o caráter laterítico do solo com profundo processo de intemperismo que eliminou os minerais 2:1.

Já nas amostras do solo VCS os valores de W_P e W_L da amostra ensaiada com umidade de campo foram ligeiramente mais baixos do que os apresentados pela amostra ensaiada após a secagem ao ar. O I_p desse solo apresentou exatamente o mesmo valor para ambos os tipos de preparação de amostra (Tabela 5.17). No que se refere ao índice de atividade, ambas as amostras manifestaram um comportamento muito similar, sendo classificadas como uma argila inativa (Figura 5.15). Esse resultado quanto a atividade desse solo reside no fato de se tratar de um saprólito muito intemperizados mineralogicamente rico em quartzo e com ausência de mineral expansivo.

Tabela 5.17 - Limites de Atterberg e índice de atividade dos solos da voçoroca Contorno.

Dados	Solo Laterítico		Solo Saprolítico	
	Umidade de campo	Umidade higroscópica	Umidade de campo	Umidade higroscópica
W_L (%)	47	49	40	46
W_P (%)	31	35	26	32
I_p (%)	16	14	14	14
IA	0,35	0,30	0,57	0,55

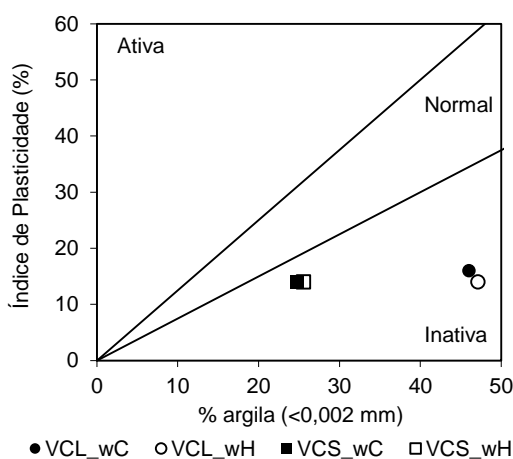


Figura 5.15 - Índice de atividade dos solos da voçoroca Contorno.

5.2.3 Classificação dos solos

A classificação granulométrica do solo laterítico com umidade higroscópica submetido a ação do defloculante é areno-argiloso. Já o solo laterítico ensaiado com umidade de campo

submetido a ação do defloculante é argilo-arenoso. O solo ensaiado sem o uso do defloculante tanto com umidade higroscópica como com umidade de campo foi classificado granulométricamente como arenoso. Na classificação granulométrica do solo saprolítico, por sua vez, as amostras ensaiadas com umidade higroscópica e com umidade de campo foram classificadas com uso de defloculante como silto-argilosa e como arenosa sem o uso de defloculante.

De acordo com a granulometria e com os valores de limite de liquidez e índice de plasticidade foi possível classificar o solo segundo o sistema de classificação unificada dos solos (SUCS). A Tabela 5.18 apresenta a classificação dos solos ensaiados com umidade higroscópica e a Tabela 5.19 a dos solos ensaiados com umidade de campo. Os resultados encontram-se também na carta de plasticidade da Figura 5.16.

Tabela 5.18 - Classificação SUCS para a Voçoroca Contorno - solo com umidade higroscópica.

Dados	Solo Laterítico		Solo Saprolítico	
	Com defloculante	Sem defloculante	Com defloculante	Sem defloculante
% de pedregulho (retido na # 4)	12,3	12,3	1,0	1,0
% de areia (passa na # 4 e retido na # 200)	39,1	72,0	44,3	82,4
% de finos (passa na #200)	48,6	15,7	54,7	16,6
Classificação	SM (Areia siltosa)	SM (Areia siltosa)	ML (Silte de baixa plasticidade)	SM (Areia siltosa)

Tabela 5.19 - Classificação SUCS para a Voçoroca Contorno - solo com umidade da campo.

Dados	Solo Laterítico		Solo Saprolítico	
	Com defloculante	Sem defloculante	Com defloculante	Sem defloculante
% de pedregulho (retido na # 4)	11,1	11,1	0,6	0,6
% de areia (passa na # 4 e retido na # 200)	36,8	73,1	49,7	73,7
% de finos (passa na #200)	52,1	15,8	49,7	25,7
Classificação	ML (Silte de baixa plasticidade)	SM (Areia siltosa)	SM (Areia siltosa)	SM (Areia siltosa)

Desse modo, segundo a SUCS as amostras de solo laterítico ensaiadas com umidade higroscópica, tanto quando submetidas à ação do defloculante como a ação apenas da água, foram classificadas como areia siltosa (SM). As amostras com umidade de campo preservada sem o uso de defloculante também foram classificadas como areia siltosa (SM). Já a amostra

com umidade de campo submetida à ação do defloculante foi classificada como um silte de baixa plasticidade (ML) revelando na classificação o fato dos solos com umidade de campo estarem apresentando um comportamento de solo fino. No solo saprolítico todas as amostras de solo foram classificadas como areia siltosa (SM), exceto a amostra com umidade higroscópica ensaiada com defloculante cuja classificação foi de um silte de baixa plasticidade (ML). Essas classificações apontam para solos pouco coesivos e quanto a esse aspecto susceptíveis a erosão superficial quando expostos.

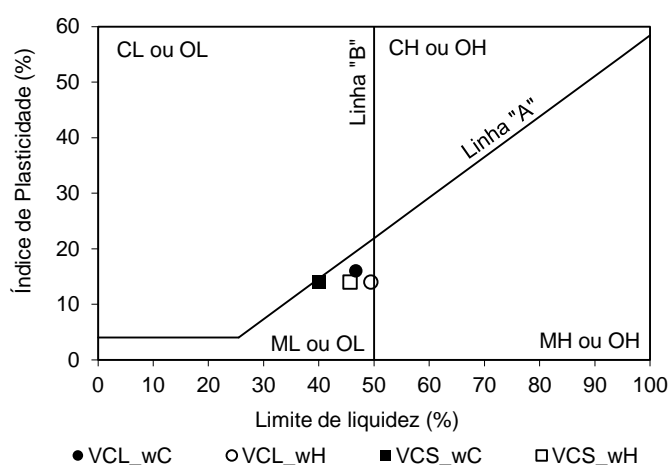


Figura 5.16 – Carta de plasticidade dos solos da voçoroca Contorno.

No que se refere a classificação MCT expedita, a análise das pastilhas dos solos dessa voçoroca confirmaram o caráter laterítico do solo superficial e saprolítico do solo mais profundo. Todavia, ocorreram algumas variações no comportamento dos solos ensaiados com umidade de campo e com umidade higroscópica (Tabela 5.20).

Tabela 5.20 - MCT expedito para a voçoroca Contorno - Pastilhas

Dados	Solo Laterítico		Solo Saprolítico	
	Umidade de campo	Umidade higroscópica	Umidade de campo	Umidade higroscópica
c'	1,91	2,00	1,81	1,91
Tempo de ascensão (mm:ss)	06:43	13:43	02:10	05:10
Penetração (mm)	0	0	5	3
Classificação	LG' (Laterítico Argiloso)	LG' (Laterítico Argiloso)	NG' (Não Laterítico Argiloso)	NG' (Não Laterítico Argiloso)

No solo laterítico com umidade de campo o coeficiente de contração (c') apresentado é sutilmente menor do que o verificado no solo ensaiado com a umidade higroscópica. Quanto ao tempo de ascensão da água o solo ensaiado com umidade de campo apresentou um tempo

de ascensão bem menor do que o observado no solo com umidade higroscópica. Embora com essas diferenças ambos os solos foram classificados como Laterítico Argiloso (LG). O maior tempo de ascensão da água no solo submetido a secagem ao ar, solo inicialmente conduzido à umidade higroscópica, aponta para duas possibilidades a queda da permeabilidade devido a cimentações ou a redução da ascensão capilar com a agregação. Em ambos os casos a tendência é diminuir a erodibilidade superficial com a secagem, mas também reduzir a taxa de infiltração nesses solos o que. Por outro lado, essa redução da infiltração aumenta o escoamento superficial que dependendo das condições de inclinação e cobertura do terreno pode deflagrar episódios de alagamento, assim como se o fluxo ocorrer em linhas concentradas tornará os solos, especialmente quando descobertos, suscetíveis a erosividade das águas superficiais.

No solo saprolítico também ocorreram pequenas variações entre o solo com umidade de campo e o solo com umidade higroscópica. Os valores do coeficiente de contração e o tempo de ascensão de água no solo ensaiado com a umidade de campo foram sutilmente inferiores a do solo com umidade higroscópica. Por outro lado, a penetração nos solos com umidade de campo foi superior a do solo com umidade higroscópica. Assim como no caso do solo laterítico, as diferenças de comportamento do solo saprolítico, com umidade de campo preservada e com umidade higroscópica, não se refletiram na classificação, sendo ambos os solos saprolíticos classificados como Não Laterítico Argiloso (NG').

No que se refere ao comportamento das esferas verificou-se em todas as amostras uma tendência de tensões de ruptura inferiores a 1000 KPa, sendo que houveram variações de comportamento entre os solos laterítico e saprolítico (Figura 5.17). No solo laterítico cuja esfera foi preparada com solo com umidade higroscópica e posteriormente secas tanto ao ar como em estufa as tensões de ruptura variaram entre 100 e 500 KPa. Já as esferas preparadas com solos com umidade de campo secas tanto ao ar como em estufa apresentaram tensões de ruptura em torno de 500 KPa, ou seja, verifica-se que a secagem ao ar tende a piorar o comportamento mecânico do solo. Nas esferas de solo saprolítico a tendência verificada foi de tensões de ruptura inferiores a 500 KPa (Figura 5.17). As amostras de solo saprolítico preparadas com solo com umidade higroscópica e posteriormente secas tanto ao ar como em estufa apresentaram tensões de ruptura ligeiramente superiores as das amostras preparadas com solo com umidade de campo, ou seja, nos solos saprolíticos ocorre a tendência da secagem melhorar o comportamento do solo.

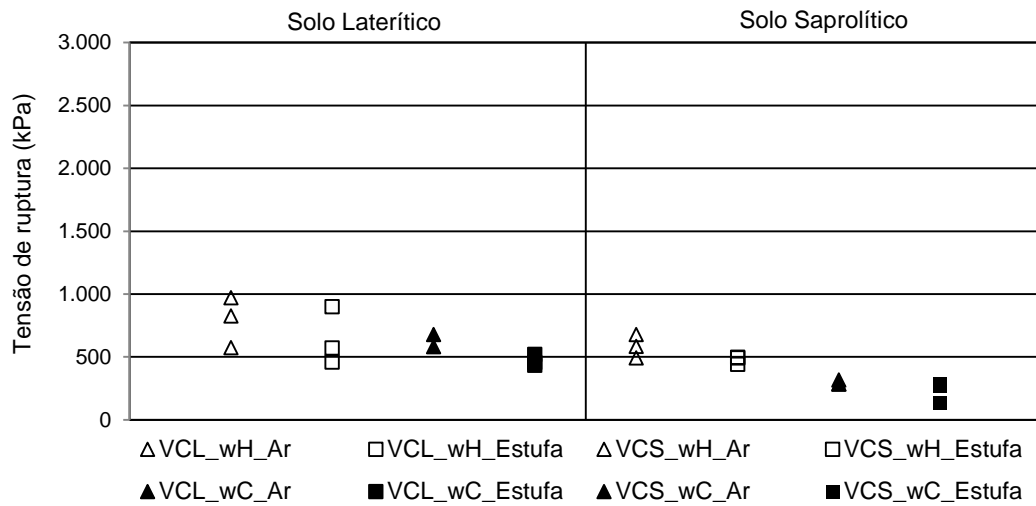


Figura 5.17 - Resistência das esferas.

5.2.4 Sucção

Embora com limitado número de pontos nas umidades mais elevadas os resultados obtidos para o solo laterítico da voçoroca Contorno apontam para uma curva característica de distribuição de poros bimodal com presença de macro e microporos. Segundo os resultados obtidos a entrada de ar dos microporos se situaria próximo a 10.000 kPa na umidade de 18%, não sendo, no entanto, possível definir a pressão de entrada de ar dos macroporos nem o seu término (Figura 5.18 a). A bimodalidade esperada como forma da curva característica seria compatível com a presença de agregados mostrada por meio da diferença de curvas granulométricas entre os solos com e sem defloculante.

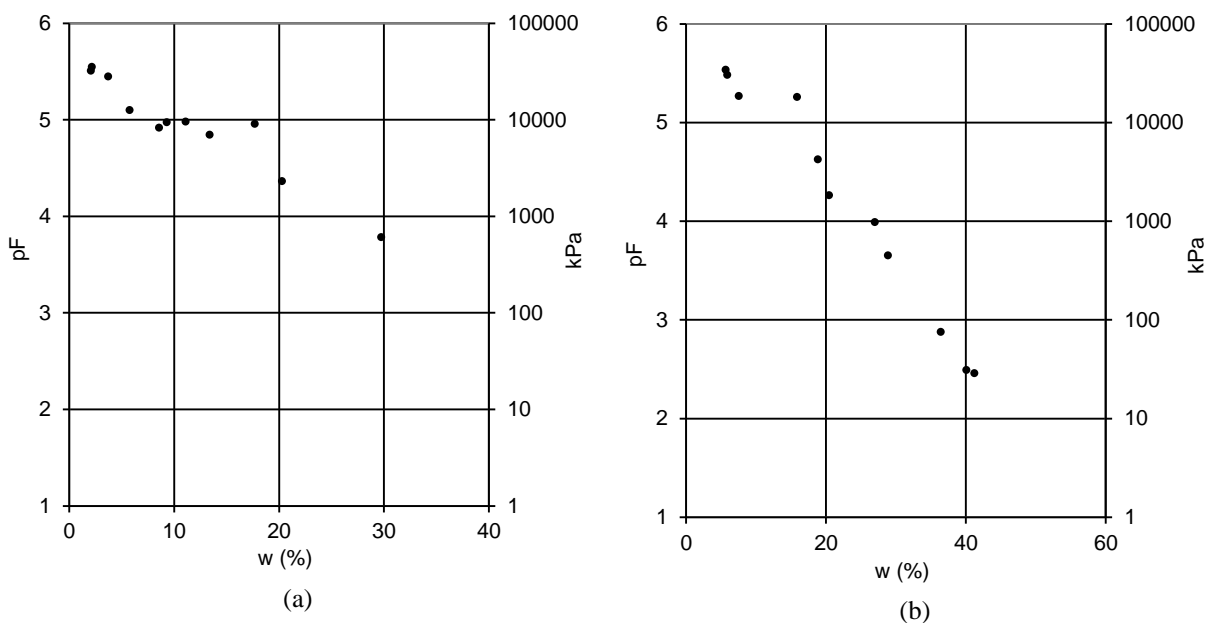


Figura 5.18 - Curva característica dos solos da voçoroca Contorno: (a) laterítico; (b) saprolítico.





Comportamento semelhante é observado para o solo saprolítico da voçoroca Contorno situando-se, no entanto, que a sucção corresponde a entrada de ar dos microporos é superior (18.000 kPa) à apontada para o solo laterítico e a umidade menor ($w=16\%$). De modo semelhante ao solo laterítico não foi possível com base nos dados experimentais determinar a pressão de entrada de ar dos macroporos nem o término dessa entrada de ar (Figura 5.18 b).

Cabe mencionar que por adversidades de campo tanto o solo laterítico como o solo saprolítico foram coletados muito próximos da zona de transição entre eles. Essa condição de amostragem pode estar implicando no comportamento similar das curvas características.

5.2.5 Perda de Massa por Imersão

No ensaio de perda de massa por imersão do solo laterítico da voçoroca Contorno verificou-se uma perda considerável de solo na maioria das amostras com P_i superior a 100% e inferior a 144% (Tabela 5.21). Todavia um corpo de prova, o número 3, apresentou um P_i de 20% bem inferior ao das demais amostras. Sua maior estabilidade pode estar associada ao grau de laterização da amostra ou a presença de pedregulhos que atingem o interior do cilindro conferindo maior estabilidade a parte externa. Destaca-se que a análise granulométricas apontou para uma presença acentuada de pedregulhos em torno de 21%. A grande erodibilidade que predomina nos demais corpos de prova aponta para a baixa estabilidade do solo frente a erosão superficial.

Tabela 5.21 - Perda de massa por imersão do solo laterítico da voçoroca Contorno.

Descrição	Corpo de Prova			
	1	2	3	4
Umidade do CP	16,95	16,95	16,95	16,95
Desplacamento	Não	Não	Não	Não
P_i (%)	105,3	100,5	20,0	144,1
Corpo de prova após ensaio				

No solo saprolítico dessa voçoroca a maioria dos corpos de prova tiveram uma perda de massa baixa com um P_i entre 8% e 18% (Tabela 5.22). Contudo, no corpo de prova 2 ocorreu deslocamento que colaborou para um P_i elevado, cerca de 144%. O deslocamento

indicando direções preferencias de rupturas, em casos como observado no saprólito da voçoroca Túnel pode estar associado a expansão do material. Todavia, nesse solo não foram verificados minerais expansivos, embora se deva considerar a grande quantidade de caulinita que pode expandir estruturalmente e a existência de veios e fraturas que podem favorecer a ruptura. No contexto geral esse solo saprolítico pode ser considerado quanto a perda de massa por imersão em relação ao solo laterítico como menos propenso a erosão superficial e mais propenso a fenômenos como o de solapamento uma vez que se encontra na base da erosão.

Tabela 5.22 - Perda de massa por imersão do solo saprolítico da voçoroca Contorno.

Descrição	Corpo de Prova			
	1	2	3	4
Umidade do CP	18,37	18,37	18,37	18,37
Desplacamento	Não	Sim	Não	Não
Pi (%)	14,1	143,5	8,7	18,2

Corpo de prova após ensaio

5.2.6 Desagregação

A Tabela 5.23 apresenta os resultados do comportamento dos solos saprolítico e laterítico da voçoroca Contorno no ensaio de desagregação.

Tabela 5.23 - Resultados do ensaio de desagregação para os solos da voçoroca Contorno.

Solo	Fases		Descrição	w _c (%)
Laterítico	Inundação Imediata		Desagregou a base nos primeiros 15 min e após 24 h apresentou grande desagregação da base	15,5
	Inundação Parcial	Amostra com água na base por 30 min Água em 1/3 de altura Água em 2/3 de altura Imersão completa	Desagregou a Base Desagregação pequena Desagregação acentuada da base 24 horas depois a amostra desmoronou	
Saprolítico	Inundação Imediata		Desagregação pequena	17,1
	Inundação Parcial	Amostra com água na base por 30 min Água em 1/3 de altura Água em 2/3 de altura Imersão completa	Desagregação pequena Desagregação pequena Desagregação pequena 24 horas depois a amostra apresentou pouca desagregação e não desmoronou.	

No ensaio de desagregação o solo laterítico da voçoroca Contorno ao sofrer a inundação

imediate apresentou desagregação da base logo nos primeiros 15 minutos, após 24 horas a desagregação da base ficou mais acentuada, mas estabilizou sem desagregar totalmente. Na inundação parcial a desagregação da base evoluiu até provocar o desmoronamento da amostra (Figura 5.19).



Figura 5.19 - Ensaio de desagregação do solo laterítico da voçoroca Contorno (a) Inundação imediata; (b) Inundação parcial.

O solo saprolítico por sua vez tanto na imersão imediata como na imersão gradual apresentou pequena desagregação e não desmoronou (Figura 5.20). Portanto, os resultados de desagregação são coerentes com os resultados de perda de massa por imersão para os dois solos, laterítico e saprolítico, permanecendo válidas as observações feitas em relação à suscetibilidade desses solos ao processo erosivo.

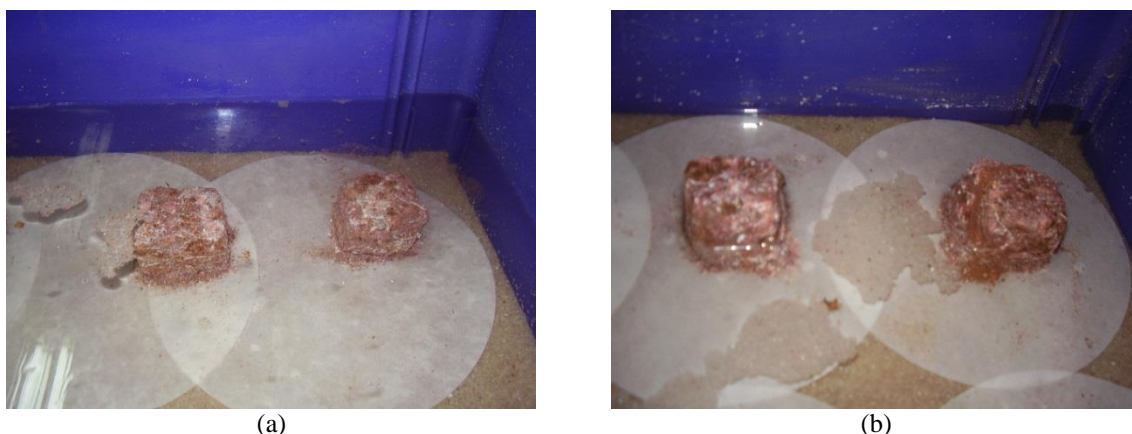


Figura 5.20 - Ensaio de desagregação do solo saprolítico da voçoroca Contorno: (a) Inundação imediata; (b) Inundação parcial.

5.2.7 Inderbitzen

No ensaio de inderbitzen do solo laterítico da voçoroca Contorno, foi possível observar uma perda total de solo de aproximadamente $1,4 \text{ g/mm}^2 \times 10^{-3}$ (Figura 5.21 a). A distribuição dessa perda variou no tempo e de acordo com o tamanho da partícula. De 0 a 5 minutos ocorreu a

primeira inclinação da curva de perda que manteve-se relativamente estável até 15 minutos de ensaio. Após 15 minutos a curva teve uma nova inclinação, muito acentuada para partículas retidas na peneira #200 e mais branda para o material retido nas demais peneiras. De 20 a 30 minutos observa-se uma tendência de estabilização da perda com ligeiro aumento da perda do material retido na peneira #40 entre 25 e 30 minutos. Nesse ensaio o material retido na peneira #40 teve predominantemente as menores perdas. Já o material retido na peneira # 200 a partir de 15 minutos de ensaio apresentou perdas significativamente superiores a dos demais materiais.

No solo saprolítico foi possível observar uma perda total de solo de aproximadamente $0,9 \text{ g/mm}^2 \times 10^{-3}$ em 30 minutos (Figura 5.21 b). Nos primeiros 5 minutos de ensaios ocorreram as maiores perdas concentradas de solo para os materiais retidos em todas as peneiras #40, #100 e #200. De 5 a 10 minutos a perda aumentou ligeiramente e, a partir de então, tendeu a se estabilizar até 20 minutos quando os materiais retidos nas peneiras #40 e #100 iniciaram sutil perda até a finalização do ensaio em 30 minutos.

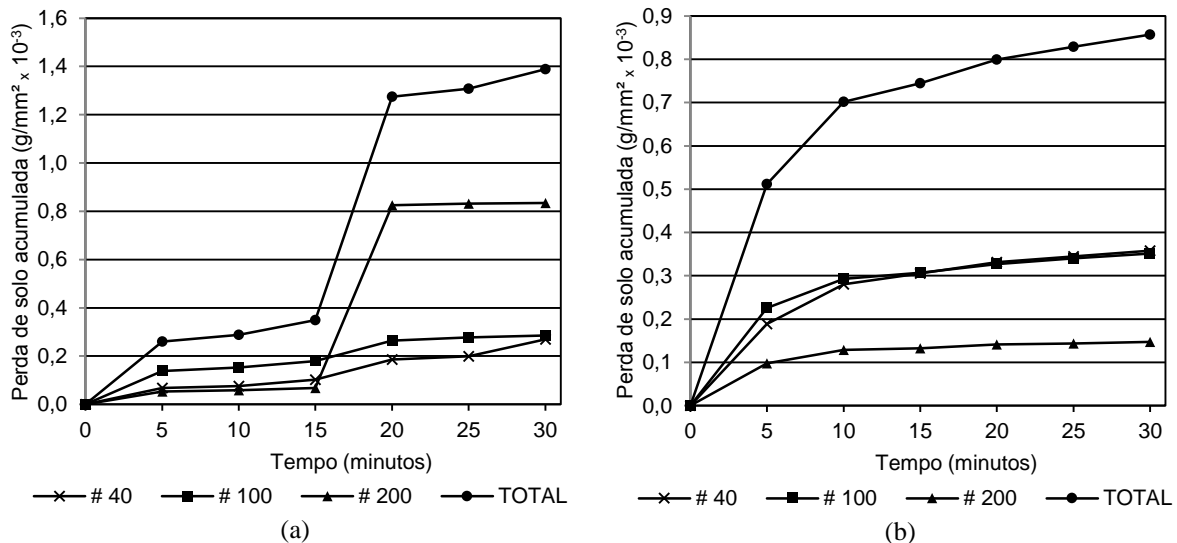


Figura 5.21 - Voçoroca Contorno - Resultados do ensaio de inderbitzen para o solo: (a) laterítico (b) saprolítico.

5.2.8 Pinhole

O ensaio de *pinhole* para o solo laterítico da voçoroca Contorno apresentou mediante a aplicação das cargas hidráulicas, fluxos que permitiram, segundo a NBR 14114 (ABNT, 1998), classifica-lo como não dispersivo (ND1), constatando-se um efluente claro. No gráfico de vazão *versus* carga hidráulica (Figura 5.22 a) é possível verificar na curva de carga uma inflexão voltada para baixo confirmando o comportamento não dispersivo apontado pela classificação. Já, a curva de descarga aparece plotada ligeiramente abaixo da curva de

carregamento, sendo esse comportamento indicativo de uma vazão de retorno inferior à vazão de carregamento. Tal comportamento aponta para uma redução do diâmetro do furo que pode ter sido ocasionada por um provável colapso resultante da diminuição da coesão aparente do solo. Verifica-se, portanto, que esse solo não apresenta potencial para sofrer erosão interna e nem processo de eluviação ou esqueletização que poderiam comprometer a estabilidade estrutural do solo.

No solo saprolítico da voçoroca Contorno o ensaio de *pinhole* apresentou, mediante a aplicação das cargas hidráulicas, fluxos que permitiram, segundo a NBR 14114 (ABNT, 1998), classifica-lo como incipientemente dispersivo (ND2), constatando-se a liberação de um efluente claro. No gráfico de vazão *versus* carga hidráulica (Figura 5.22 b) é possível verificar na curva de carga uma inflexão voltada para baixo confirmando o comportamento incipientemente dispersivo apontado pela classificação. Por sua vez, a curva de descarga aparece sobreposta à curva de carregamento, sendo esse comportamento indicativo de uma vazão de retorno similar à vazão de carregamento. Esse comportamento da curva de descarga aponta para a manutenção do diâmetro do furo permitindo identificar a ausência de potencial de erosão interna assim como de eluviação ou esqueletização do maciço.

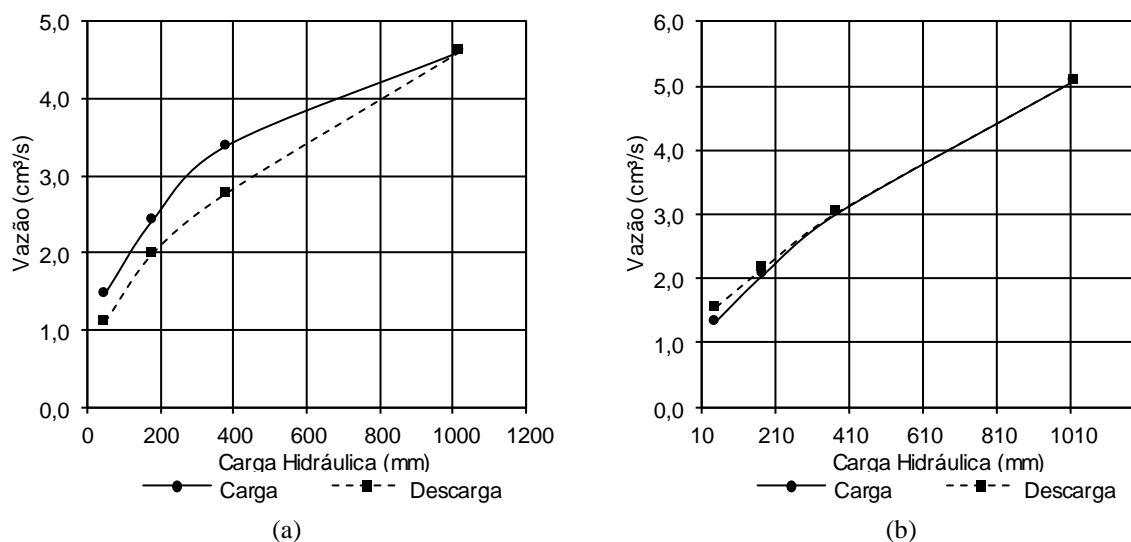


Figura 5.22 - Resultado do ensaio de *pinhole* da voçoroca Contorno: (a) solo laterítico; (b) solo saprolítico.

5.2.9 Cisalhamento

No ensaio de cisalhamento direto do solo laterítico da voçoroca Contorno foi possível observar, na fase de adensamento (Figura 5.23 a), um recalque imediato mais sutil mediante a aplicação de baixas tensões confinantes, sendo que para as maiores tensões confinantes o recalque foi mais acentuado. Após a inundação (Figura 5.23 a) o solo apresentou para todas as

tensões confinantes um recalque abrupto, permitindo considerar um comportamento colapsível. Essa possível colapsibilidade do solo era esperada para esse solo tendo em vista sua considerável agregação como ficou demonstrado no ensaio granulométrico com e sem o uso de defloculante. Deste modo, a agregação tem a macro e microporosidade revelada no ensaio de sucção que indica um comportamento bimodal típico de solos lateríticos profundamente intemperizados, sendo o caráter laterítico confirmado pela classificação MCT expedita.

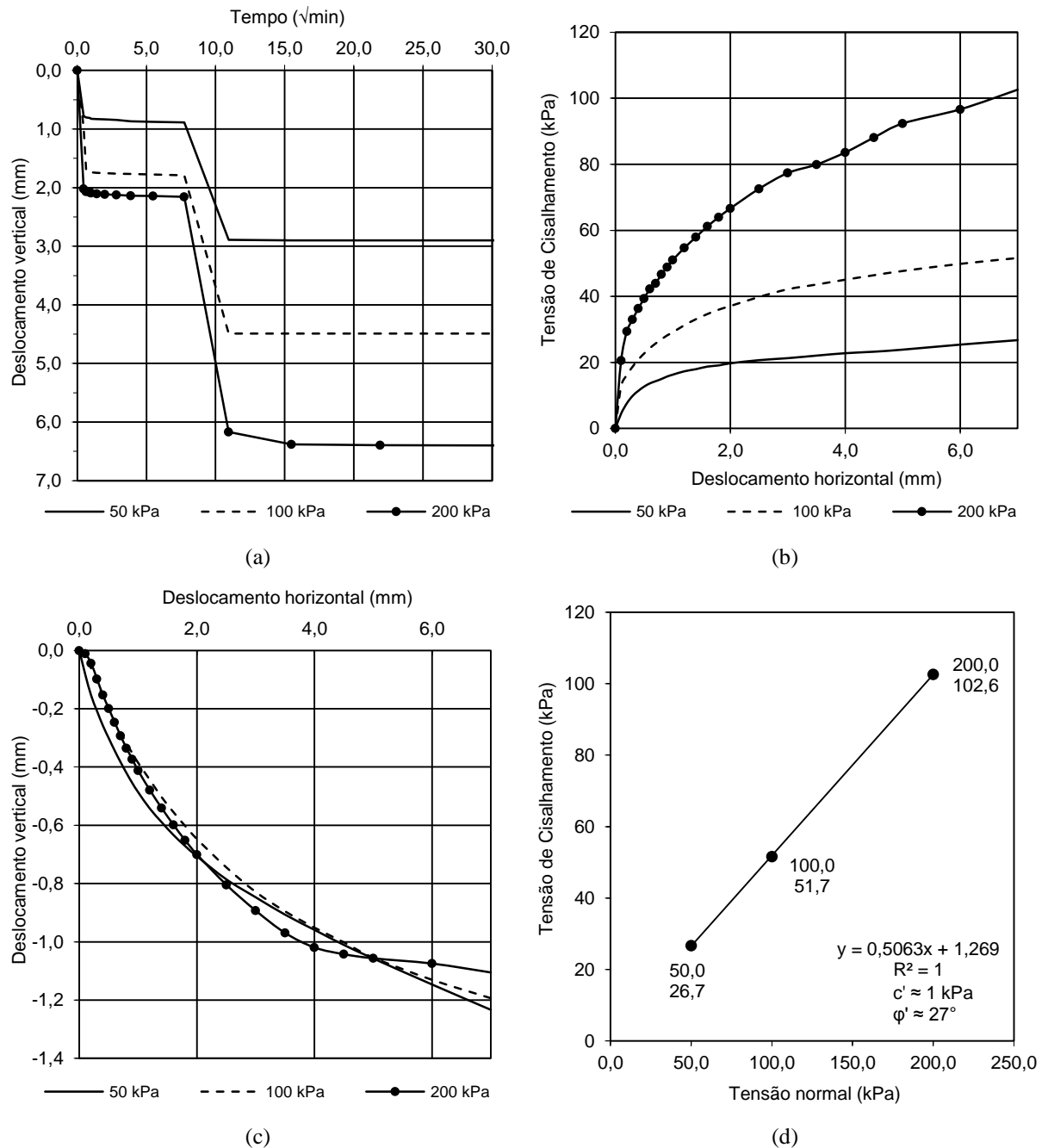


Figura 5.23 - Cisalhamento direto do solo laterítico da voçoroca Contorno: (a) fase de adensamento; (b) curva tensão de cisalhamento *versus* deslocamento horizontal; (c) curva deslocamento vertical *versus* deslocamento horizontal; (d) envoltória de ruptura.

Durante a fase de cisalhamento verificou-se na curva tensão de cisalhamento *versus* deslocamento horizontal uma tendência de aumento constante da resistência sem a presença de picos revelando um comportamento característico de solos lateríticos colapsíveis (Figura 5.23 b). Verifica-se ainda na curva deslocamento vertical *versus* deslocamento horizontal (Figura 5.23 c) para todas as tensões confinantes uma compressão do corpo de prova durante o cisalhamento, indicada pelo aumento absoluto do deslocamento vertical. Diante desse comportamento conclui-se que este solo se comporta como colapsível sendo o modelo de deformação equivalente ao de um solo normalmente adensado.

Por fim, no gráfico da Figura 5.23 (d) é apresentada a envoltória de resistência para o solo VCL, sendo possível notar a existência de uma coesão muito baixa de 1 kPa e um coeficiente de atrito de 27°. Esses valores são característicos de solos arenosos que é como o solo em questão se apresenta em campo, conforme foi demonstrado pela análise granulométrica (item 5.2.2) onde os ensaios granulométricos sem o uso de defloculante apontam para um percentual de areia entre 60% e 70% justificados pela presença de quartzo e principalmente pela provável constituição do solo rica em agregados de óxido-hidróxido de ferro e alumínio.

No ensaio de cisalhamento direto sobre o solo saprolítico da voçoroca Contorno foi possível observar, na fase de adensamento (Figura 5.24 a), um recalque imediato pequeno mediante a aplicação de baixas tensões confinantes e mais acentuada nas maiores tensões confinantes. Com a inundação verificou-se que o solo submetido a menor tensão confinante (50 kPa) não apresentou recalque e os submetidos às tensões confinantes de 100 kPa e de 200 kPa apresentaram pequeno recalque adicional.

Durante a fase de cisalhamento verificou-se na curva tensão de cisalhamento *versus* deslocamento horizontal a ocorrência de picos suaves revelando um comportamento similar ao de argilas pré-adensadas ou de areias compactas (Figura 5.24 b). Verifica-se ainda na curva deslocamento vertical *versus* deslocamento horizontal (Figura 5.24 c) a ocorrência de dilatação na menor tensão cisalhante, onde o volume do corpo de prova aumenta durante o ensaio. Nas demais tensões observou-se a compressão do corpo de prova durante o cisalhamento, indicada pelo aumento absoluto do deslocamento vertical. Diante desse comportamento acredita-se que este solo possui uma provável tensão de pré-adensamento ou de pseudo pré-adensamento entre 50 e 100 kPa.

Por fim, no gráfico da Figura 5.24 (d) é apresentada a envoltória de resistência para o solo VCS, sendo possível notar uma coesão nula e um ângulo de atrito de 40°. Esse ângulo de

atrato é típico de areia, sendo esse resultado coerente com a constituição mineralógica do solo rico em quartzo e cujas características granulométricas com e sem defloculante apontam para um solo com elevados percentuais da fração areia, respectivamente cerca de 70% e 80%. Há que se destacar porém, a dispersão dos resultados obtidos.

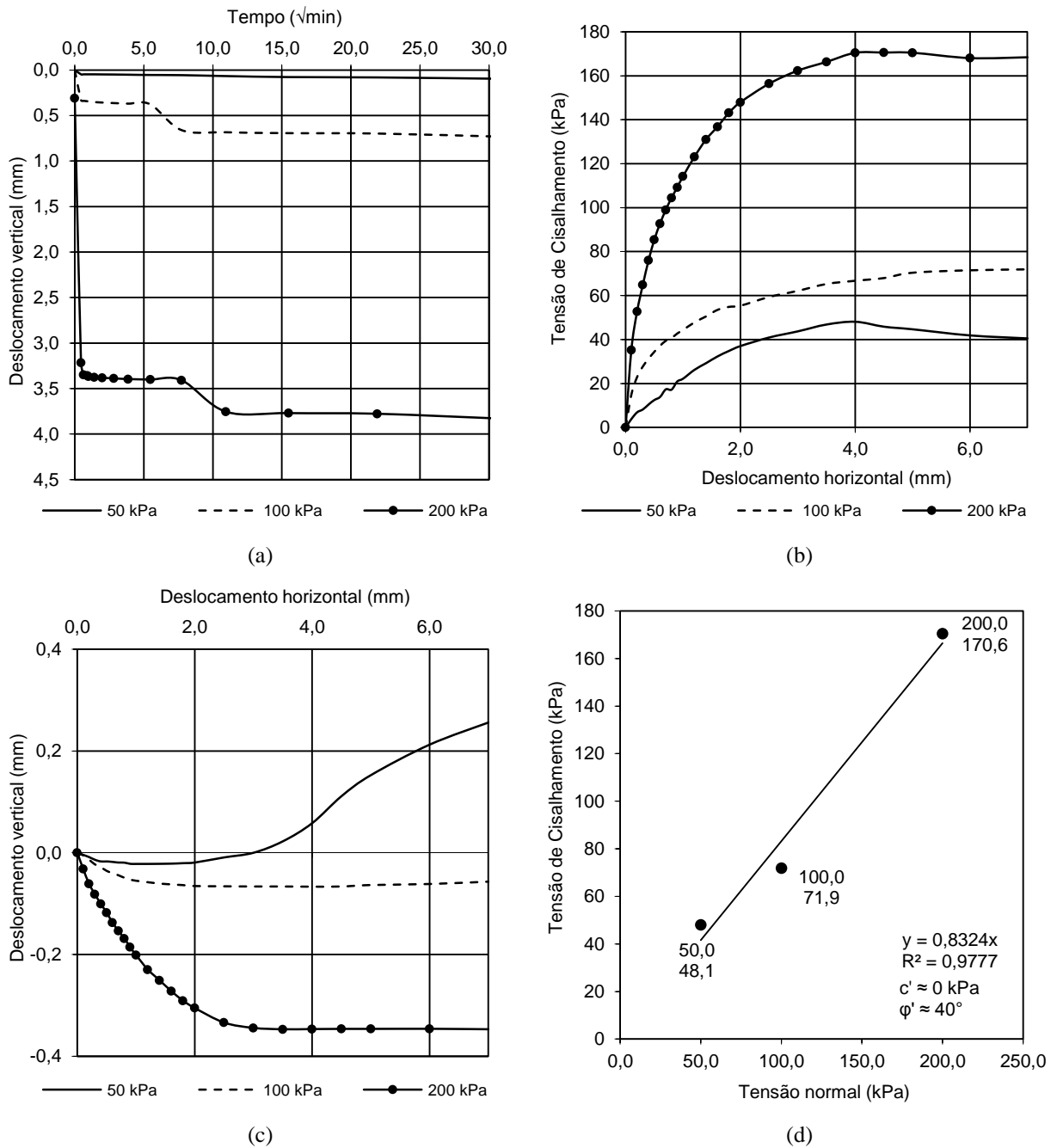


Figura 5.24 - Cisalhamento direto do solo saprolítico da voçoroca Contorno: (a) fase de adensamento; (b) curva tensão de cisalhamento *versus* deslocamento horizontal; (c) curva deslocamento vertical *versus* deslocamento horizontal; (d) envoltória de ruptura.

5.3 VOÇOROCA GEOVANE BRAGA

5.3.1 Mineralogia

O difratograma da amostra VGBL (Tabela 5.24 e Figura 5.25) permite verificar na amostra total presença de quartzo, caulinita e gibbsita com picos de maior intensidade, hematita com menor intensidade e ausência de picos referentes à presença traços de minerais. Na fração argila foram identificados gibbsita e caulinita sem a presença de minerais com menor intensidade de pico ou traço.

Tabela 5.24 - Mineralogia da amostra de solo VGBL

Amostra	Mineralogia		
	Picos de maior intensidade	Picos de menor intensidade	Traço
Fração Argila	Gibbsita Caulinita	-	-
Amostra Total	Quartzo Caulinita Gibbsita	Hematita	-

Os picos de caulinita estão melhor esboçados na fração argila, onde a gibbsita também apresenta picos relativamente altos e estreitos indicado boa cristalinidade desses minerais. A presença dos dois minerais indicam a evolução do processo intempérico no perfil (Figura 5.25).

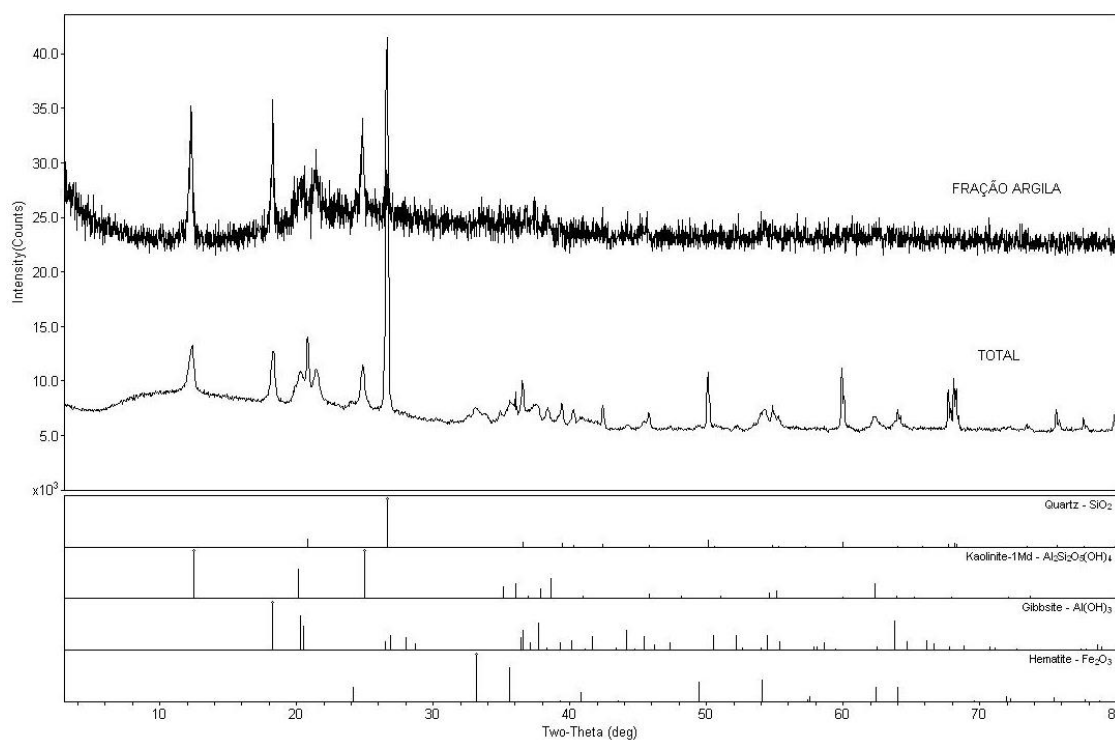


Figura 5.25 – Difratograma do solo laterítico da voçoroca Geovane Braga

A hematita presente na amostra total e ausente na fração argila, assim como ocorre na amostra

VTL, se deve ao fato de muito provavelmente ela estar formando películas fortemente adsorvidas nas partículas de quartzo ou na forma de nódulo de modo que no processo de centrifugação para preparar a lâmina orientada de argila ela deve ter decantado junto com o quartzo. Existe ainda a possibilidade desse mineral estar na forma de partículas agregadas que não dispersam com água e decantaram na centrifugação.

O difratograma da amostra VGBS (Tabela 5.25 e Figura 5.26) indica, na amostra total, a presença de quartzo, caulinita, ilita com picos de maior intensidade, microclíneo em menor e hematita como traço (Figura 5.26). Na fração argila são observados com maiores intensidades de picos o quartzo, caulinita e ilita (Figura 5.26).

Tabela 5.25 - Mineralogia da amostra de solo VGBS

Amostra	Mineralogia		
	Pico de maior intensidade	Pico de menor intensidade	Traço
Fração Argila	Quartzo Caulinita Ilita Hematita	-	-
Amostra Total	Quartzo Caulinita Ilita	Microclínio	Hematita

O difratograma da amostra VGBS (Figura 5.26) permite verificar que os picos de quartzo e hematita estão mais definidos na amostra total enquanto que os de caulinita e ilita estão melhor esboçados na fração argila. Destaca-se que a ausência de gibbsita nesse solo e presença de ilita confirma o seu menor grau de intemperização em relação ao solo laterítico.

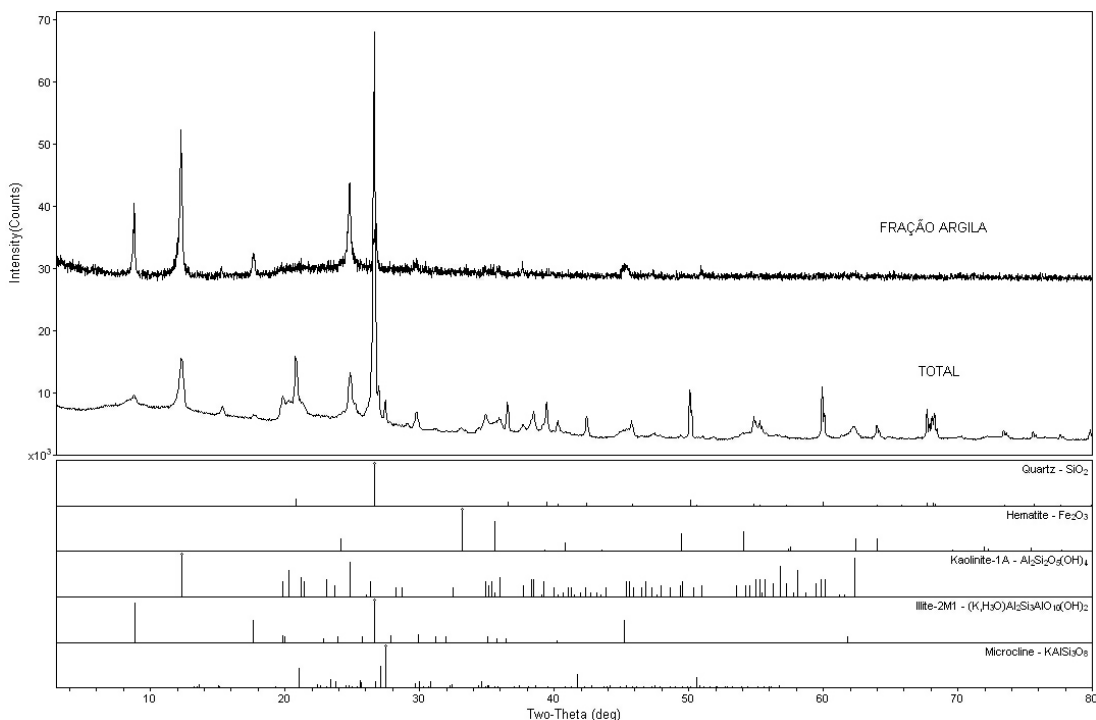


Figura 5.26 – Difratograma do solo saprolítico da voçoroca Geovane Braga.

5.3.2 Caracterização Física

A Tabela 5.26 apresenta os índices físicos dos solos da voçoroca Geovane Braga, sendo que (w_{nat}) corresponde à umidade natural, (w_h) à umidade higroscópica, (γ_{nat}) ao peso específico natural, (G_s) peso específico relativo dos sólidos do solo, (γ_s) ao peso específico dos grãos, (γ_d) ao peso específico aparente seco, (e) ao índice de vazios, (n) à porosidade e (S_r) ao grau de saturação.

Tabela 5.26 – Índices físicos da voçoroca Geovane Braga.

Solo	w_{nat} (%)	w_h (%)	γ_{nat} (kN/m ³)	G_s	γ_s (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	e	n (%)	S_r (%)
Laterítico	14	1,22	13,7	2,76	27,1	12,1	1,230	55,1	31,8
Saprolítico	21	1,87	17,4	2,76	27,1	14,4	0,881	46,8	66,5

A umidade de campo ao longo do perfil dessa voçoroca apresentou diferença entre o solo laterítico e o solo saprolítico, sendo este último maior que o anterior. Devido à diferença existente entre as porosidades dos dois solos essa distinção na umidade gera importante diferença no grau de saturação dos dois materiais. O solo foi coletado no período chuvoso. Nesse período ocorre tendência a aumento da umidade mais significativo no topo e na base do perfil de intemperismo. No horizonte superior devido às precipitações e nos inferiores devido à elevação do nível freático ou ao simples acúmulo de umidade junto às camadas menos permeáveis. No que se refere à umidade higroscópica o saprolito também teve umidade ligeiramente superior ao solo laterítico (Tabela 5.26). Essa característica do solo saprolítico pode estar relacionada à presença da ilita, argilomineral ativo que não está presente no solo laterítico. A massa específica do solo laterítico e do solo saprolítico é de 2,76, sendo valores aceitáveis para solos com baixos teores de óxidos de ferro como constatado nas análises mineralógicas (Tabela 5.26).

Os dados referentes à caracterização granulométrica dos solos da voçoroca Geovane Braga são apresentados nos gráficos da Figura 5.27 e as classes texturais na Tabela 5.27. Para os solos dessa erosão analisou-se apenas a granulometria do solo submetido à secagem ao ar.

No que se refere ao aspecto granulométrico do solo laterítico dessa voçoroca, constata-se que o percentual de pedregulho é inferior a 6%. Esse solo ao ser ensaiado sem a ação do defloculante exibiu percentuais de argila e silte muito pequenos de cerca de 2% e 5% respectivamente. Quando submetido à ação do defloculante esse solo apresentou um aumento expressivo do teor de argila, em torno de 45%, enquanto o silte sofreu um sutil aumento de cerca de 2%. Em equivalência a esse aumento nos percentuais de argila ocorreu um

decréscimo nos valores dos teores de areia, sendo muito acentuada a redução no teor de areia média que teve seu percentual reduzido em cerca de 30%. A areia fina teve redução menos acentuada, seguida pela areia grossa onde a redução do percentual não ultrapassou 6%. Tais variações, nas frações granulométricas revelam um solo altamente agregado, onde os agregados de argila possuem o tamanho de areia, principalmente areia média. Essa dinâmica do comportamento granulométrico revela um solo argilo-arenoso que em campo está altamente agregado se comportando como areia, de média a fina. Em tais condições texturais o perfil é geralmente bem drenado o que provavelmente explique o baixo grau de saturação registrado para esse solo mesmo no período chuvoso ($S_r=32\%$).

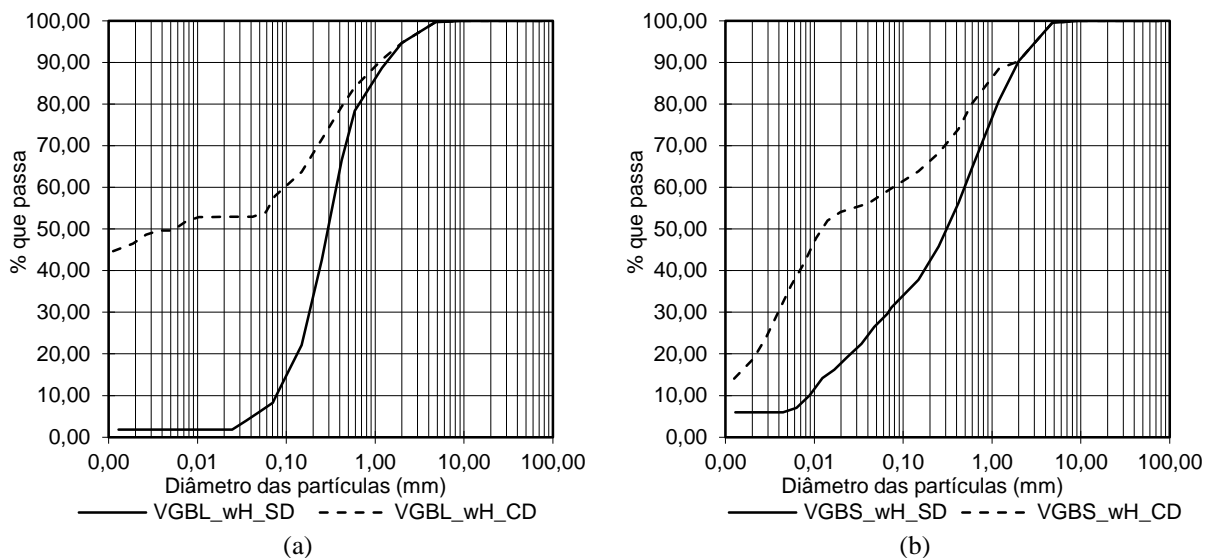


Figura 5.27 – Curva granulométrica da Voçoroca Geovane Braga – solo: (a) laterítico; (b) saprolítico.

Tabela 5.27 – Percentuais das frações granulométricas da Voçoroca Geovane Braga – solo com umidade higroscópica.

Fração granulométrica	Solo laterítico		Solo saprolítico	
	Com defloculante (%)	Sem defloculante (%)	Com defloculante (%)	Sem defloculante (%)
Pedregulho grosso	0,0	0,0	0,0	0,0
Pedregulho médio	0,2	0,2	0,4	0,4
Pedregulho fino	5,1	5,1	9,4	9,4
Areia grossa	10,5	16,2	10,2	25,6
Areia média	16,5	46,1	14,0	22,9
Areia fina	13,3	25,2	7,5	13,3
Silte	7,5	5,4	40,0	22,6
Argila	46,8	1,9	18,5	6,0

Quanto ao comportamento granulométrico do solo saprolítico verificou-se que o percentual de pedregulho ficou inferior a 10%. Esse solo ao ser ensaiado sem o uso de defloculante apresentou baixos percentuais de argila, apenas 6%. Quando submetido à ação do defloculante a fração argila desse solo, se comparado ao solo laterítico, sofreu um tímido

aumento de 13%. O silte sofreu um aumento um pouco maior, aproximadamente 17%, mas como ele possuía no ensaio sem defloculante um percentual mais elevado do que o da argila, esse aumento garantiu que essa fração se destacasse no solo com cerca de 40%. O efeito dispersante que resultou no aumento dos teores de silte e argila agiu sobre a fração areia promovendo sua desagregação e fazendo seus percentuais reduzirem consideravelmente. A maior redução ocorreu na areia grossa, aproximadamente 15%. Em seguida uma redução moderada na areia média de cerca de 9% e reduções pequenas em torno de 6% na areia fina. Observa-se, portanto, que esse solo silto-argiloso se comporta em campo como uma areia predominantemente grossa a média.

Comparando-se as distribuições granulométricas dos solos laterítico e saprolítico verifica-se que esse último possui textura melhor graduada e menor teor de argila agregada o que implica em menor capacidade de drenagem. Os resultados de teor de umidade e grau de saturação obtidos apontam nessa direção.

Os limites de consistência das amostras do solo VGBL quando ensaiado com a umidade de campo preservada revelou valores de limite de liquidez e de limite de plasticidade, ligeiramente inferiores aos da amostra ensaiada após a secagem prévia. Já o valor de I_p foi igual para as duas amostras (Tabela 5.28). O índice de atividade enquadra esse solo como argila inativa (Figura 5.28).

Nas amostras do solo VGBS os valores de w_L e w_p da amostra ensaiada com umidade de campo também foram menores do que os apresentados pela amostra ensaiada após a secagem ao ar sendo a diferença bem superior à registrada para o solo laterítico. Além disso, o I_p desse solo também apresentou exatamente o mesmo valor para ambos os tipos de preparação de amostra (Tabela 5.28). Na classificação de Skempton quanto à atividade esse solo enquadra-se como argila inativa (Figura 5.28).

Dessa comparação entre os resultados obtidos segundo as duas formas de preparação de amostra se verifica que ambos os solos, mas de modo mais pronunciado no solo saprolítico, ocorre o aumento dos limites de consistência com a secagem prévia. Esse aumento pode paradoxalmente ser devido ou ao fenômeno de agregação quando ocorreria a formação de grandes vazios entre as partículas que serviriam ao armazenamento de água livre ou ao fenômeno de desagregação com ampliação da capacidade de retenção de água devido ao aumento da superfície específica livre.

Tabela 5.28 – Limites de Atterberg e índice de atividade dos solos da voçoroca Geovane Braga.

Dados	Solo Laterítico		Solo Saprólítico	
	Umidade de campo	Umidade higroscópica	Umidade de campo	Umidade higroscópica
W _L (%)	35	39	42	54
W _P (%)	25	30	29	41
I _P (%)	10	09	13	13
IA	---	0,15	---	0,52

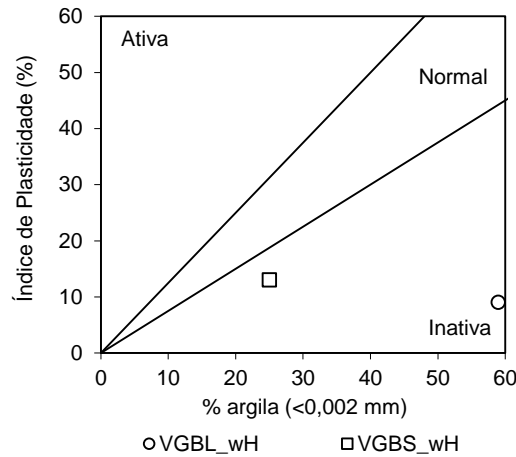


Figura 5.28 – Índice de atividade dos solos da voçoroca Geovane Braga.

5.3.3 Classificação dos solos

A classificação granulométrica do solo laterítico com umidade higroscópica submetido a ação do defloculante é argilo-arenoso. Já o solo laterítico ensaiado sem o uso do defloculante foi classificado granulométricamente como arenoso. A classificação granulométrica do solo saprolítico com umidade higroscópica com uso de defloculante é silto-argilosa e sem o uso de defloculante é arenoso. Observa-se, portanto, que para ambos os solos o estado natural é o de solo arenoso. De acordo com os teores granulométricos e com os valores de limite de liquidez e índice de plasticidade foi possível classificar o solo segundo o sistema de classificação unificada dos solos (SUCS) (Tabela 5.29 e Figura 5.29).

A amostra de solo laterítico ensaiada com o uso de defloculante foi classificada como sendo um silte de baixa plasticidade (ML). Já a amostra ensaiada sem o uso de defloculante foi classificada como uma areia mal graduada, siltosa, (SP-SM). A amostra de solo saprolítico com o uso de defloculante foi classificada como um silte de alta plasticidade (MH). Por outro lado, a amostra ensaiada sem o uso de defloculante foi classificada como uma areia siltosa (SM). Verifica-se que sem o uso de defloculante predominam frações grossas em ambos os solos, laterítico e saprolítico. Todavia, quando submetidos a ação do defloculante predominam os finos.

Tabela 5.29 – Classificação SUCS para a voçoroca Geovane Braga – solo com umidade higroscópica.

Dados	Solo Laterítico		Solo Saprolítico	
	Com defloculante	Sem defloculante	Com defloculante	Sem defloculante
% de pedregulho (retido na # 4)	0,3	0,3	0,5	0,5
% de areia (passa na # 4 e retido na # 200)	41,8	90,4	39,7	68,3
% de finos (passa na #200)	57,9	9,3	59,8	31,2
D ₆₀	---	0,374	---	---
D ₃₀	---	0,188	---	---
D ₁₀	---	0,078	---	---
C _U	---	4,79	---	---
C _c	---	1,21	---	---
Classificação	ML (Silte de baixa plasticidade)	SP-SM (Areia mal graduada siltosa)	MH (Silte de alta plasticidade)	SM (Areia siltosa)

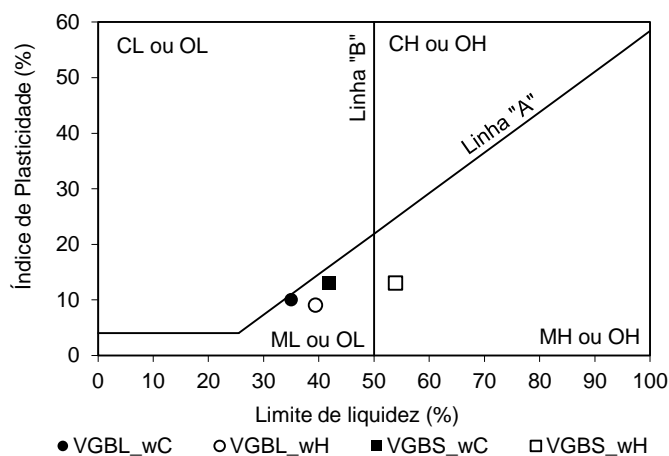


Figura 5.29 Carta de plasticidade dos solos da voçoroca Geovane Braga.

Quanto a classificação MCT expedida a análise das pastilhas dos solos dessa voçoroca confirmaram o caráter laterítico do solo superficial e saprolítico do solo mais profundo. Todavia, ocorreram algumas variações no comportamento dos solos ensaiados com umidade de campo em relação aos ensaiados com umidade higroscópica (Tabela 5.30).

No solo laterítico com umidade de campo o coeficiente de contração (c') apresentado é sutilmente menor do que o verificado no solo ensaiado com a umidade higroscópica o que aponta para a desagregação do solo com a secagem. Quanto ao tempo de ascensão da água o solo ensaiado com umidade de campo apresentou um tempo de ascensão bem menor do que o observado no solo com umidade higroscópica. Tal comportamento é aparentemente contraditório com observado quanto à contração, no entanto, levando-se em conta a natureza mineralógica do solo constituída por minerais não expansivos pode ser que a maior contração

com secagem tenha reduzido de modo irreversível ou pouco reversível a permeabilidade do solo. Embora com essas diferenças ambas as amostras foram classificadas como Laterítica Argilosa (LG). Para essa situação de diminuição da permeabilidade deve-se atentar para um possível incremento do escoamento superficial que pode resultar desde alagamentos até erosão dependendo da morfologia, inclinação e cobertura do terreno.

Tabela 5.30 – MCT expedito para a voçoroca Geovane Braga – Pastilhas

Solo	Solo Laterítico		Solo Saprolítico	
	Umidade de campo	Umidade higroscópica	Umidade de campo	Umidade higroscópica
c'	1,75	1,96	1,69	1,81
Tempo de ascensão (mm:ss)	09:09	08:56	01:05	02:11
Penetração (mm)	0	0	5	5
Classificação	LG' (Laterítico Argiloso)	LG' (Laterítico Argiloso)	NG' (Não Laterítico Argiloso)	NG' (Não Laterítico Argiloso)

No solo saprolítico também ocorreram pequenas variações entre o solo com umidade de campo e o solo com umidade higroscópica. O valor do coeficiente de contração e o tempo de ascensão de água foram ligeiramente menores no solo ensaiado com a umidade de campo. Tal comportamento se assemelha ao observado no solo laterítico dessa voçoroca devendo-se considerar igualmente a natureza mineralógica, onde a maior contração com secagem tenha reduzido de modo irreversível ou pouco reversível a permeabilidade do. Já a penetração foi máxima nos dois solos, 5 mm. Embora com algumas diferenças ambos os solos saprolíticos se comportaram como um solo Não Laterítico Argiloso (NG').

Quanto ao comportamento das esferas verificou-se no solo laterítico que as esferas moldadas com solo com umidade higroscópica posteriormente secas tanto ao ar como em estufa apresentam tensão de ruptura igual ou inferior a 500 kPa. Já as esferas moldadas com solo com umidade de campo posteriormente secas tanto ao ar como em estufa apresentam tensão de ruptura superior a 500 kPa e inferior a 1500 kPa, sendo as esferas secas em estufa as de maior resistência (Figura 5.30). Verifica-se, portanto, que apesar da desagregação aumentar a contração do solo ele passa a apresentar menor resistência o que implicaria em maior suscetibilidade a sofrer erosão superficial e rupturas superficiais de talude quando da secagem ao ar do solo sendo recomendável manter sua cobertura vegetal.

As esferas de solo saprolítico por sua vez, independente das condições de umidade do solo e

de secagem da esfera, apresentaram tensões de ruptura muito baixas, próximas a zero (Figura 5.30), sendo que as esferas moldadas com solo com umidade de campo apresentam tendência de maior resistência dos que as moldadas com solo com umidade higroscópica, cabendo aqui a mesma consideração feita em relação ao solo laterítico.

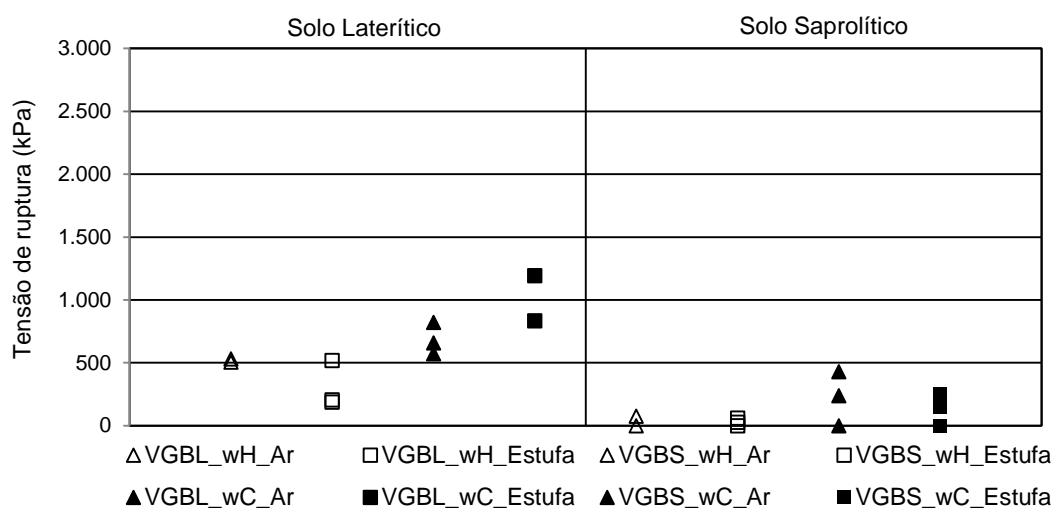


Figura 5.30 - Resistência das esferas.

5.3.4 Sucção

O solo laterítico da voçoroca Geovane Braga apresenta uma curva característica de retenção de água característica de distribuição de poros bimodal marcada pela presença de macro e microporosidade (Figura 5.31 a). O ponto de entrada de ar dos macroporos é de aproximadamente 3 kPa e está com umidade em torno de 40%. O término de entrada de ar dos macroporos se dá aproximadamente em 26% de teor de umidade e 60% de grau de saturação. O ponto de entrada de ar dos microporos é de aproximadamente 8000 kPa com umidade em torno de 12% e com saturação de 28%.

Quanto ao potencial erodível do solo frente às características da curva característica de retenção de água é possível estimar que frentes de umedecimento oriundas, por exemplo, de precipitações quando o solo se encontra em umidades naturais superiores a 26% afetam pouco a resistência do solo e tem baixo potencial desagregador. No entanto, para umidades inferiores a essa, não só a resistência do solo deve sofrer reduções importantes como também, a frente de saturação pode gerar pressões positivas na fase ar instabilizando a estrutura do solo e propiciando o deslocamento e erosão superficial do solo.

O solo saprolítico da voçoroca Geovane Braga possui uma distribuição de poros monomodal

oriunda de uma distribuição de poros bem graduada (Figura 5.31 b). Desse modo, o ponto de entrada de ar nesse solo situa-se próximo de 50 kPa o que corresponde a uma umidade de aproximadamente 28%. Nesse solo toda variação de umidade afeta o seu comportamento hidromecânico e proporciona variações na erodibilidade e na estabilidade do maciço.

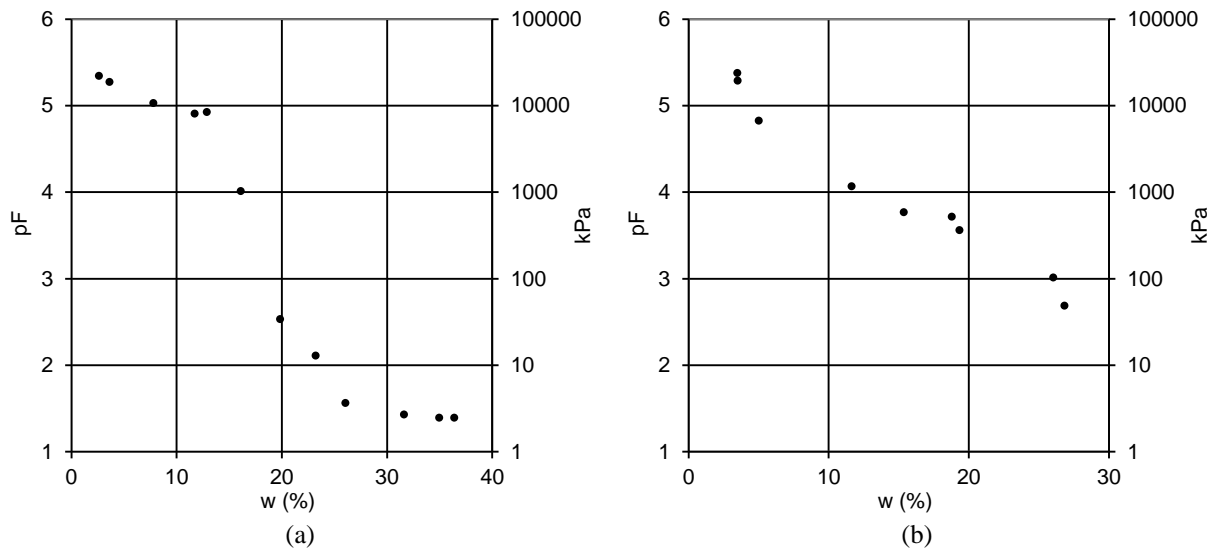






Figura 5.31 - Curva característica dos solos da voçoroca Geovane Braga: (a) laterítico; (b) saprolítico.

5.3.5 Perda de Massa por Imersão

No ensaio de perda de massa por imersão do solo laterítico da voçoroca Geovane Braga verificou-se uma perda imediata do solo ao ser imerso em água (Tabela 5.31). Ao primeiro contato com a água o solo esfarelou-se de tal modo em direção ao interior do cilindro que restou uma quantidade muito pequena de solo repousado sobre a parede inferior do cilindro.

Tabela 5.31 – Perda de massa por imersão do solo laterítico da voçoroca Geovane Braga.





Descrição	Corpo de Prova			
	1	2	3	4
Umidade do CP	21,77	21,77	21,77	21,77
Desplacamento	Não	Não	Não	Não
Pi (%)	385,2	398,7	400,2	392,4
Corpo de prova após ensaio				

Diante desse comportamento a perda de massa foi muito elevada com valores de Pi em torno

de 400%. Essa perda elevada de solo por esfarelamento ao contato com água indica uma pressão de ar maior que a coesão do solo que favorece a erosão superficial. Esses resultados estão plenamente de acordo com o exposto na análise da curva característica do solo, pois a umidade natural de apenas 14% é bem inferior à correspondente ao término de entrada de ar dos macroporos ($w = 26\%$).

No ensaio de perda de massa por imersão o solo saprolítico dessa voçoroca as amostras apresentaram baixos valores de P_i na maioria dos corpos de prova, tendo os menores valores predominado entre 0,8% e 20% de P_i (Tabela 5.32). Todavia, no corpo de prova 4 ocorreu deslocamento que fez com que a perda de massa aumentasse para 274%.

Tabela 5.32 – Perda de massa por imersão do solo saprolítico da voçoroca Geovane Braga.

Descrição	Corpo de Prova			
	1	2	3	4
Umidade do CP	24,64	24,64	24,64	24,64
Desplacamento	Não	Não	Não	Sim
P_i (%)	0,8	17,8	20,2	273,5
Corpo de prova após ensaio				

Assim como no solo saprolítico da voçoroca Contorno não foram encontrados minerais expansivos que justificasse expansão nesse solo. Todavia, deve-se considerar a grande quantidade de caulinita que pode expandir estruturalmente além da existência de veios de quartzo e fraturas que podem favorecer a ruptura. Com base nas curvas características se esperaria perdas por imersão significativas, no entanto, como se verá ao analisar os resultados de cisalhamento direto desse solo, ele apresenta coesão importante o que lhe confere estabilidade estrutural frente a submersão. Com isso depreende-se que esse solo presente na parte inferior do talude da voçoroca é pouco susceptível a fenômenos como os do solapamento e da erosão superficial.

Outro aspecto que pode ter contribuído para sua estabilidade é a presença de elementos de maior tamanho que penetram parcialmente no interior do cilindro conferindo maior estabilidade ao todo. Essa peculiaridade se sobressai como relevante nos ensaios de desagregação uma vez que neles inexistente o confinamento desses elementos maiores pelo

cilindro, favorecendo a desagregação do todo como se verá no item seguinte.

5.3.6 Desagregação

A Tabela 5.33 apresenta os resultados do comportamento dos solos saprolítico e laterítico da voçoroca Geovane Braga no ensaio de desagregação.

Tabela 5.33 – Resultados do ensaio de desagregação para os solos da voçoroca Geovane Braga.

Solo	Fases		Descrição	w_c (%)
Laterítico	Inundação Imediata		Solapamento	14,6
	Inundação Parcial	Amostra com água na base por 30 min	Solapamento	
		Água em 1/3 de altura	Solapamento moderado da base	
		Água em 2/3 de altura	Base muito alterada com relação aos demais solos lateríticos ensaiados	
	Imersão completa	24 h depois sofreu abatimento, mas o topo se manteve parcialmente preservado		
Saprolítico	Inundação Imediata		Solapou a base rapidamente e colapsou	21,1
	Inundação Parcial	Amostra com água na base por 30 min	Solapamento da base principalmente nas bandas caulínicas	
		Água em 1/3 de altura	Solapamento da base principalmente nas bandas caulínicas	
		Água em 2/3 de altura	Topo muito comprometido especialmente nas bordas	
	Imersão completa	Um bloco desestruturou totalmente e o outro apenas parcialmente		

No ensaio de desagregação o solo laterítico da voçoroca Geovane Braga ao sofrer a inundação imediata apresentou desagregação da base, mas estabilizou sem desagregar totalmente. Na inundação parcial a desagregação da base evoluiu até provocar o abatimento da amostra que manteve o topo preservado (Figura 5.32 a). Esses resultados confirmam os obtidos no ensaio de perda de massa por imersão.



Figura 5.32 - Ensaio de desagregação dos solos da voçoroca Geovane Braga (a) Inundação parcial do solos laterítico; (b) Inundação parcial do solo saprolítico.

O solo saprolítico por sua vez, na imersão imediata solapou a base e rapidamente desmoronou

enquanto que na imersão parcial teve desagregação da base especialmente nas bandas cauliniticas que evoluiu até atingir o topo promovendo o abatimento dos corpos de prova (Figura 5.32 b). Sendo assim esses resultados corroboram com o entendimento pontuado na análise dos ensaios de perda de massa por imersão.

5.3.7 Inderbitzen

No ensaio de inderbitzen realizado sobre o solo laterítico da voçoroca Geovane Braga, foi possível observar uma perda total de solo de aproximadamente $1,7 \text{ g/mm}^2 \times 10^{-3}$ (Figura 5.33 a). A distribuição dessa perda variou no tempo e de acordo com o tamanho das partículas. De 0 a 5 minutos ocorreu a primeira inclinação da curva de perda de massa indicando a perda concentrada de solo. Após 5 minutos houve uma estabilização na perda de solo quando a inclinação da curva se acentuou indicando maiores perdas concentradas de solo até 25 minutos, quando os resultados de perda tenderam a se estabilizarem. O material retido na peneira #200 foi significativamente menor do que as quantidades de material retidas nas peneiras #40 e #100. Destaca-se que as maiores concentrações de material perdido foram verificadas na peneira #100.

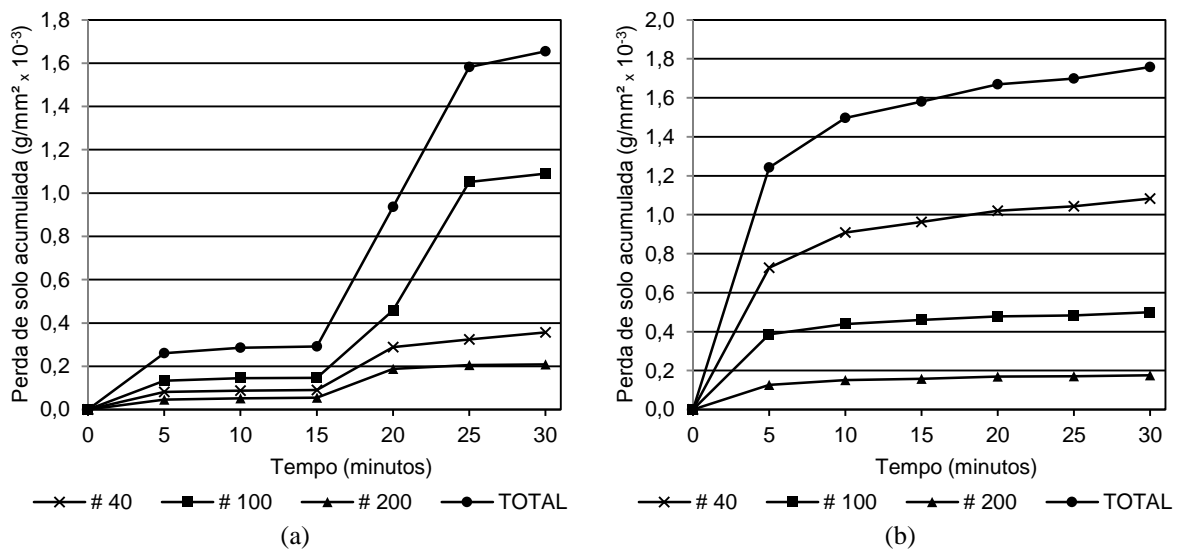


Figura 5.33 – Voçoroca Geovane Braga – Resultados do ensaio de inderbitzen para o solo: (a) laterítico (b) saprolítico.

No solo saprolítico foi possível observar uma a perda total de solo de aproximadamente $1,8 \text{ g/mm}^2 \times 10^{-3}$ em 30 minutos (Figura 5.33 b). Nos primeiros 5 minutos de ensaios ocorreram as maiores perdas concentradas de solo para os materiais retidos em todas as perneias, #40, #100 e #200. De 5 a 10 minutos ainda teve um aumento sutil da perda, principalmente, no material retido na peneira #40. A partir de 10 minutos ocorreu a

estabilização da perda. As maiores perdas ocorreram no material retido na peneira #40, seguida da peneira #100 respectivamente.

As retenções de material nas diferentes peneiras refletem a granulometria do solo, no entanto, o comportamento diferenciado obtido para o solo laterítico pode estar refletindo o fato de que a pressão na fase ar presente no solo aumenta até gerar a ruptura estrutural do solo com ampliação da perda de massa. Cabe ainda destacar a semelhança entre os resultados finais de perda de massa nos dois solos, o que significa que em campo a perda de solo por processos de erosão superficial tende a ser homogêneo configurando uma inclinação de talude única.

5.3.8 Pinhole

O ensaio de *pinhole* para o solo laterítico da voçoroca Geovane Braga apresentou mediante a aplicação das cargas hidráulicas, fluxos que permitiram, segundo a NBR 14114 (ABNT, 1998) classifica-lo como incipientemente dispersivo (ND2), constatando-se um efluente com leve turbidez. No gráfico de vazão *versus* carga hidráulica (Figura 5.34 a) é possível verificar na curva de carga um comportamento quase linear com suave inflexão voltada para baixo o que confirmaria o comportamento incipientemente dispersivo apontado pela classificação, mas a dispersividade não é característica desse tipo de solo, ou seja, o solo não apresentaria dispersividade, mas sim pequeno potencial a erosão interna. Já a curva de descarga aparece plotada ligeiramente acima da curva de carregamento permitindo deduzir que não houve um aumento significativo do diâmetro do furo. Tal comportamento da curva de retorno aponta para um pequeno potencial de eluviação ou esqueletização.

No solo saprolítico da voçoroca Geovane Braga o ensaio de *pinhole* apresentou, mediante a aplicação das cargas hidráulicas, fluxos que permitiram, segundo a NBR 14114 (ABNT, 1998) classifica-lo como não dispersivo (ND1), constatando-se a liberação de um efluente claro. No gráfico de vazão *versus* carga hidráulica (Figura 5.34 b) é possível verificar na curva de carga um comportamento praticamente linear com inflexão muito suave voltada para baixo confirmando o comportamento não dispersivo apontado pela classificação. Por sua vez, a curva de descarga aparece plotada ligeiramente acima da curva de carregamento, sendo esse comportamento indicativo de uma vazão de retorno muito próxima à vazão de carregamento, até um pouco mais próximas do que o verificado para o solo laterítico dessa voçoroca. Isso permite deduzir que não houve um aumento significativo do diâmetro do furo, verificando-se ausência de potencial a erosão interna, podendo, no entanto, o maciço apresentar pequeno

potencial a eluviação ou esquelização.

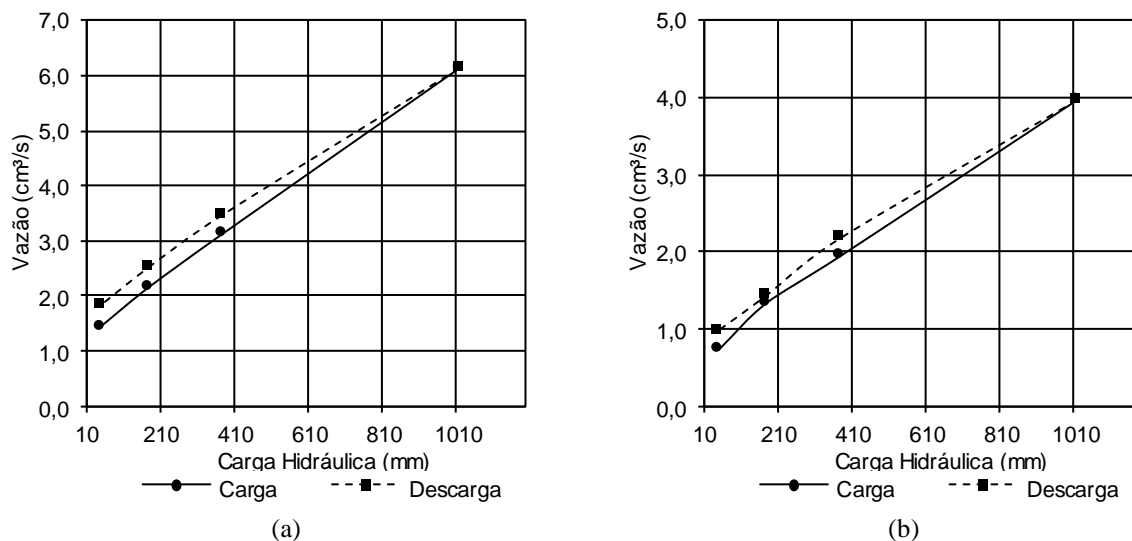


Figura 5.34 - Resultado do ensaio de *pinhole* da voçoroca Geovane Braga: (a) solo laterítico; (b) solo saprolítico.

5.3.9 Cisalhamento

Nos ensaios de cisalhamento direto realizados sobre o solo laterítico da voçoroca Geovane Braga foi possível observar na fase de adensamento (Figura 5.35 a) um pequeno recalque imediato resultante da aplicação de baixas tensões confinantes, sendo que para tensões confinantes mais altas o recalque foi relativamente mais acentuado. Após a inundação do corpo de prova (Figura 5.35 a) o solo apresentou para todas as tensões confinantes um recalque abrupto o qual permite inferir que o mesmo possui um comportamento colapsível. Essa possível colapsividade do solo, assim como no solo laterítico da voçoroca Contorno, era esperada tendo em vista sua considerável agregação como ficou demonstrado no ensaio granulométrico com e sem o uso de defloculante. Também a forma bimodal da curva característica mostrando a presença de macro e microporosidade revela solos lateríticos profundamente intemperizados e geralmente potencialmente colapsíveis por apresentarem estrutura metaestável. O caráter laterítico desse solo é também confirmado pela classificação MCT expedita.

Durante a fase de cisalhamento verificou-se na curva tensão de cisalhamento *versus* deslocamento horizontal uma tendência de aumento constante sem a presença de picos revelando um comportamento característico de solos lateríticos colapsíveis (Figura 5.35 b). Verifica-se ainda na curva deslocamento vertical *versus* deslocamento horizontal (Figura 5.35 c) para todas as tensões confinantes uma compressão do corpo de prova durante o cisalhamento, indicada pelo aumento absoluto do deslocamento vertical. Diante desse

comportamento conclui-se que o solo possui um comportamento semelhante ao dos solos normalmente adensados não devendo, no entanto ser entendido como tal, pois seu comportamento é função da alteração químico-mineralógica e estrutural sofrida pelo solo e não da história de tensões.

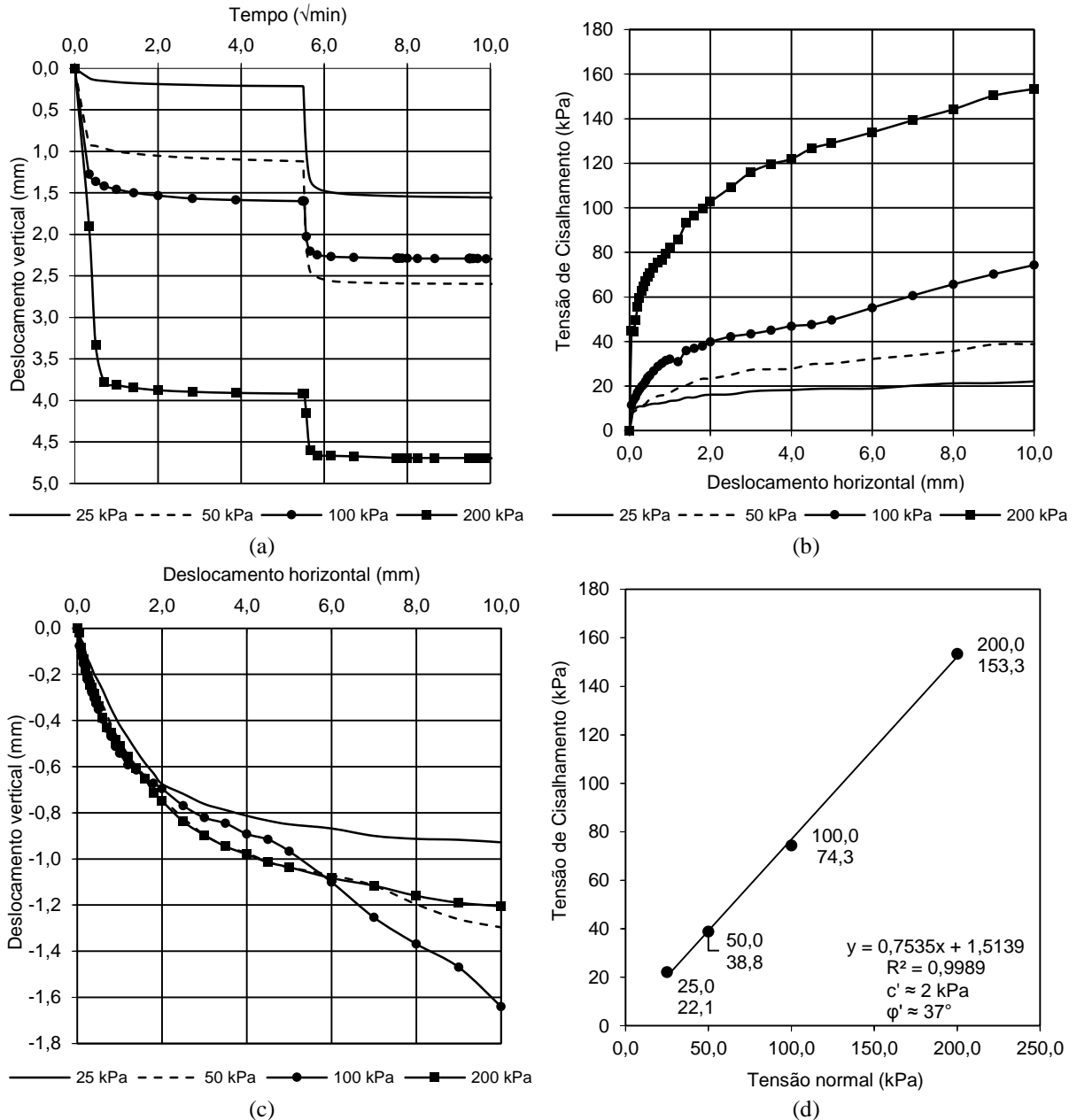


Figura 5.35 - Cisalhamento direto do solo laterítico da voçoroca Geovane Braga: (a) fase de adensamento; (b) curva tensão de cisalhamento versus deslocamento horizontal; (c) curva deslocamento vertical versus deslocamento horizontal; (d) envoltória de ruptura.

Por fim, no gráfico da Figura 5.35 (d) é apresentada a envoltória de resistência para o solo VGBL, sendo possível notar a existência de uma coesão de 2 kPa e um ângulo de atrito de 37°. Apesar desses valores serem característicos de solos arenosos que é como o solo em questão se apresenta em campo, conforme foi mostrado na análise granulométrica (item

5.3.2), a sua elevada porosidade certamente não conduziria a valores de ângulo de atrito dessa ordem. O elevado valor obtido provavelmente se deve à natureza colapsível do solo, que em ensaios de cisalhamento direto podem conduzir, conforme mostrado por Camapum de Carvalho & Gitirana Júnior (2005), a valores artificialmente maiores de ângulo de atrito. A tendência de curvatura na distribuição de pontos no gráfico de cisalhamento (Figura 5.35 d) é indicativo desse comportamento.

Nos ensaios de cisalhamento direto realizados sobre o solo saprolítico da voçoroca Geovane Braga foi possível observar na fase de adensamento (Figura 5.36 a) que o solo submetido as menores tensões confinantes apresentou recalque imediato pequeno e para maiores tensões confinantes o recalque foi maior, não tendo sido observados recalques devido a inundação do corpo de prova, ou seja, esse solo provavelmente não possui natureza colapsível.

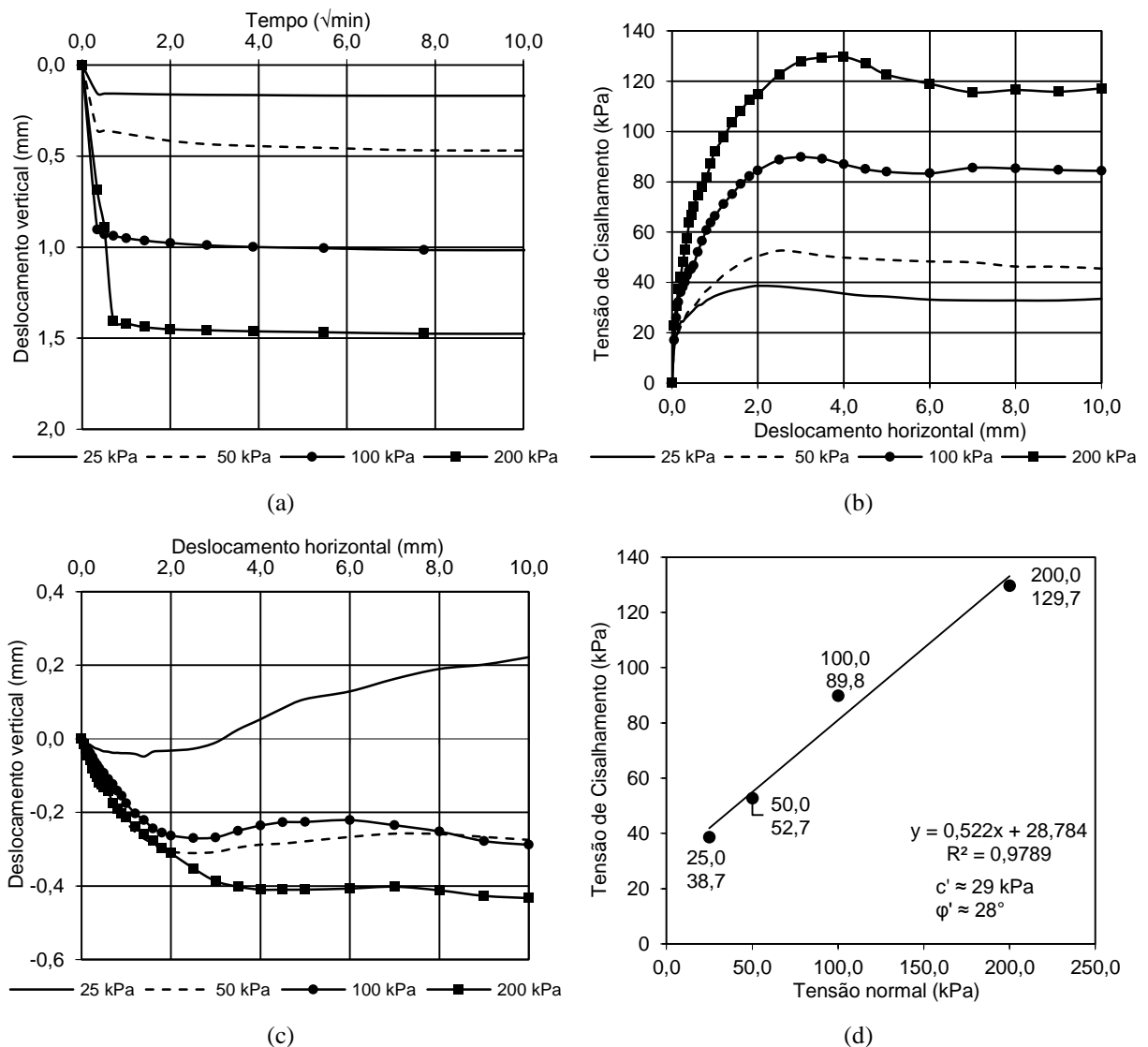


Figura 5.36 - Cisalhamento direto do solo saprolítico da voçoroca Geovane Braga: (a) fase de adensamento; (b) curva tensão de cisalhamento *versus* deslocamento horizontal; (c) curva deslocamento vertical *versus* deslocamento horizontal; (d) envoltória de ruptura.

Durante a fase de cisalhamento verificou-se na curva tensão de cisalhamento *versus* deslocamento horizontal a ocorrência de picos com perdas de resistência proporcionais às tensões aplicadas, ou seja, mais uma vez o comportamento mostra-se atrelado ao nível de intemperização do solo e não à história de tensões, embora o comportamento seja similar aos de argilas pré-adensadas e de areias compactas (Figura 5.36 b). Verifica-se ainda na curva deslocamento vertical *versus* deslocamento horizontal (Figura 5.36 c) a ocorrência de dilatância na menor tensão cisalhante, 25 kPa. Nas demais tensões observou-se a compressão do corpo de prova durante o cisalhamento, indicada pelo aumento absoluto do deslocamento vertical.

Por fim, no gráfico da Figura 5.36 (d) é apresentada a envoltória de resistência para o solo VGBS, sendo possível notar a existência de uma coesão de e 29 kPa e um ângulo de atrito de 28°. Esses valores são característicos de solos arenosos que é como esse solo se comporta em campo com percentual de areia em torno de 60%.

5.4 VOÇOROCA CIDADE JARDIM

5.4.1 Mineralogia

Os difratogramas da amostra VCJL indicam, tanto na amostra total como na fração argila uma constituição mineralógica composta por quartzo e gibbsita com pico mais pronunciados e caulinita com picos de menor intensidade, não sendo registrado em ambos os casos a presença de mineral traço (Tabela 5.34 e Figura 5.37).

Observando o comportamento dos picos dos difratogramas (Figura 5.37) verifica-se picos muito bem definidos de quartzo, principalmente na amostra total. Essa presença marcante do quartzo, assim como em outras amostras, tem uma relação direta com os elevados percentuais de areia na composição granulométrica do solo. Os picos de gibbsita também se sobressaem pela importante intensidade e pequena largura de base tanto na amostra total como na fração argila. Ao contrário os picos da caulinita onde os picos são muito menores e largos indicando que esse mineral está com uma cristalização ruim. A gibbsita em condições tão bem cristalizadas, como indicam seus picos, em detrimento da aparente menor cristalinidade da caulinita apontam para um processo de intemperização muito acentuado da amostra VCJL, confirmando o caráter laterítico desse solo.

Tabela 5.34 – Mineralogia da amostra de solo VCJL			
Amostra	Mineralogia		
	Picos de maior intensidade	Picos de menor intensidade	Traço
Fração Argila	Quartzo Gibbsita	Caulinita	-
Amostra Total	Quartzo Gibbsita	Caulinita	-

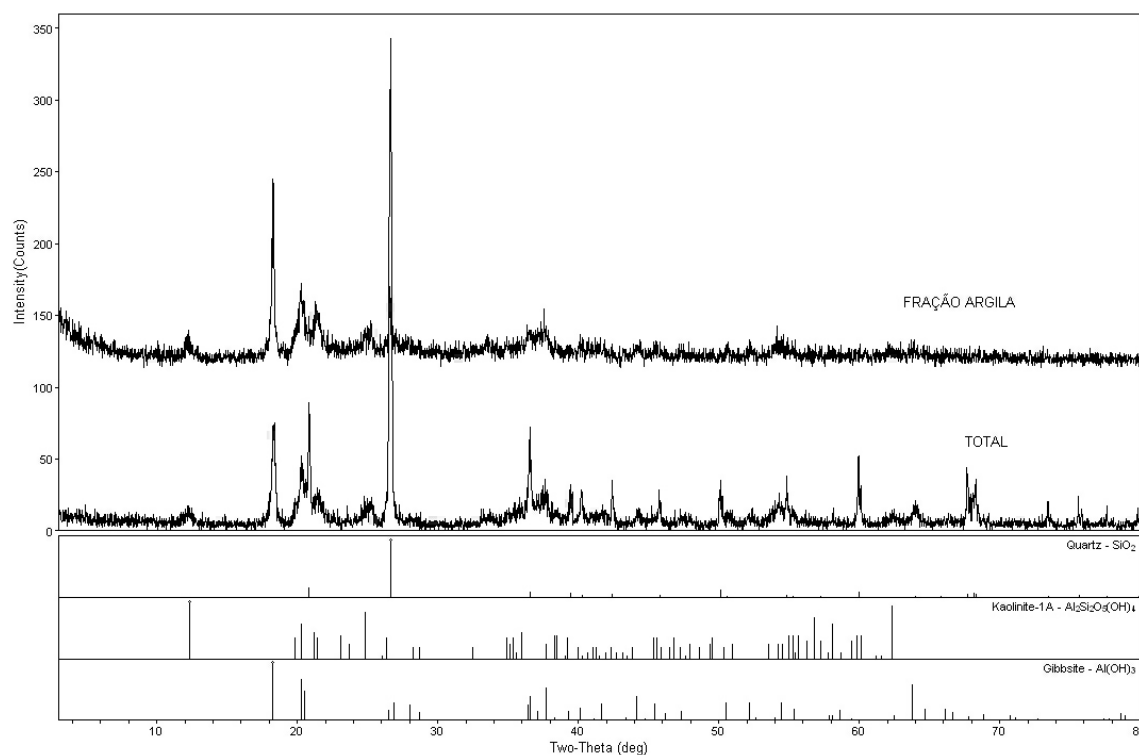


Figura 5.37 – Difratograma do solo laterítico da voçoroca Cidade Jardim.

Na amostra VCJS a difratometria de raios-X indicou, na amostra total, a presença de quartzo como predominante e aparentemente em menor proporção muscovita, caulinita e hematita com ausência de mineral traço (Tabela 5.35 e Figura 5.38). Na fração argila caulinita e quartzo aparecem com picos mais intensos e a muscovita e hematita em menor proporção sem a presença de traço.

O comportamento dos picos nos difratogramas dessa amostra (Figura 5.38) indica maior cristalinidade da caulinita na fração argila e do quartzo na amostra total. Destaca-se que, em campo, além de muscovita também verificou-se em quantidade a presença de biotita. Todavia, os padrões de reflexão desses dois minerais são muito parecidos e para distingui-los seria necessário um procedimento de decomposição do pico não realizado nessa campanha de ensaios. De qualquer maneira a presença desse tipo de mineral primário aponta para um baixo grau de alteração intempérica típico de solos saptolíticos embora a presença da caulinita aponte para uma intemperização atuante.

Tabela 5.35 – Mineralogia da amostra de solo VCJS.

Amostra	Mineralogia		
	Picos de maior intensidade	Picos de menor intensidade	Traço
Fração Argila	Caulinita Quartzo	Muscovita Hematita	-
Amostra Total	Quartzo	Muscovita Caulinita Hematita	-

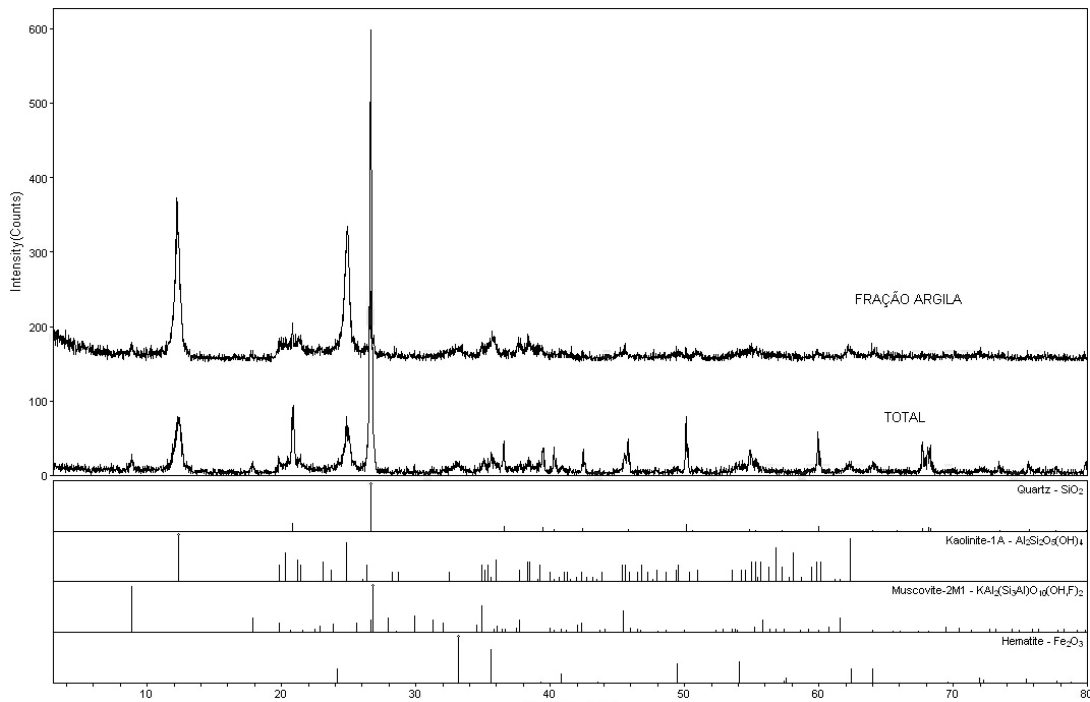


Figura 5.38 – Difratograma do solo saprolítico da voçoroca Cidade Jardim.

5.4.2 Caracterização Física

A Tabela 5.36 apresenta os índices físicos dos solos da voçoroca Túnel, sendo que (w_{nat}) corresponde à umidade natural, (w_h) à umidade higroscópica, (γ_{nat}) ao peso específico natural, (G_s) à peso específico relativo dos sólidos do solo, (γ_s) ao peso específico dos grãos, (γ_d) ao peso específico aparente seco, (e) ao índice de vazios, (n) à porosidade e (S_r) ao grau de saturação.

Tabela 5.36 – Índices Físicos da voçoroca Cidade Jardim.

Solo	w_{nat} (%)	w_h (%)	γ_{nat} (kN/m ³)	G_s	γ_s (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	e	n (%)	S_r (%)
Laterítico	31	1,22	12,7	2,74	26,9	9,5	1,840	64,8	46,9
Saprolítico	16	1,87	12,6	2,76	27,1	10,7	1,529	60,5	28,5

A umidade de campo ao longo do perfil dessa voçoroca apresentou significativa diferença entre o solo laterítico e o solo saprolítico, sendo este último menor que o anterior. Isso, apesar

do solo ter sido coletado no período chuvoso, pois a precipitação pluviométrica geralmente promove um incremento de umidade no perfil (Tabela 5.36). No que se refere a umidade higroscópica o solo laterítico apresentou umidade um pouco inferior à do solo saprolítico sendo ambos pequenos (Tabela 5.36). Essa característica dos solos quanto a umidade higroscópica pode estar relacionada à predominância de quartzo nesse perfil de solo e também a presença significativa de muscovita no caso do solo saprolítico. Esses minerais normalmente estão associados a fração granulométrica arenosa cuja superfície específica pequena tende a implicar numa baixa tensão superficial de retenção da água. O peso específico relativo do solo laterítico é 2,74 e do solo saprolítico é de 2,76, sendo valores aceitáveis para solos com baixos teores de óxidos de ferro como constatado nas análises mineralógicas (Tabela 5.36).

Os dados referentes a caracterização granulométrica dos solos da voçoroca Cidade Jardim são apresentados nos gráficos da Figura 5.39 e as classes texturais apresentadas na Tabela 5.37.

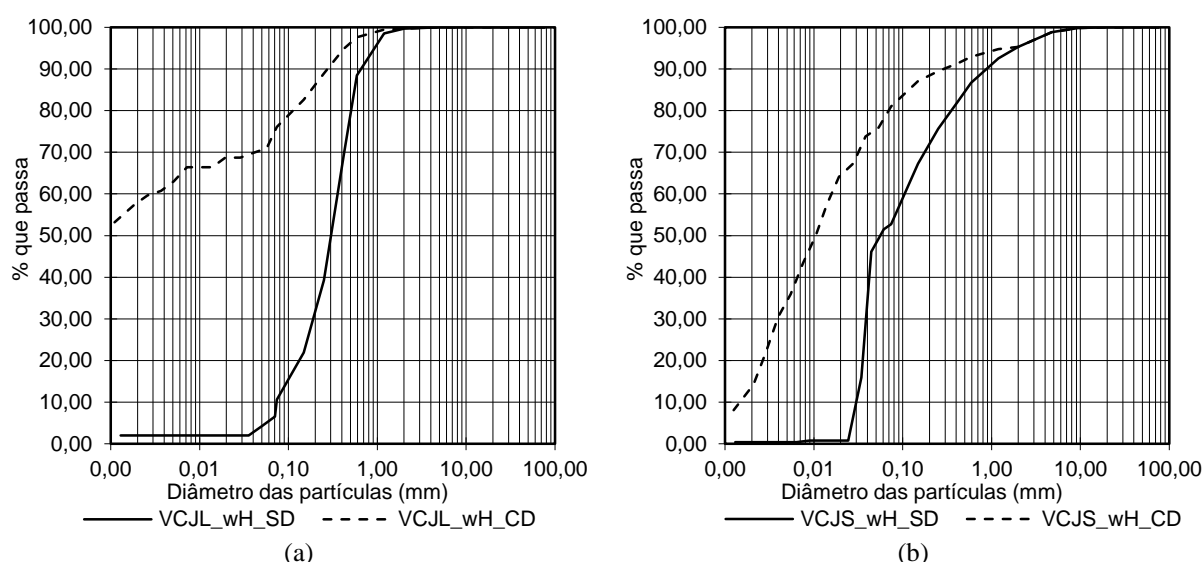


Figura 5.39 – Curva granulométrica da voçoroca Cidade Jardim – solo: (a) laterítico; (b) saprolítico.

Tabela 5.37 – Percentuais das frações granulométricas da voçoroca Cidade Jardim – solo com umidade higroscópica.

Fração granulométrica	Solo laterítico		Solo saprolítico	
	Com defloculante (%)	Sem defloculante (%)	Com defloculante (%)	Sem defloculante (%)
Pedregulho grosso	0,0	0,0	0,0	0,0
Pedregulho médio	0,0	0,0	0,9	0,9
Pedregulho fino	0,3	0,3	3,7	3,7
Areia grossa	2,0	11,0	2,4	8,6
Areia média	11,9	57,9	4,7	15,3
Areia fina	14,0	25,3	10,8	20,3
Silte	14,0	3,4	63,9	50,8
Argila	57,9	2,0	13,6	0,4

Do ponto de vista granulométrico o solo laterítico dessa voçoroca apresenta um percentual pouco relevante de pedregulho, não ultrapassando 0,5% da amostra. Quando submetida ao ensaio sem o uso de defloculante essa amostra revelou baixos percentuais de silte e argila que juntos não atingiram 6%. Ao ser ensaiada com o uso de defloculante, os percentuais das frações silte e argila dessa amostra aumentaram consideravelmente, em especial da fração argila que teve um aumento de aproximadamente 56%. O aumento do silte foi menor ficando em torno de 12%. Em contrapartida houve uma diminuição significativa nos percentuais de areia, sendo que a diminuição mais proeminente ocorreu na areia média com uma perda de cerca de 46%. Com perdas menores seguem a areia fina e grossa, com uma diminuição em seus percentuais de 11% e 9% respectivamente. Essa dinâmica granulométrica mostra a presença de um solo argiloso, mas que em campo está altamente agregado na forma de areia, principalmente areia média. Destaca-se ainda que o teor total de areia residual após o uso de defloculante ainda é suficientemente importante para justificar os picos de quartzo intensos obtidos nos difratogramas de Raios X.

O solo saprolítico, por sua vez, possui um percentual de pedregulho inferior a 5%. Ao ser ensaiado sem o uso de defloculante apresentou percentuais de argila muito baixos inferiores a 0,5% e percentuais de silte consideravelmente elevados de aproximadamente 51%. A ação do defloculante sobre essa amostra de solo garantiu um aumento de cerca de 13% em cada uma dessas frações granulométricas. Proporcionalmente ao aumento dos percentuais de silte e argila ocorrem reduções nos percentuais de areia de forma mais acentuada na areia média seguida da areia fina e grossa. Observa-se, portanto, que as modificações, que se processaram no aumento de silte e argila e na diminuição da areia, não foram muito acentuadas e o solo em questão permanece siltoso tanto no ensaio apenas com água destilada como no ensaio com uso de defloculante. Mas, observando a curva granulométrica desse solo verifica-se que a curva do solo com defloculante está bem acima da curva do solo sem defloculante evidenciando uma maior quantidade de finos. No entanto, comparativamente com o solo laterítico, o solo saprolítico apresenta teor bem inferior de agregado.

Quanto aos limites de consistência o solo VCJL quando ensaiado com a umidade de campo preservada revelou valores de limite de liquidez e de limite de plasticidade semelhantes, apenas com W_L sutilmente superior aos do solo previamente seco ao ar. Apesar de um pouco inferior na amostra seca ao ar os índices de plasticidade podem ser considerados como aproximadamente iguais nos dois solos (Tabela 5.38). A atividade desse solo laterítico foi classificada com característica de argilas inativas (Figura 5.40). Nas amostras do solo VCJS

embora os valores de I_p sejam semelhantes nas duas condições a secagem ampliou os valores de W_L e W_p da amostra ensaiada após a secagem ao ar (Tabela 5.38). O valor de índice de atividade indicam amostras de solo com argilas normais, porém situada na fronteira com as argilas ativas (Figura 5.40).

A ampliação dos limites de Atterberg do solo saprolítico com a secagem aponta para o efeito desagregador desse tratamento. Em campo, a exposição do solo a desidratação poderá favorecer a sua erosão superficial e à própria degradação estrutural do maciço favorecendo rupturas superficiais de talude.

Tabela 5.38 – Limites de Atterberg e índice de atividade dos solos da voçoroca Cidade Jardim.

Dados	Solo Laterítico		Solo Saprolítico	
	Umidade de campo	Umidade higroscópica	Umidade de campo	Umidade higroscópica
W_L (%)	45	43	57	64
W_p (%)	33	33	42	48
I_p (%)	12	10	15	16
IA	---	0,16	---	1,08

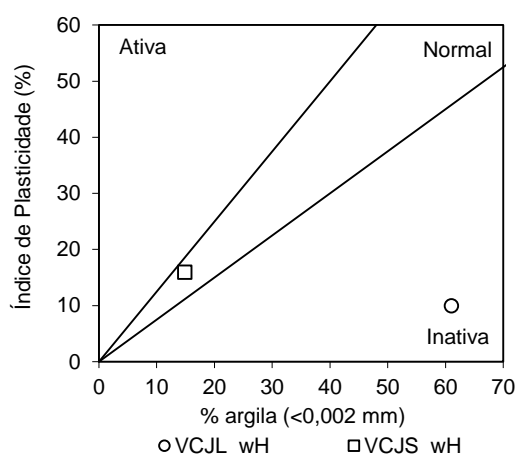


Figura 5.40 - Índice de atividade dos solos da voçoroca Cidade Jardim.

5.4.3 Classificação dos solos

A classificação granulométrica do solo laterítico com umidade higroscópica submetido a ação do defloculante é argilo-arenoso. Já o solo laterítico ensaiado sem o uso do defloculante foi classificado granulometricamente como arenoso. A classificação granulométrica do solo saprolítico com umidade higroscópica com e sem uso de defloculante é silto-arenoso.

De acordo com os teores granulométricos e com os valores de limite de liquidez e índice de plasticidade foi possível classificar os dois solos conduzidos à umidade higroscópica, laterítico e saprolítico, segundo o sistema de classificação unificada dos solos (SUCS) (Tabela 5.39 e Figura 5.41).

Tabela 5.39 – Classificação SUCS para a voçoroca Cidade Jardim – solo com umidade higroscópica.

Dados	Solo Laterítico		Solo Saprolítico	
	Com defloculante	Sem defloculante	Com defloculante	Sem defloculante
% de pedregulho (retido na # 4)	0,0	0,0	1,2	1,2
% de areia (passa na # 4 e retido na # 200)	23,9	89,4	17,8	46,1
% de finos (passa na #200)	76,1	10,6	81,0	52,7
D ₆₀	---	0,367	---	---
D ₃₀	---	0,196	---	---
D ₁₀	---	0,074	---	---
C _U	---	4,96	---	---
C _C	---	1,42	---	---
Classificação	ML (Silte de baixa plasticidade)	SP-SM (Areia mal graduada siltosa)	MH (Silte de alta plasticidade)	MH (Silte de alta plasticidade)

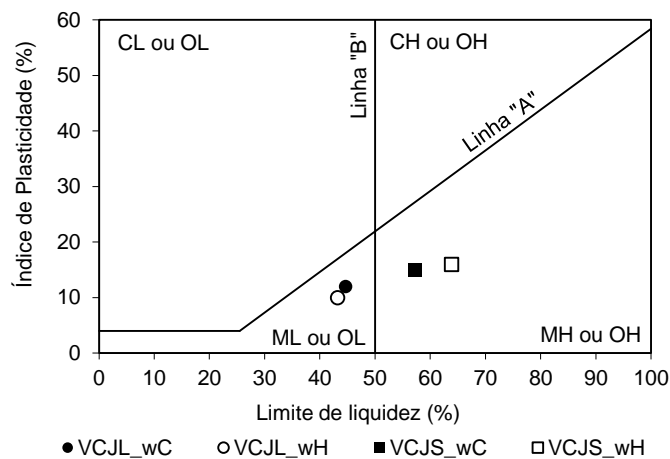


Figura 5.41 – Carta de plasticidade dos solos da voçoroca Cidade Jardim

A amostra de solo laterítico ensaiada com defloculante foi classificada como um silte de baixa plasticidade (ML). Esse solo sem a influência do defloculante foi classificado como uma areia mal graduada siltosa (SP-SM). As amostras de solo saprolítico tanto com defloculante como sem defloculante foram classificadas como silte de alta plasticidade (MH).

Quanto a classificação MCT expedita, a análise das pastilhas dos solos dessa voçoroca confirmaram o caráter laterítico do solo superficial e saprolítico do solo mais profundo (Tabela 5.40). Todavia, ocorreram algumas variações no comportamento dos solos ensaiados com umidade de campo e com umidade higroscópica.

Tabela 5.40 – MCT expedito para a voçoroca Cidade Jardim – Pastilhas.

Dados	Solo Laterítico		Solo Saprolítico	
	Umidade de campo	Umidade higroscópica	Umidade de campo	Umidade higroscópica
c'	1,91	1,75	1,09	1,91
Tempo de ascensão (mm:ss)	09:01	04:18	01:06	01:09
Penetração (mm)	0	0	5	5
Classificação	LG' (Laterítico Argiloso)	LG' (Laterítico Argiloso)	NS'/NA' (Não Laterítico siltoso /arenoso)	NG' (Não Laterítico Argiloso)

No solo laterítico com umidade de campo o coeficiente de contração (c') e o tempo de ascensão de água foi superior ao do solo ensaiado com a umidade higroscópica. Ambos não apresentaram penetração e, embora com diferenças nos valores de alguns parâmetros, ambos foram classificados como Laterítico Argiloso (LG). Os resultados de contração e tempo de ascensão apontam para o fato de que na umidade higroscópica estaria ocorrendo agregação do e/ou cimentação do solo.

No solo saprolítico também ocorreram pequenas variações entre o solo com umidade de campo e o solo com umidade higroscópica. O valor do coeficiente de contração e o tempo de ascensão de água foram ligeiramente menores no solo ensaiado com a umidade de campo. Já a penetração foi máxima de 5 mm nos dois solos. Nesse caso, as diferenças fizeram com que o solo ensaiado com umidade de campo fosse classificado como Não Laterítico Siltoso/Arenoso (NS'/NA') e o solo ensaiado com umidade higroscópica foi classificado como Não Laterítico Argiloso (NG'). Os resultados de contração e de expansão apontam para o fato de que a secagem estaria nesse caso do solo saprolítico provocando a sua desagregação alinhando-se quanto a esse aspecto com o comportamento verificado por Roseno & Camapum de Carvalho (2007) ao estudar um perfil de solo do Distrito Federal.

Quanto ao comportamento das esferas verificou-se nos solos lateríticos que as esferas moldadas com solo com umidade higroscópica apresentam uma tendência a menores tensões de ruptura do que as esferas com solo ensaiado com umidade de campo o que pode estar apontando para agregação, mas não para cimentação propriamente dita das partículas. As primeiras tendem a serem inferiores a 500 kPa e as demais predominantemente entre 1000 kPa e 1500 kPa. Por outro lado, todas as esferas de solo saprolítico apresentaram um comportamento com baixas tensões de ruptura (Figura 5.42).

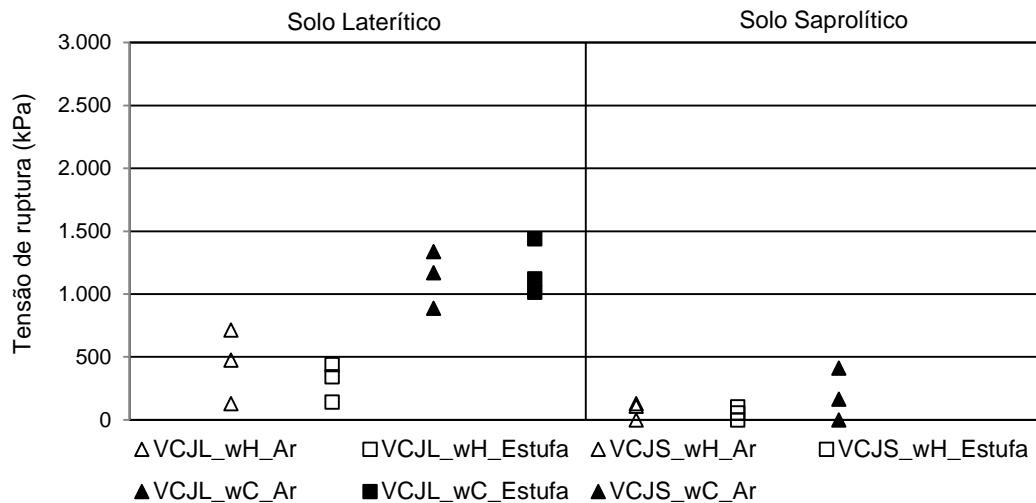


Figura 5.42 – Resistência das esferas.

5.4.4 Sucção

A curva característica do solo laterítico é típica de solos com estrutura bimodal (Figura 5.43 a). O ponto referente à sucção de entrada de ar dos macroporos é de aproximadamente 2 kPa e a entrada de ar nesses poros é finalizada na umidade em torno de 38% o que equivale a um grau de saturação de aproximadamente 55%. O ponto de entrada de ar dos microporos situa-se a aproximadamente 4000 kPa com umidade em torno de 20% e saturação de aproximadamente 30%. Entre o término de entrada de ar dos macroporos e o ponto referente a entrada de ar dos microporos ocorrem variações significativas da sucção atuante no solo. A umidade de campo no momento da coleta do solo encontrava-se nessa faixa apesar da coleta ter sido efetuada no mês de fevereiro correspondente ao período chuvoso.

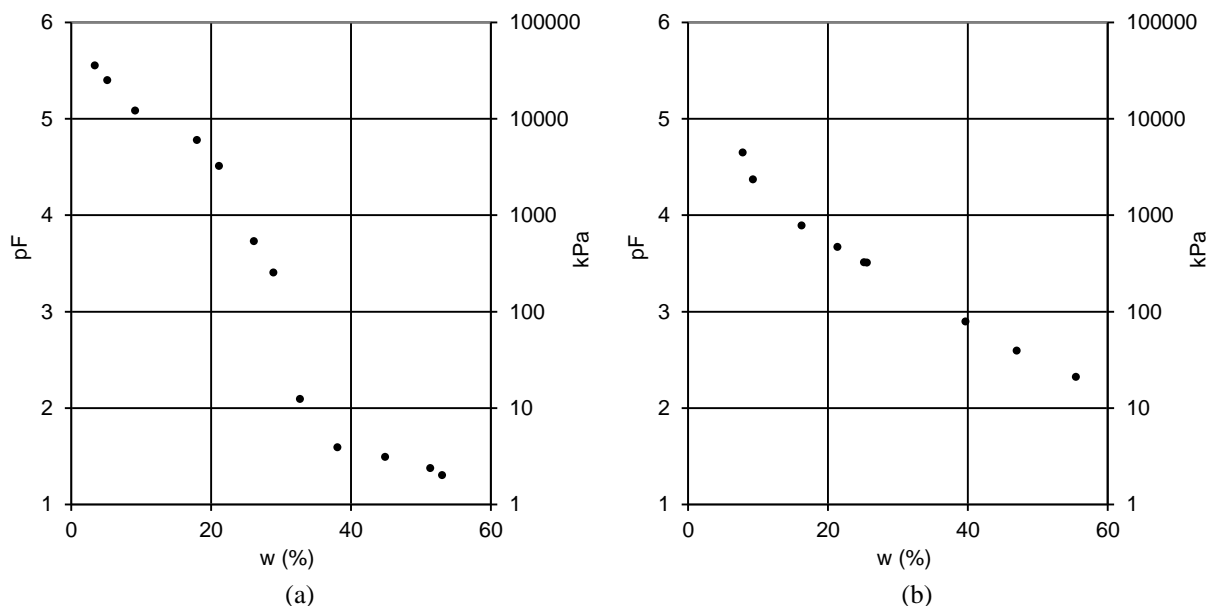


Figura 5.43 - Curva característica dos solos da voçoroca Cidade Jardim: (a) laterítico; (b) saprolítico.





A curva característica obtida para o solo saprolítico da voçoroca Cidade Jardim é do tipo monomodal e aponta para uma distribuição bem graduada dos poros presentes no solo (Figura 5.43 b). A entrada de ar na matriz do solo se dá para uma sucção de aproximadamente 20 kPa e corresponde a uma umidade de aproximadamente 56%. Para esse solo pequenas variações de umidade implicam em variações significativas de sucção.

5.4.5 Perda de Massa por Imersão

No ensaio de perda de massa por imersão do solo laterítico da voçoroca Cidade Jardim verificou-se uma perda inferior a dos solos lateríticos das demais voçorocas, mas com um P_i ainda muito significativo variando de 27% a 131% (Tabela 5.41).


Esse comportamento de menor perda pode estar relacionado ao fato de ser um solo mais argiloso que os demais solos lateríticos ensaiados e também o fato da amostra estar mais úmida no início do ensaio do que as demais aproximando-se a umidade do solo daquela correspondente ao término de entrada de ar dos macroporos e implicando em sucções inferiores a 10 kPa.

Tabela 5.41 - Perda de massa por imersão do solo laterítico da voçoroca Cidade Jardim.

Descrição	Corpo de Prova			
	1	2	3	4
Umidade do CP	36,04	36,04	36,04	36,04
Desplacamento	Não	Não	Não	Não
P_i (%)	131,3	79,5	120,5	27,3
Corpo de prova após ensaio				

O ensaio realizado com o solo saprolítico dessa voçoroca demonstrou ausência de deslocamento com a tendência verificada nos demais solos saprolíticos, onde a maioria dos corpos de prova apresentou pequena perda de solo com P_i entre 0,3% e 3,5% (Tabela 5.42). Destaca-se que para a umidade inicial do solo a sucção seria de aproximadamente 35 kPa, valor relativamente pequeno se considerada a coesão do solo como se verá no estudo da resistência ao cisalhamento do solo ($c' = 34$ kPa).

Tabela 5.42 - Perda de massa por imersão do solo saprolítico da voçoroca Cidade Jardim.

Descrição	Corpo de Prova			
	1	2	3	4
Umidade do CP	48,36	48,36	48,36	48,36
Desplacamento	Não	Não	Não	Não
Pi (%)	0,3	1,4	1,8	3,5
Corpo de prova após ensaio				

5.4.6 Desagregação

A Tabela 5.43 apresenta os resultados do comportamento dos solos saprolítico e laterítico da voçoroca Cidade Jardim no ensaio de desagregação.

Tabela 5.43 – Resultados do ensaio de desagregação para os solos da voçoroca Cidade Jardim.

Solo	Fases		Descrição	w _c (%)
Laterítico	Inundação Imediata		Uma amostra intacta e outra totalmente destruída.	29,8
	Inundação Parcial	Amostra com água na base por 30 min	Pouca alteração.	
		Água em 1/3 de altura	Solapamento leve da base. Permanece com o topo preservado, mas ao final dos 15 minutos aparece trinca e base medianamente alterada.	
		Água em 2/3 de altura	Ambos os blocos com topo preservado, sendo um com maior comprometimento das laterais.	
	Imersão completa			
Saprolítico	Inundação Imediata		A água escolheu as fraturas como caminho preferencial.	19,4
	Inundação Parcial	Amostra com água na base por 30 min	Pouca alteração	
		Água em 1/3 de altura	Solapamento leve da base com forte abertura de trincas no topo e laterais	
		Água em 2/3 de altura	Trincas muito abertas e desestruturação parcial dos blocos	
	Imersão completa		Desestruturação total	

No ensaio de desagregação o solo laterítico da voçoroca Cidade Jardim (Figura 5.44 a) ao sofrer a inundação imediata não apresentou um padrão de comportamento nos dois corpos de prova ensaiados, sendo que um desagregou totalmente e outro ficou intacto. Na inundação parcial a desagregação da base evoluiu sem provocar abatimento e mantendo o topo intacto. O solo saprolítico por sua vez, na imersão imediata teve abertura de trincas, porém sem o desmoronamento da amostra (Figura 5.44 b). Na imersão gradual também ocorreu a abertura

de trincas que evoluíram a ponto de provocar o desmoronamento de corpos de prova.

Os resultados dos ensaios de desagregação guardam compatibilidade com os ensaios de perda de massa por imersão sendo o desmoronamento dos solos saprolíticos ocasionado por planos de fraqueza existentes que no ensaio de perda de massa por imersão ficam confinados no molde.

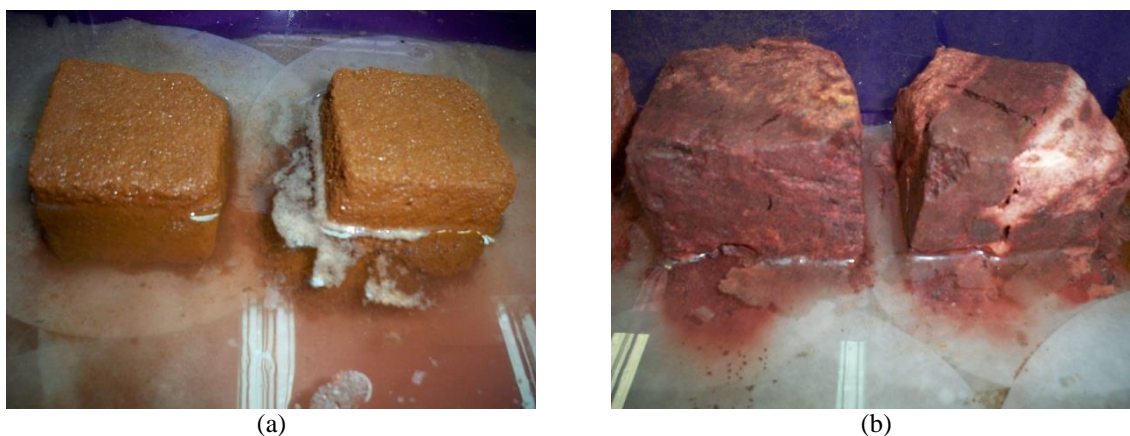


Figura 5.44 - Ensaio de desagregação dos solos da voçoroca Cidade Jardim (a) Inundação parcial do solo laterítico; (b) Inundação parcial do solo saprolítico.

5.4.7 Inderbitzen

No ensaio de inderbitzen realizado sobre o solo laterítico da voçoroca Cidade Jardim, foi possível observar uma perda total de solo de aproximadamente $0,3 \text{ g/mm}^2 \times 10^{-3}$ (Figura 5.45 a). A distribuição dessa perda variou no tempo e de acordo com o tamanho das partículas refletindo a distribuição granulométrica do solo. De 0 a 5 minutos ocorreu a primeira inclinação da curva de perda indicando a perda concentrada de solo mais acentuada de todo o tempo do ensaio. Após 5 minutos houve uma estabilização na perda de solo, sendo que a quantidade de material retido na peneira #200 foi significativamente menor do que as perdas verificadas no material retido nas peneiras #100 e #40 respectivamente. Destaca-se que as maiores perdas foram verificadas no material retido na peneira #100.

No solo saprolítico foi possível observar uma perda total de solo de aproximadamente $0,4 \text{ g/mm}^2 \times 10^{-3}$ em 30 minutos (Figura 5.45 b). Nos primeiros 10 minutos de ensaios ocorreram as maiores perdas concentradas de solo para os materiais retidos em todas as peneiras #40, #100 e #200. A partir de 10 minutos ocorreu a estabilização da perda. As maiores perdas ocorreram no material retido na peneira #200, seguida da peneira #100 e da peneira #40 respectivamente.

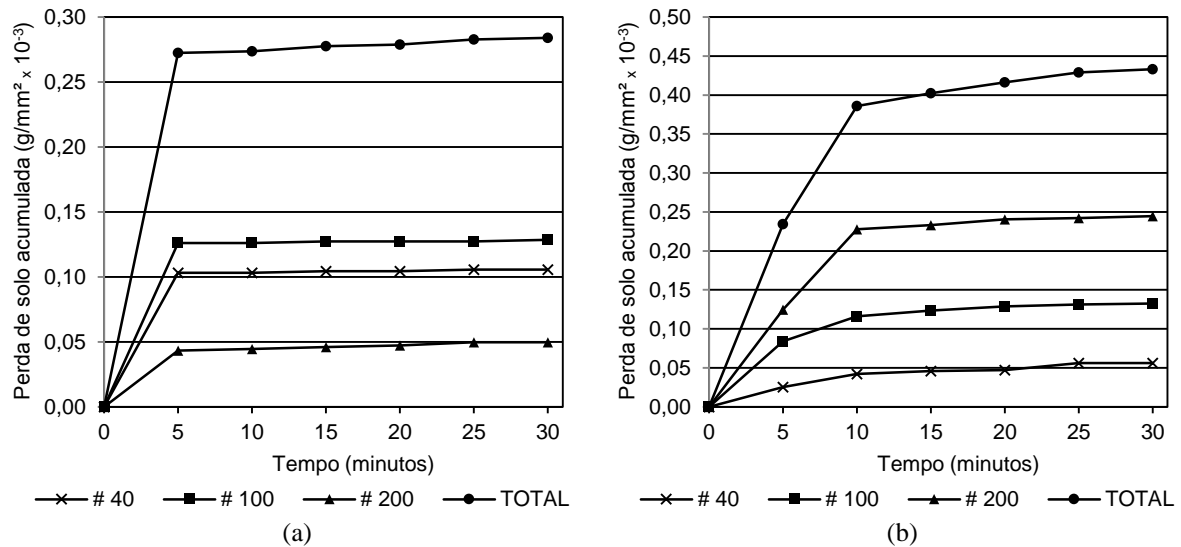


Figura 5.45 – Voçoroca Cidade Jardim – Resultados do ensaio de inderbitzen para o solo: (a) laterítico (b) saprolítico.

5.4.8 Pinhole

No ensaio de *pinhole* realizado sobre o solo laterítico da voçoroca Cidade Jardim a aplicação das cargas hidráulicas segundo a NBR 14114 (ABNT, 1998) atingiu já nas menores cargas de 50 mm vazão relevantemente alta da ordem de 2 cm²/s (Figura 5.46 a). Ainda assim, o incremento de carga continuou para se verificar o comportamento do solo e a tendência de vazões elevadas se manteve para as cargas hidráulicas mais altas. Além disso, verificou-se que a coloração do efluente era levemente escura apresentando carreamento de partículas.

Desse modo, esse solo seria classificado como dispersivo (D2), no entanto, em se tratando de solo profundamente intemperizado dotado de mineralogia não dispersiva o comportamento registrado se deve certamente ao deslocamento e desagregação de partículas. Esse comportamento revela um alto potencial a erosão interna e não dispersividade propriamente dita. Não foi possível aplicar carga hidráulica de retorno para verificar o potencial a eluviação e esqueletização nesse solo devido a obstrução do diâmetro do furo, destacando-se que em um dos corpos de prova, as altas vazões iniciais o desestruturaram completamente, impedindo a continuação do carregamento e por consequência da aplicação da descarga.

No solo saprolítico da voçoroca Cidade Jardim o ensaio de *pinhole* apresentou, mediante a aplicação das cargas hidráulicas, fluxos que permitiram, segundo a NBR 14114 (ABNT, 1998) classifica-lo como não dispersivo (ND1), constatando-se a liberação de um efluente claro. No gráfico de vazão *versus* carga hidráulica (Figura 5.46 b) é possível verificar na curva de carga um comportamento praticamente linear com inflexão muito suave voltada para

baixo confirmando o comportamento não dispersivo apontado pela classificação, indicando ausência de potencial a erosão interna. Por sua vez, a curva de descarga aparece plotada ligeiramente acima da curva de carregamento. Isso permite deduzir que não houve um aumento significativo do diâmetro do furo e que o aumento da vazão na fase de descarga pode estar apontando para um pequeno potencial de eluviação e esqueletização do solo.

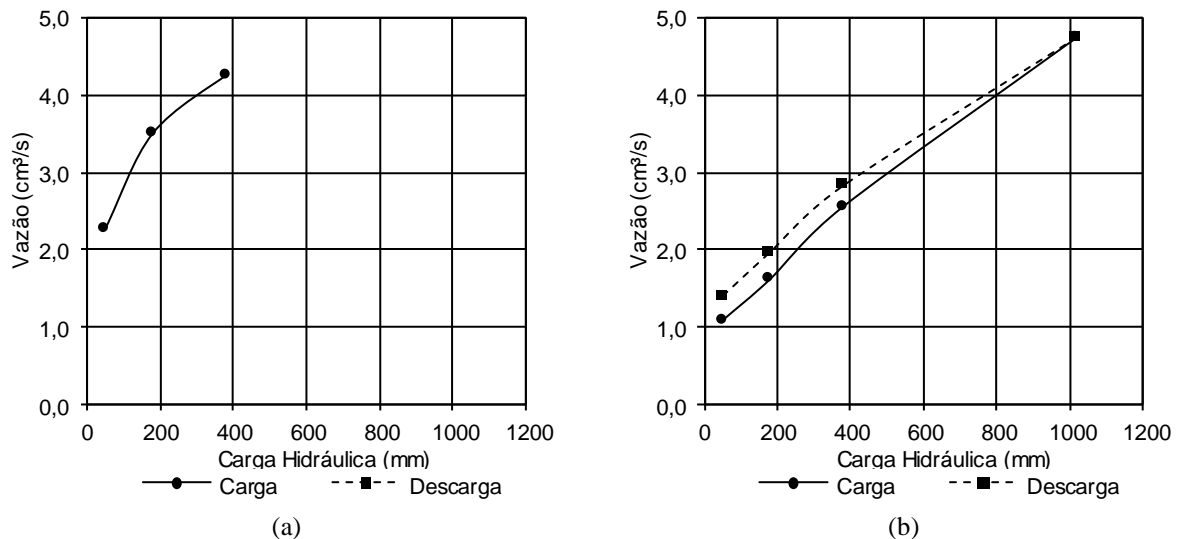


Figura 5.46 - Resultado do ensaio de *pinhole* da voçoroca Cidade Jardim: (a) solo laterítico; (b) solo saprolítico.

5.4.9 Cisalhamento

Nos ensaios de cisalhamento direto realizados sobre o solo laterítico da voçoroca Cidade Jardim foi possível observar na fase de adensamento (Figura 5.47 a) que as amostras apresentaram um recalque imediato tanto maior quanto maiores as tensões confinantes. Após a inundação do corpo de prova verificou-se um recalque abrupto para todas as tensões confinantes, permitindo verificar uma possível tendência a colapsividade. Observa-se que o recalque por inundação não apresentou aumento com a tensão confinante como aconteceu quando da aplicação das cargas, ao contrário tendeu a diminuir. Destaca-se que o colapso total do solo, efeito do carregamento mais o efeito da saturação, aumentou com a variação da energia global, aumento da carga mais redução da sucção, traduzindo bem o fato de que a colapsividade é uma função da meta-estabilidade estrutural do solo.

Assim, como nos demais solos lateríticos essa colapsividade já era esperada tendo em vista sua considerável agregação como ficou demonstrado nos resultados dos ensaios de granulometria com e sem o uso de defloculante. A bimodalidade na distribuição de poros apontada na curva característica de retenção de água desse solo faz sobressair a presença de

micro e macroporos sendo estes últimos responsáveis pelo colapso estrutural do solo quando submetido a variações de energia interna ou externa, ou ainda a simples modificações do estado de tensões.

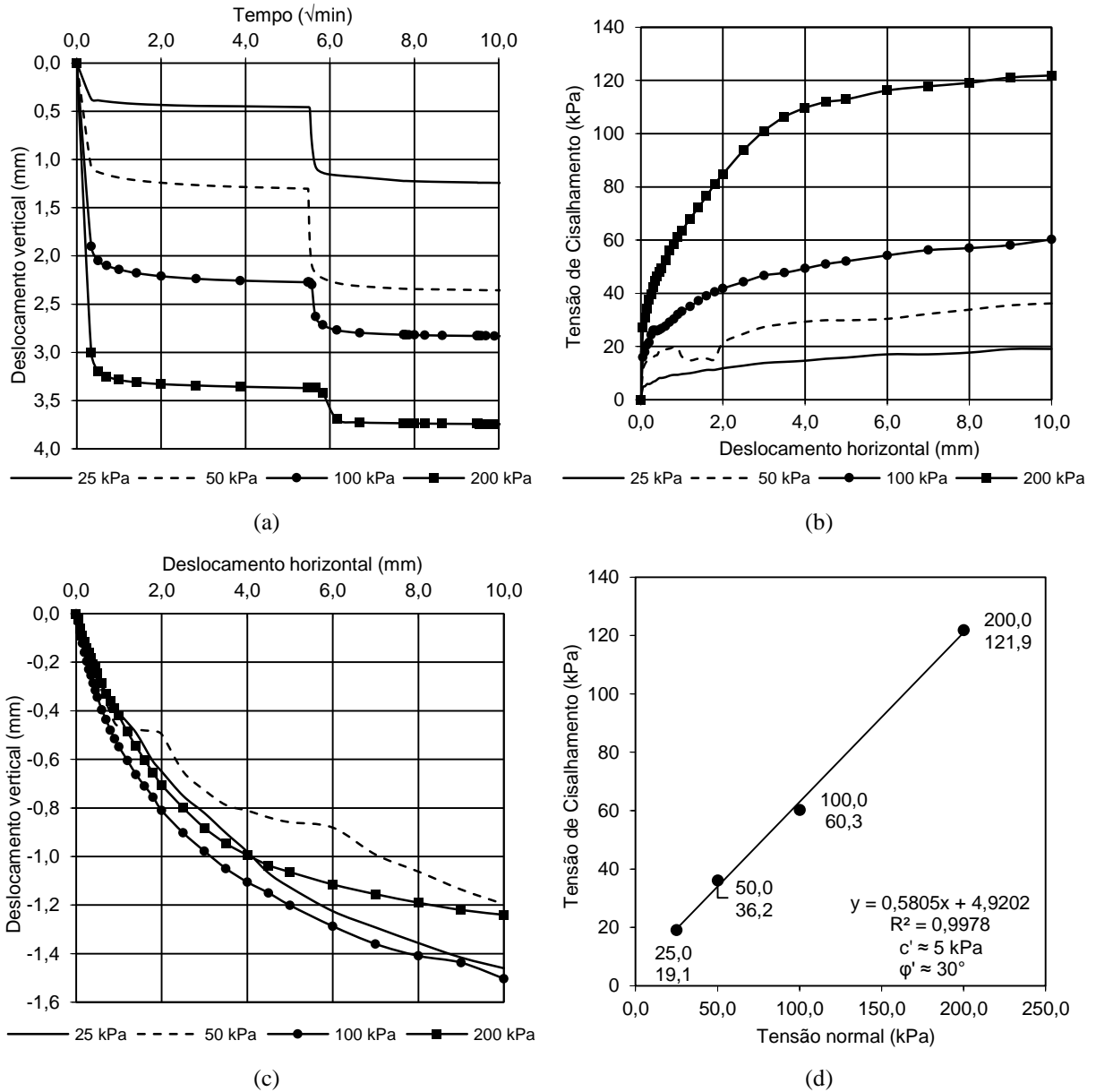


Figura 5.47 - Cisalhamento direto do solo laterítico da voçoroca Cidade Jardim: (a) fase de adensamento; (b) curva tensão de cisalhamento *versus* deslocamento horizontal; (c) curva deslocamento vertical *versus* deslocamento horizontal; (d) envoltória de ruptura.

Durante a fase de cisalhamento verificou-se nas curvas de tensão de cisalhamento *versus* deslocamento horizontal uma tendência de aumento da resistência com o deslocamento sem a presença de picos, revelando assim um comportamento característico de solos lateríticos colapsíveis (Figura 5.47 b). Verifica-se ainda nas curvas deslocamento vertical *versus* deslocamento horizontal (Figura 5.47 c) que para todas as tensões confinantes ocorre a

compressão do corpo de prova durante o cisalhamento, indicada pelo aumento absoluto do deslocamento vertical. Diante desse comportamento conclui-se que este solo ao sofrer colapso estrutural durante a fase de ruptura passa a comportar-se como se tratasse de um solo normalmente adensado, no entanto, os fenômenos envolvidos são distintos, pois nesse solo ele corresponde a quebra estrutural e nos solos normalmente adensados o fenômeno está atrelado à história de tensões.

Por fim no gráfico da Figura 5.47 (d) é apresentada a envoltória de resistência para o solo VCJL na condição inundada, sendo possível notar a existência de uma coesão de 5 kPa e um ângulo de atrito de 30°. Esses valores são característicos de solos arenosos que é como o solo em questão se apresenta em campo, conforme foi demonstrado pela análise granulométrica (item 5.4.2) onde se verificou nos ensaios sem o uso de defloculante um percentual de areia em torno de 94% justificados pela presença de quartzo e principalmente pela constituição do solo rica em agregados de óxi-hidróxido de ferro e alumínio.

No ensaio de cisalhamento direto realizado sobre o solo saprolítico da voçoroca Cidade Jardim foi possível observar na fase de adensamento (Figura 5.48 a), um recalque imediato que aumentou com a elevação das tensões confinantes. Após a inundação verificou-se para todas as tensões que não houve recalque e sim uma tendência de estabilização. Durante a fase de cisalhamento foi possível observar na curva tensão de cisalhamento *versus* deslocamento horizontal a ocorrência de picos revelando um comportamento similar ao de argilas pré-adensadas ou de areias compactas (Figura 5.48 b), sendo, no entanto, tal comportamento provavelmente oriundo da estrutura herdada da rocha mãe e não da história de tensões. Verifica-se ainda na curva deslocamento vertical *versus* deslocamento horizontal (Figura 5.48 c) a ocorrência de dilatação nas menores tensões confinantes, 25 kPa e 50 kPa. Nas demais tensões observou-se uma compressão do corpo de prova durante o cisalhamento indicada pelo aumento absoluto do deslocamento vertical. Diante disso, verifica-se um comportamento de solo com provável tensão de pseudo pré-adensamento entre 50 kPa e 100 kPa.

Por fim no gráfico da Figura 5.48 d é apresentada a envoltória de resistência para o solo VCJS, sendo possível notar a existência de uma coesão de 34 kPa e ângulo de atrito de 41°. Esses valores são característicos de solos arenosos, sendo que o solo em questão se comporta em campo como um silte muito arenoso, possuindo em torno de 44% de areia.

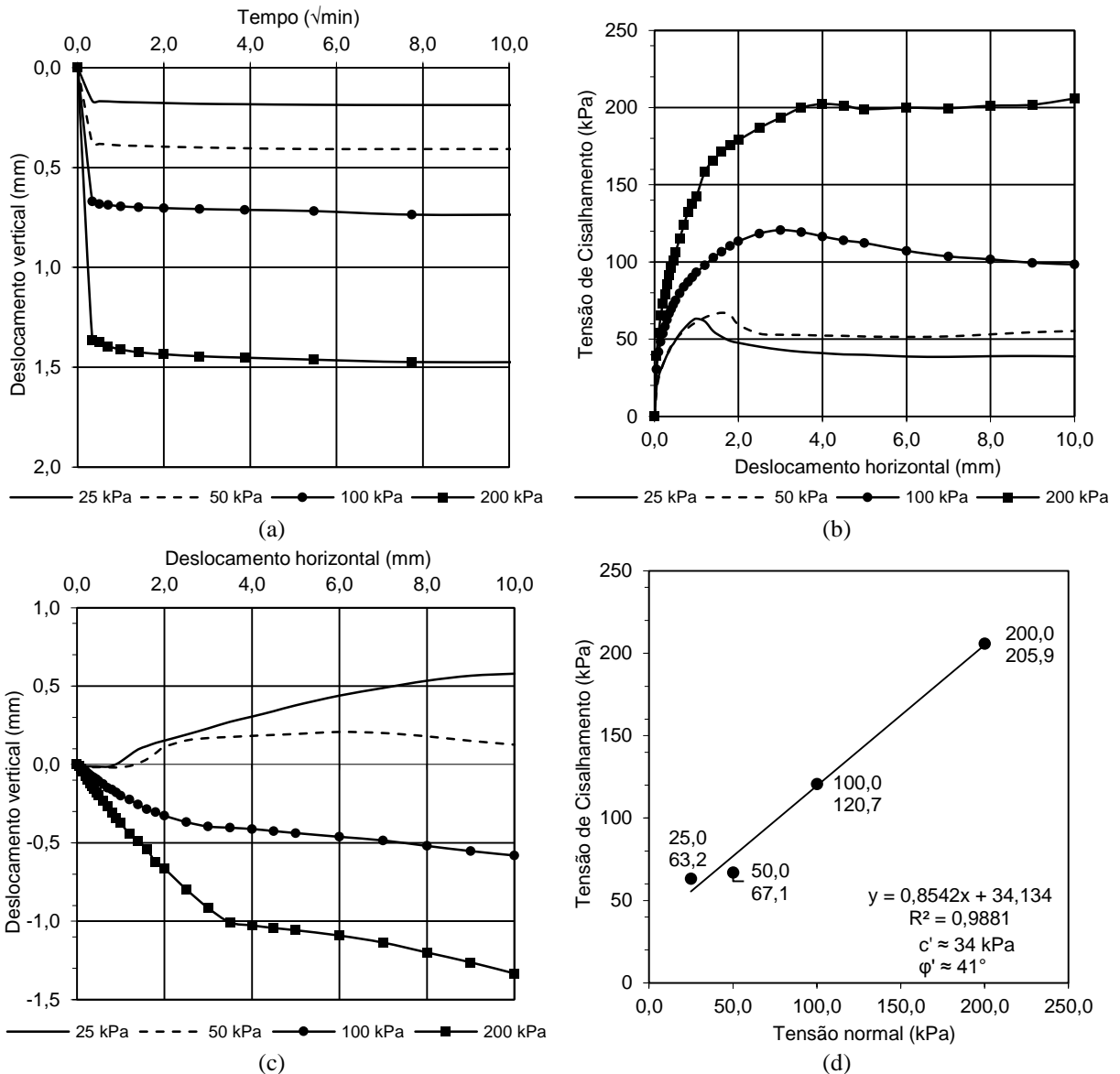


Figura 5.48 - Cisalhamento direto do solo saprolítico da voçoroca Cidade Jardim: (a) fase de adensamento; (b) curva tensão de cisalhamento *versus* deslocamento horizontal; (c) curva deslocamento vertical *versus* deslocamento horizontal; (d) envoltória de ruptura.

5.5 VOÇOROCA COLÉGIO ESTADUAL

5.5.1 Mineralogia

O difratograma da amostra VCEL indica, na amostra total, a presença de quartzo, gibbsita e caulinita com picos de maior intensidade, goethita em menor e hematita como traço (Tabela 5.44 e Figura 5.49). Na fração argila gibbsita e caulinita aparecem com maior intensidade de pico e a goethita em menor, não sendo registrada a presença de traço. O comportamento dos picos dos minerais no difratograma (Figura 5.49) mostra uma caulinita pouco cristalizada com picos baixos e largos, principalmente na amostra total. A gibbsita aparece com picos destacadamente altos principalmente na fração argila indicando um processo evoluído de

intemperismo característico dos solos lateríticos.

Tabela 5.44 – Mineralogia da amostra de solo VCEL.

Amostra	Mineralogia		
	Maior intensidade de pico	Menor intensidade de pico	Traço
Fração Argila	Gibbsita Caulinita	Goethita	-
Amostra Total	Quartzo Gibbsita Caulinita	Goethita	Hematita

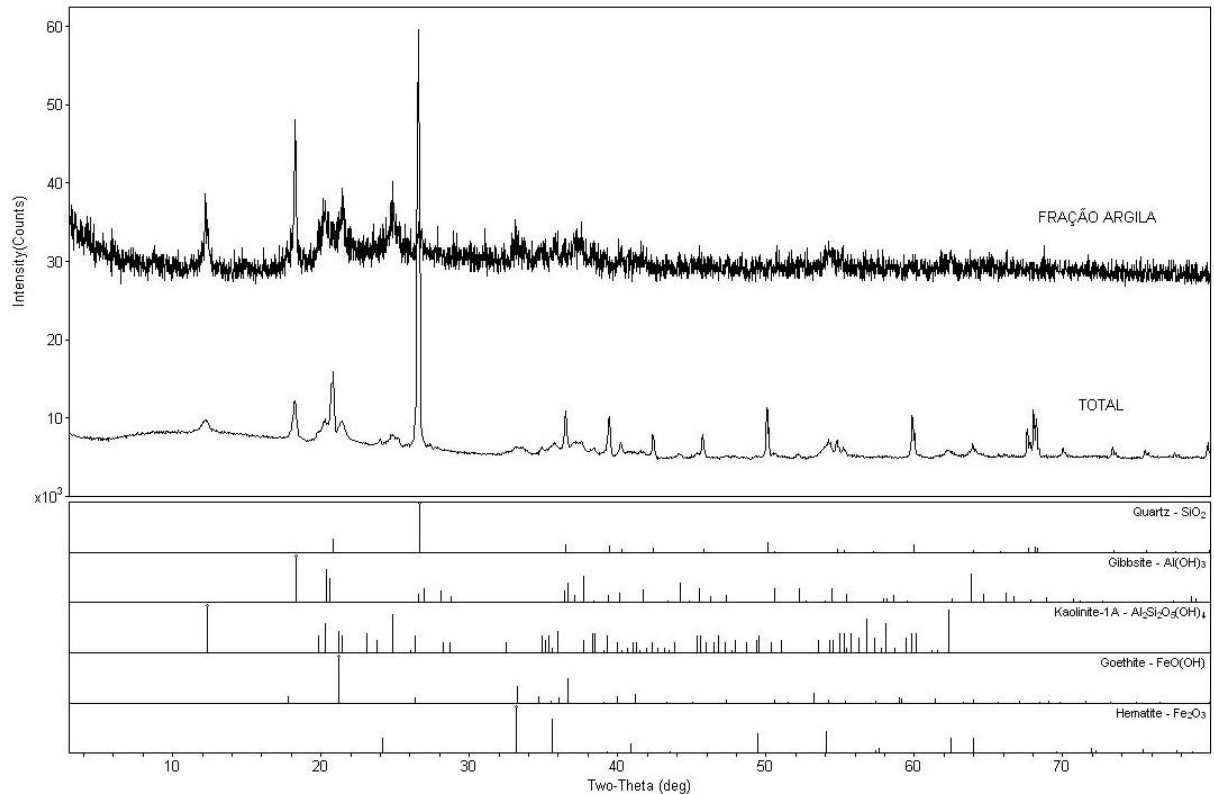


Figura 5.49 – Difratoograma do solo laterítico da voçoroca Colégio Estadual

5.5.2 Caracterização Física

A Tabela 5.45 apresenta os índices físicos dos solos da voçoroca Túnel, sendo que (w_{nat}) corresponde à umidade natural, (w_h) à umidade higroscópica, (γ_{nat}) ao peso específico natural, (G_s) ao Peso específico dos sólidos do solo, (γ_s) ao peso específico dos grãos, (γ_d) ao peso específico aparente seco, (e) ao índice de vazios, (n) à porosidade e (S_r) ao grau de saturação.

A umidade de campo do solo laterítico da voçoroca Colégio Estadual foi relativamente alta, pois a coleta foi feita em período chuvoso (Tabela 5.45). Quanto à umidade higroscópica apresentou um valor dentro da tendência verificada nos solos lateríticos das demais voçorocas estudadas (Tabela 5.45). O peso específico relativo desse solo é $2,80 \text{ g/cm}^3$, sendo o valor ligeiramente maior associada à presença do hidróxido de ferro goethita (Tabela 5.45).

Tabela 5.45 – Índices Físicos da voçoroca Colégio Estadual.

Solo	W_{nat} (%)	W_h (%)	γ_{nat} (kN/m ³)	G_s	γ_s (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	e	n (%)	S_r (%)
Laterítico	30	1,32	15,7	2,80	27,4	12,2	1,249	55,5	66,6

Os dados referentes à caracterização granulométrica dos solos da voçoroca Colégio Estadual são apresentados nos gráficos da Figura 5.50 e as classes texturais apresentadas na Tabela 5.46.

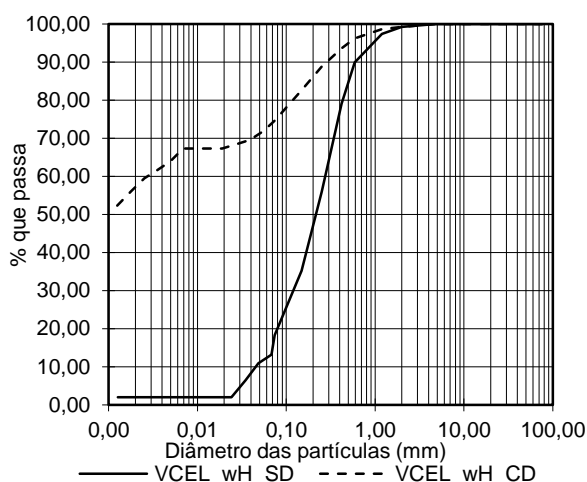


Figura 5.50 – Curva granulométrica da voçoroca Colégio Estadual – solo laterítico.

Tabela 5.46 – Percentuais das frações granulométricas da voçoroca Colégio Estadual – solo com umidade higroscópica.

Fração granulométrica	Solo laterítico	
	Com defloculante (%)	Sem defloculante (%)
Pedregulho grosso	0,0	0,0
Pedregulho médio	0,0	0,0
Pedregulho fino	0,7	0,7
Areia grossa	3,0	9,2
Areia média	10,5	44,3
Areia fina	13,2	33,4
Silte	15,5	10,2
Argila	57,1	2,0

O solo laterítico dessa voçoroca apresenta um percentual pouco relevante de pedregulho não ultrapassando 1%. Quando essa amostra foi ensaiada sem o uso de defloculante apresentou teor de argila significativamente baixo, 2%. Todavia, com o uso de defloculante esse teor aumentou para aproximadamente 55%, sendo que verificou-se um aumento sutil em torno de 5% na fração silte. Em contrapartida houve diminuição na fração areia, principalmente areia média e areia fina e reduções bem menores na areia grossa. Verifica-se, portanto, que trata-se de um solo argiloso altamente agregado na forma de areia média e fina.

As amostras do solo VCEL quando ensaiadas com a umidade de campo preservada revelou valor de limite de liquidez um pouco menor que o do solo previamente seco (Tabela 5.47) e o limite de plasticidade pode ser considerado como semelhante entre as duas amostras. Já o

Índice Plasticidade foi menor para amostra na umidade de campo. O valor do índice de atividade de Skempton desse solo permitiu classifica-lo como argila inativa (Figura 5.51).

Tabela 5.47 – Limites de Atterberg e índice de atividade dos solos da voçoroca Colégio Estadual.

Dados	Solo Laterítico	
	Umidade de campo (%)	Umidade higroscópica (%)
W _L (%)	41	45
W _P (%)	33	32
I _P (%)	8	13
IA (%)	---	0,21

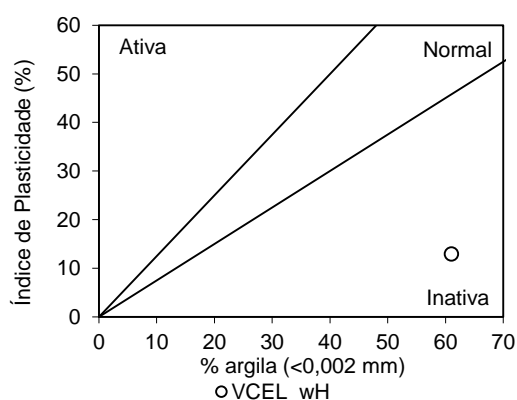


Figura 5.51 – Índice de atividade dos solos da voçoroca Colégio Estadual.

5.5.3 Classificação do solo

A classificação granulométrica do solo laterítico com umidade higroscópica submetido a ação do defloculante é argilo-arenoso. Já o solo laterítico ensaiado sem o uso do defloculante foi classificado granulométricamente como arenoso. De acordo com a granulometria e com os valores de limite de liquidez e índice de plasticidade foi possível classificar o solo segundo o sistema de classificação unificada dos solos (SUCS), conforme mostrado na Tabela 5.48 e Figura 5.52. Nesse sistema de classificação o solo ensaiado com umidade higroscópica e com granulometria obtida com o uso de defloculante foi classificado como um silte de baixa plasticidade (ML) e quando não foi utilizado defloculante como uma areia siltosa (SM).

Tabela 5.48 – Classificação SUCS para a voçoroca Colégio Estadual – solo com umidade higroscópica.

Dados	Solo Laterítico	
	Com defloculante	Sem defloculante
% de pedregulho (retido na # 4)	0,0	0,0
% de areia (passa na # 4 e retido na # 200)	25,3	81,7
% de finos (passa na #200)	74,7	18,3
Classificação	ML (Silte de baixa plasticidade)	SM (Areia siltosa)

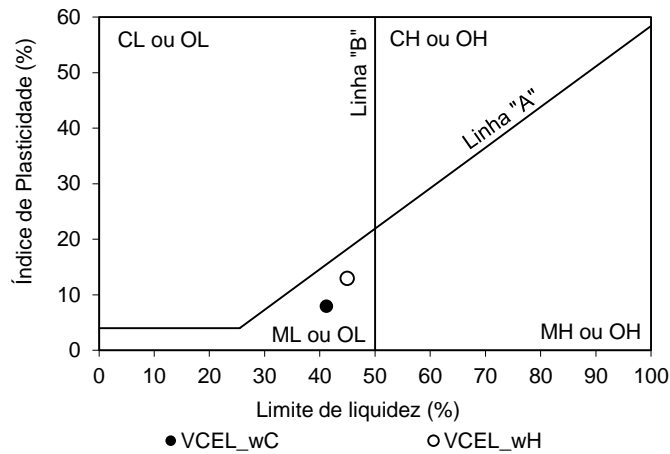


Figura 5.52 – Carta de plasticidade dos solos da voçoroca Colégio Estadual.

Quanto a classificação MCT expedida, a análise das pastilhas do solo dessa voçoroca confirmou o seu caráter laterítico. Todavia, ocorreram algumas variações no comportamento dos solos ensaiados com umidade de campo e com umidade higroscópica (Tabela 5.49). No solo laterítico com umidade de campo o coeficiente de contração (c') e o tempo de ascensão de água foi inferior ao do solo ensaiado com a umidade higroscópica apontando assim para o efeito desagregador da secagem. Ambos não apresentaram penetração e, embora com diferenças nos valores de alguns parâmetros, foram classificados como Laterítico Argiloso (LG).

Tabela 5.49 – MCT expedido para a voçoroca Colégio Estadual – Pastilhas.

Dados	Solo Laterítico	
	Umidade de campo	Umidade higroscópica
c'	1,86	1,81
Tempo de ascensão (mm:ss)	08:05	07:39
Penetração (mm)	0	0
Classificação	LG' (Laterítico Argiloso)	LG' (Laterítico Argiloso)

No que se refere ao comportamento das esferas verificou-se no solo laterítico que as esferas moldadas com umidade higroscópica e posteriormente secas tanto ao ar como em estufa tendem a ter tensão de ruptura inferior a 1000 kPa. Já as esferas moldadas com umidade de campo e posteriormente secas tanto ao ar como em estufa tendem a ter tensão de ruptura superior a 1000 kPa e inferior a 2000 kPa (Figura 5.53) o que mostra ser importante o efeito da secagem sobre o comportamento desse solo.

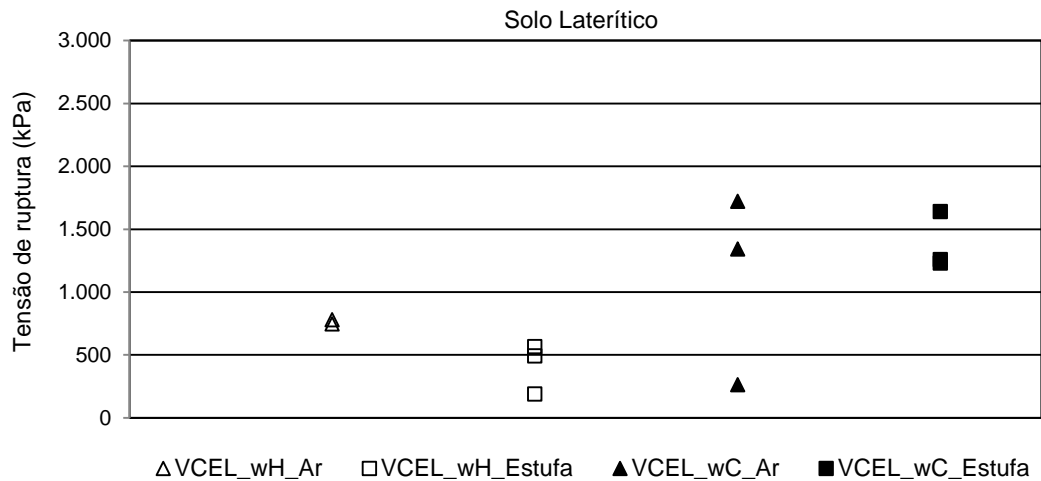


Figura 5.53 - Resistência das esferas.

5.5.4 Sucção

O ponto de entrada de ar dos macroporos nesse solo é de aproximadamente 3 kPa com umidade correspondente ao término da entrada de ar em torno de 37% o que corresponde a um grau de saturação de aproximadamente 85%, ou seja, o volume de vazios dos macroporos é significativamente menor que o obtido para as outras erosões (Figura 5.54). O ponto de entrada de ar nos microporos corresponde a um sucção de aproximadamente 5000 kPa com umidade em torno de 16% e grau de saturação de 40%. Essa curva característica aponta para a importante susceptibilidade do solo a instabilizações quando do aumento de umidade que implique em significativa perda de sucção.

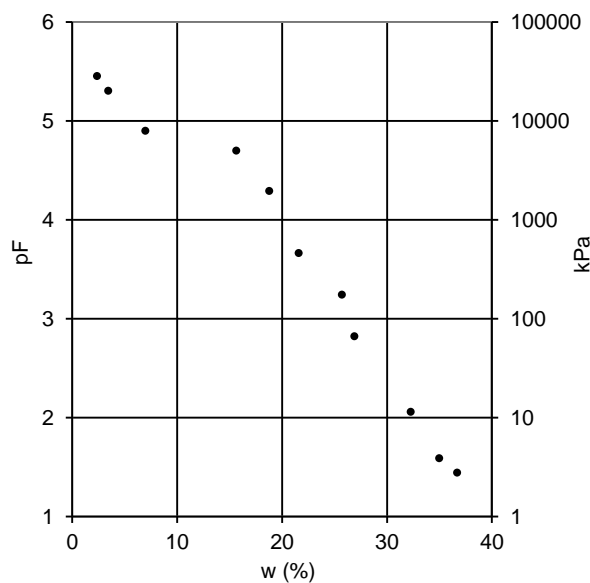






Figura 5.54 - Curva característica do solo laterítico da voçoroca Colégio Estadual.

5.5.5 Perda de Massa por Imersão

Os dados de perda de massa por imersão do solo laterítico da voçoroca Colégio Estadual estão apresentados na Tabela 5.50. O solo laterítico da voçoroca Colégio Estadual apresentou uma tendência de perda de massa muito inferior aos demais solos lateríticos analisados nessa pesquisa. Os valores de P_i foram superiores a 16% não ultrapassando 45%. Verificou-se nesse solo uma perda de massa significativamente menor do que nos solos lateríticos oriundos das demais erosões. Assim como na voçoroca Cidade Jardim atribui-se esse comportamento ao fato de ser um solo mais argiloso que os demais solos lateríticos ensaiados, mas principalmente ao fato da amostra estar mais úmida no início do ensaio implicando em sucções pequenas, aproximadamente 10 kPa segundo a curva característica.

Tabela 5.50 – Perda de massa por imersão do solo laterítico da voçoroca Colégio Estadual.

Descrição	Corpo de Prova			
	1	2	3	4
Umidade do CP	32,38	32,38	32,38	32,38
Desplacamento	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
P_i (%)	45,0	16,0	13,8	35,6

Corpo de prova após ensaio				
----------------------------	---	---	--	---

5.5.6 Desagregação

A Tabela 5.51 apresenta os resultados do comportamento do solo laterítico da voçoroca Colégio Estadual no ensaio de desagregação.

Tabela 5.51 – Resultados do ensaio de desagregação para os solos da voçoroca Colégio Estadual.

Solo	Fases		Descrição	w_c (%)
Laterítico	Inundação Imediata		Um bloco teve o topo comprometido e outra permaneceu intacta	28,0
	Inundação Parcial	Amostra com água na base por 30 min	Pouca alteração	
		Água em 1/3 de altura	Solapamento leve das bases	
		Água em 2/3 de altura	Sem alterações relevantes no topo e base medianamente alterada	
	Imersão completa	Blocos praticamente intactos, com pequenas alterações		

No ensaio de desagregação o solo laterítico da voçoroca Colégio Estadual (Figura 5.55) ao

sofrer a inundação imediata um dos corpos de prova desagregou o topo e outro ficou intacto. Na inundação parcial a desagregação da base evoluiu sutilmente não ocorrendo desagregação relevante do topo e sem a desestruturação total dos dois corpos de prova ao fim do ensaio. Tais resultados também devem estar atrelados a natureza laterítica do solo e   baixa sucção inicial atuante.

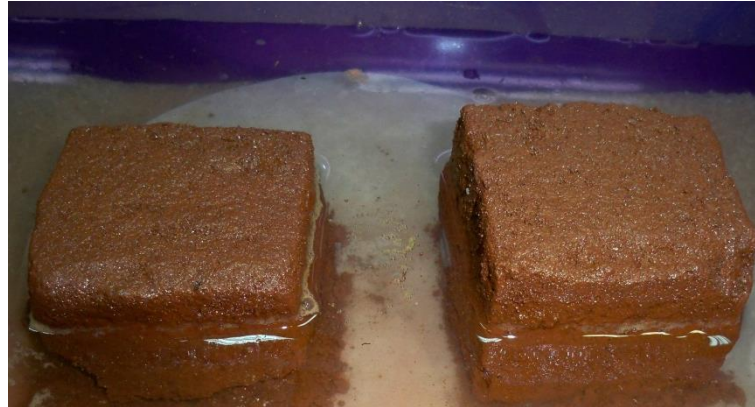


Figura 5.55 - Ensaio de desagregação por inundação parcial do solo laterítico da voçoroca Colégio Estadual.

5.5.7 Inderbitzen

No ensaio de inderbitzen do solo laterítico da voçoroca Colégio Estadual, foi possível observar uma perda total de solo de aproximadamente $4,8 \text{ g/mm}^2 \times 10^{-3}$ (Figura 5.56). A distribuição dessa perda variou no tempo e de acordo com o tamanho das partículas. De 0 a 5 minutos não ocorreram perdas, as quais só iniciaram entre 5 e 10 minutos se acentuando até 20 minutos quando as perdas se estabilizaram. As maiores perdas ocorreram no material retido na peneira #100, seguido do retido na peneira #40 e na peneira #200 respectivamente.

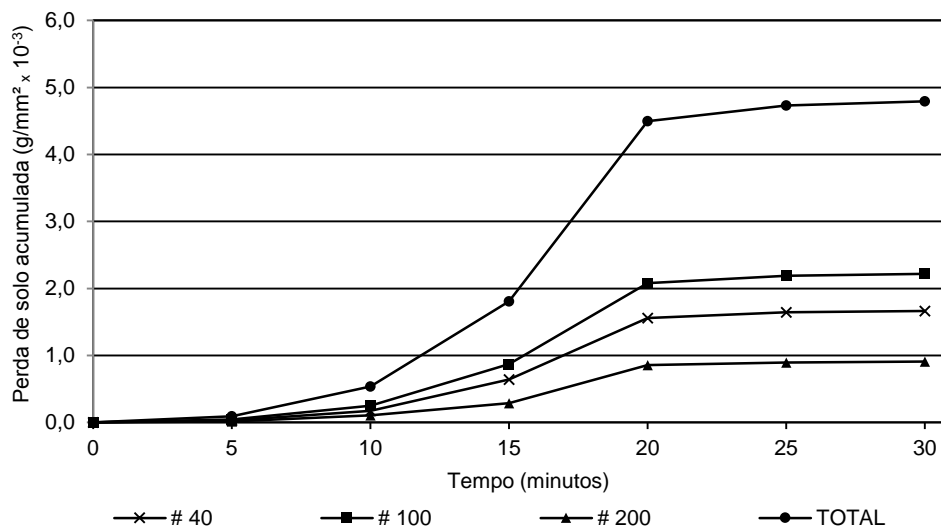


Figura 5.56 – Resultados do ensaio de inderbitzen para o solo laterítico da voçoroca Colégio Estadual.

5.5.8 Pinhole

O ensaio de *pinhole* realizado no solo laterítico da voçoroca Colégio Estadual apresentou mediante a aplicação das cargas hidráulicas, fluxos que permitiram, segundo a NBR 14114 (ABNT, 1998), classificá-lo como incipientemente dispersivo (ND2), constatando-se um efluente com leve turbidez. No gráfico de vazão *versus* carga hidráulica (Figura 5.57) é possível verificar na curva de carga um comportamento quase linear com suave inflexão voltada para baixo confirmando o comportamento incipientemente dispersivo apontado pela classificação. Dada a natureza mineralógica desse solo e ao intemperismo pelo qual passou essa classificação assume caráter apenas de referência e os fenômenos envolvidos dizem respeito a variações estruturais, indicativas de pequeno potencial a erosão interna e não à dispersividade propriamente dita. Já a curva de descarga aparece plotada ligeiramente acima da curva de carregamento. Isso permite deduzir que pode ter ocorrido apenas pequena desagregação do solo junto ao canal de fluxo indicativa de pequeno potencial de eluviação e esqueletização.

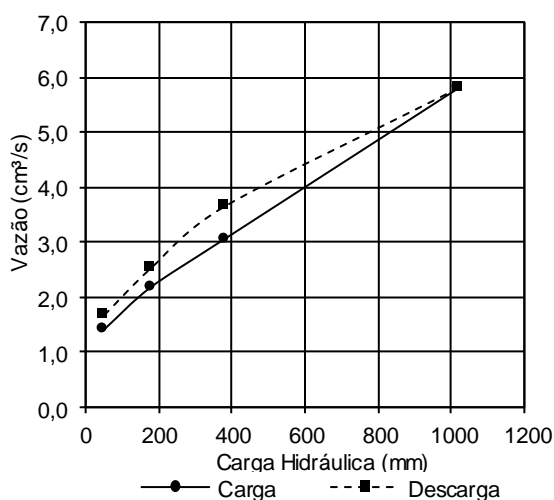


Figura 5.57 - Resultado do ensaio de *pinhole* do solo laterítico da voçoroca Contorno.

5.5.9 Cisalhamento

Nos ensaios de cisalhamento direto sobre o solo laterítico da voçoroca Colégio Estadual foi possível observar na fase de adensamento (Figura 5.58 a), um recalque imediato muito pequeno para as tensões confinantes de 25 kPa e 50 kPa aumentando para as tensões confinantes de 100 kPa e ficando bem acentuados para a tensão confinante de 200 kPa. Após a inundação (Figura a) esse solo não se comportou como os demais solos lateríticos analisados não sendo possível verificar recalques para a tensão de 25 kPa. Recalques suaves

são verificados para tensão de 50 kPa e mais acentuados para as demais tensões. Portanto, é possível estabelecer o entendimento que esse solo devido à baixa sucção inicial aliado ao fato de não aparecer na curva característica indícios de macroporosidade muito elevada fez com que o colapso por inundação não fosse muito significativo como no caso dos demais solos lateríticos estudados para as outras erosões. Todavia, os recalques observados não ocorreram de forma tão abrupta como nos demais solos lateríticos estudados apontando para uma menor colapsividade, ou seja, menor meta-estabilidade estrutural.

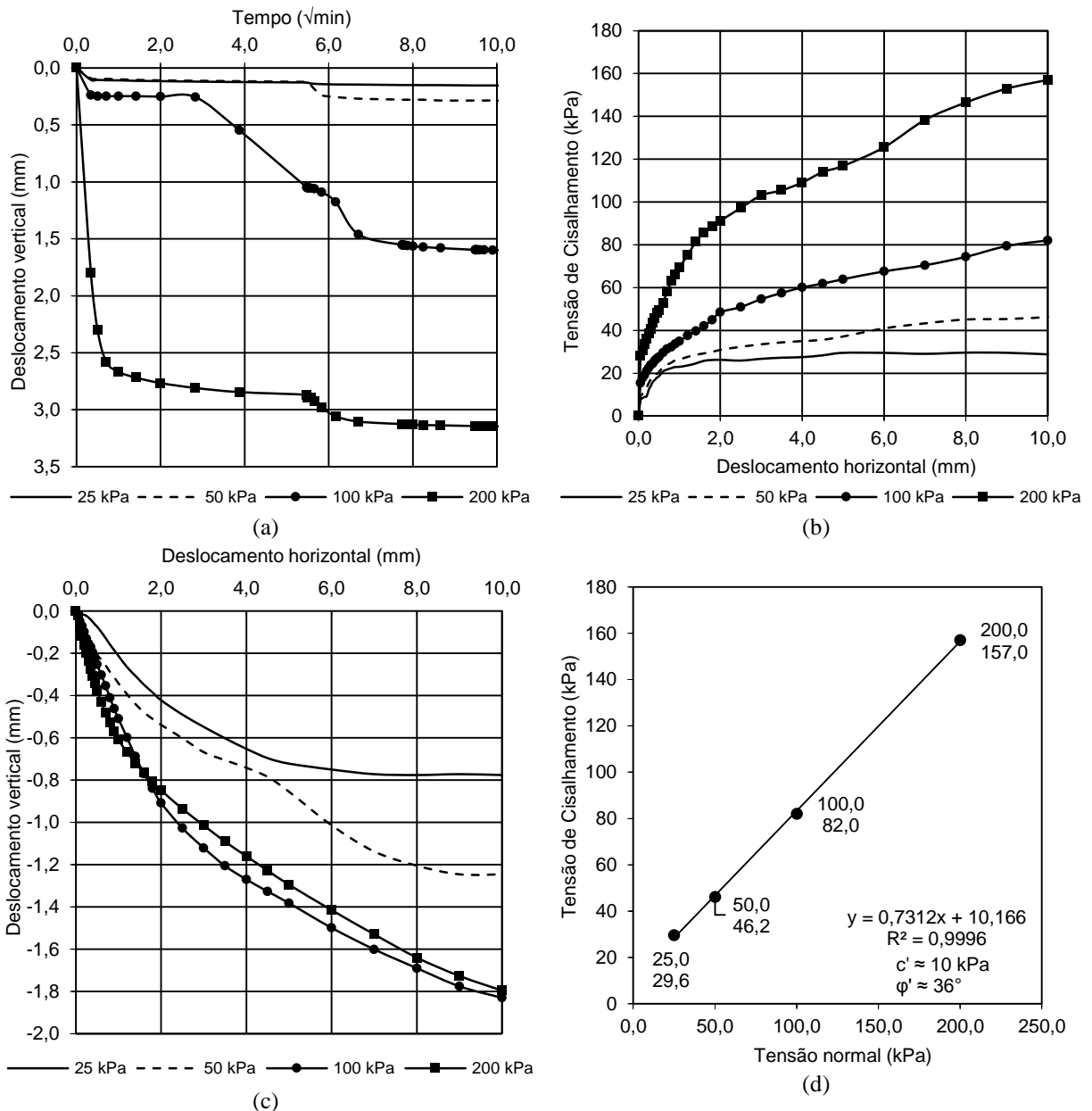


Figura 5.58 - Cisalhamento direto do solo laterítico da voçoroca Colégio Estadual: (a) fase de adensamento; (b) curva tensão de cisalhamento *versus* deslocamento horizontal; (c) curva deslocamento vertical *versus* deslocamento horizontal; (d) envoltória de ruptura.

Durante a fase de cisalhamento verificou-se na curva tensão de cisalhamento *versus*

deslocamento horizontal uma tendência de contínuo aumento da resistência sem a apresentação de picos, revelando um comportamento similar ao dos demais solos lateríticos estudados (Figura 5.58 b). Verifica-se ainda na curva de deslocamento vertical *versus* deslocamento horizontal (Figura 5.58 c), para todas as tensões confinantes, uma compressão do corpo de prova durante o cisalhamento, indicada pelo aumento absoluto do deslocamento vertical. Diante desse comportamento conclui-se que este solo se comporta de modo semelhante aos solos normalmente adensados.

Por fim, no gráfico da Figura 5.58 (d) é apresentada a envoltória de resistência para o solo VCEL, sendo possível notar a existência de uma coesão de 10 kPa e um ângulo de atrito de 36°. Esses valores são característicos de solos arenosos que é como o solo em questão se apresenta em campo, conforme foi demonstrado pela análise granulométrica (item 5.5.2) onde os ensaios granulométricos sem o uso de defloculante apontam para um percentual de areia em torno de 87% justificados principalmente pela constituição do solo rica em agregados de óxido-hidróxido de ferro e alumínio.

5.6 ANÁLISE COMPARATIVA DAS CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DO SOLO DAS VOÇOROCAS PESQUISADAS

Mineralogicamente todos os solos, tanto lateríticos como saprolíticos, apresentaram no ensaio com a amostra total o quartzo em maior quantidade, sendo os picos altos e com base estreita indicativos de um bom grau de cristalinidade desse mineral. Essa característica do quartzo se reflete na granulometria, onde todos os solos possuem, mesmo no ensaio com defloculante, mais de 25% de fração areia. Posteriormente, a caulinita é o mineral que aparece com maior intensidade principalmente nos solos saprolíticos uma vez que nos lateríticos ela cede espaço para a gibbsita dela originária. Esse comportamento da caulinita nas lâminas de amostra total não é verificado nos solos lateríticos da voçoroca Cidade Jardim (VCJ) e Colégio Estadual (VCEL), onde a gibbsita é o mineral que aparece com maior intensidade depois do quartzo. Destaca-se ainda que, pelo fato da gibbsita ser um mineral resultante de profunda alteração intempérica não é muito comum que ela ocorra em solos saprolíticos, todavia ela aparece no solo saprolítico da voçoroca Túnel (VTS). Ainda nas lâminas de amostra total é possível notar que a hematita tende a aparecer com menor intensidade ou como traço. Nas lâminas orientadas de fração argila o quartzo e a caulinita aparecem nos solos saprolíticos com maior incidência, enquanto em todos os solos lateríticos existe a presença de gibbsita. A illita não

muito comum em solos intemperizados aparece no solo laterítico da voçoroca contorno.

A Tabela 5.52 apresenta os índices físicos de todos os solos das voçorocas estudadas nessa pesquisa.

Tabela 5.52 – Índices físicos dos solos estudados

Solo	w_{nat} (%)	w_h (%)	γ_{nat} (kN/m ³)	G_s	γ_s (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	e	n (%)	S_r (%)
VTL	19,7	2,9	---	2,81	---	---	---	---	---
VTS	40,0	5,3	17,4	2,86	28,0	12,5	1,247	55,5	91,2
VCL	15,0	2,7	17,4	2,79	27,4	15,1	0,808	44,7	52,8
VCS	19,4	0,8	18,1	2,76	27,1	14,7	0,840	45,7	63,7
VGBL	14	1,22	13,7	2,76	27,1	12,1	1,230	55,1	31,8
VGBS	21	1,87	17,4	2,76	27,1	14,4	0,881	46,8	66,5
VCJL	31	1,22	12,7	2,74	26,9	9,5	1,840	64,8	46,9
VCJS	16	1,87	12,6	2,76	27,1	10,7	1,529	60,5	28,5
VCEL	30	1,32	15,7	2,80	27,4	12,2	1,249	55,5	66,6

Considerando os índices físicos dos solos estudados (Tabela 5.52), as umidades naturais dos solos variaram conforme as influências ambientais como proximidade do nível d'água e disponibilidade de umidade na atmosfera. Já a variação da umidade higroscópica foi comandada pela constituição mineralógica. O γ_{nat} variou entre 12,6 kN/m³ e 18,1 kN/m³. O G_s variou entre 2,74 e 2,86 predominando o padrão esperado para solos tropicais, sendo que os maiores valores estão associados a presença de minerais magnéticos. A porosidade dos solos é alta, superior a 50%, sendo os solos lateríticos, como esperado, mais porosos que os saprolíticos.

Do ponto de vista granulométrico nos solos ensaiados com defloculante químico, verificou-se que as amostras de solo laterítico possuem mais de 25% de areia sendo que em média esses solos possuem aproximadamente 34% dessa fração granulométrica. Nos solos saprolíticos a areia contribui em mais de 17% na composição granulométrica sendo que em média esses solos possuem cerca de 28% de areia.

A fração granulométrica do tamanho silte, nos solos lateríticos é superior a 7% e inferior a 23%, contribuindo em média com 13% na composição granulométrica desses solos. Nos solos saprolíticos os percentuais de silte são maiores, sendo superiores a 29% e inferiores a 64%. Sendo assim, esses solos apresentam em média cerca de 44% de silte. O teor de argila, nos solos lateríticos é superior a 20% e inferior a 57% contribuindo em média com 43% da composição granulométrica desses solos. Nos solos saprolíticos os percentuais de argila são superiores a 14% e inferiores a 39%, constituindo em média 23% da composição

granulométrica desses solos. Verifica-se, portanto, que no caso de solos ensaiados com defloculante, em geral os solos lateríticos apresentam um comportamento granulométrico que tendem para argilo-arenoso enquanto os solos saprolíticos tendem a silto-arenosos.

Ainda no que tange a granulometria foi possível notar que o solos ensaiados com a umidade de campo preservada, especialmente os lateríticos, apresentaram maior percentual de finos. Essa maior agregação no solo seco pode ter sua origem no próprio processo de formação de lateritas ferruginosas. Os materiais lateríticos possuem a tendência de endurecer irreversivelmente quando expostos ao ar. O próprio termo laterita foi criado na Índia em 1807 por Buchanann que observou esse fenômeno em materiais argilosos enriquecidos em ferro. Sendo assim, no casos estudados o processo de secagem poderia favorecer a mobilização do ferro. Evidentemente que o processo de laterização ocorre numa escala de atuação no tempo geológico, mas é provável que em uma escala menor com uma intervenção laboratorial de secagem pode-se aproximar dos processos químicos que em larga escala e tempo geológico formaram as carapaças ferruginosas do planalto central.

De um modo geral, o fato do solo ter sido submetido ao ensaio com umidade de campo resultou em limites de liquidez ligeiramente menores, principalmente nos solos saprolíticos. Essa tendência se repete para o caso do limite de plasticidade. Salienta-se que o solo saprolítico da Voçoroca Túnel (VTS) apresentou um comportamento peculiar tendo, quando ensaiado com a umidade de campo, valores superiores aos de quando ensaiado após secagem prévia, sendo tal comportamento atribuído a presença de montmorilonita.

Enfatiza-se ainda que no caso do índice de plasticidade a tendência dos solos foi de apresentarem valores de I_p bastante semelhantes tanto para solos ensaiados com umidade de campo como com secagem prévia. Mas também nesse caso o solo saprolítico da Voçoroca Túnel (VTS) apresentou um comportamento distinto com um valor de I_p , quando ensaiado com secagem prévia, superior ao da amostra ensaiada com a umidade de campo preservada.

As amostras VTL e VCEL também se comportaram como a VTS, porém com uma elevação de valores mais discreta. Cabe destacar que essa tendência dos solos ensaiados com a umidade de campo apresentarem valores de W_L e W_P ligeiramente menores que os solos ensaiados com secagem prévia pode ser apenas uma variação do próprio ensaio.

Os resultados comparativos da classificação granulométrica, SUCS e MCT expedito estão apresentados na Tabela 5.53.

Tabela 5.53 - Classificação dos solos estudados.

Solo	Granulométrica		SUCS		MCT Expedita
	Com defloculante	Sem defloculante	Com defloculante	Sem defloculante	
VTL _{wh}	Areno argiloso	Arenoso	SM (Areia siltosa)	SW-SM (Areia bem graduada siltosa)	LG' (Laterítico Argiloso)
VTL _{wc}	Areno argiloso	Arenoso	ML (Silte de baixa plasticidade)	SW-SM (Areia bem graduada siltosa)	LA'/LG' (Laterítico Arenoso / Argiloso)
VTS _{wh}	Silto Argiloso	Arenoso	MH (Silte de alta plasticidade)	MH (Silte de alta plasticidade)	NG' (Não Laterítico Argiloso)
VTS _{wc}	Silto Argiloso	Arenoso	MH (Silte de alta plasticidade)	SM (Areia siltosa)	NG' (Não Laterítico Argiloso)
VCL _{wh}	Areno Argiloso	Arenoso	SM (Areia siltosa)	SM (Areia siltosa)	LG' (Laterítico Argiloso)
VCL _{wc}	Argilo Arenosa	Arenoso	ML (Silte de baixa plasticidade)	SM (Areia siltosa)	LG' (Laterítico Argiloso)
VCS _{wh}	Areno Siltoso	Arenoso	ML (Silte de baixa plasticidade)	SM (Areia siltosa)	NG' (Não Laterítico Argiloso)
VCS _{wc}	Areno Siltoso	Arenoso	SM (Areia siltosa)	SM (Areia siltosa)	NG' (Não Laterítico Argiloso)
VGBL _{wh}	Argilo Arenoso	Arenoso	ML (Silte de baixa plasticidade)	SP-SM (Areia mal graduada siltosa)	LG' (Laterítico Argiloso)
VGBL _{wc}	---	---	---	---	LG' (Laterítico Argiloso)
VGBS _{wh}	Silto Arenoso	Arenoso	MH (Silte de alta plasticidade)	SM (Areia siltosa)	NG' (Não Laterítico Argiloso)
VGBS _{wc}	---	---	---	---	NG' (Não Laterítico Argiloso)
VCJL _{wh}	Argilo Arenoso	Arenoso	ML (Silte de baixa plasticidade)	SP-SM (Areia mal graduada siltosa)	LG' (Laterítico Argiloso)
VCJL _{wc}	---	---	---	---	LG' (Laterítico Argiloso)
VCJS _{wh}	Silto Arenoso	Silte Arenoso	MH (Silte de alta plasticidade)	MH (Silte de alta plasticidade)	NG' (Não Laterítico Argiloso)
VCJS _{wc}	---	---	---	---	NS'/NA' (Não Laterítico siltoso /arenoso)
VCEL _{wh}	Argilo Arenoso	Arenoso	ML (Silte de baixa plasticidade)	SM (Areia siltosa)	LG' (Laterítico Argiloso)
VCEL _{wc}	---	---	---	---	LG' (Laterítico Argiloso)

Do ponto de vista da classificação SUCS (Tabela 5.53), todos os solos ensaiados com umidade higroscópica e submetidos ao ensaio granulométrico com defloculante apresentaram

mais de 50 % de finos sendo classificadas como silte com a plasticidade variando entre alta e baixa. Todavia, aparecem como exceção os solos lateríticos das voçorocas Túnel e Contorno, ensaiados com umidade higroscópica os quais foram classificados como areia siltosa (SM), como consequência de terem uma menor proporção de finos. Quando a classificação SUCS foi aplicada aos solos com umidade higroscópica com ensaio granulométrico sem defloculante a maioria dos solos se comportou como areia com variações entre areia bem graduada siltosa, areia mal graduada siltosa e areia siltosa. Como exceções apareceram os solos saprolíticos das voçorocas Túnel e Contorno, os quais devido ao alto percentual de finos continuaram classificados como silte de alta plasticidade.

Considerando a análise dos resultados dos ensaios da classificação MCT expedita (Tabela 5.53) verificou-se que em todas as pastilhas de solo laterítico não houve penetração enquanto que nas pastilhas do solo saprolítico a penetração total foi predominante de 5 mm. A Classificação MCT expedita dos solos estudados revelou que independente do fato de serem ensaiados com a umidade de campo ou com a umidade higroscópica existe a confirmação dos solos lateríticos classificados como Laterítico Argiloso (LG[']) e dos solos saprolíticos serem classificados como Não Laterítico Argiloso (NG[']). Ocorreram apenas duas exceções, sendo uma no solo saprolítico e outra no solo laterítico. O solo saprolítico da voçoroca Cidade Jardim (VCJS) quando ensaiado com a umidade de campo foi classificado como Não Laterítico Silto/Argiloso (NS[']/NA[']). O solo laterítico da voçoroca Túnel (VTL), também quando ensaiado úmido, foi classificado como Laterítico Arenoso/Argiloso (LA[']/LG[']).

As diferenças encontradas nos parâmetros de MCT dos solos de todas as voçorocas ensaiados com umidade de campo e com umidade higroscópica podem ser consideradas pequenas e resultantes da própria variação do ensaio. Somente uma bateria mais ampla de repetições poderia indicar alguma tendência estatística de influência da umidade nos resultados.

Verificando a resistência das esferas concluiu-se que todos os solos lateríticos ensaiados com umidade higroscópica, tanto quando as esferas foram secas ao ar como quando as esferas foram secas em estufas, tiveram tensão de ruptura inferior a 1000 KPa. Essa tendência se repete nos solos lateríticos ensaiados com a umidade de campo preservada das voçorocas Túnel e Contorno. Já nas demais voçorocas houve uma tendência das tensões serem superiores a 1000 kPa e inferiores a 2000 kPa. Quanto aos solos saprolíticos, com exceção da voçoroca Túnel (VTS) todos os demais apresentaram tanto nas esferas secas ao ar como nas esferas secas em estufa tensão de ruptura abaixo de 500 kPa. O solo saprolítico da voçoroca

Túnel apresentou grande dispersão entre os valores de tensão principalmente para a amostra ensaiada com secagem prévia.

No ensaio de sucção é possível verificar na Figura 5.59 a tendência de comportamento bimodal dos solos lateríticos e monomodal dos solos saprolíticos. Nos solos lateríticos a entrada de ar nos microporos está entre 4.000 e 10.000 kPa em umidades que variam entre 12% a 20%. Ainda nos solos laterítico verificou-se que a entrada de ar nos macroporos é baixa entre 2 e 3 kPa em umidade entre 30% e 40%. Nos solos saprolíticos o ponto de entrada de ar na matriz de solo está entre 20 e 100 kPa com umidade variando entre 25% e 56%, sendo que no solo saprolítico da voçoroca Contorno os dados experimentais não permitiram a determinação da pressão de entrada de ar no solo.

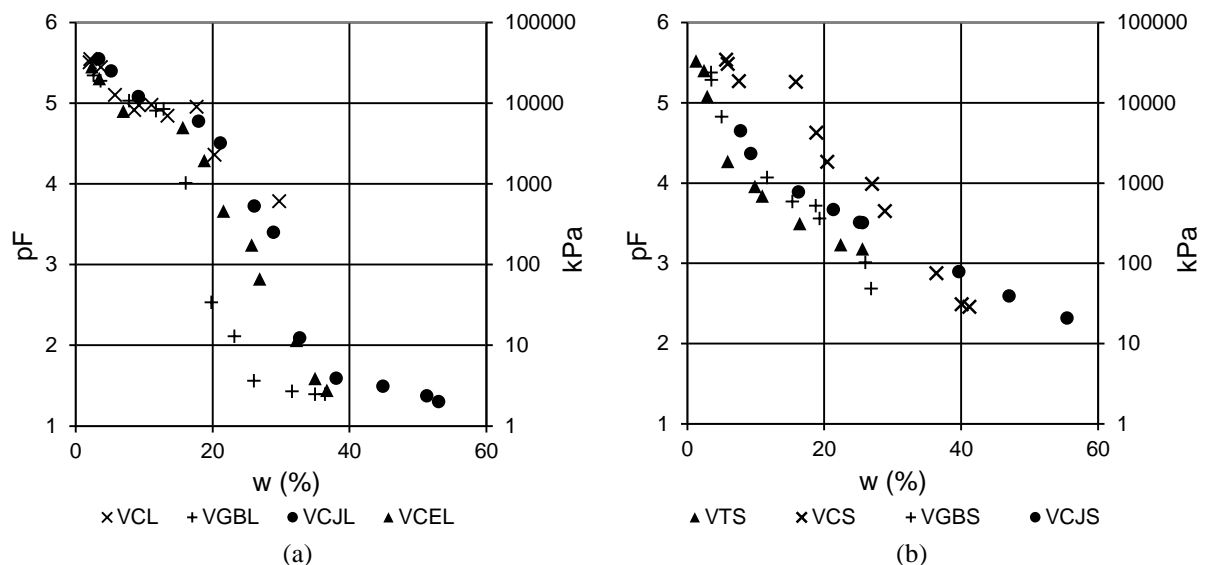


Figura 5.59 - Comparação dos resultados do ensaio de sucção: (a) solo laterítico; (b) solo saprolítico.

No ensaio de perda de massa por imersão observou-se que os solos lateríticos os percentuais de P_i tenderam a ser muito elevados nas voçorocas Contorno e Geovane Braga, diminuindo na voçoroca Cidade Jardim e ficando muito baixos na voçoroca Colégio Estadual. Esse comportamento pode ser atribuído a uma atenuação do efeito da pressão de ar nos solos com maior umidade inicial na hora do ensaio como ocorreu com as voçorocas Cidade Jardim e Colégio Estadual. Além disso, os solos destas duas últimas voçorocas também possuem percentual de argila mais elevado do que os das demais.

No caso dos solos saprolíticos, tendem a ter percentuais de P_i muito baixos, sendo que o aumento nesses valores sempre está associado a deslocamentos. Esses deslocamentos tem uma relação com planos preferenciais de ruptura como veios de quartzo e fraturas. Essas fraturas favorecem a circulação de água e conseqüentemente também forma microzonas de

maior intemperização. Destaca-se também que a macro-orientação de argilominerais, principalmente os expansivos, podem favorecer rupturas.

No ensaio de desagregação com inundação parcial os solos lateríticos tiveram a base comprometida o que levou ao desabamento do corpo de prova que em alguns casos manteve o topo preservado. O solo laterítico da voçoroca Colégio Estadual manteve um comportamento mais estável, pois os blocos ensaiados ficaram praticamente intactos. O comportamento dos solos lateríticos se manteve coerente com o ensaio de perda de massa por imersão, onde os solos lateríticos das voçorocas Contorno e Geovane Braga apresentaram maiores percentuais de P_i e uma desagregação mais acentuada. A voçoroca Cidade Jardim apresentou, para o solo laterítico valores de P_i menores e igualmente um comportamento desagregador inferior aos das demais voçorocas. Por fim, o solo laterítico da voçoroca Colégio Estadual mostrou uma considerável resistência a desagregação, tendo sido o solo laterítico que apresentou os menores valores de P_i .

Nos solos saprolíticos o comprometimento do corpo de prova tendeu a ocorrer também no topo com abertura de fraturas e veios, sendo que a maioria manteve uma desagregação pequena. Todavia no solo saprolítico da voçoroca Cidade Jardim a abertura de trincas no topo foi muito forte levando a desagregação total das amostras. Já no ensaio de desagregação com inundação imediata as amostras de solo laterítico tiveram desagregação da base sem necessariamente sofrerem desagregação completa, sendo que um dos corpos de prova da voçoroca Cidade Jardim desmoronou. No solo saprolítico a inundação imediata garantiu o mesmo tipo de comportamento, onde a água escolheu as fraturas como caminho preferencial, sendo que na voçoroca cidade Jardim o solo saprolítico também desmoronou. Esses solos também tiveram, no ensaio de desagregação, uma coerência com o ensaio de perda de massa por imersão, onde a elevação nos valores de P_i tiveram uma relação forte com fraturas e veios, os quais por sua vez influenciaram na desagregação dos solos saprolíticos.

Deve-se salientar que a amostra não foi imersa no recipiente pleno em água, mas ao contrário o recipiente já contendo a amostra foi sendo preenchido paulatinamente por água. Logo, o umedecimento foi gradual e, portanto, minimizou o efeito de pressão de ar no solo.

Os resultados comparativos do ensaio de inderbitzen para os solos laterítico e saprolíticos são apresentados na Figura 5.60. No ensaio de inderbitzen realizado nos solos lateríticos a maior quantidade de perda de solo foi registrada aos 15 minutos de ensaio com exceção do solo laterítico da voçoroca Cidade Jardim, onde a maior perda foi registrada nos primeiros 5

minutos de ensaio. Os solos que apresentaram maior perda de solo foram respectivamente VCEL, VGBL e VCL, sendo a menor perda registrada no solo VCJL. No caso dos solos saprolíticos as maiores perdas foram registradas nos primeiros 5 minutos de ensaio, com exceção do solo saprolítico da voçoroca Cidade Jardim onde as maiores perdas ficaram entre 5 e 10 minutos de ensaio. Os solos que apresentaram maior perda de solo foram respectivamente VTS, VGBS e VCS, sendo a menor perda registrada no solo VCJS.

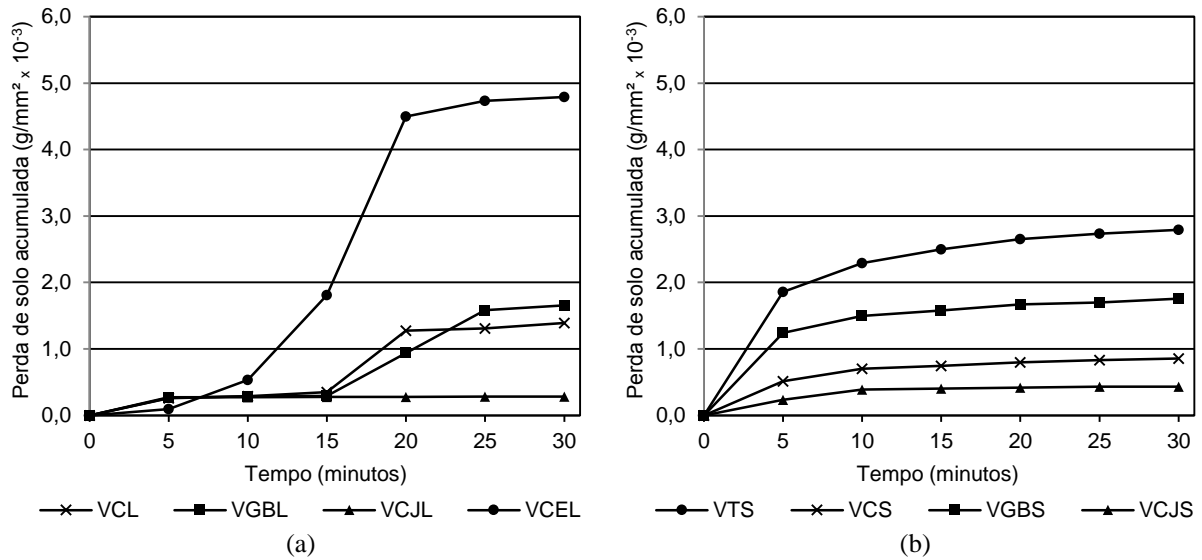


Figura 5.60 - Comparação dos resultados do ensaio de inderbitzen: (a) solo laterítico; (b) solo saprolítico.

Constata-se que os solos da voçoroca Cidade Jardim apresentaram maior estabilidade a erosão superficial corroborando com os resultados obtidos nos ensaios de perda de massa por imersão e desagregação, onde também teve um comportamento relativamente estável frente ao mecanismos de erosão. Todavia, quanto aos fluxos internos ela registrou o maior potencial a erosão interna como verifica-se no ensaio de *pinhole*. No caso da voçoroca colégio estadual, seu solo laterítico apresentou a menor estabilidade frente a erosão superficial, mesmo tendo apresentado um comportamento estável nos demais ensaios hidromecânicos. Tal comportamento no ensaio de inderbitzen deve ter ocorrido pois esse solo possui uma saturação, no início do ensaio, mais elevada do que a dos demais solos (cerca de 66%) dificultando a infiltração e favorecendo o escoamento superficial nas condições de inclinação impostas pelo ensaio. Essa combinação aumenta a energia cinética da água e por conseguinte sua força trativa na remoção de partículas de solo.

A influência da saturação na perda de solo por erosão superficial também pode ser constatada no solo saprolítico da voçoroca Túnel para o qual a saturação no início do ensaio estava em torno de 91%. Verifica-se portanto ao relacionar a perda de solo com o grau de saturação dos

solos de todas as amostras que esse parâmetro físico do solo influenciou sobremaneira na erosão superficial simulada no *inderbitzen*.

Nos ensaios realizados por Santos (1997) todos os solos apresentaram as maiores perdas nos primeiros 5 minutos de ensaio, todavia esse autor uniformizou as condições de saturação dos solos ensaiados. Nessa pesquisa o corpo de prova foi submetido ao ensaio mantendo-se a umidade de campo, sendo as variações de umidade entre as amostras responsáveis pela diferença entre o tempo de maior perda. Santos (1997) observou também uma maior erosão para os solos saprolíticos. Ao contrário do observado por Santos (1997) os solos lateríticos e saprolíticos estudados nessa tese não evidenciaram um padrão de maior ou menor perda de solo, entre si, no ensaio de *Inderbtzien*.

Os materiais que tiveram a maior perda nos solos lateríticos ficaram retidos predominantemente na peneira #100 sendo que no caso do solo laterítico da voçoroca Contorno as maiores perdas foram de materiais retidos na peneira #200. As menores perdas dos solos lateríticos ficaram retidas na peneira #200, com exceção da voçoroca Contorno, onde as menores perdas estão relacionadas ao material retido na peneira #40. Nos solos saprolíticos as principais perdas ocorreram nos materiais retidos na peneira #100 e #40 com exceção da voçoroca Cidade Jardim, onde as maiores perdas se concentraram na peneira #200. As menores perdas se concentraram na peneira #200, sendo que na voçoroca Cidade Jardim as menores perdas estão relacionadas a materiais retidos na peneira #40. Destaca-se que essa distribuição da perda deve possuir uma relação com a composição granulométrica dos solos

No que se refere ao *pinhole*, é importante destacar que a NBR 14114 (ABNT, 1998), aponta que as vazões, a área e a forma de seção transversal final dos furos através dos corpos de prova indeformados (como foram ensaiados nessa pesquisa) podem variar consideravelmente daquelas observadas em corpos de prova compactados. A macroestrutura dos solos tais como a estratificação, vazios irregulares e maior heterogeneidade, podem influenciar na velocidade e na natureza da erosão ao longo do furo até mais que a presença de argilas dispersivas as quais inclusive tendem a não ocorrer em solos laterizados. Logo, a norma alerta para o fato de que em solos não compactados a turbidez do efluente pode ser mais importante que a vazão.

A Tabela 5.54 apresenta a classificação quanto a dispersão dos solos estudados verificada no ensaio de *pinhole*, através da aplicação de cargas hidráulicas e o comportamento das vazões resultantes. Além disso, apresentam-se também os resultados quanto ao potencial de erosão

interna (*pinhole*) obtido por meio da correlação com a classificação de dispersividade e da análise do comportamento da curva de carregamento hidráulico, uma vez que a constituição mineralógica dos solos laterítico não resulta em comportamento dispersivo, mas pode apresentar erosão interna passível de ser interpretada neste ensaio. Também foram analisados por meio da curva de descarga o potencial a eluviação e esqueletização.

Tabela 5.54 - Comparação dos resultados do ensaio de *pinhole*.

Solo	Dispersão	Erosão Interna (<i>pinhole</i>)	Eluviação esqueletização
VTS	ND1 - Não dispersivo	Sem potencial	Sem potencial
VCL	ND1 - Não dispersivo	Sem potencial	Sem potencial
VCS	ND2 - Incipientemente dispersivo	Sem potencial	Sem potencial
VGBL	ND2 - Incipientemente dispersivo	Pequeno potencial	Pequeno potencial
VGBS	ND1 - Não dispersivo	Sem potencial	Pequeno potencial
VCJL	D1 - Dispersivo	Alto potencial	Não verificado
VCJS	ND1 - Não dispersivo	Sem potencial	Pequeno potencial
VCEL	ND2 - Incipientemente dispersivo	Pequeno potencial	Pequeno potencial

Nos solos estudados verificou-se quanto a dispersividade, um comportamento entre não dispersivo e incipientemente dispersivo. Apenas o solo laterítico da voçoroca Cidade Jardim apresentou comportamento dispersivo. No que tange a erosão interna verificou-se ausência de potencial na maioria dos solos e pequeno potencial nos solos VGBL e VCEL, sendo que apenas o solo VCJL apresentou alto potencial a erosão interna (Figura 5.61).

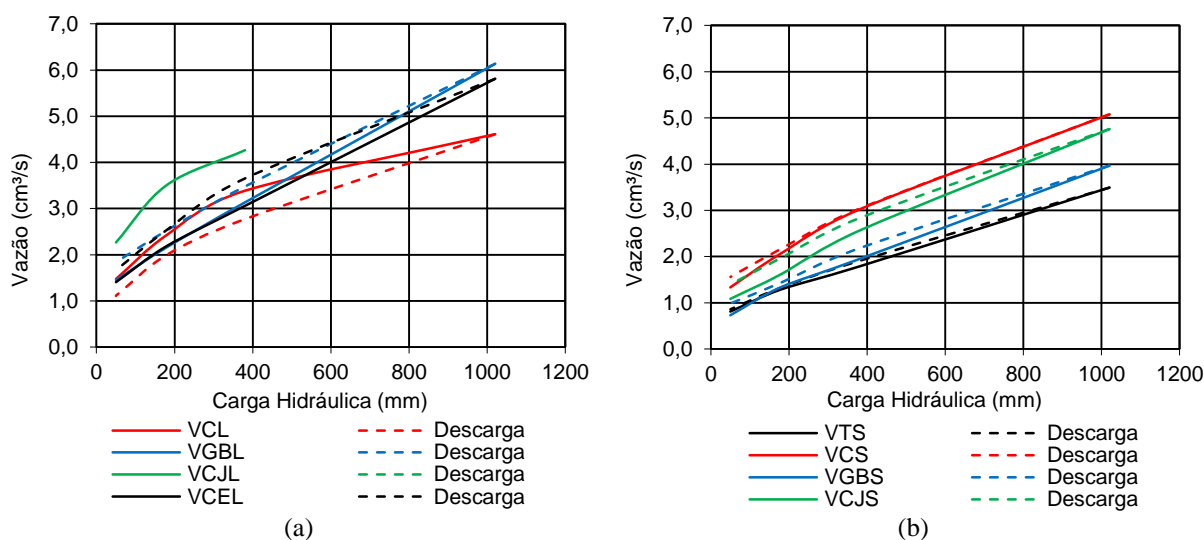


Figura 5.61 - Comparação dos resultados do ensaio de *pinhole*: (a) solo laterítico; (b) solo saprolítico.

Por fim, no que se refere a eluviação e esqueletização, os solos foram classificados entre pequeno potencial a ausência de potencial. Verifica-se portanto, que a tendência de erosão interna, eluviação e esqueletização é baixa na maioria dos solos (Figura 5.61). Logo, conclui-

se que esses solos, mediante fluxo interno, apresentam baixa tendência a ocorrência de *piping*. De fato, os resultados desse ensaio laboratorial confirmam observações de campo realizadas nas erosões estudadas, onde a ocorrência de *piping* é rara.

Nos ensaios de cisalhamento direto foi possível verificar que os solos lateríticos tendem a apresentar um comportamento colapsível. Já os solos saprolíticos apresentam comportamento similar ao de argilas pré-adensadas ou areias compactas, tendo sido verificado no solo VTS um indicativo de expansão confirmado em outros ensaios e na análise mineralógica que revelou a presença de montmorilonita.

Quanto à coesão e ao ângulo de atrito (Tabela 5.55), observou-se que todos os solos tanto lateríticos como saprolíticos apresentaram valores característicos de solos arenosos que é como esses solos se comportam em campo. Nos solos saprolíticos esse comportamento pode ser atribuído a uma influência mineralógica com a presença de quartzo e algum nível de agregação das frações de silte na forma de areia. Nos solos lateríticos pela constituição rica em agregados de óxido-hidróxido de ferro e alumínio que fazem as argilas se comportarem como areia. Destaca-se que em todos os solos os percentuais de areia sem o uso de defloculante tende a ultrapassar 50% e muitos se aproximam de 90%.

Tabela 5.55 - Valores de coesão e ângulo de atrito dos solos estudados.

Solo	c'	φ'
VTS	20 kPa	27°
VCL	1 kPa	27°
VCS	0 kPa	40°
VGBL	2 kPa	37°
VGBS	29 kPa	28°
VCJL	5 kPa	30°
VCJS	34 kPa	41°
VCEL	10 kPa	36°

Capítulo 6 - Uso e Cobertura do Solo

“São projeções dos homens (...) na continua e cumulativa antropomorfização da superfície terrestre.”

(Antonio Carlos Robert de Moraes)

Uso da terra ou uso do solo ou ocupação e uso do solo ou uso e cobertura do solo são os termos mais utilizados para designar os mapeamentos referentes às formas de ocupação humana na superfície terrestre. O uso da terra ou do solo resulta, segundo Carlos (2001), das necessidades de sobrevivência do homem produzindo, consumindo, habitando. Logo, de acordo com Almeida & Freitas (1996) esse uso pode ser agrícola, urbano, industrial entre outros. A cobertura se refere ao tipo de dossel resultante das estruturas dispostas na superfície. Quando naturais essas coberturas se referem, por exemplo, à vegetação natural, à lagos e cursos d'água; quando produtos da ação antrópica, podem ser, entre outros, plantações perenes ou sazonais, solo descoberto, áreas pavimentadas, edificações ou mesmo lagos. Nesse trabalho adotou-se a terminologia “uso e cobertura do solo”.

Contudo, Caseti (1991) aponta que o uso do solo não resulta da simples necessidade inata de ocupação, mas também, como destaca Arêdes & Coelho (2005, p278), da “[...] maneira como se efetivam e efetivaram-se as decisões políticas, econômicas e o estágio cultural de um povo [...]”, sendo, sobretudo, determinado pelas relações de produção que transformam a terra em mercadoria. Sendo assim, Jesus (2007) enfatiza que as várias formas de uso do solo podem alterar substancialmente o meio ambiente, gerando impactos diversos. Do ponto de vista dos impactos ambientais, o uso do solo para a implantação de qualquer atividade pode ser bem planejado, mal planejado ou mesmo não planejado. As ações de planejamento e gestão territorial podem ser auxiliadas, segundo Almeida & Freitas (1996), por informações de uso do solo que podem ser inseridas no contexto das cartas geotécnicas.

O uso e cobertura do solo de Anápolis serão analisados mediante uma contextualização histórica, pois segundo Jesus (2007) perpassar pelos principais momentos históricos que foram importantes para organização espacial da cidade, permite encontrar explicações sobre os conflitos entre seres humanos, e destes com o meio ecológico de modo a resultar em impactos ambientais. O surgimento e crescimento da cidade de Anápolis foram marcados por vários processos históricos que colaboraram para seu arranjo espacial e quantitativo populacional. Esses processos históricos estão amarrados a contextos mundiais, nacionais

e/ou regionais que se interconectam localmente.

6.1 DE FREGUESIA DE SANTANA DAS ANTAS À CIDADE DE ANÁPOLIS

A história de Anápolis começa a germinar no século XVIII e desponta ao longo dos anos até a atualidade com um acentuado crescimento populacional vinculado a vários processos históricos descritos na Tabela 6.1.

Tabela 6.1 - Processos históricos relacionados ao surgimento e crescimento de Anápolis como cidade (Faissol, 1952; Borges, 1975; Borges, 1990; Freitas, 1995; Polonial, 1995; Estevam, 1998; Polonial, 2000; Luz, 2001; Jesus, 2007 - Adaptado).

Data	Processo Histórico
Século XVIII	Mineração em Corumbá, Pirenópolis e Silvânia, cidades entre as quais está Anápolis.
1873	Criada a Freguesia de Santana das Antas.
1879	A Freguesia passou a pertencer ao município de Meiaponte atual Pirenópolis).
1887	Freguesia eleva-se à categoria de vila – Vila das Antas
Fim do século XVIII	A mineração entra em decadência; Pecuária extensiva e a agricultura de subsistência assumem o lugar da mineração; as atividades comerciais são incipientes.
1907	A Vila das Antas se transforma oficialmente na cidade de Anápolis.
1930	Revolução de 30 – Início da “Era Vargas” – Políticas da “Marcha para Oeste”.
1933	Início da Construção de Goiânia.
	Chegada da ferrovia em Anápolis;
1935	Surge a especulação fundiária, com a valorização das terras próximas à linha ferroviária; Fortalecimento do comércio atacadista.
1941	Surge uma Colônia Agrícola Nacional (CANG) no Vale do São Patrício, a 172 Km de Anápolis.
1942	Inauguração de Goiânia e oficialização da “Marcha para Oeste”
Década de 50	Crise no setor de transportes ferroviários em detrimento da expansão rodoviária.
1956	Início da construção de Brasília.
1960	Inauguração da rodovia Belém-Brasília.
Início da década de 70	Base Aérea de Anápolis teve sua construção iniciada.
Meados da década de 70	Implantação do Distrito Agroindustrial de Anápolis (DAIA).
Fim da década de 90	Implantação do Porto Seco.
	Plataforma Logística Multimodal ainda em fase de implantação;
Início do século XXI	A sede da Universidade Estadual de Goiás passa a ser em Anápolis. A UEG-Anápolis conta com 17 cursos disponibilizando centenas de vagas; Cria-se a unidade do IFG; São implantadas várias instituições particulares de ensino superior.
2013	Anápolis é considerada a terceira maior cidade de Goiás em número de habitantes.

Jesus (2007) afirma que existem controvérsias quanto ao surgimento de Anápolis que impossibilitam precisar cronologicamente a origem da cidade. Mas é de conhecimento geral

que a região onde hoje se situa a cidade foi ocupada no passado por fazendas, dentre as quais, uma abrigava a Capela de Santana, localizada próxima do Rio das Antas. Situada entre Silvânia, Pirenópolis e Corumbá esta localidade passou, com o auge da mineração de ouro nessas cidades, a fazer parte da rota dos tropeiros que nessa fazenda faziam pausa para descanso da tropa e pouso. Esse trânsito possibilitou o desenvolvimento de um comércio incipiente no local, reforçando o fluxo de pessoas. Assim foi se formando um pequeno aglomerado de habitações nas imediações do rio das Antas que em 1873 foi nomeado Freguesia de Santana das Antas a qual em 1887 é elevada à categoria de Vila das Antas para em 1907 se transformar oficialmente na cidade de Anápolis.

No final do Século XVIII, a mineração que havia excitado os fluxos e aglomerações de pessoas que promoveram o surgimento de Anápolis entra em decadência. Mas Anápolis continua crescendo, pois de acordo com Borges (1975), um grande fluxo de pessoas que passavam no local era atraído pelas águas abundantes e a excelência do clima. Assim a pecuária extensiva e a agricultura de subsistência e atividades comerciais incipientes assumem o lugar da mineração. Com a chegada da estrada de ferro na década de 30 a agricultura de subsistência desaparece, ocasionando uma dinamização comercial com ascensão do comércio atacadista e com intensificação das atividades comerciais intra-regionais e também conectando-se ao mercado nacional. Polonial (2000) aponta construções, crescimento populacional e valorização das terras como uma das principais consequência da ferrovia. A efervescência populacional e comercial em Anápolis também foi favorecida pelas políticas de colonização de Getúlio Vargas conhecida como “Marcha para Oeste”. Num contexto de guerra mundial por disputa de território, a principal intenção de Getúlio Vargas era ocupar o território brasileiro para protegê-lo dos interesses internacionais e afirmar a soberania nacional. A “Marcha para Oeste” incluiu, em Goiás, implantação de malha rodoviária, construção de Goiânia e instalação de colônias agrícolas.

Anápolis serviu de centro aparelhado de abastecimento da população e das obras de construção de Goiânia, com destaque para o fornecimento de tijolos e telhas. A função de centro abastecedor também serviu para atender a Colônia Agrícola Nacional de Goiás (CANG) localizada no Vale do São Patrício, a cerca de 140 Km de Anápolis. Essa área de expansão da fronteira agrícola também foi, segundo França (1973), sustentada pelos serviços da cidade de Anápolis. Segundo Faissol (1952), quando a rodovia que ligava a cidade à CANG foi construída, houve um notório crescimento da cidade para aquela direção. A CANG estimulou o movimento dentro da cidade com a comercialização de diversos tipos de

mercadorias dentre elas gêneros alimentícios, além do trânsito de imigrantes.

De acordo com Freitas (1995) a construção de Brasília também representou mais um marco da expansão econômica e populacional de Anápolis, pois a cidade funcionou, assim como na construção de Goiânia, como fornecedora de alimentos e materiais. Além disso, com a finalização das obras da construção da Capital Federal muitos operários migraram para Anápolis. Após a construção de Brasília surgiu a necessidade de uma base militar estratégica para a proteção da Capital da República. Assim, no início da década de 70 começou a ser construída uma Base Aérea Militar em Anápolis. Essa obra aqueceu o comércio local de tal modo que a associação comercial da cidade chegou a firmar convênio com o Ministério da Aeronáutica para prestação de serviços e venda de materiais à Base Aérea. Destaca-se ainda mais um fluxo migratório relacionado aos militares e suas famílias.

O crescimento demográfico e econômico e o posicionamento geográfico estratégico da cidade localizada no centro do país suscitaram incentivos e fomentos municipais e estaduais à criação do Distrito Agroindustrial de Anápolis (DAIA). Implantado em meados da década de 1970, o DAIA abriga hoje um dos maiores polos farmacêuticos do Centro-Oeste brasileiro. Posteriormente o DAIA recebeu um porto seco que está em funcionamento desde 1999. Em função do dinamismo aduaneiro está em fase de implantação a plataforma logística multimodal que integrará os sistemas de transporte de cargas aeroviário, rodoviário e ferroviário.

Por fim, considera-se importante mencionar o fato da cidade abrigar a sede da Universidade Estadual de Goiás (UEG) que disponibiliza na cidade 17 cursos com centenas de vagas. Existem ainda diversas instituições privadas de ensino superior. Esse quadro concretizou a cidade como polo educacional, incrementando o fluxo de pessoas que vêm para a cidade em busca de educação superior.

Todos os períodos e processos históricos mencionados anteriormente colaboraram de forma marcante para um aumento crescente da população do município de Anápolis (Figura 6.1). Jesus (2007) destaca que esse aumento populacional foi marcado por um também crescente aumento da população urbana. Na década de 1970 a população urbana já era significativamente maior que a população rural, haja vista a grande efervescência comercial que marcava a vida na cidade em função dos diversos fatores explanados anteriormente. Atualmente a população urbana totaliza aproximadamente 98% da população do município. A análise desse quadro evolutivo da população de Anápolis (Figura 6.1) mostra que o município

passou por dois grandes marcos de crescimento populacional, quando passou de Vila da Antas à cidade de Anápolis em 1907 e quando da inauguração de Brasília em 1960, ou mesmo um pouco antes com início de sua construção.

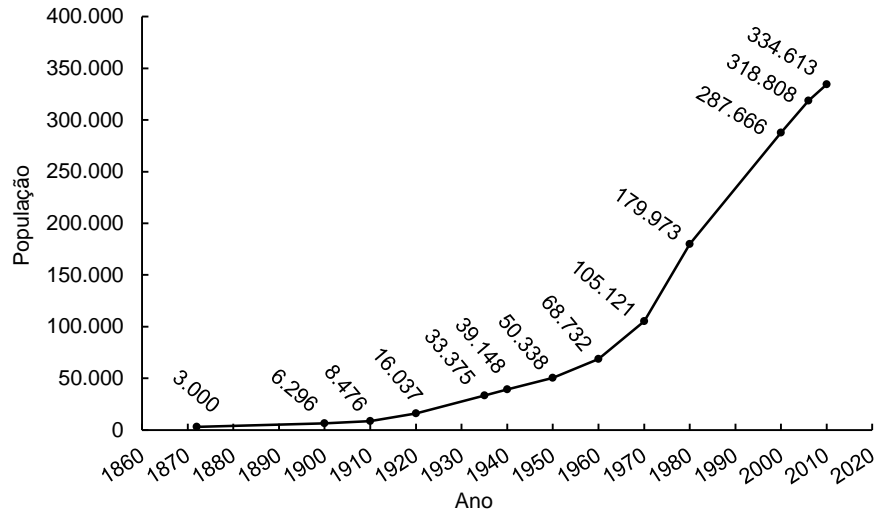


Figura 6.1 - Evolução demográfica em Anápolis (Polonial, 1995, p37; IBGE, 2010).

Esse crescimento demográfico na área urbana veio acompanhado de uma grande demanda por habitação e conseqüentemente de um acentuado processo de especulação imobiliária e com ausência de planejamento técnico e social adequado que levasse em consideração as fragilidades e suscetibilidades naturais dos terrenos. De acordo com Jesus (2007) o rio das Antas constituiu-se como fator geográfico de grande relevância para o surgimento da cidade Anápolis. A cidade surgiu na sua planície e foi crescendo no eixo sul/norte ao longo deste rio. De acordo com Freitas (1995) com o crescimento da cidade a planície bem esboçada do médio curso do rio passou a dificultar a ligação entre as áreas leste e oeste da cidade. Logo, o aterramento da planície e a canalização do rio foram às soluções implementadas. Assim, segundo Jesus (2007) o Fórum, o Centro Administrativo e a Praça do Ancião foram edificadas sobre o rio das Antas, que nesse trecho recebeu uma canalização fechada. A Câmara Municipal, o Ginásio Internacional Newton de Faria e a Rodoviária, entre outras estruturas urbanas, foram edificadas sobre a planície de inundação. A canalização do rio das Antas no médio curso, e a impermeabilização da sua planície, associada à urbanização à montante de muitos de seus tributários, aumentou o escoamento superficial que chega cada vez mais rápido ao seu leito criando condições para ocorrências de inundações que serão abordadas mais adiante nesse capítulo. Destaca-se, no entanto, que diante desses aspectos realçados nessa sucinta análise, atribuí-las a causas naturais como excesso de precipitação é totalmente descabido e só serve a minimizar a efetiva responsabilidade dos gestores públicos ao longo do

tempo e a fugir à imperiosa e urgente necessidade de solução para os problemas socioambientais da cidade.

A implementação dos bairros em geral foi feita com ruas longas no sentido do declive, nas áreas de cabeceiras de drenagem e margeando cursos d'água. Destaca-se ainda, que muitos bairros, se não a totalidade, foram implantados sem a infraestrutura necessária sendo desprovidos, dentre outros, de pavimentação das vias e de drenagem de águas pluviais. Essa forma de uso do solo está relacionada a áreas degradadas por processos erosivos lineares.

Tem-se também que em muitos locais da cidade o sistema de drenagem é inexistente ou ineficiente e não raramente são feitos lançamentos de águas pluviais a meia encosta ou em cabeceiras de drenagem sem a implantação dos dispositivos técnicos de redução da energia cinética da água. Faz-se necessário contextualizar a implantação dos sistemas de drenagem sob duas perspectivas: a da solução dos problemas puramente locais e a da solução dos problemas socioambientais em sentido amplo. Assim, por exemplo, um sistema de captação e lançamento apropriado das águas pluviais resolverá bem o problema localmente, mas não necessariamente em sentido amplo, pois tais lançamentos poderão provocar contaminações da água e erosões das margens dos cursos d'água, assoreamentos e inundações a jusante.

De acordo com o código tributário e de rendas do município de Anápolis (Anápolis, 2006a) a cidade possui atualmente 283 bairros. O mapa da Figura 6.2 revela que a evolução da ocupação urbana de Anápolis resultou numa malha urbana espalhada. Essa configuração é fruto de uma urbanização descontínua com muitos vazios urbanos, onde diversos bairros não são contíguos entre si. Esses vazios não são obra do acaso, e a estruturação de loteamentos em locais distantes entre grandes lotes vazios é apontando por Rodrigues (2001) como uma das formas da atuação da especulação imobiliária. Destaca-se, no entanto, que elas podem servir ao interesse público possibilitando a implantação de áreas de proteção ambiental devendo para tal haver a intervenção da Administração Pública. Isso não ocorrendo, como provavelmente não ocorrerá, faz-se necessário planejamento para que a ocupação urbana dessas áreas não piorem ainda mais a já caótica situação socioambiental com ocorrência de vários pontos de alagamento, inundação e deflagração e evolução de processos erosivos.

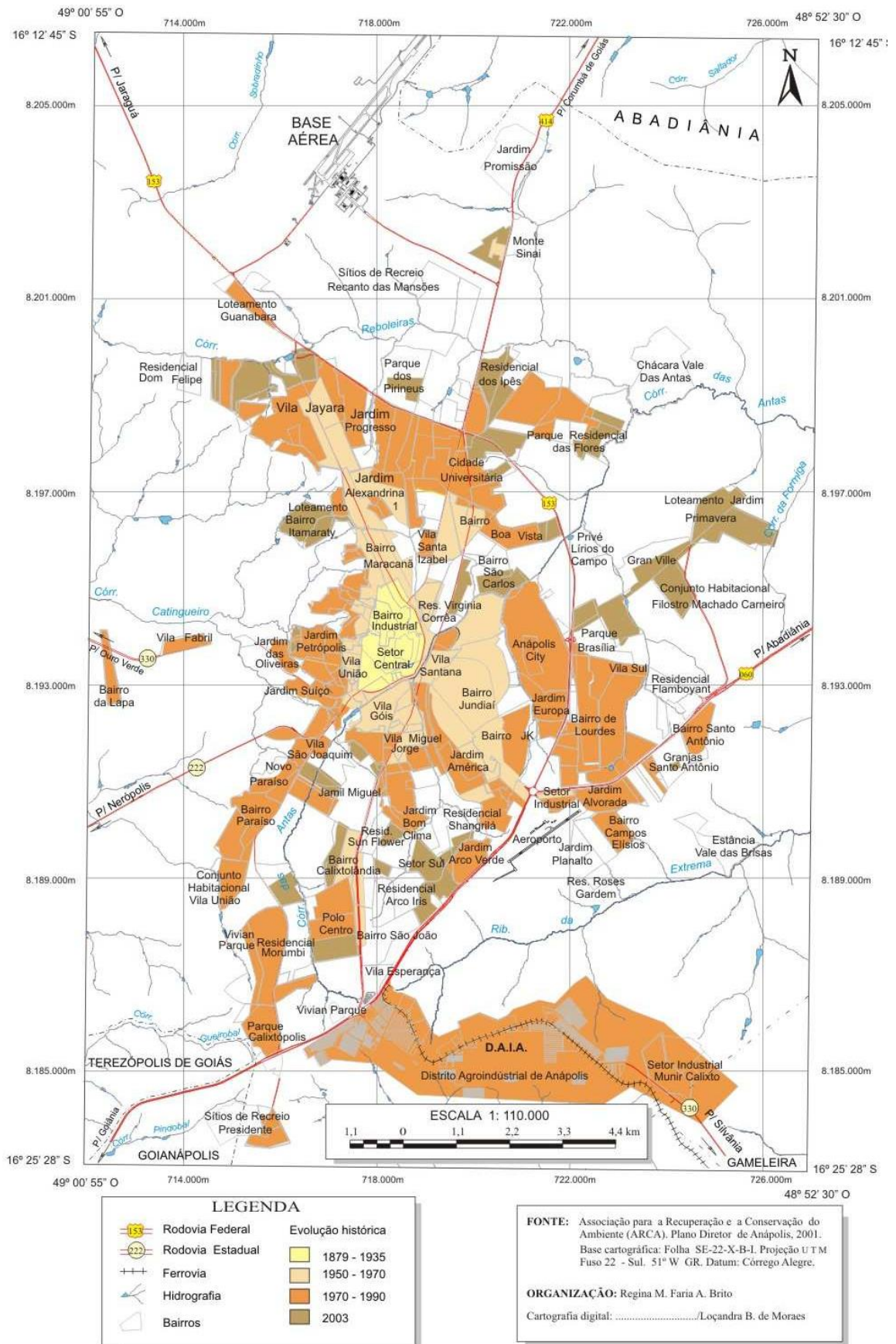


Figura 6.2 - Mapa da evolução histórica de Anápolis (Brito, 2007).

Brito (2007) aponta que o Poder Público colabora com as instâncias privadas no processo de especulação imobiliária. A ação especulativa do Poder Público ocorre segundo Brito (2007) quando este constrói conjuntos habitacionais em áreas periféricas, quando aprova loteamentos ou os legaliza enquanto instrumento de atração de novos investimentos e quando ele deixa de legislar impedindo ação dos especuladores. Esse modelo tem, de acordo com Brito (2007), resultado, em Anápolis, numa expansão urbana radial, deixando os espaços vazios nos interstícios e promovendo a especulação destas áreas. Segundo essa autora os serviços públicos, bem ou mal, sempre chegam até as áreas periféricas e, portanto, passam pelas áreas ainda não ocupadas alimentando o processo especulativo. Apesar da provável relevância de todos esses aspectos levantados, talvez o mais importante seja estabelecer os critérios e regras socioambientais de ocupação desses espaços vazios aliado à promoção da educação e conscientização ambiental da população. Certamente a melhor opção não é impedir o desenvolvimento, até porque isso seria inviável, mas sim criar os instrumentos para que ele se dê de modo sustentável.

No caso de Anápolis, Brito (2007) aponta como exemplos de áreas inseridas no processo de especulação imobiliária, as adjacentes à Av. Brasil Sul que estão próximas ao DAIA (Distrito Agroindustrial de Anápolis) e adjacentes às áreas com abastecimento de infraestruturas urbanas e que ainda estão desocupadas.

Jesus (2007) analisando a expansão urbana da alta bacia do rio das Antas em Anápolis verificou evidências da atuação de agentes imobiliários e do Estado, na esfera de Poder Municipal, no processo de incorporação e especulação imobiliária que permitiu em várias situações a implementação de loteamentos sem nenhuma regulamentação legal prévia, sem a infraestrutura básica e conseqüentemente com problemas de ordem socioambiental.

Segundo o Plano Diretor de 2006, a população de Anápolis ocupa apenas 66,7% dos lotes existentes, estimando-se que a cidade possua um estoque aproximado de 60.000 lotes vagos. Esse elevado número de lotes vagos poderia abrigar mais de 225.000 habitantes considerando apenas uma habitação por lote. Mesmo diante deste quadro o Plano Diretor aponta para um déficit habitacional de cerca de 3.500 moradias. O estabelecimento de políticas como a do imposto progressivo sobre os lotes não ocupados podem contribuir para a solução do problema.

6.2 USO E COBERTURA DO SOLO EM ANÁPOLIS

Os mapas de uso e cobertura do solo dos anos 1965, 1977, 1989, 2001, 2008/2007 e 2010 estão apresentados no Apêndice D respectivamente nas Figuras D.1 a D.6, sendo as áreas das principais classes mapeadas apresentadas na Tabela 6.2.

Tabela 6.2 - Evolução do uso e cobertura do solo em Anápolis.

Classes	Uso e cobertura do solo (km ²)						Gráfico de tendência
	1965	1977	1989	2001	2008	2010	
Área Urbana Consolidada	1,3	2,1	8,8	15,3	17,3	18,1	
Área Urbana em Consolidação	3,7	4,7	21,3	32,1	37,3	45,7	
Área Urbana Parcelada	1,2	1,7	3,7	3,8	1,4	1,9	
Área Urbana Parcelada com Vegetação Antropizada	9,1	15,9	13,4	14,6	17,3	11,7	
Área Urbana Industrial	0,0	0,8	1,7	2,0	4,0	4,2	
Área Urbana Industrial Parcelada	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1	
Cultivo Temporário e Perene	8,0	4,7	14,2	10,5	12,5	32,0	
Pastagem	135,1	39,4	37,7	33,6	36,8	51,5	
Formação Savânica	198,2	59,4	93,9	108,7	82,3	119,3	
Formação Florestal	43,4	9,6	36,1	19,3	30,5	38,7	
Solo Exposto	18,2	6,7	9,2	10,3	9,9	14,9	

As áreas apontadas na Tabela 6.2, que indicam a evolução de cada uma das classes de uso e cobertura do solo mapeados ao longo dos anos devem ser observadas com cautela, pois as imagens que permitiram o mapeamento dessas classes não são todas do tamanho do retângulo envolvente da área estudada. Essas imagens possuem tamanhos distintos para cada ano, sempre envolvendo as classes referentes a área urbana, ao contrário do que ocorre com classes de vegetação natural e de pastagem. O mapa que mais preenche esse retângulo envolvente é o de 1965 e posteriormente o mapa de 2010.

Observando as variações ocorridas entre os anos de 1965 e 2010 é possível verificar que

houve uma redução gradativa das áreas de pastagem e de Formação Savânica paralelamente ao avanço do somatório das áreas urbanas consolidadas e em processo de consolidação. Portanto, o processo de urbanização se deu avançando sobre áreas utilizadas para fins agropecuários e sobre a Formação Savânica. No que se refere a vegetação natural mapeada como Formação Savânica e Formação Florestal observa-se que enquanto a primeira diminui a segunda praticamente não sofre mudanças significativas ao longo dos anos. Atribui-se esse fato ao desmatamento acentuado relacionado a formação das fazendas que existiam na área antes mesmo da formação da cidade. As áreas de solo exposto também são relativamente uniformes ao longo dos anos, estando relacionados a atividades pontuais como mineração, cultivos temporários, parcelamento de terrenos e até mesmo a erosões. Verifica-se também a consolidação da área urbana industrial no mapa de 1977, sendo que a expansão dessa área prossegue nos anos seguintes.

No que se refere as classes de área urbana nota-se um crescente aumento das áreas urbanas consolidadas de 1965 até 2010. A Figura 6.3 apresenta um gráfico com a área mapeada de cada classe de uso urbano do solo em km² para todos os anos mapeados, sendo as classe de área urbana parcelada e área urbana parcelada com vegetação antropizada unificadas para facilitar as análises. Observando, portanto a Figura 6.3, nota-se ao longo desses anos um aumento sistemático das áreas urbanas em consolidação. Embora, com muitas áreas urbanas ainda não consolidadas as áreas urbanas parceladas não deixam de existir. Isso ocorre porque mesmo antes de se efetivar a consolidação de uma área, novos loteamentos são implementados alimentando o processo de especulação imobiliária.

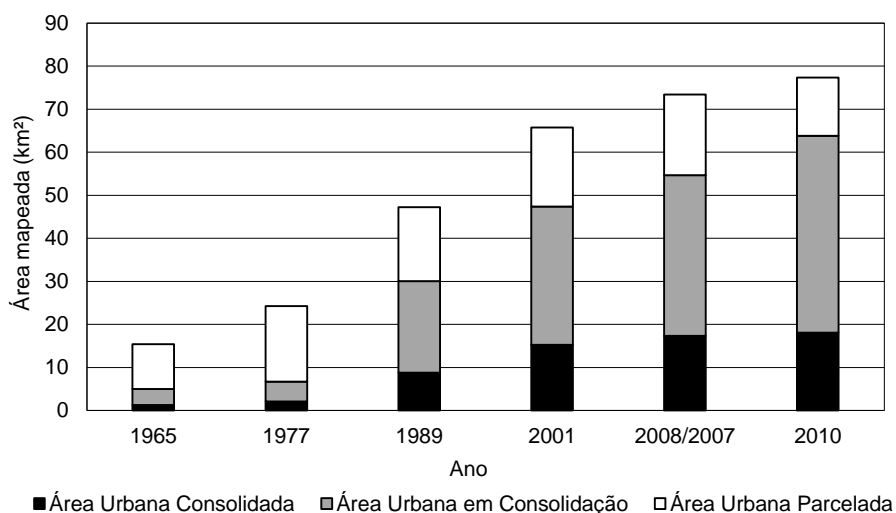


Figura 6.3 - Evolução das classes urbanas de uso e cobertura do solo.

Transcendendo essa simples análise quantitativa das classes de uso e cobertura do solo é importante analisar espacialmente como ocorreu o arranjo dessas classes na superfície. Sendo assim, verifica-se nos mapas de uso e cobertura do solo que no ano de 1965 existia uma aglomeração urbana central prolongando-se para o norte onde se localizavam as grandes lojas atacadistas e estava localizada a saída para a Colônia Agrícola. Verifica-se ainda uma ocupação a oeste, onde está localizada a área de exploração de argila e fábricas de tijolos e telhas, os quais foram utilizados tanto na construção de Goiânia como na construção de Brasília, conforme explanado anteriormente. Percebe-se então, que a ocupação urbana se deu motivada pelas principais atividades econômicas predominantes em cada período. Destaca-se que nesse período analisado grande parte das áreas urbanas estavam parceladas, seguidas de áreas em consolidação e por fim de áreas consolidadas restritas a uma pequena porção central.

No mapa de 1977 verifica-se um prolongamento das áreas urbanas ao sul onde passou a existir uma área industrial. Esse prolongamento urbano ocorreu sobre os interflúvios do rio das Antas ao longo das avenidas Brasil e Pedro Ludovico. Os loteamentos foram implantados o mais próximo possível do DAIA, sendo a ocupação urbana mais uma vez influenciada pela atividade econômica e deixando um grande espaço vazio entre o local de sua implantação e o centro. Nesse período, os processos de consolidação das áreas parceladas continuaram se destacando em detrimento de áreas já consolidadas.

Somente em 1989 é que pode-se verificar um aumento acentuado de áreas consolidadas na porção centro e norte. Mas embora com um processo de consolidação urbana dos loteamentos incompletos verifica-se o surgimento de novas áreas parceladas. No mapa de 2001 verifica-se que o processo de consolidação começa a se estender para a porção sul, parcelada desde 1977 e pode ser que além do DAIA a implantação do campus universitário da UEG tenha exercido alguma influência nesse processo. No mapa de 2008/2007 verifica-se que esse processo de consolidação se amplia. O crescimento para oeste se estagna em 2001, por causa dos limitadores geográficos com relevo dissecado e muito declivoso conforme apresentado no Capítulo 4.

Finalmente no mapa de 2010 verifica-se uma grande área consolidada de centro para norte bordejado por áreas em consolidação que se ampliam na porção sul, existindo em toda a cidade muito mais áreas em consolidação do que áreas consolidadas. Além disso, o número de áreas parceladas continua bastante relevante.

A ocupação urbana do meio físico, o qual foi descrito no Capítulo 4, favoreceu o surgimento

de processos erosivos em diversas partes da cidade. Teixeira & Romão (2009) verificou que a bacia do ribeirão Extrema apresenta sérios problemas relacionados aos processos erosivos lineares, cuja gênese está associada ao uso da terra sem a infraestrutura necessária e sem a observância dos condicionantes naturais do meio físico. Nota-se que o sistema de arruamento, a construção de valetas, cercas e o pisoteio excessivo do gado alteram as condições naturais de infiltração e escoamento superficial, condicionando a concentração do fluxo em linhas preferenciais onde desenvolvem-se os processos erosivos. Soma-se a esse fato, a retirada da cobertura vegetação natural e o uso urbano e rural em áreas impróprias, desrespeitando o aparato legal. Na alta bacia do rio das Antas Jesus (2007) verificou que tanto as características do meio físico como uma inadequada ocupação e uso do solo implicaram na ocorrência de diversos focos erosivos e de eventos de inundação e alagamentos.

Lacerda *et al* (2005) também identificaram grande quantidade de feições erosivas (ravinas e voçorocas) na alta bacia do rio das Antas. A espacialização dessas erosões permite observar que a incidência de focos erosivos aumenta exponencialmente com a expansão urbana (Figura 6.4).

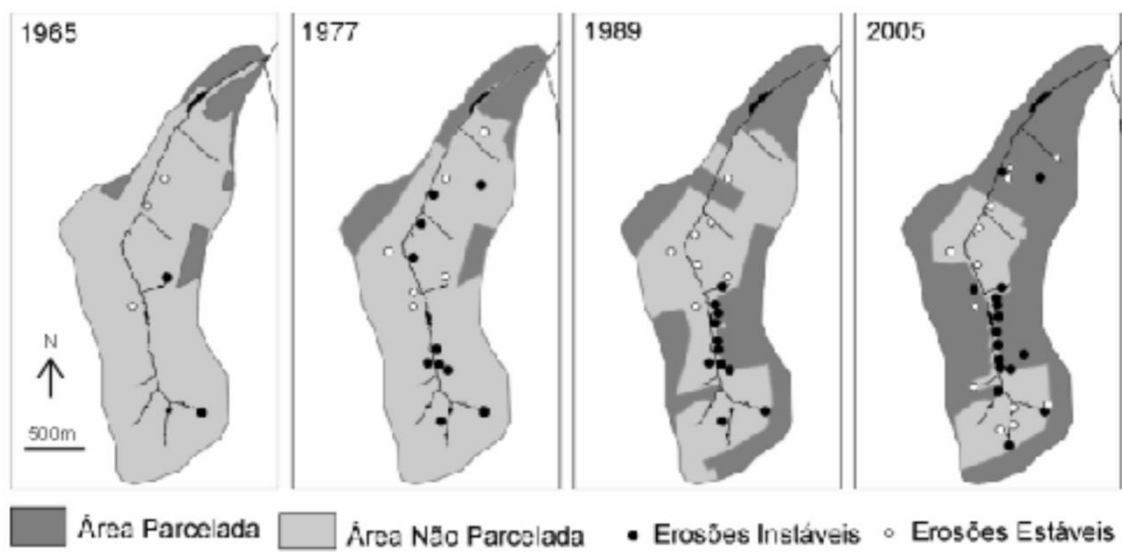


Figura 6.4 - Ocorrência de feições erosivas de acordo com a expansão de áreas urbanas parceladas (Lacerda *et al*, 2005).

6.3 CARACTERIZAÇÃO DO USO E COBERTURA DO SOLO NO ENTORNO DAS VOÇOROCAS PESQUISADAS

Será apresentado nesse item um detalhamento das informações do uso e cobertura do solo onde estão inseridas cada uma das voçorocas estudadas nessa pesquisa de modo a compreender a influência da dinâmica de uso e cobertura do meio físico na dinâmica

evolutiva dessas incisões.

6.3.1 Voçoroca Túnel

A evolução do uso e cobertura do solo do entorno da voçoroca Túnel é descrita e analisada conformes os mapas apresentados na Figura 6.5. Tal voçoroca está localizada na porção sul, que na década de 60 ainda não havia sido atingida pelo uso urbano do solo. No mapa de uso e cobertura do solo de 1965 verifica-se o predomínio de pastagens intercaladas por formações savânicas, muitos pontos de solo descoberto e um ponto com cultivo e pouca formação florestal. Boa parte das áreas de solo descoberto margeavam as vias de circulação automotiva, podendo ser “caixas de empréstimo”.

No mapa de uso e cobertura do solo de 1977, verifica-se uma diminuição da pastagem em um avanço da formação savânica, também aumentam áreas de cultivo e começam a aparecer os primeiros vestígios de área industrial. No mapa de 1989 a formação florestal aumenta ao longo dos cursos d’água e o ponto onde existe a voçoroca fica evidenciado pelo nítido polígono de solo descoberto na cabeceira de drenagem. A área industrial já aparece melhor esboçada e intercalada por vários pontos de solo descoberto, provavelmente, referentes a áreas de construções. Nesse ano também se destaca a existência do Kartódromo representado pelos polígonos cinzas referentes a área urbana.

Em 2001, o Kartódromo aparece como consolidado, a área industrial está ampliada, as pastagens começam a retornar e existe uma retração da formação florestal. Quadro muito parecido de uso do solo aparece no mapa de 2008/2007. Por fim no mapa de 2010 aparecem alguns pontos de cultivo e também um polígono preto alongado de leste para oeste próximo ao curso d’água correspondendo ao ramal de acesso da linha ferroviária (Norte/Sul) que encontra-se em fase de implantação.

Observando a via de acesso a cidade de Anápolis e a BR-153 é possível verificar que elas passam próximas as cabeceiras de drenagem onde são lançadas águas nelas captadas pelo sistema de drenagem de águas pluviais. Verifica-se também que a porção a montante está bastante impermeabilizada pelo Kartódromo e área industrial aumentando o escoamento superficial que se direciona para a cabeceira cuja mata de galeria tornou-se bastante degradada ao longo dos anos.

Como a voçoroca já existia antes de 1965 quando ainda não existia um uso urbano da área, pode-se atribuir seu surgimento a degradação da vegetação natural, implantação de pastagens

e também a construção das vias representadas pela avenida Brasil que dá acesso a cidade no sentido norte e pela BR 153 que liga a cidade a Goiânia. Sendo que provavelmente o lançamento de águas pluviais na cabeceira de drenagem está relacionado a construção dessas vias. Enfatiza-se que embora a área urbana não tenha uma relação direta com a gênese da erosão, teve participação no seu processo evolutivo por meio do fluxo superficial incrementado pela impermeabilização a montante.

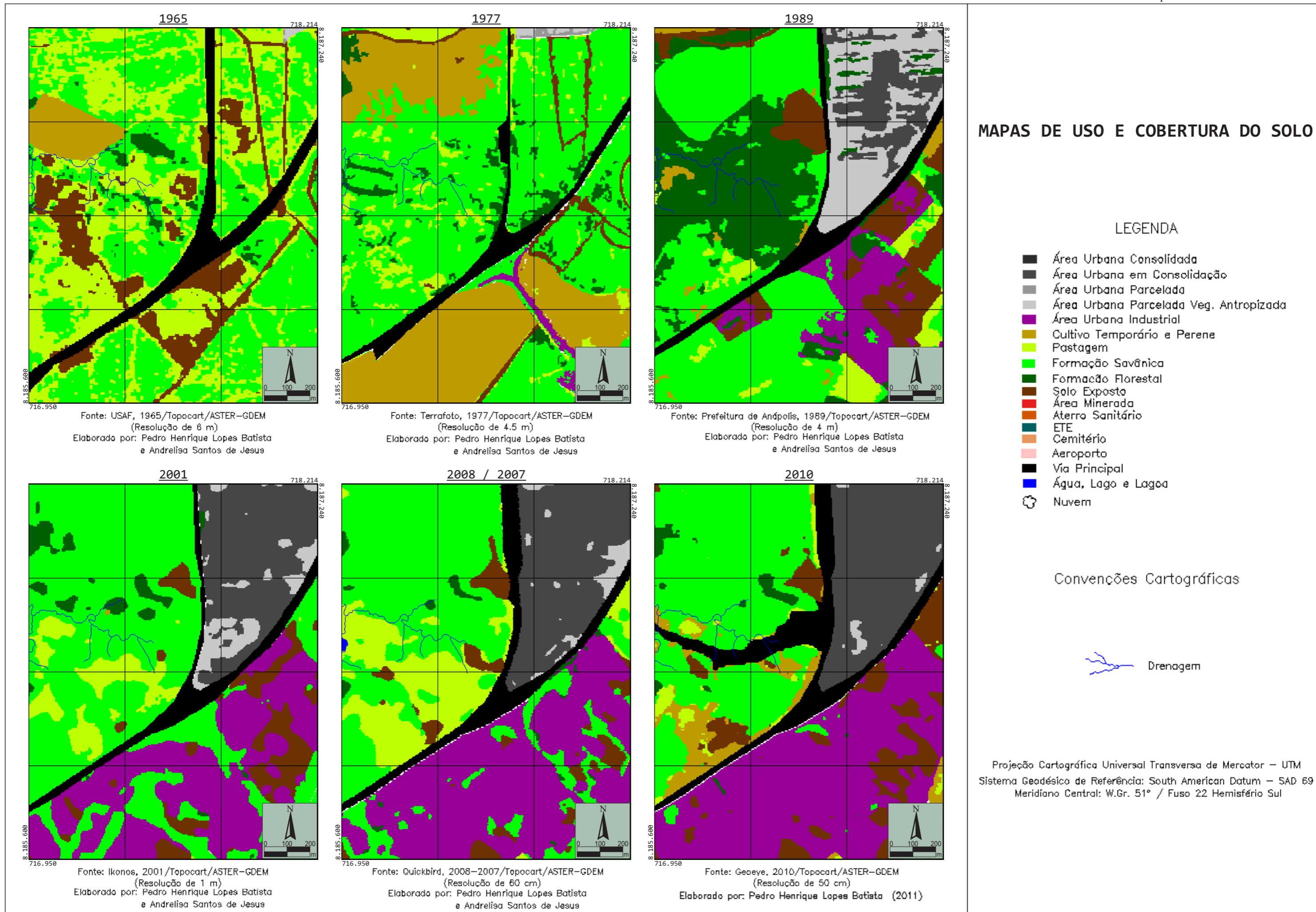


Figura 6.5 - Mapas de uso e cobertura do solo do entorno da voçoroca Túnel.

6.3.2 Voçoroca Contorno

A evolução do uso e cobertura do solo do entorno da voçoroca Contorno é descrita e analisada conformes os mapas apresentados na Figura 6.6. Esta voçoroca, assim como a voçoroca Túnel, também está localizada na porção sul da cidade recebendo a influência da urbanização somente a partir da década de 70 quando na porção nordeste desta área, na margem direita do rio das Antas, aparecem os primeiros pontos com área urbana parcelada. No mapa de uso do solo de 1977 verifica-se além do surgimento de área urbana também uma ampliação de solo descoberto, pontos de cultivo e uma regressão das áreas de pastagem com relação às áreas de formação savânica. No mapa de uso e cobertura do solo de 1989 a área urbana parcelada se estende numa faixa mais larga para o sul e começa a aparecer também na porção sudoeste na margem esquerda do rio das Antas. Nesse ano verifica-se uma redução significativa das áreas de pastagem que deram lugar a formação savânica. As áreas de cultivo diminuem e passam a predominar na margem direita do rio das Antas, ao contrário do que foi verificado em 1977.

Em 2001 o mapa de uso e cobertura do solo revela uma ampliação de áreas parceladas na margem esquerda do rio das Antas e também o início do processo de consolidação dessas áreas. Já no mapa de 2008/2007 o processo de consolidação se intensifica sobre as áreas preteritamente parceladas. Por fim em 2010 o processo de consolidação atinge praticamente todas as áreas parceladas, mas a ocupação rarefeita indica que áreas estagnaram no processo de consolidação sem se efetivarem como áreas urbanas consolidadas. Nesse período vários pontos com cultivos esparsamente distribuídos na área podem ser observados e em geral se referem a pequenas plantações de hortaliças.

É em 1989, com a ampliação do parcelamento do solo, que surge a voçoroca contorno no final da avenida Contorno exatamente no limite entre a área parcelada e a área não parcelada. Esta avenida é muito longa e inicia-se no divisor de águas onde conecta-se a avenida Brasil. Somente de meados para o fim de 2008 que a voçoroca foi contida por meio de aterramento é que essa rua recebeu galeria de águas pluviais e pavimentação asfáltica. Nesse caso, o uso do solo urbano sem infraestrutura conduzindo em momentos de chuva grandes fluxos d'água pela avenida pode ser considerada a principal causa do surgimento da voçoroca. Há que se salientar que conforme discutido no Capítulo 4 a baixa vertente marcada por uma forte ruptura de declive positiva, com altas declividades oferece suscetibilidade natural a processos erosivos.

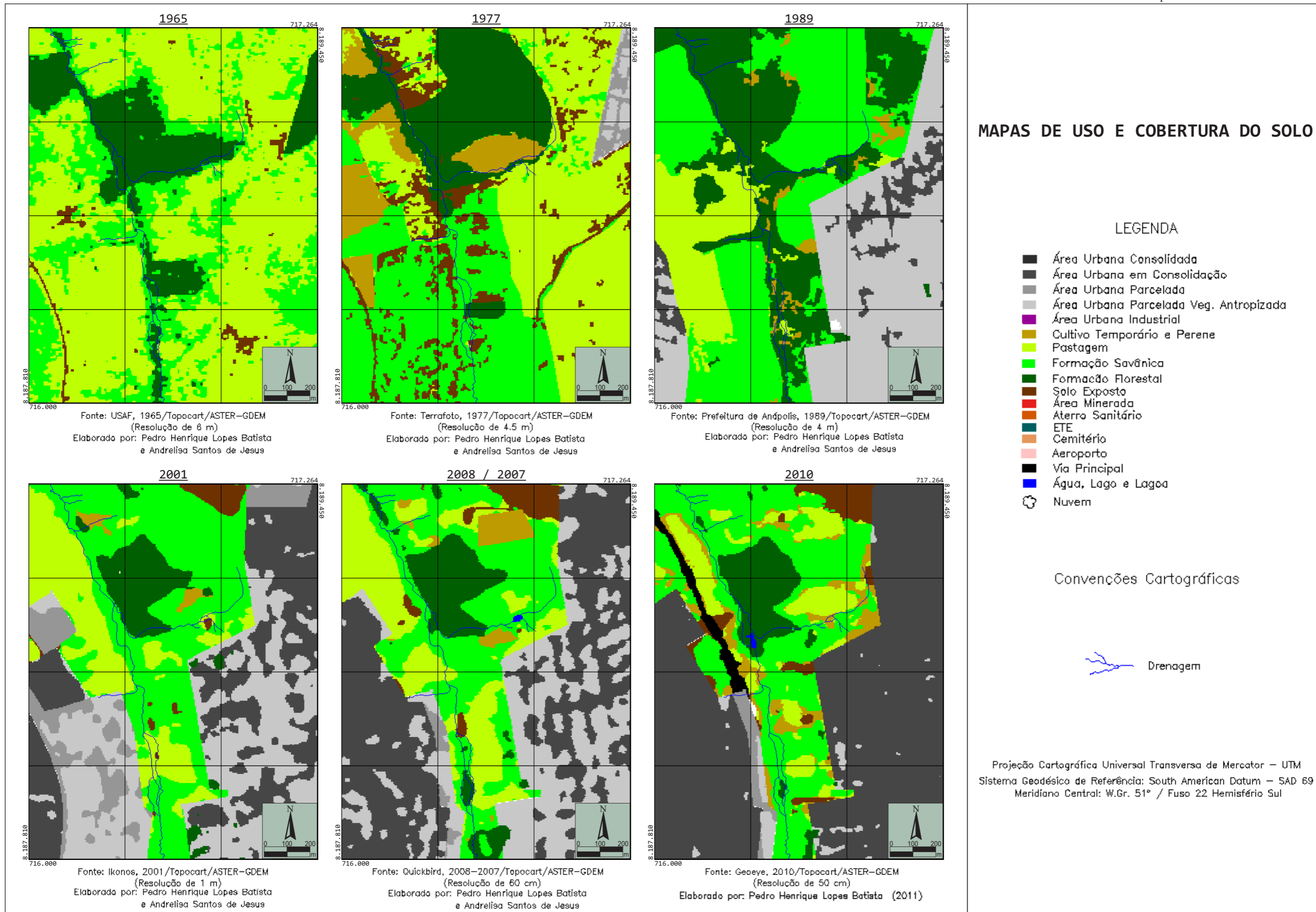


Figura 6.6 - Mapas de uso e cobertura do solo do entorno da voçoroca Contorno.

6.3.3 Voçoroca Geovane Braga

A evolução do uso e cobertura do solo do entorno da voçoroca Geovane Braga é descrita e analisada conformes os mapas apresentados na Figura 6.7. Esta voçoroca também é localizada mais ao sul de Anápolis e se desenvolveu no Bairro Geovane Braga inserido na bacia do córrego Góes tributário pela margem direita do rio das Antas. Em 1965 foi possível identificar apenas um pequeno polígono de área urbana parcelada próximo a avenida Brasil, identificada no mapa pela linha preta, no divisor de águas do rio das Antas com o córrego Góes. São observados também fragmentos de formação florestal e savânica em meio a pastagem predominante. Verificou-se ainda a presença de dois pequenos pontos de cultivo, provavelmente relacionados a hortaliças e muitos pontos de solo exposto especialmente margeando a avenida Brasil e que podem ter servido como local de fornecimento de material de empréstimo para a construção da via.

Já em 1977 o uso e cobertura do solo muda bastante e áreas urbanas parceladas surgem em ambas as margens da avenida Brasil e a quantidade de polígonos de solo descoberto se expande por toda a área. No que se refere a vegetação as formações savânicas praticamente desaparecem dando lugar as pastagens. As pastagens nessa área nem tem uma função de alimentação para rebanhos haja vista o contexto urbano, mas tem uma relação com a expansão do capim *brachiaria* que como planta invasora tende a ocupar áreas degradadas e até mesmo competir com a vegetação natural. A formação florestal teve um sensível aumento conectando dois fragmentos existentes em 1965.

Em 1989, o mapa de uso e cobertura do solo revela uma expansão da área parcelada, e também a instalação de um tímido processo de consolidação dessas áreas. As áreas de cerrado se ampliam, mas a redução de formação florestal é acentuada. Em 2001, toda a área possui classes de uso urbano do solo, sendo que predominam áreas parceladas e em menor intensidade áreas em processo de consolidação. Quanto a vegetação restam apenas alguns fragmentos de formação florestal. Nos mapas de 2008/2007 e de 2010, verifica-se um aumento gradativo de áreas em processo de consolidação, mas mesmo em 2010 existe uma quantidade significativa de áreas parceladas sem ocupação efetiva.

A voçoroca Geovane Braga não aparece na carta imagem de 1989, mas é muito visível na carta imagem de 2001 apresentando grandes dimensões levando-se a acreditar que seu surgimento ocorreu na década de 90. Ela se desenvolveu margeando a rua no sentido do declive,

localizando-se entre uma área com parcelamento urbano e uma área não parcelada. A área parcelada no topo, a montante da voçoroca, é representada por comércios localizados ao longo da avenida Brasil. Na margem esquerda da voçoroca predominam áreas residenciais com baixa densidade de ocupação. A área não parcelada possui solo exposto que não apareceu no mapeamento que compreende “caixa de empréstimo”, uma mata galeria e fragmentos de pastagem. O surgimento da erosão tem uma forte relação com o lançamento a meia encosta de águas pluviais captadas a montante. Esse lançamento não conta com dissipação da energia dos fluxos d’água que erodiram com facilidade o solo pouco espesso sobre saprólito muito friável existente no local que também conta com declividades acentuadas.

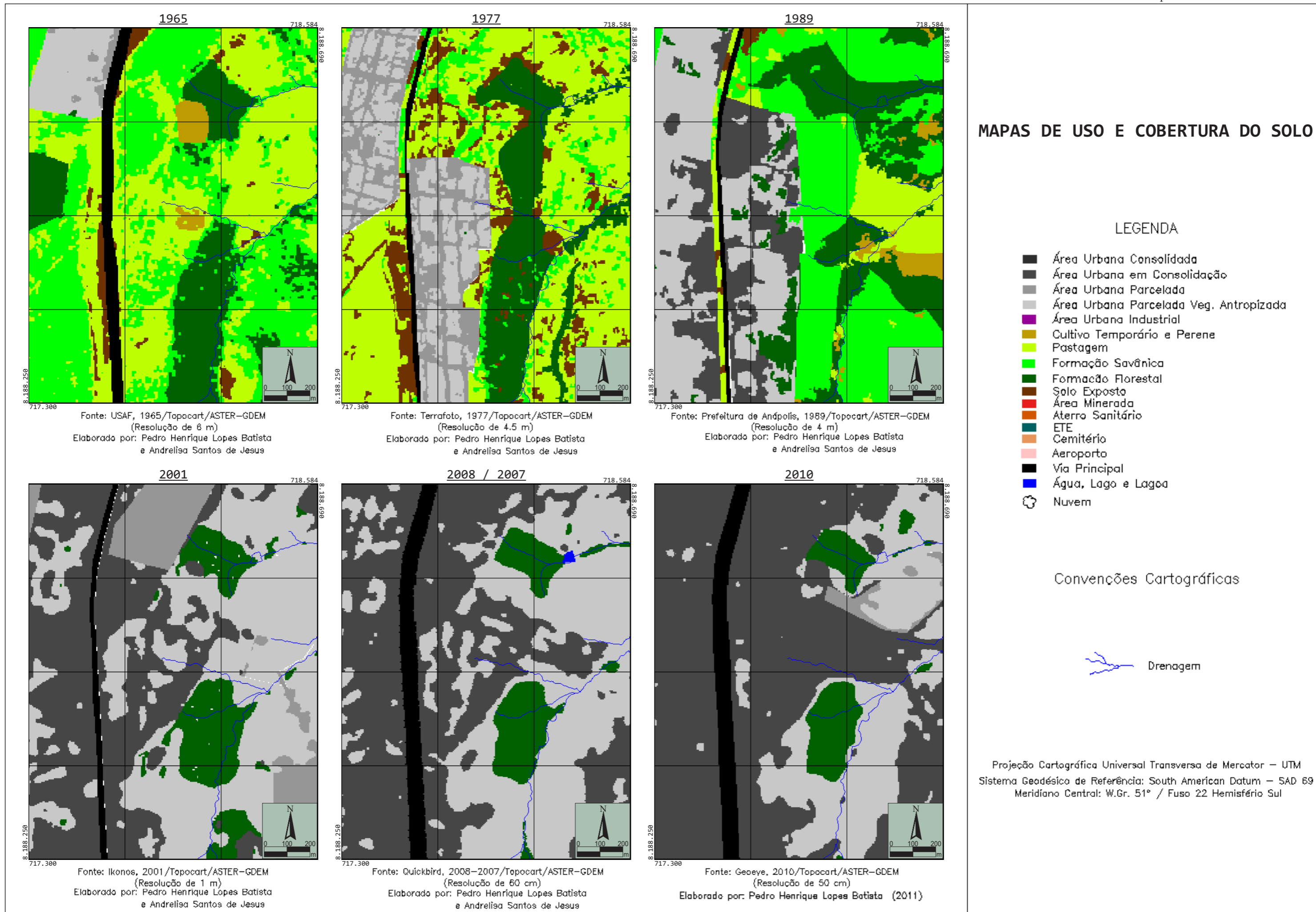


Figura 6.7 - Mapas de uso e cobertura do solo do entorno da voçoroca Geovane Braga.

6.3.4 Voçoroca Cidade Jardim

A evolução do uso e cobertura do solo do entorno da voçoroca Cidade Jardim é descrita e analisada conformes os mapas apresentados na Figura 6.8. Tal voçoroca localiza-se mais próxima ao centro e apresentava em 1965 uma área urbana parcelada com alguns sinais do processo de consolidação urbana a montante da avenida Brasil Norte, que já passava bem próxima e uma das cabeceiras do córrego Boa Vista. No que se refere a cobertura vegetal existia uma predominância de cerrado em meio ao qual ocorriam algumas manchas de formação florestal e pastagens.

Já em 1977 verifica-se uma expansão das áreas parceladas mantendo sinais tímidos de uma consolidação do avanço urbano. Além disso, as pastagens aumentaram, existindo uma diminuição de formação florestal e formação savânica e o aparecimento de uma área de cultivo. Em 1989 a pequena porção que havia sido parcelada em 1965 passa a ser uma área urbana consolidada e as demais áreas parceladas se ampliam se aproximando do córrego Boa Vista e entram num processo de consolidação. Sendo assim, sobra apenas um fragmento a direita do córrego com pastagem e pequeno fragmento de formação florestal e um fragmento de cerrado a jusante na margem esquerda.

No Mapa de 2001 esses pequenos fragmentos praticamente desaparecem, sendo todos parcelados e em alguns pontos já entrando em processo de consolidação, além de locais com a urbanização já consolidada. A vegetação se restringe a pequenos fragmentos de formação florestal associados ao curso d'água. A situação de uso e cobertura do solo nos mapas de 2008/2007 e 2010 continuam apresentando esse padrão. A voçoroca Cidade Jardim localiza-se hoje numa área com predominância de áreas urbanas consolidadas destinadas a residências. Todavia, na margem direita o parcelamento do solo é destinado a comércios ao longo da avenida Brasil a jusante da qual predominam áreas parceladas não consolidadas. Na cabeceira existem pequenas chácaras com pastagens e destaca-se que fragmento de mata galeria são verificados na porção mais a jusante da voçoroca.

A principal causa deflagradora dos processos erosivos nessa área é o lançamento de águas pluviais captadas a montante nas duas cabeceiras de drenagem do córrego Boa Vista com curvatura côncava e altas declividades. Embora a vegetação dificulte a visualização da erosão nas imagens, se deduz que ela deve ter surgido próximo a 1989 quando a ocupação das áreas parceladas passa a ser mais efetiva.

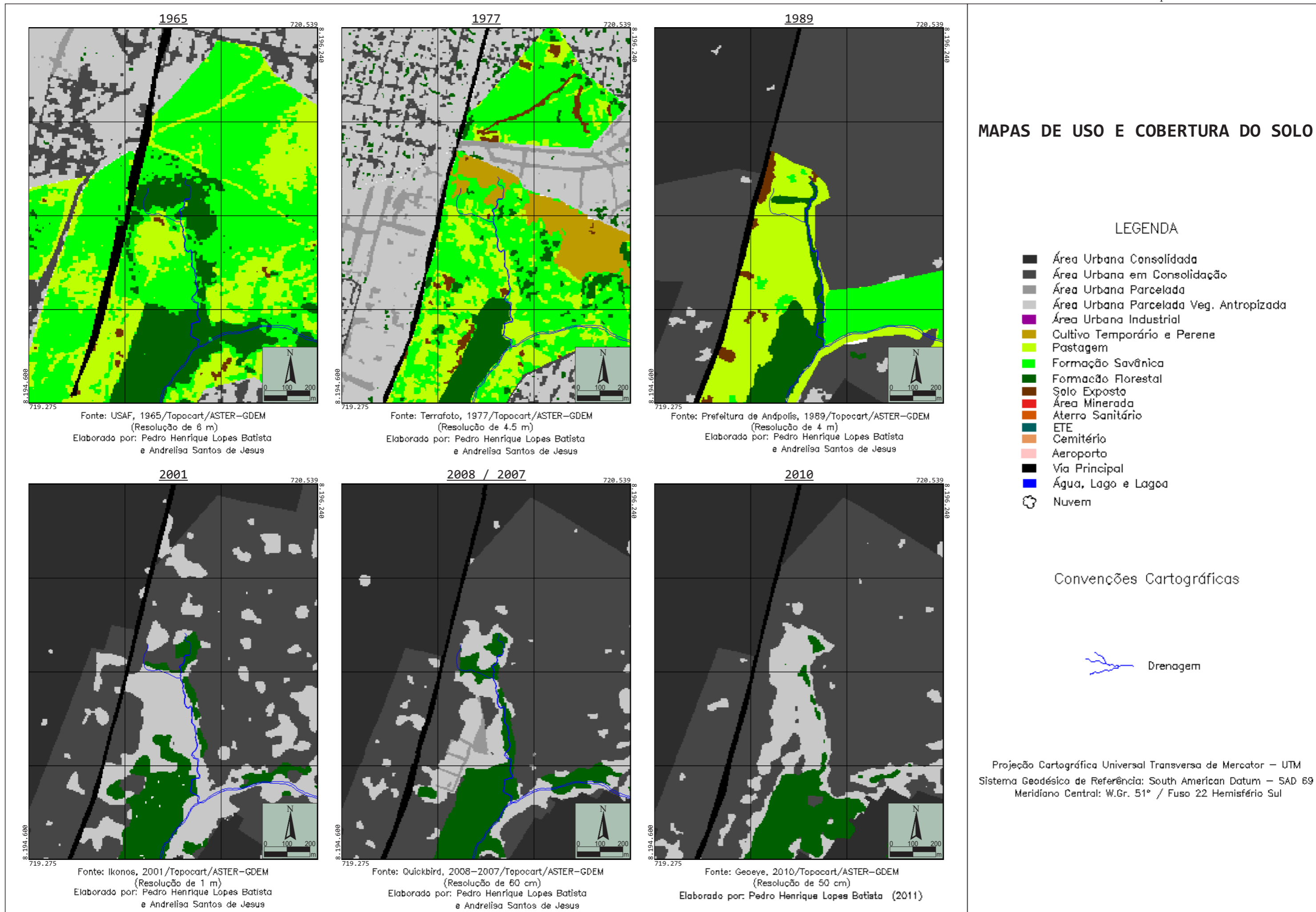


Figura 6.8 - Mapas de uso e cobertura do solo do entorno da voçoroca Cidade Jardim.

6.3.5 Voçoroca Colégio Estadual

A evolução do uso e cobertura do solo do entorno da voçoroca Colégio Estadual é descrita e analisada conformes os mapas apresentados na Figura 6.9. Essa voçoroca, localizada mais próxima ao centro, desde 1965 teve seu entorno amplamente parcelado com início do processo de consolidação. Verifica-se nesse período que as áreas urbanas já estavam muito próximas das cabeceiras de drenagem e que as porções de vegetação natural eram bem restritas, com predominância de cerrado, seguida de formações florestais. Pequenos pontos com pastagem e cultivo também podem ser vistos nessa época. No mapa de uso e cobertura do solo de 1977 o parcelamento urbano se amplia um pouco, mas o processo de consolidação continua estagnado.

No mapa de 1989 observa-se que muitas áreas parceladas ou em consolidação passam a ser áreas urbanas consolidadas e em menor proporção aparecem áreas em consolidação, sendo possível perceber ainda muitas áreas parceladas. Em 2001 as áreas consolidadas se ampliam consideravelmente. O método de mapeamento levou a uma confusão de identificação de áreas parceladas e em consolidação mais próximo às drenagens, sendo o polígono considerado em consolidação em 2001 e 2008/2007 correspondente ao polígono referente a área parcelada do ano de 2010. Ao observar as cartas imagens constata-se que a ocupação urbana nesse ponto é, de fato, espaçada.

Logo, em 2010 a voçoroca Colégio Estadual estava cercada por áreas urbanas consolidadas, onde o parcelamento do solo foi destinado a habitações residenciais. Também nessa voçoroca a causa principal do seu surgimento e evolução é o lançamento de águas pluviais captadas a montante, sem dissipadores de energia e numa área com declividades elevadas, diversidade altimétrica alta e curvatura côncava que a tornam naturalmente suscetível a processos erosivos.

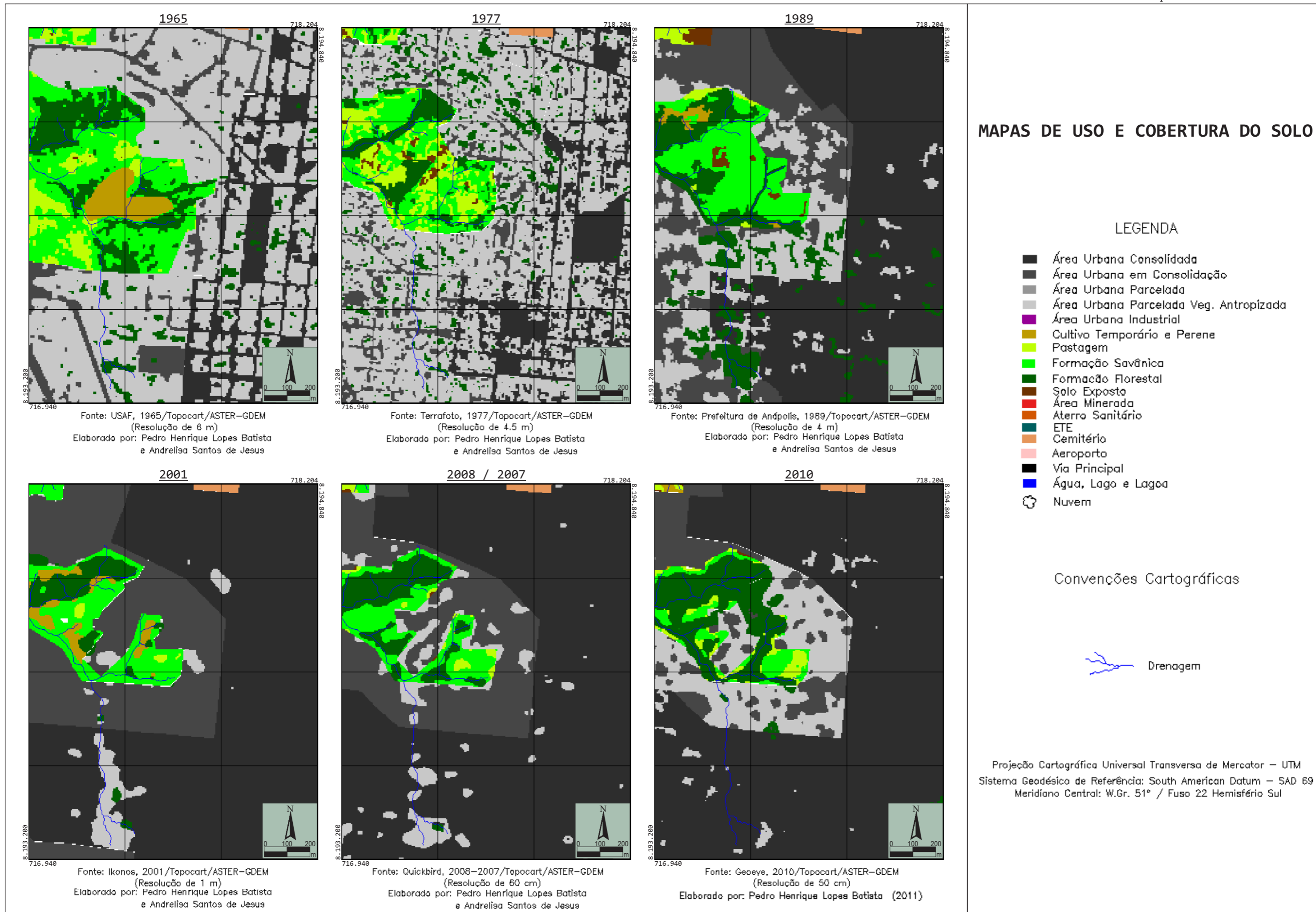


Figura 6.9 - Mapas de uso e cobertura do solo do entorno da voçoroca Colégio Estadual.

6.3.6 Voçoroca Leopoldo de Bulhões

A evolução do uso e cobertura do solo do entorno da voçoroca Leopoldo de Bulhões é descrita e analisada conformes os mapas apresentados na Figura 6.10. Tal voçoroca, assim como a voçoroca Colégio Estadual, está localizada no centro e já em 1965 seu entorno estava amplamente parcelado e já com indícios do processo de consolidação. Em 1977 esse parcelamento se amplia, mas a consolidação não aumenta e não são verificadas áreas consolidadas. Já em 1989 boa parte da área entra em consolidação e outra parte significativa num polígono que sai do centro e se estende numa faixa estreita ao longo da avenida Leopoldo de Bulhões passa a ser uma área urbana consolidada com a maioria dos lotes efetivamente ocupados. Nos anos seguintes o parcelamento se amplia junto com o processo de consolidação.

As manchas de formação florestal e savânica sempre foram muito pequenas ao longo desses anos analisados e os cultivos eram eventuais e em pontos restritos. Apenas em 2001 verificou-se uma área de cultivo mais significativa a jusante da voçoroca. Além disso, destaca-se que desde 1965 já existia um cemitério nas proximidades. Sendo assim, em 2010 o entorno dessa voçoroca possui uma urbanização muito adensada. Essa ocupação já invadia a área de preservação permanente de 50 m das nascentes conforme mostra o mapa de distância de drenagem da Figura 4.23. A consolidação urbana nessa área encontrou um limitador geográfico à expansão rumo a oeste, pois o extremo oeste da área é caracterizado por um relevo muito dissecado e declivoso.

O fator principal do surgimento dessa voçoroca é a edificação sobre a cabeceira de drenagem que, conforme já discutido em outros capítulos dessa tese, implicam em dutos de águas pluviais e de saneamento (água e esgoto) que podem gerar vazamentos promovendo carreamento de finos e facilitando os *pipings*, que constantemente provocam subsidências na avenida Leopoldo de Bulhões. Somado a isso ainda existem as edificações de casas na cabeceira que aumentam a carga do talude e facilitam rupturas provocando movimentos de massa, sendo que em um desses eventos ocorreu a queda de uma casa e mais meia dezena de residências tiveram a estrutura afetada. Além disso, é claro que devem ser considerados os condicionantes naturais relacionados ao gradiente de fluxos subsuperficiais próprios de áreas de cabeceira de drenagem que no caso em questão possui altas declividades como demonstrado no Capítulo 4.

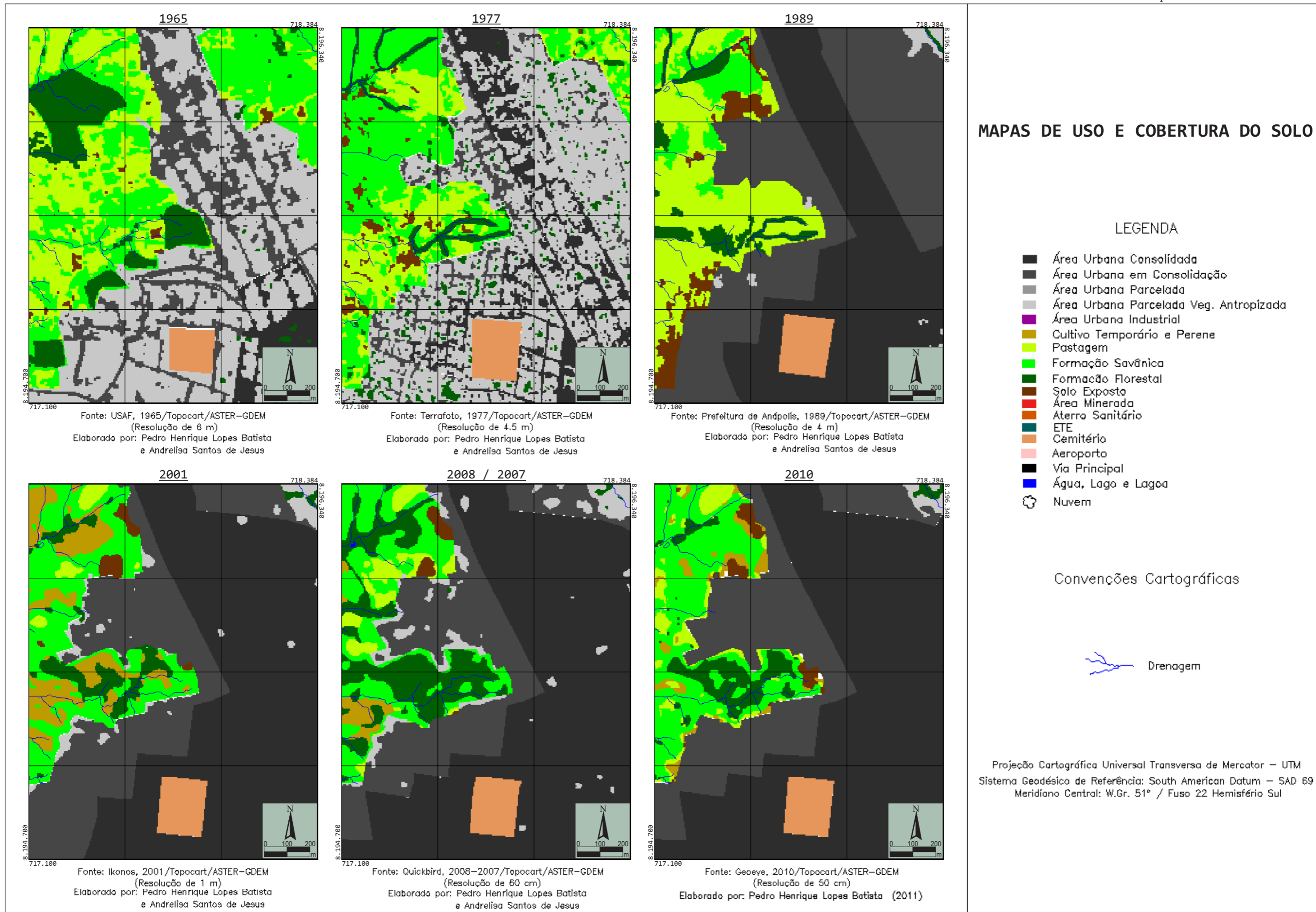


Figura 6.10 - Mapas de uso e cobertura do solo do entorno da voçoroca Leopoldo de Bulhões.

6.3.7 Voçoroca Frei Eustáquio

A evolução do uso e cobertura do solo do entorno da voçoroca Frei Eustáquio é descrita e analisada conformes os mapas apresentados na Figura 6.11. Essa voçoroca localiza-se na porção oeste próxima ao centro, de modo que, em 1965 o mapa de uso e cobertura do solo mostra a existência de uma grande área urbana parcelada. Em 1977 o mapa mostra uma considerável ampliação dessa área urbana parcelada ainda sem um processo acentuado de consolidação.

Em 1989 é possível verificar um polígono mais a montante já consolidado seguido de áreas em consolidação e a permanência de algumas áreas apenas parceladas. Em 2001 tanto as áreas consolidadas como as áreas em consolidação se ampliam e as áreas simplesmente parceladas praticamente deixam de existir. Esse quadro permanece o mesmo em 2008/2007 e 2010, embora no mapa de 2010 apareça uma área parcelada mais ao sul, isso se deve a um equívoco do método de classificação supervisionada que escapou a correção da inspeção visual. No que se refere a vegetação, destaca-se a pouca ocorrência de formação florestal em todos os anos analisados, uma redução gradativa das pastagens e um predomínio maior de formação savânica. As áreas de cultivos são pequenas e variam muito de lugar em cada ano. Verificou-se que essa voçoroca também está nas proximidades do cemitério localizado a montante desde 1965.

Nessa voçoroca também identificou-se como causa principal de sua gênese e evolução a ocupação da cabeceira de drenagem com declividades elevadas, curvatura côncava concentradora de fluxos e lançamento de águas pluviais captadas a montante. Além do fato de receber água do escoamento superficial por estar localizada no final de uma rua construída no sentido do declive.

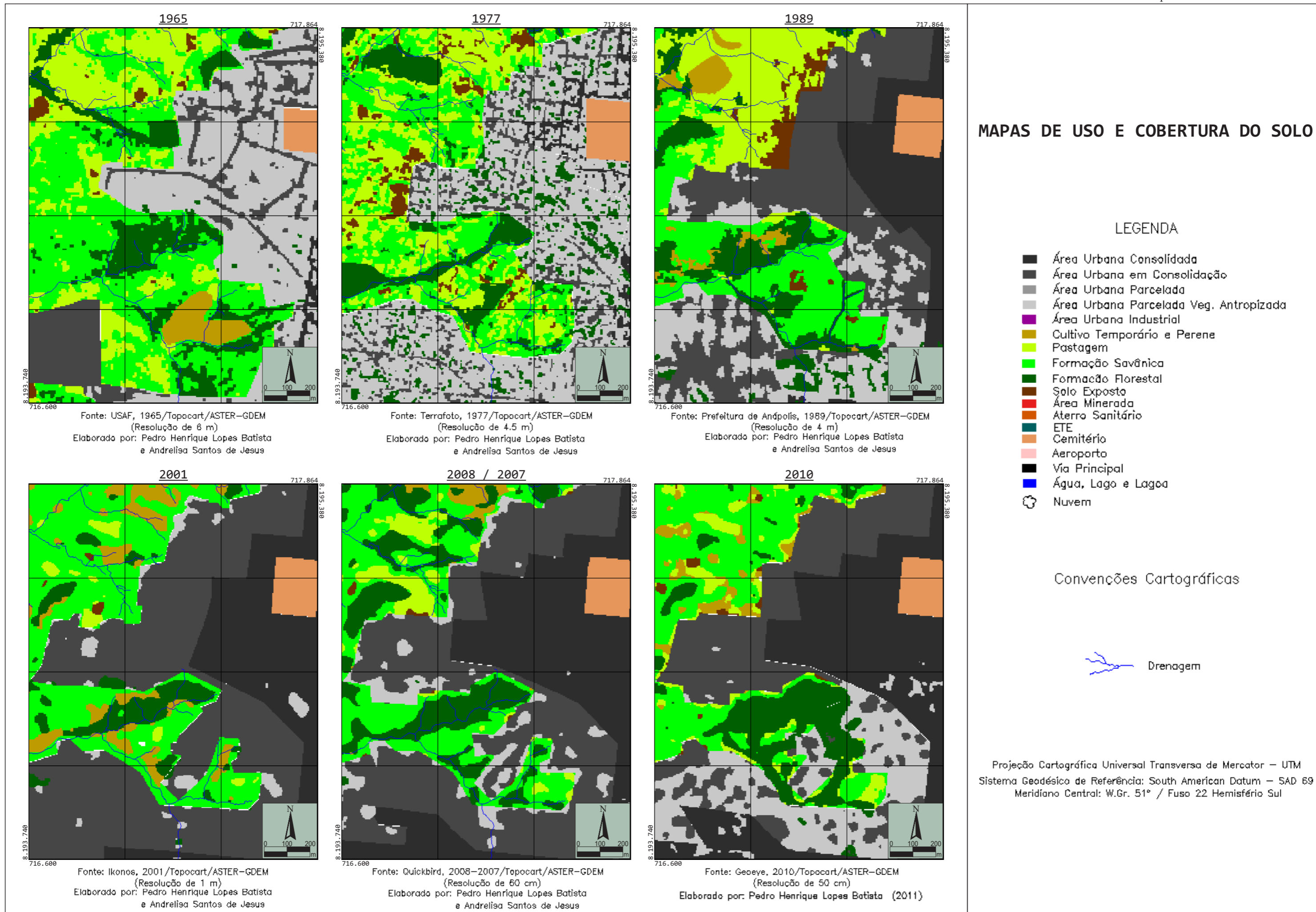


Figura 6.11 - Mapas de uso e cobertura do solo do entorno da voçoroca Frei Eustáquio.

6.4 ANÁLISE COMPARATIVA DAS CARACTERÍSTICAS DO USO E COBERTURA DO SOLO DAS VOÇOROCAS PESQUISADAS

Analisando o uso e cobertura do solo de cada uma das voçorocas pesquisadas, com base nos mapas e inspeção de campo foi possível verificar grande influência da ocupação urbana no seu surgimento e evolução (Tabela 6.3). Em todas as voçorocas identificou-se algum tipo de área urbana a montante, sistema de arruamento impróprio para as condições do meio físicos tais como ruas longas no sentido do declive e/ou transversais às cabeceiras de drenagem. Além disso, em todas elas existe alguma dificuldade com o disciplinamento das águas pluviais, com inexistência de sistema de galerias pluviais, escoamento superficial concentrado ou lançamento inadequado das águas pluviais pelo sistema de microdrenagem sem estruturas dissipadoras da energia cinética da água. A esses fatores antrópicos se associam as características naturais das áreas erodidas favoráveis a ocorrência dos processos erosivos, tal como foi apresentado no Capítulo 4.

Tabela 6.3 - Síntese do uso e cobertura do solo das voçorocas pesquisadas.

Voçorocas	Uso e cobertura do solo atual	Arruamento	Drenagem
VT	Área urbana industrial a montante, margeada por pastagens.	Vias (avenida, rodovia, ferrovia) próximas a voçoroca, sendo que a avenida corta transversalmente a cabeceira de drenagem	Lançamento de águas pluviais nas cabeceiras de drenagem
VC	Área urbana em consolidação a montante, margens da voçoroca com formação savânica e pastagem.	Rua no sentido do declive	Escoamento superficial concentrado ao longo da rua
VGB	Área urbana em consolidação a montante, margem esquerda com área urbana em consolidação e margem direita mais a montante com solo descoberto e mais a jusante pastagem com formação savânica.	Rua no sentido do declive	Lançamento de águas pluviais a meia encosta
VCJ	Área urbana consolidada mais a montante pastagem no entorno das cabeceiras, área urbana consolidada na margem esquerda e área urbana parcelada na margem direita.	Ruas margeiam o curso d'água	Lançamento de águas pluviais nas cabeceiras de drenagem.
VCE	Área urbana consolidada a montante e na margem esquerda, pastagem e solo descoberto na margem direita	Rua no sentido do declive se conectando à rua transversal a cabeceira de drenagem	Lançamento de águas pluviais nas cabeceiras de drenagem.
VLB	Área urbana consolidada a montante e nas margens, pastagem e formação savânica a jusante.	Avenida transversal a cabeceira de drenagem	Possíveis vazamentos nos dutos de saneamento e drenagem urbana.
VFE	Área urbana consolidada a montante e nas margens, formação florestal e savânica a jusante. E o cemitério?	Rua no sentido do declive se conectando a rua transversal a cabeceira de drenagem	Lançamento de águas pluviais nas cabeceiras de drenagem.

Capítulo 7 - Suscetibilidade dos terrenos

*“De cada revolução da humana organização
Tirou a humanidade a maior habilidade
De adaptar o terreno ao capricho da vontade.”
(Edézio Teixeira de Carvalho)*

A literatura apresenta metodologias consagradas de conservação das terras voltadas para áreas agrícolas, o mais tradicional e conhecido se baseia no sistema de capacidade de uso da terra desenvolvido por Lepsch *et al.* (1991). No que se refere a ocupação urbana, os principais instrumentos técnicos que norteiam esse tipo de ocupação é a cartografia geotécnica ou cartografia geoambiental. Segundo a Comissão Técnica de Cartografia Geotécnica e Geoambiental (CTCG, 2004) estão cadastradas junto a essa comissão, no Brasil, 13 instituições de pesquisa que desenvolvem esse tipo de mapeamento. O Programa de Pós-Graduação em Geotecnia da UnB possui um grupo de pesquisa em Cartografia Geotécnica e Geoprocessamento que a mais de 20 anos vem produzindo mapeamentos para o Distrito Federal e outras regiões do país a nível municipal e de bacia hidrográfica (Souza, 2009).

O CTCG (2004) destaca que dentro da cartografia geotécnica incluem-se diversos tipos de cartas e mapas derivados ou com finalidades específicas, tais como as cartas de suscetibilidade, cartas de risco, cartas de aptidão e cartas de atributos e parâmetros. Ao contrário do sistema de classificação de capacidade de uso das terras, na Cartografia Geotécnica ainda não existe conhecimento acumulado para uma classificação padronizada de classes de capacidade de uso do solo urbano.

No que se refere às cartas de suscetibilidade e/ou cartas de fragilidade natural do terreno, é importante que não sejam confundidas com cartas de risco. A carta de risco deve necessariamente apresentar elementos indicativos das consequências dos eventos possíveis de ocorrerem em determinado terreno. Pode-se dizer, portanto, que a carta de risco é o produto da correlação entre carta de perigo e carta de vulnerabilidade. A carta de suscetibilidade, por sua vez, deve apresentar segundo Zuquete & Nakazawa (1998) a probabilidade de desencadeamento de um fenômeno induzido naturalmente ou pela ocupação. Arcaya (2007) e Macêdo (2009) elaboram, com base na metodologia de Campagnoli (2002), mapas de suscetibilidade a erosão linear, respectivamente para o Distrito Federal e bacia do rio Indaiá – UHE de Três Marias em Minas Gerais. A metodologia de Campagnoli (2002) baseia-se nos atributos do meio físico, sendo a carta de suscetibilidade um produto da operação matricial

entre o mapa geopedológico e do mapa de declividade.

Em função do grau de complexidade das cartas de risco e da temática já bastante extensa dessa tese não se trabalhou com tal metodologia nessa pesquisa. Entretanto, buscou-se analisar as suscetibilidades a erosão linear e a inundações e alagamentos da área estudada. A suscetibilidade a inundações e alagamentos foram espacializadas em mapa, todavia suscetibilidade a erosão foi analisada em nível qualitativo e sem a espacialização em mapa.

Destaca-se que a Lei nº 12.608 (Brasil, 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) e autoriza a criação de um sistema de informações e monitoramento de desastres. Esta lei em seu art. 6º, inciso IV, fixa como competências da União o apoio aos Estados, Distrito Federal e Municípios na elaboração de: “[...] mapeamento das áreas de risco, nos estudos de identificação de ameaças, suscetibilidades, vulnerabilidades e risco de desastre e nas demais ações de prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação”. Sendo assim, ao estabelecer no art. 7º, inciso IV, como competência dos Estados, “identificar e mapear as áreas de risco e realizar estudos de identificação de ameaças, suscetibilidades e vulnerabilidades, em articulação com a União e os Municípios” e no art. 8º, inciso IV, como competência dos Municípios, “identificar e mapear as áreas de risco de desastres” fica manifesta a vontade do legislador de priorizar a ampliação da escala nos estudos cartográficos.

7.1 SUSCETIBILIDADE EROSIVA

Ross (1994) aponta que a fragilidade dos ambientes naturais face às intervenções humanas é maior ou menor em função de suas características genéticas, sendo que é cada vez mais significativa a ação humana que, no uso do solo, causa grandes alterações na paisagem natural num ritmo muito mais intenso do que o da natureza. Sendo assim, Ross (1994) enfatiza que a análise da fragilidade natural pode ajudar no planejamento territorial ambiental, mas para tal exige estudos básicos do relevo, do subsolo, do solo, do uso da terra e do clima (Tabela 7.1). Na sua metodologia de análise empírica da fragilidade de ambientes naturais e antropizados (Ross, 1994), ao abordar o uso da terra não menciona formas de uso e cobertura urbanas, enfatizando tão somente a cobertura vegetal associada as formas de uso rural da terra. Desse modo, a ação antrópica em áreas urbanas, não recebe a devida valoração fazendo-se necessário contextualizar essa fragilidade do meio físico em função das práticas socioculturais

e do *modus vivendi* da população urbana. É importante relativizar a fragilidade do meio físico de modo a abrir espaço para a possibilidade do desenvolvimento urbano sustentável.

Ross (1994) propõe como possibilidade de abordagem da fragilidade de cada variável (relevo, solos, uso da terra e cobertura vegetal) uma associação de dígitos arábicos onde cada um dos números do conjunto numérico representa um determinado peso em cada variável. Assim sendo, pode-se ter combinações mais complexas com conjuntos arábicos de três dígitos combinando números de 1 a 5 e podendo resultar em áreas com valores do tipo 111, 121, entre outros e chegando até ao valor extremo 555, onde todas as variáveis são absolutamente desfavoráveis.

Tabela 7.1 - Análise da fragilidade ambiental (Ross, 1994; Santos, 2007).

Dígito Classificatório	Fragilidade Ambiental	Classes de declividade	Classes de solos (Atualizadas conforme EMBRAPA, 2006)	Classes de uso da terra
1	Muito Fraca	Até 6%	Latossolo Vermelho Latossolo Vermelho Amarelo de textura argilosa	Florestas/matias naturais, florestas cultivadas com biodiversidade
2	Fraca	6 a 12%	Latossolo Amarelo Latossolo Vermelho Amarelo de textura média/argilosa	Formações arbustivas naturais com estrato a herbáceo denso, formações arbustivas densas. Mata Homogênea de pinus densa, pastagem cultivada com baixo pastoreio, cultivo de ciclo longo como o cacau.
3	Média	12 a 20%	Latossolo Vermelho, Nitossolo, Argissolo Vermelho Amarelo textura média/argilosa	Cultivo de ciclo longo em curvas de nível/terraceamento com café, laranja com forrageiras entre ruas, pastagens com baixo pisoteio, silvicultura de eucaliptos com sub-bosque de nativas.
4	Forte	20 a 30%	Argissolo Vermelho Amarelo textura média/arenosa, Cambissolos	Culturas de ciclo longo de baixa densidade (café, pimenta do reino, laranja com solo exposto entre ruas), culturas de ciclo curto arroz, trigo, feijão, soja, milho, algodão com cultivo em curvas de nível terraceamento
5	Muito Forte	Acima de 30%	Argissolos com cascalho, Neossolo Litólico, Neossolo Quartzarênico.	Áreas desmatadas e queimadas recentemente, solo exposto, culturas de ciclo curto sem práticas conservacionistas

Salomão (2005) aponta na Tabela 7.2, assim como Ross (1994) na Tabela 7.1, que o desenvolvimento de erosões lineares depende da conjugação de fatores naturais e de uso e ocupação do solo. Salomão (2005) enfatiza que os métodos de identificação e delimitação de áreas com suscetibilidade erosiva deve se basear em análises qualitativas e integradas dos elementos da paisagem seguindo os seguintes passos: cadastro das feições erosivas; elaboração de mapas do meio físico; correlação da distribuição das erosões; levantamento de campo e distinção de classes de suscetibilidade do terreno. Também nesse caso não se valora o elemento fragilizador do meio físico, a ação humana, de fundamental importância em especial no meio urbano.

Tabela 7.2 - Suscetibilidade a erosão linear (DAEE/IPT,1989 *apud* Salomão, 2005; Santos, 2007).

Classe de Suscetibilidade Erosiva	Descrição
Extremamente suscetíveis a ravinas e voçorocas.	Áreas favoráveis à instalação de fenômenos de piping, onde os processos de voçorocamento se desenvolvem logo após a destruição da cobertura vegetal natural independente das formas de ocupação. Presença de gradientes hidráulicos subterrâneos elevados em geral situados em cabeceiras de drenagem, especialmente as que possuem forma em anfiteatro, também incluem setores da vertente com nível d'água sub-aflorantes.
Muito suscetíveis a ravinas e pouco suscetíveis a voçorocas.	Áreas favoráveis à concentração de fluxos de água, onde ravinas se desenvolvem em função da ocupação do solo que permite fluxos concentrados do escoamento superficial mesmo que em pequenas quantidades. O aprofundamento das ravinas pode resultar na interceptação do nível d'água gerando voçorocas. Em geral são áreas com declividade que favorece os fluxos superficiais e com solos com elevado gradiente textural entre os horizontes como os Argissolos de textura arenosa/média ou arenosa/argilosa.
Moderadamente suscetíveis a ravinas e pouco suscetíveis a voçorocas.	Áreas de dispersão de fluxo, bem drenadas com elevadas permeabilidades até grandes profundidades facilitando a infiltração de água da chuva. Cobertura pedológica com solos pouco coesos facilmente removíveis no escoamento superficial. Grandes concentrações de fluxo d'água por influência de uso do solo produzem ravinamentos. O aprofundamento das ravinas pode gerar voçorocamento e pipings principalmente em baixas vertentes e nas cabeceiras de drenagem. Os solos são em geral profundos e de textura arenosa a média como Neossolos Quartzarênicos e Latossolos de textura média.
Suscetíveis a ravinas e não suscetíveis a voçorocas.	São áreas favoráveis à concentração dos fluxos de água, declivosas e com a cobertura pedológica pouco profunda (Cambissolos e Neossolos litólicos) e em geral não intercepta o nível freático. As ravinas que se instalam são pouco profundas predominando a ocorrência de sulcos.
Não suscetíveis a ravinas e voçorocas.	Áreas planas, onde predominam os processos de acumulação tais como as planícies de inundação.

Considerando a necessidade exposta de análise integrada do meio físico e do uso do solo bem como a determinação de classes de suscetibilidade do terreno, apresenta-se na Tabela 7.3 uma síntese desses parâmetros de forma a abordar todas as voçorocas estudadas nessa pesquisa. Na Tabela 7.3 é possível verificar que as voçorocas tendem a ocorrer no complexo granulítico ou no limite destes com as coberturas detrito-lateríticas. Como o mapa geológico não fornece

informações detalhadas da litologia não é possível verificar influências significativas dos compartimentos litoestratigráficos na evolução das voçorocas.

No que se refere ao aspecto geomorfológico é possível notar um padrão claro de ocorrência das voçorocas nas cabeceiras de drenagem e baixas vertentes, sendo as cabeceiras consideradas pelo DAEE/IPT (1989 *apud* Salomão, 2005) como áreas extremamente suscetíveis a ocorrência de ravinas e voçorocas. Elevadas declividades que podem variar localmente de 15 a mais de 45%, diversidade altimétrica Alta e morfologias Côncavas/Côncavas, mesmo que pontualmente, são algumas das características geomorfológicas que condicionam a suscetibilidade a erosão linear nesses compartimentos geomorfológicos. A declividade observada na área inclui segundo Ross (1994) fragilidade ambiental de média a muito forte, mas considerando que na cabeceira da erosão essas declividades tendem a ser muito elevadas entende-se que na área de estudo esse atributo do meio físico oferece uma fragilidade muito forte.

Além disso, no que se refere a orientação todas as voçorocas analisadas possuem pelo menos uma das margens com orientação para Oeste com influência de insolação no período da tarde ou com orientação para o quadrante Norte que tendem a ter um maior acúmulo de energia calorífica ao longo do ano. Sendo que em ambas as situações de orientação as declividades elevadas mencionadas, tendem a potencializar o acúmulo de energia calorífica.

Quanto aos solos predominam Latossolo Vermelho Amarelo e Latossolo Vermelho com textura média ou argilosa os quais teriam segundo Ross (1994) uma fragilidade muito fraca a fraca. Existem também voçorocas em Argissolo Vermelho e Neossolo Litólico passíveis de serem classificados com um fragilidade forte a muito forte. Considerando que a maioria dos latossolos analisados possui um perfil pouco profundo nesse trabalho será considerado que os solos estudados oferecem no que se refere aos processos erosivos, uma fragilidade ambiental forte.

Logo analisando os atributos do meio físico conforme as proposições de Ross (1994) os locais onde ocorrem as erosões estudadas nessa tese possuem uma forte fragilidade ambiental à ocorrência desses processos. Já analisando o uso e cobertura do solo e contrapondo a essas características do meio físico de acordo com DAEE/IPT (1989 *apud* Salomão, 2005) constatou-se que exceto a voçoroca Contorno e Geovane Braga, a área de todas as demais são extremamente suscetíveis ao surgimento de ravinas e voçorocas. Quanto a área das exceções (Voçorocas Contorno e Geovane Braga) podem ser classificadas como muito suscetíveis a

ravinas e pouco suscetíveis a voçorocas, onde o aprofundamento das ravinas em solo pouco espesso na baixa vertente com nível d'água alto resultou na formação de voçorocas (Tabela 7.3).

Também estão inseridos na análise de suscetibilidade a erosão linear os parâmetros geotécnicos que foram abordados no Capítulo 5, enfatizando-se a mineralogia, classificação, sucção, perda de massa, desagregação, *pinhole*, inderbitzen e cisalhamento direto. Esses dados incrementam o entendimento da suscetibilidade numa escala detalhada quanto comportamento dos solos das voçorocas estudadas. Esses parâmetros indicam solos mineralogicamente estáveis, com exceção do solo saprolítico da voçoroca Túnel que possui mineral expansivo. O comportamento granulométrico é arenoso em campo, sendo suscetíveis a erosão superficial como foi verificado nos ensaios de perda de massa, desagregação e inderbitzen e com baixo potencial a erosão interna, eluviação e esqueletização quando da ocorrência de fluxo interno. Uma avaliação qualitativa desses parâmetros para o maciço de solo de cada voçoroca indica uma suscetibilidade mediana desses solos quanto a evolução de processos erosivos. Todavia essa classificação da suscetibilidade necessita de um apuramento metodológico na atribuição de pesos específicos para cada parâmetro adotado.

Tabela 7.3 - Avaliação da suscetibilidade a erosão das áreas estudadas.

Atributos do Meio Físico		VOÇOROCAS						VFE	
		VT	VC	VGB	V CJ	VCEL	VLB		
Geologia		TQDI/ APllgaio	APllgaio	TQDI/ APllgaio	APllgaio	APllgaio	TQDI/ APllgaio	APllgaio	
Geomorfologia		Cabeceira de drenagem	Baixa Vertente	Baixa Vertente	Baixa Vertente	Cabeceira de drenagem	Cabeceira de drenagem	Cabeceira de drenagem	
Diversidade Altimétrica		Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	
Declividade		15 - > 45%	20%	10 a >45%	15 - > 45%	15 - > 45%	15 - > 45%	> 45%	
Curvatura		Côncava/Côncava na cabeceira	Côncava/Côncava na cabeceira	Côncavo/Convexo que na cabeceira da voçoroca se tornam Convexo/Côncava e posteriormente Côncavo/Convexo	Côncava/Côncava na cabeceira	Côncavo/Côncava na cabeceira	Côncavo/Côncavo na cabeceira	Côncavo/Côncavo na cabeceira	
Orientação	Direita	Sudoeste e Oeste	Oeste e Sudoeste	Norte	Sudeste e Leste	Oeste e Sudoeste	Sul e Sudoeste	Sudeste	
	Esquerda	Norte e Noroeste	Nordeste e Leste	Sul	Sul e Sudoeste	Noroeste e Oeste	Noroeste	Sul e Sudoeste	
Distância de drenagem		0 - 100 m	0 - 200 m	0 - 200 m	0 - 50 m	0-50 m	0-50 m	0 - 50 m	
Solos		Concreção ferruginosa em degradação	Latossolo Vermelho-Amarelo	Latossolo Vermelho-Amarelo	Latossolo Vermelho-Amarelo	Latossolo Vermelho-Escuro	Argissolo Vermelho Escuro	Neossolo Litólico	
Aspectos Geotécnicos	Mineralogia	Laterítico	Estável	Estável	Estável	Estável	Ensaio laboratoriais não realizados	Ensaio laboratoriais não realizados	
		Saprolítico	Expansiva	Estável	Estável	Estável			---
	Classificação* Granulométrica SD/SUCS/MCT	Laterítico	Arenoso/SM/ LG	Arenoso/SM/ LG	Arenoso/ML/ LG	Arenoso/ML/ LG			Arenoso/ML/ LG
		Saprolítico	Arenoso/MH/NG	Arenoso/ML/NG	Arenoso/MH/NG	Arenoso/MH/NG			---
	Sucção	Laterítico	---	Não definido	Entrada de ar nos macroporos - 3 kPa e w de 40%	Entrada de ar nos macroporos - 2 kPa e w de 38%			Entrada de ar nos macroporos - 3 kPa e w de 37%
		Saprolítico	Entrada de ar - 100 kPa e w de 25%	Não definido	Entrada de ar - 50 kPa e w de 28%	Entrada de ar - 20 kPa e w de 50 %			---
	Perda de massa	Laterítico	---	Elevada	Elevada	Moderada			Baixa
		Saprolítico	Baixa, mas com deslocamento	Baixa, mas com deslocamento	Baixa, mas com deslocamento	Baixa sem deslocamento			---
	Desagregação	Laterítico	---	Instável	Instável	Estável			Estável
		Saprolítico	Estável	Estável	Instável	Instável			---
	Pinhole	Laterítico	---	Sem potencial a erosão interna, eluviação esqueletização	Pequeno potencial a erosão interna, eluviação esqueletização	Alto potencial a erosão			Pequeno potencial a erosão interna, eluviação esqueletização
		Saprolítico	Sem potencial a erosão interna, eluviação esqueletização	Sem potencial a erosão interna, eluviação esqueletização	Sem potencial a erosão interna e pequeno potencial a eluviação esqueletização	Sem potencial a erosão interna e pequeno potencial a eluviação esqueletização			---
Inderbitzen (g/mm ² ×10 ⁻³)	Laterítico	---	1,4	1,7	0,3	4,8			
	Saprolítico	2,8	0,9	1,8	0,4	---			
Cisalhamento direto	Laterítico	---	Coesão de 1 kPa Ângulo de atrito de 27°	Coesão de 2 kPa Ângulo de atrito de 37°	Coesão de 5 kPa Ângulo de atrito de 30°	Coesão de 10 kPa Ângulo de atrito de 36°			
	Saprolítico	Coesão de 20 kPa Ângulo de atrito de 27°	Coesão de 0 kPa Ângulo de atrito de 40°	Coesão de 29 kPa Ângulo de atrito de 28°	Coesão de 34 kPa Ângulo de atrito de 41°	---			
Uso e cobertura do solo atual		Área urbana industrial a montante, margeada por pastagens.	Área urbana em consolidação a montante, margens da voçoroca com formação savânica e pastagem.	Área urbana em consolidação a montante, margem esquerda com área urbana em consolidação e margem direita mais a montante solo descoberto e mais a jusante pastagem com formação savânica.	Área urbana consolidada mais a montante pastagem no entorno das cabeceiras, área urbana consolidada na margem esquerda e área urbana parcelada na margem direita	Área urbana consolidada a montante e na margem esquerda, pastagem e solo descoberto na margem direita	Área urbana consolidada a montante e nas margens, pastagem e formação savânica a jusante.	Área urbana consolidada a montante e nas margens, Formação florestal e savânica a jusante.	
Arruamento		Vias (avenida, rodovia, ferrovia) próximas a voçoroca, sendo que a avenida corta transversalmente a cabeceira de drenagem	Rua no sentido do declive	Rua no sentido do declive	Ruas margeiam o curso d'água	Rua no sentido do declive se conectando a rua transversal a cabeceira de drenagem	Avenida transversal a cabeceira de drenagem	Rua no sentido do declive se conectando a rua transversal a cabeceira de drenagem	
Drenagem		Lançamento de águas pluviais nas cabeceiras de drenagem	Escoamento superficial concentrado ao longo da rua	Lançamento de águas pluviais a meia encosta	Lançamento de águas pluviais nas cabeceiras de drenagem.	Lançamento de águas pluviais nas cabeceiras de drenagem.	Possíveis vazamentos nos dutos de saneamento e drenagem urbana	Lançamento de águas pluviais nas cabeceiras de drenagem.	
Fragilidade Ambiental (Ross, 1994)		Forte	Forte	Forte	Forte	Forte	Forte	Forte	
Suscetibilidade a erosão linear (DAEE/IPT, 1989 <i>apud</i> Salomão, 2005; Santos, 2007)		Extremamente suscetíveis a ravinas e voçorocas	Muito suscetíveis a ravinas e pouco suscetíveis a voçorocas	Muito suscetíveis a ravinas e pouco suscetíveis a voçorocas	Extremamente suscetíveis a ravinas e voçorocas	Extremamente suscetíveis a ravinas e voçorocas	Extremamente suscetíveis a ravinas e voçorocas	Extremamente suscetíveis a ravinas e voçorocas	
Suscetibilidade Geotécnica dos solos		Mediana	Mediana	Mediana	Mediana	Mediana	Ensaio laboratoriais não realizados	Ensaio laboratoriais não realizados	

* Os dados das classificações dos solos são dos ensaios realizados com umidade higroscópica, sendo a classificação granulométrica sem o uso de defloculante.

7.2 SUSCETIBILIDADE A INUNDAÇÕES E ALAGAMENTOS

De acordo com de Sayago & Guido (1990), os alagamentos são entendidos como sendo o acúmulo excessivo das águas do escoamento superficial sobre a superfície, geralmente em função da impermeabilização e da inexistência ou ineficiência da microdrenagem, podendo invadir edificações em geral e causar transtornos ao trânsito.

As inundações são, segundo Infanti Junior & Fornasari Filho (1998), o extravasamento das águas de um curso d'água para áreas marginais. Para Tucci (1995) as inundações podem ser do tipo ribeirinhas, quando trasbordamentos naturais atingem as populações que ocupam as proximidades de leitos de rios e áreas de planície. Elas podem ocorrer em consequência do excessivo parcelamento do solo, e a consequente impermeabilização que favorece um aumento do escoamento superficial e incrementa as vazões de pico resultando em transbordamento dos cursos d'água. As inundações ainda podem ser ocasionadas em função do estrangulamento das seções do rio por aterros, pilares, pontes, estradas e bueiros subdimensionados ou obstruído por detritos e sedimentos.

Jesus (2007) detectou na alta bacia do rio das Antas a ocorrência de 7 pontos de alagamento, 2 pontos de inundação e 2 pontos com ocorrência simultânea de alagamento e inundação, sendo que os alagamentos estão associados à inexistência, em muitos locais, de sistema de microdrenagem. Verificou-se alagamentos até mesmo em seções superiores da vertente. Batista (2011) e Batista *et al.* (2012) elaboraram seis cenários de suscetibilidade a alagamentos e inundações para Anápolis dentro do polígono da área de estudo dessa tese. As variáveis utilizadas para compor esses cenários foram declividade (D), uso e cobertura do solo (U) e distância de drenagem por fluxo acumulado (FDD), as quais receberam pesos distintos nas diversas combinações que resultaram nos seis cenários apresentados na Tabela 3.2.

Os cenários de suscetibilidade a alagamentos e inundações foram espacializados em mapas (Figura 7.1), nos quais é possível verificar a existência de altas e moderadas suscetibilidades à inundação em grande parte das áreas impermeabilizadas dentro do perímetro urbano, principalmente na zona central de Anápolis. Essa suscetibilidade foi verificada mesmo quando atribuída baixa importância à variável de uso e cobertura do solo (cenários 1, 2, 5 e 6). Ao analisar os cenários 3 e 4, onde o atributo de uso e cobertura do solo é o de maior importância, foi possível visualizar toda a zona central de Anápolis entre as categorias de alta moderada e muito alta susceptibilidade à inundação.

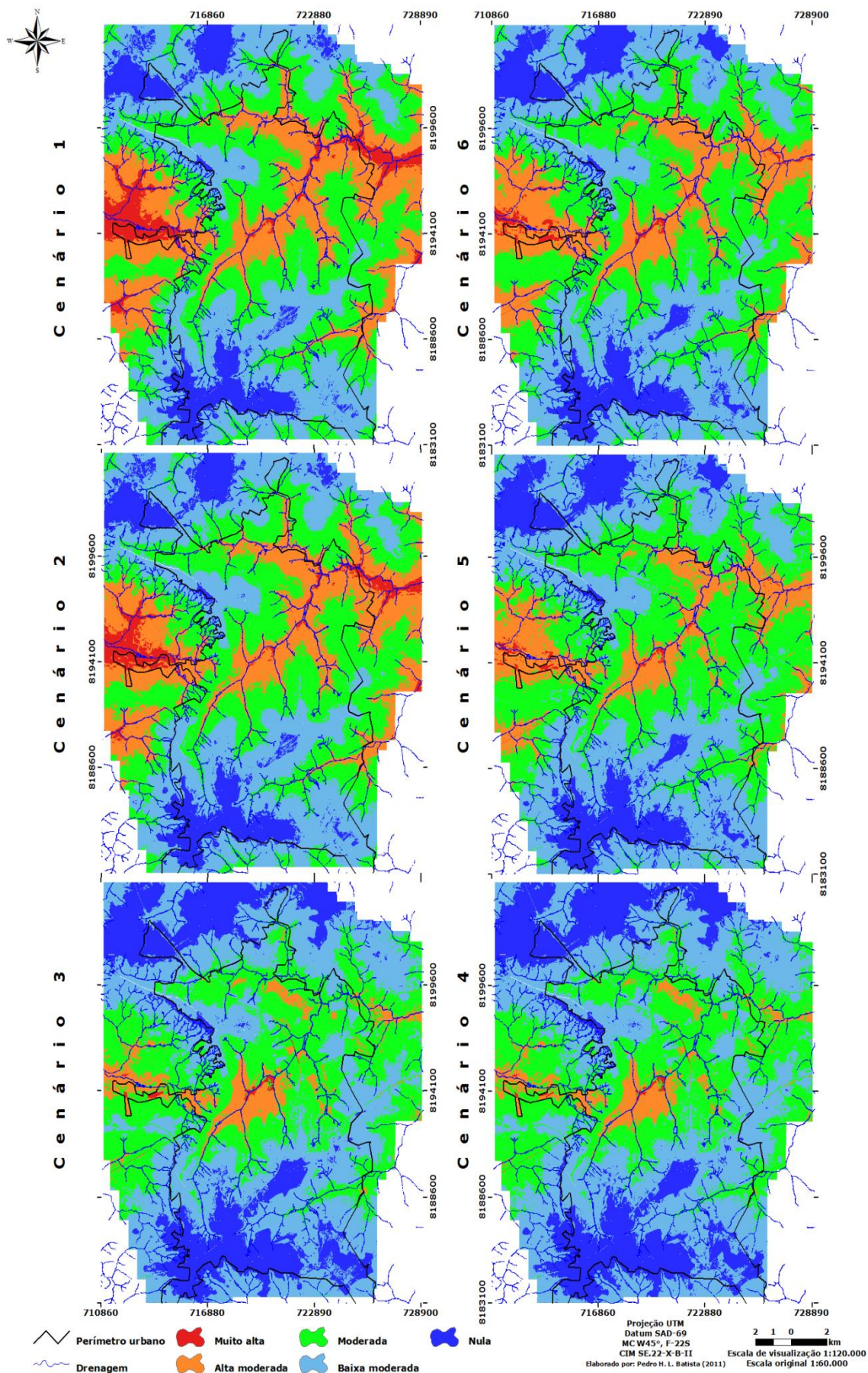


Figura 7.1 - Mapas dos cenários de suscetibilidade a inundação e alagamento (Batista, 2011; Batista *et al.*, 2012).

Isso ocorre porque, como foi apontado no Capítulo 6, a área central de Anápolis está edificada sobre a planície de inundação do rio das Antas. É sabido que as planícies são áreas onde as inundações tendem a ocorrer naturalmente. A impermeabilização a montante gera um fluxo superficial muito acentuado e incompatível com o sistema de captação de águas pluviais resultando em alagamentos recorrentes (Figura 7.2 a, b e c). Em trabalho de campo foi possível verificar que muitos locais possuem muros de contenção para evitar a entrada de água nas residências (Figura 7.2 d).



Figura 7.2 - Alagamentos em Anápolis: (a) Na avenida Brasil no cruzamento com a Rua Amazílio Lino de Souza - vista para montante; (b) Na avenida Brasil no cruzamento com a Rua Amazílio Lino de Souza - vista para jusante; (c) alagamento na avenida Brasil em frente ao Brasil Park Shopping; (d) Estruturas de contenção à alagamentos próximo a voçoroca Cidade Jardim.

Nos cenários 1 e 2 (Figura 7.1), onde há maior importância para o mapa de distância de drenagem pelo fluxo acumulado e para o mapa de declividade, respectivamente, foram observadas altas suscetibilidades à inundação nas proximidades das calhas de drenagem e áreas de planície. Verificou-se ainda que a porção oeste apresentou alta suscetibilidade a inundação. Por ser um local fora do perímetro urbano isso implica em menores riscos devendo-se, no entanto, evitar edificações nesse local devido ao seu elevado potencial para inundação.

Destaca-se ainda que as áreas com suscetibilidade a alagamento sugerem um escoamento superficial concentrado que por sua vez pode estar relacionado a gênese de processos erosivos lineares. Tanto os processos de inundação e alagamento como os de erosão acelerada na forma de ravinas e voçorocas interferem na vida das pessoas que tem que conviver com eles. Todas as implicações desses processos, na vida das pessoas que habitam o entorno de ravinas e voçorocas são apresentados e discutidos no Capítulo 8.

Capítulo 8 - Erosão e qualidade de vida

“As desigualdades não podem mais ser ignoradas, não se pode mais governar forjando uma unanimidade.”

(Ana Fani A. Carlos)

Ao falar de erosão de solos com profissionais de áreas diversas as percepções serão igualmente distintas, pois cada um deles privilegiará as diretrizes conceituais e pragmáticas de sua formação teórica. O que une esses profissionais é o estudo das causas do processo erosivo, mesmo que, por vezes, muitos deles procurem as causas de forma isolada no contexto ambiental. Além disso, entre os que procuram por soluções nem sempre estas estão vinculadas as causas ambientalmente contextualizadas. Dentre outros, alguns profissionais merecem destaque, no que tange os estudos sobre erosão: agrônomos, engenheiros geotécnicos, geógrafos, geólogos, gestores públicos (prefeitos, governadores).

De forma genérica, sem levar em consideração as peculiaridades de especialização de cada área pode-se dizer que esses profissionais listados terão as seguintes percepções dos processos erosivos: Ao indagar um geólogo sobre erosão, ele não titubeará em apresentar rochas, minerais, seus processos de alteração intempérica, falhas, fraturas e outras estruturas geológicas e hidrogeológicas como possíveis condicionantes do processo. Um engenheiro agrônomo de pronto se preocupará com as perdas de solo agricultável, bem como possíveis danos a infraestrutura da propriedade rural e a produtividade. Um engenheiro geotécnico, rapidamente se remeterá às propriedades físicas do solo e ao comportamento hidromecânico do maciço que favoreceram a ocorrência do fenômeno e qual o tipo de obra necessária para estabilizar o processo ou mesmo reparar o local erodido. O geógrafo buscará compreender o fenômeno como um produto das relações entre o homem e o meio socioeconômico inseridos em um meio físico mais ou menos sensível. O gestor público encarará a erosão como um problema administrativo.

Diante do exposto, urge indagar o seguinte: E o morador do entorno da erosão? Onde ele é pensado quando dos estudos de causas do processo? Onde ele é pensado em estudos das consequências do processo? Principalmente, quando ele é pensado no ato das escolhas das soluções mais acertadas para o local? Como sua qualidade de vida pode ser afetada pela dinâmica do processo erosivo? Ousa-se dizer que até esse ponto poucos leitores teriam indagado sobre o que diria da erosão uma pessoa que habita o seu entorno ou que habitou um

local por ela arrasado. Pensando na população que habita o entorno das erosões procurou-se, dentro desse trabalho, investigar quem são essas pessoas, como se relacionam com as erosões e como essas erosões interferem na sua qualidade de vida. Afinal, como apontam Bertoni & Lombardi Neto (1990), a erosão não é só um problema técnico, mas também um problema social e econômico, sendo o êxito em ações de conservação do solo dependente do conjunto de implicações sociais e econômicas.

Não é pretensão desse trabalho produzir índices de qualidade de vida, mas sim discutir os vários indicadores associados a este conceito. Desse modo, apresenta-se uma nova possibilidade de abordagem dos processos erosivos acelerados cujas causas e consequências sociais são em geral superficializadas e encobertas por preocupações puramente vinculadas ao fenômeno físico por parte de geólogos, engenheiros e geógrafos ou por preocupações meramente imediatistas da gestão pública. As pessoas que habitam o entorno de erosões, não são apenas um número na estatística populacional, elas tem uma história, elas tem sentimentos, elas tem necessidades que as fazem se sujeitarem ao ambiente de risco do entorno das erosões, colocando-as a sorte de vários tipos de problemas que vão além de acidentes envolvendo danos às edificações, conforme será apresentado nos tópicos a seguir (Figura 8.1).



Figura 8.1 - Em primeiro plano talude da voçoroca Cidade Jardim e em segundo plano uma das várias casas que estão localizadas próximas a essa voçoroca.

Enfatiza-se, portanto, o caráter qualitativo da pesquisa, onde objetiva-se transcender a frieza estática dos números, percentuais e questionários a que estão vinculados boa parte dos dados revelando os anseios dos moradores. Afinal, esses moradores muitas vezes são lembrados apenas de maneira pontual em manchetes de tragédias que marcam de modo profundo e

irreversível suas vidas. Esse caráter qualitativo segue os princípios do trabalho de Jesus (2007, 2009 et al), em estudo semelhante, mas limitado à alta bacia do rio das Antas em Anápolis, onde o elemento mais importante e valioso apreendido pela autora foram os sentimentos dos moradores.

A seleção dos indicadores de qualidade de vida, a escolha da amostragem e as formas de abordagem dos moradores foram realizadas conforme as instruções metodológicas e procedimentos técnicos descritos no Capítulo 3 e seguiram, sempre respeitando as questões éticas, os pressupostos teóricos abordados a seguir.

8.1 CONCEPÇÕES TEÓRICAS DE QUALIDADE DE VIDA

O conceito de qualidade de vida é abordado de maneira distinta conforme a área que se apropria dele. Assim, de acordo com Jesus (2007), na saúde, se destacam parâmetros de satisfação e conforto dos pacientes mediante determinados tratamentos médicos. No mercado imobiliário, se sobressaem parâmetros de agregação de valor à imóveis de alto padrão construtivo. Já na área empresarial a qualidade de vida é estrategicamente avaliada para criar condições de motivação aos funcionários e, logo, obter maior produtividade.

Trabalhos vinculados à área da geografia urbana ou à abordagem ambiental mostrados na Tabela 8.1, apresentam uma percepção teórica que converge de maneira mais apropriada ao enfoque ambiental dessa tese. De acordo com as abordagens dos autores apresentados na Tabela 8.1 verifica-se o alto grau de subjetividade envolvido no conceito, mas também é possível notar que todos convergem para um conceito dinâmico que flui entre o individual e o coletivo e destes com o meio onde estão inseridos. Considera-se que algumas definições podem ser balizadoras nesse universo subjetivo e sem unanimidades conceituais, destacando-se as disposições da Constituição Federal e a definição da OMS.

Tabela 8.1: Concepções teóricas sobre o conceito de qualidade de vida (Jesus, 2007 e Jesus *et al.* 2009b - Adaptado).

Autor	Concepção Teórica
Barbosa (1995)	Análises de qualidade de vida devem observar como a população se articula politicamente, como tem acesso a bens e serviços, num contexto socioambiental mais amplo, onde as condições de moradia, alimentação, salários, lazer, saneamento, transporte, saúde e relações de vizinhança, entre outros.
Guedes Pinto (1995 p.23)	A qualidade de vida muito mais que um estado, é um processo cujas perspectivas teóricas, “[...] buscam superar seus limites, romper suas fronteiras, estabelecer o diálogo entre o natural, o social, o cultural e obviamente, entre todos estes, o político”.

Autor	Concepção Teórica
Leal (1995)	Não se deve quantificar nem atribuir valores numéricos aos indicadores de qualidade de vida, mas sim considerá-los no seu conjunto a fim de estabelecer não uma mensuração, mas sim uma discussão ampla que dê voz à comunidade envolvida.
Braga (2002)	Do ponto de vista de políticas públicas, a abordagem da qualidade de vida pode ser mais objetiva se nos remetermos ao conceito de cidadania.
Santos & Martins (2002)	A qualidade de vida prescinde da cidadania.
Machado (2004)	A qualidade de vida supera a variável pessoal, pois por mais que esta tenha peso nesta discussão, a qualidade de vida é um atributo coletivo onde a equidade é um parâmetro fundamental.
Murta (2006)	Qualidade de vida está relacionada às condições pessoais, grupais e comunitárias de liberdade e justiça social.
Jesus (2007)	A precariedade ou inexistência de determinados indicadores de qualidade de vida pode proporcionar condições para o desenvolvimento de erosões e alagamentos. Estes, por sua vez, podem implicar na deterioração de outros indicadores como trafegabilidade, risco das pessoas caírem em alguma incisão erosiva dentre tantos outros problemas.

A Constituição Federal Brasileira menciona a qualidade de vida no seu Art. 225 apontando que “Todos tem direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e a coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.” (Brasil, 1988). Se a Constituição Federal for levada em consideração, de imediato pode-se afirmar que ambientes afetados por processos erosivos acelerados, enquanto impacto ambiental, comprometem sobremaneira a qualidade de vida.

Essas concepções teóricas não estão distantes da definição da OMS que também verifica que esse conceito é amplo, podendo ser afetado por saúde física e psicológica, independência, relações sociais e suas relações com o meio ambiente. Diante disso a OMS, define a qualidade de vida como a percepção do indivíduo de sua posição na vida no contexto dos sistemas de cultura e valores no qual vive e em relação aos seus objetivos, expectativas, padrões e preocupações (WHO, 1993). A OMS possui um grupo dedicado exclusivamente ao estudo da qualidade de vida no mundo (WHOQOL GROUP - *World Health Organization Quality of Life*) com centros de pesquisas colaboradores em vários países. Um dos instrumentos de pesquisa desse grupo é denominado WHOQOL-100. Esse instrumento foi traduzido para o português por pesquisadores do Departamento de Psiquiatria e Medicina Legal da UFRGS (Fleck *et al.* 1999) podendo ser aplicado no Brasil.

O WHOQOL-100 consiste em cem perguntas referentes a seis domínios: físico, psicológico, nível de independência, relações sociais, meio ambiente e espiritualidade / religiosidade /

crenças pessoais. Esses domínios são divididos em 24 facetas. Cada faceta é composta por quatro perguntas. Além das 24 facetas específicas, o instrumento possui uma 25ª faceta composta por perguntas gerais sobre qualidade de vida. O domínio V é o que particularmente interessa a essa pesquisa, pois trata do meio ambiente. Dentro do domínio meio ambiente são enfocados, segurança física e proteção, ambiente no lar, recursos financeiros, cuidados de saúde e sociais: disponibilidade e qualidade, oportunidades de adquirir novas informações e habilidades, participação em, e oportunidades de recreação/lazer, ambiente físico (poluição, ruído, trânsito, clima), transporte.

Tal instrumento não serviu de base para a elaboração do guia de entrevistas dessa pesquisa, por ter um caráter muito mais amplo e voltado para a saúde, tanto que a tradução do instrumento foi feita por pesquisadores do Departamento de Psiquiatria e Medicina Legal da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Onde, embora tenha sido envolvidas pessoas da população geral, o número de profissionais de saúde e pacientes internados foram mais acentuados. Além disso, o foco amplamente quantitativo da OMS se distancia das pretensões qualitativas desse trabalho. De qualquer forma é importante salientar que o guia de entrevistas utilizados nessa pesquisa contempla os itens abordados pelo domínio de meio ambiente proposto pela OMS.

Considerando a existência, no Brasil, de pesquisas sobre qualidade de vida alguns grupos merecem destaque: Observatório de Qualidade de Vida de Santo André – SP (OQVSA) e Grupo de estudos em qualidade de vida do Departamento de Psiquiatria e Medicina Legal da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Sendo o primeiro mais voltado para questões de planejamento urbano e o segundo concentra-se em questões médicas e de saúde. Sendo que, não foi possível verificar a existência de linhas de pesquisa específicas sobre processos erosivos.

A seguir serão apresentados e discutidos os indicadores de qualidade de vida dos moradores do entorno de voçorocas em Anápolis e, posteriormente, será feita uma abordagem da qualidade de vida com vistas a prevenção das incisões erosivas e a educação ambiental num contexto de habitação consciente e ao mesmo tempo transformadora do espaço.

8.2 INDICADORES DE QUALIDADE DE VIDA DA POPULAÇÃO QUE HABITA O ENTORNO DE VOÇOROCAS EM ANÁPOLIS

Foram abordados indicadores vinculados à escolaridade, situação profissional, rentabilidade,

origem do morador, condições de moradia, infraestrutura urbana, serviços disponíveis, acesso a lazer e informação, percepção do local onde mora e articulação sócio-política os quais estão descritos a seguir.

8.2.1 Escolaridade, Situação Profissional e Rentabilidade

A escolaridade é um elemento importante para discussão da qualidade de vida, sendo que Jesus (2007) e Jesus *et al.* (2009b) destacam o estudo formal como elemento que permite que o indivíduo amplie suas experiências temporais e espaciais para além da comunidade e conheça novos mundos e culturas. Isso estimula o senso crítico quanto às questões inerentes à sociedade, proporcionando condições de exercício da cidadania. Já na educação não formal são essas experiências temporais e espaciais que adentram a comunidade oferecendo-lhe novas percepções sobre o exercício dessa mesma cidadania. Nessa pesquisa os levantamentos realizados são concernentes ao estudo formal mesmo porque ele pode ter alguma relevância para a percepção dos componentes educacionais não formais.

Entre os moradores entrevistados verificou-se que 24% das pessoas estavam cursando o ensino básico sendo que um percentual elevado de 37% de pessoas possuem educação básica inconclusa. Verificou-se ainda que 17% dos entrevistados concluíram a educação básica, mas não acessaram o ensino superior. Apenas 14% das pessoas abordadas na pesquisa alcançaram o ensino superior (Figura 8.2).

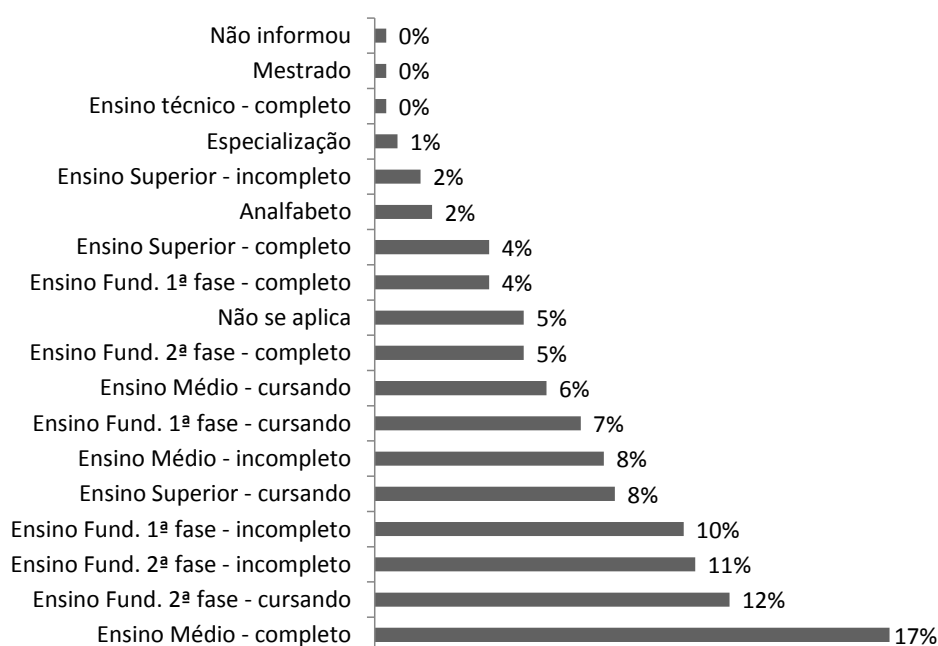


Figura 8.2 - Grau de escolaridade dos moradores que habitam o entorno das erosões.

Quanto ao tipo de instituição onde adquiriram a educação formal fica um tanto difícil abordar com precisão os percentuais, pois a grande maioria, 65% dos entrevistados, não informou esse tipo de dado. Acredita-se que esses 65% estão vinculados aos entrevistados que possuem ensino básico incompleto ou já o concluíram. De qualquer maneira, entre os que informam o tipo de instituição de ensino a maioria, 22% do total, adquiriu ou está adquirindo educação formal em escolas públicas (Figura 8.3).

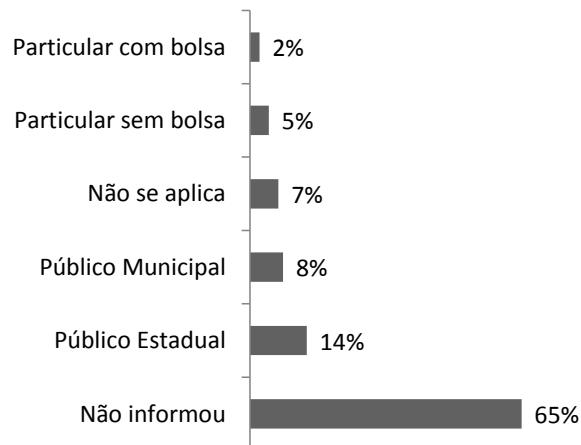


Figura 8.3 - Tipo de instituição de ensino em que estudou.

No que tange a situação profissional dos moradores abordados na pesquisa levou-se em consideração a idade laboral de início das atividades profissionais conforme regulamentado na Emenda nº 20, de 16 de dezembro de 1998 que determina 16 anos como o marco inicial da vida laboral e também a idade de aposentadoria que marca o fim da vida laboral formal. Desse modo, verificou-se que 37% dos moradores abordados na pesquisa foram agrupados na classe não se aplica (Figura 8.4 a). Mas esse percentual esconde, 5% que não informaram sua condição laboral, 1% que declararam nunca ter trabalhado, 13% de menores de 16 anos, 20% de donas de casa e 60% correspondentes a estudantes (Figura 8.4 b).

Se desconsiderada a classe “não se aplica”, do gráfico da Figura 8.4 (a), para o universo estatístico de condição laboral, é possível verificar que 41% dos trabalhadores estão empregados em empregos formais. Mas, um percentual relevante de 35% da amostra encontra-se vinculado a trabalhos informais. Além disso, 8% dos trabalhadores estão desempregados, sendo que dentre esses a grande maioria, 47% desse percentual, estava, na data da pesquisa, desempregada a menos de 6 meses e um percentual considerável de 27% encontrava-se desempregado a 2 anos. (Figura 8.4 c).

O alto percentual de empregos informais pode ter uma relação direta com a escolaridade dos moradores que majoritariamente possuem o ensino básico incompleto. Tal situação suscita a

existência de uma mão de obra desqualificada, que em geral é um fator importante no que se refere a inserção no mercado formal de empregos e conseqüentemente de acesso a boa remuneração. Situação semelhante foi verificada por Jesus (2007) e Jesus *et al.* (2009b) na alta bacia do rio das Antas, onde a combinação baixa escolaridade e informalidade profissional resultaram em renda muito baixa.

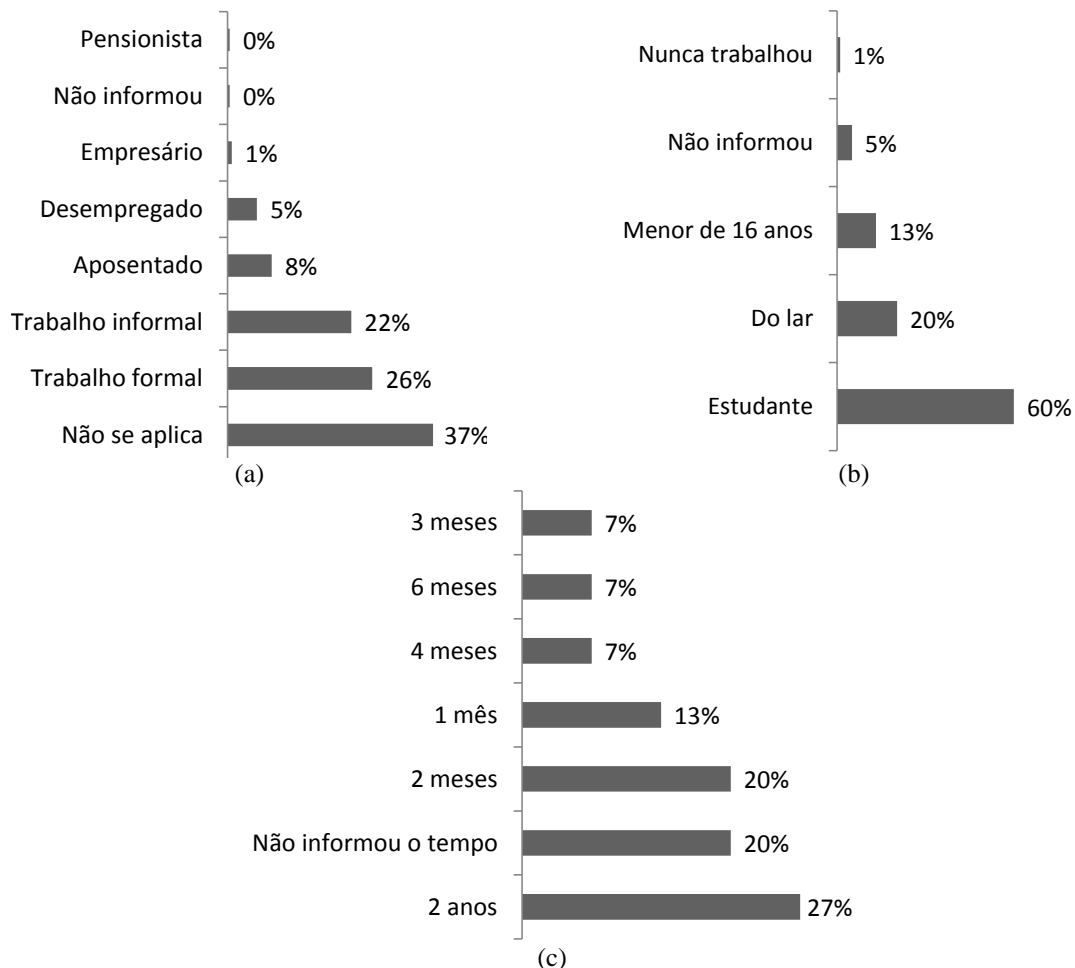


Figura 8.4 - Dados laborais dos moradores: (a) Condição laboral atual; (b) Especificação da classe onde não se aplica condição laboral; (c) Tempo de desemprego.

A renda é considerada por Leal (1995) como um importante indicador de qualidade de vida, haja vista que o acesso a bens e serviços na sociedade capitalista depende da capacidade de seu pagamento. A abordagem da renda entre os moradores que fazem parte dessa pesquisa foi realizada considerando o salário mínimo de R\$ 622,00 (seiscentos e vinte e dois reais) que passou a vigorar no Brasil a partir de primeiro de janeiro de 2012, devido ao Decreto nº 7.655, (Brasil, 2011).

Entre os moradores entrevistados, que realizavam atividades com remuneração verificou-se que a grande maioria de 64% possuem rendimentos entre 1 e 2 salários mínimos (Figura 8.5

a). Ao considerar a renda familiar somando os rendimentos de todos os membros da residência constata-se que a maioria, 52% das famílias, vive com renda entre 1 (um) e 2 (dois) salários mínimo (Figura 8.5 b).

A baixa renda verificada, nessa pesquisa, entre os moradores confirma uma realidade já demonstrada pelo IBGE (2010) que aponta para o fato de 39% dos domicílios em Anápolis possuírem uma renda familiar de até 2 salários mínimos. Se for levado em consideração uma renda de até 5 salários mínimos esse percentual se eleva para 78%. Essa baixa renda familiar é reconhecida pelo Prefeitura Municipal de Anápolis no relatório do Plano Diretor (Anápolis, 2006 b).

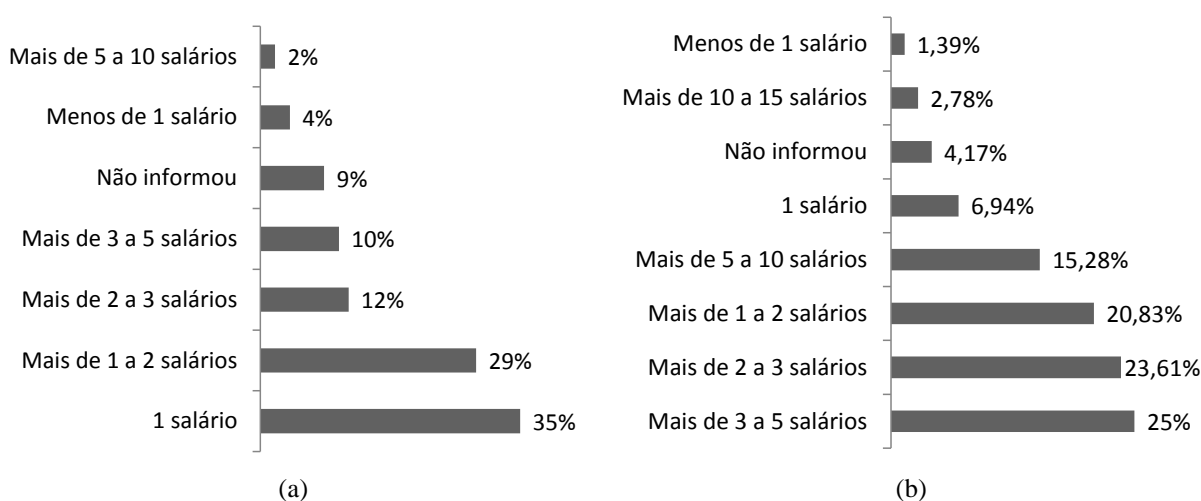


Figura 8.5 - Dados de rendimentos dos moradores: (a) Classe salarial; (b) Renda.

A tríade, baixa escolaridade, emprego informal e renda baixa, podem induzir e sustentar um indicativo de marginalização social, especialmente no que se refere a moradia. De acordo com Santos (2008, p.144): “[...] uma família com renda de até 3 ou 4 salários mínimos somente consegue constituir moradia, própria ou alugada, com alguma combinação entre as seguintes variáveis: distância, periculosidade, insalubridade, desconforto ambiental, precariedade construtiva e irregularidade fundiária”.

8.2.2 Origem do morador

Quanto a origem dos moradores abordados, 57% informaram que migraram para Anápolis oriundos de outras localidades (Figura 8.6 a). Desses imigrantes 46% são oriundos de outras cidades Goianas e os demais vieram de outros estados do país, sendo que o estado de onde mais vieram imigrantes foi o Tocantins (Figura 8.6 b).

A vinda desses migrantes para Anápolis ocorreu em quatro etapas predominantes, onde 15%

nos últimos 4 anos, 34% se mudaram entre os 4 e os últimos 10 anos, 24% entre os 10 e os últimos 20 anos, 17% entre os 20 e os últimos 50 anos (Figura 8.6 c). A vinda dessas pessoas para Anápolis teve motivações diversas destacando-se entre os entrevistados questões familiares, com um percentual de 32% e trabalho, também com 32% (Figura 8.6 d). A grande maioria de 68% dos moradores que são oriundos de outras localidades declarou ter encontrado em Anápolis aquilo que estavam almejando na cidade.

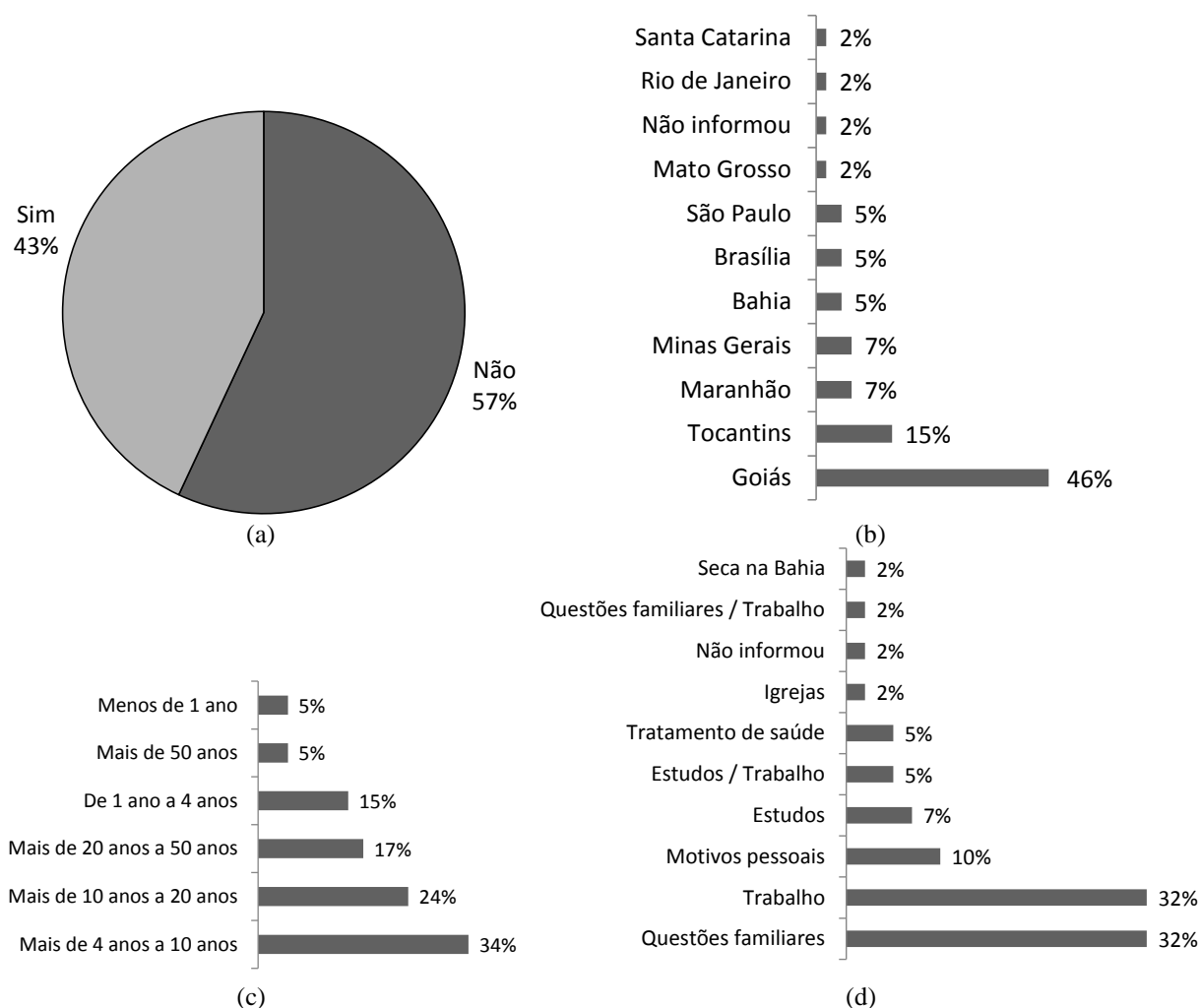


Figura 8.6 - Origem dos moradores: (a) Sempre residiu em Anápolis; (b) Estado em que morava anteriormente; (c) Tempo de residência em Anápolis; (d) Motivo da mudança para Anápolis.

8.2.3 Condição de moradia

A habitação é uma das necessidades básicas do homem e considerando o local de moradia dos entrevistados foi possível observar que 36% sempre moraram no mesmo bairro, enquanto os outros 64% residiram em outros bairros antes de residirem no local atual (Figura 8.7 a). Os bairros de origem desses 64% de moradores são muito diversos não revelando nenhum padrão específico de deslocamento e ocupação (Figura 8.7 b). No que se refere ao tempo de

residência no local é possível verificar o esboço de quatro principais períodos: Moradores que residem de 1 a 5 anos no bairro representam o maior percentual, 26%, seguidos muito próximos dos que residem no local de 11 a 20 anos que perfazem um percentual de 24%, 19% de moradores estão no bairro de 6 a 10 anos e por fim merece destaque os 21% de moradores que moram no bairro a menos de 1 ano (Figura 8.7 c). Isso aponta para a grande movimentação nos locais de residência e/ou para a acelerada expansão urbana da cidade. Ambas perspectivas da origem recente dos moradores quanto ao local de residência deixam claro a necessidade de um planejamento urbano e de uma gestão urbana que sejam capazes de responderem as demandas sociais sem ocasionar impactos nocivos ao meio ambiente e à própria sociedade como são os casos das erosões, alagamentos e inundações.

Quando se trata dos ensejos da escolha do atual bairro para morar fica bem claro que o principal motivo da mudança foi acesso à moradia totalizando um percentual de 36%, onde 29% e 7% são respectivamente referentes à casa própria e valor acessível do aluguel. Embora próximo as erosões a localização do loteamento também aparece com um percentual relevante de 21% entre os motivos de escolha do bairro (Figura 8.7 d).

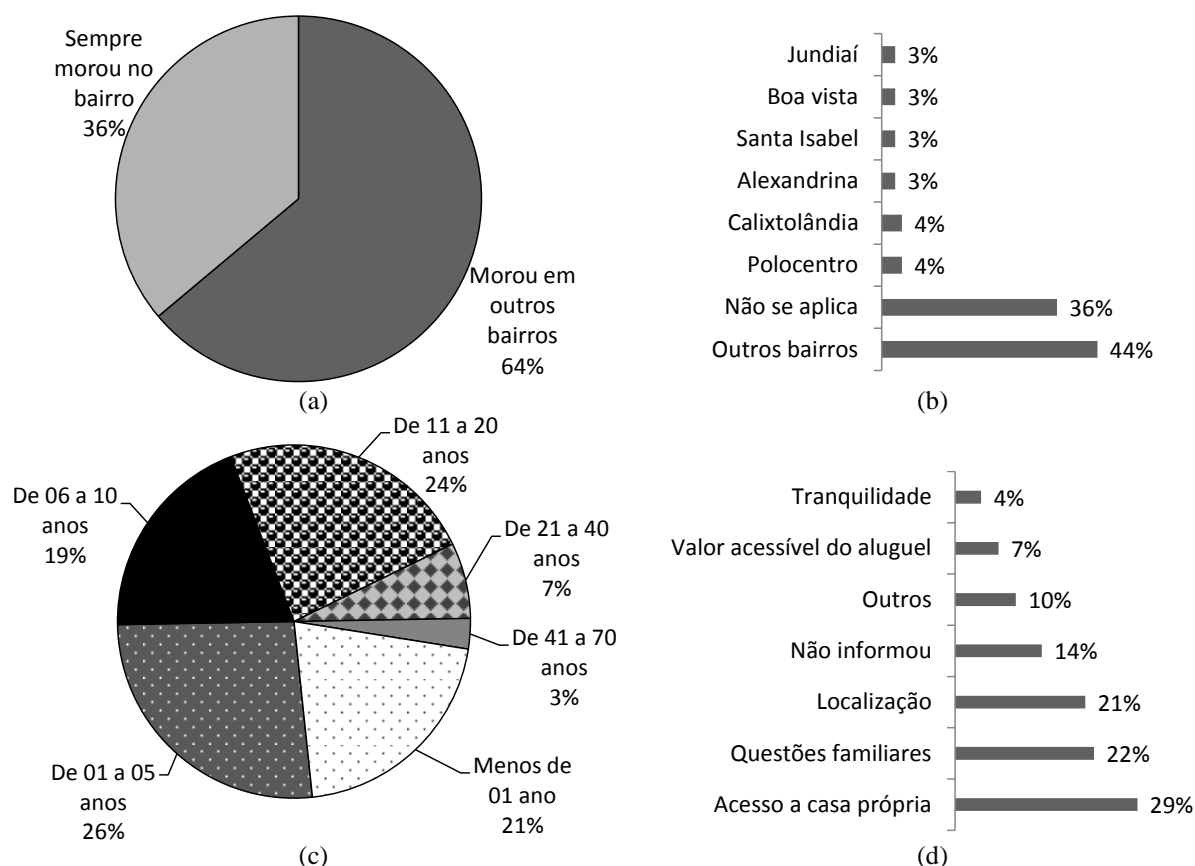


Figura 8.7 - Bairro de moradia: (a) Sempre residiu no bairro; (b) Bairro onde residiu anteriormente; (c) Tempo de residência; (d) Motivo da escolha do bairro como residência.

O fato da localização estar entre um dos principais motivos para morar no bairro, se deve ao fato de que a maioria dos bairros abordados ficarem próximo ao centro, o qual, em Anápolis, ainda centraliza boa parte dos serviços e comércio. No caso dos bairros mais distantes a localização ainda aparece como fator relevante pois muitas vezes aproxima o morador do seu local de trabalho, como é o caso do Bairro Geovane Braga e Polocentro que ficam próximo ao DAIA (Distrito Agroindustrial de Anápolis). Essas peculiaridades demonstram a importância das características de qualidade que deve ter o Plano Diretor, fundamentando-se em estudos preliminares quanto aos limites de uso e ocupação do solo onde se priorize as questões socioambientais.

A grande maioria, 61% dos moradores residem em casas próprias e os demais 39% em residências alugadas. Dos que moram de aluguel 53% pagam de R\$ 250,00 (duzentos e cinquenta reais) a R\$ 622,00 (seiscentos e vinte e dois reais) e 36% pagam até R\$ 250,00 (duzentos e cinquenta reais) (Figura 8.8). Ao associar o indicador de rentabilidade com o valor do aluguel é possível inferir que as despesas com a moradia devem pesar muito sobre o orçamento dessas famílias, uma vez que a renda da maioria não ultrapassa 2 salários mínimos. Em alguns casos o valor do aluguel pode comprometer a metade do orçamento familiar. Logo, como afirma Carlos (2001 p. 79) “O homem vive onde ele pode morar e isso será determinado por sua renda e pelos sacrifícios que pode fazer” e no caso dos moradores abordados nessa pesquisa eles podem viver e pagar para morar próximos a incisões erosivas.

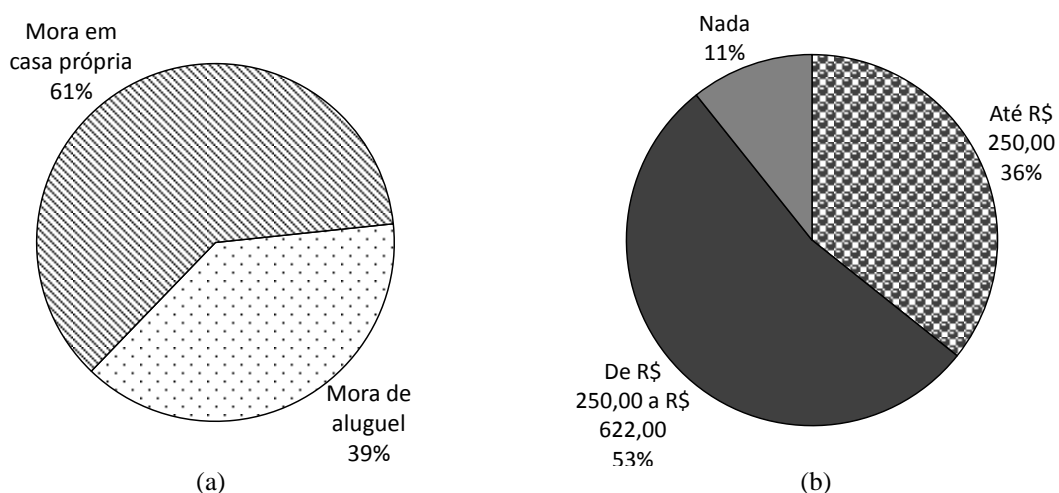


Figura 8.8 - Acesso a moradia: (a) Tipo de moradia; (b) Valor pago pelo aluguel.

A grande maioria de 67% dos lotes possui a edificação de apenas uma moradia, mas existe um percentual relevante de 29% de lotes onde estão edificadas de duas a três residências (Figura 8.9 a). Normalmente essas residências abrigam de 3 a 5 pessoas, mas em 13% das casas residem de seis a dez pessoas (Figura 8.9 b).

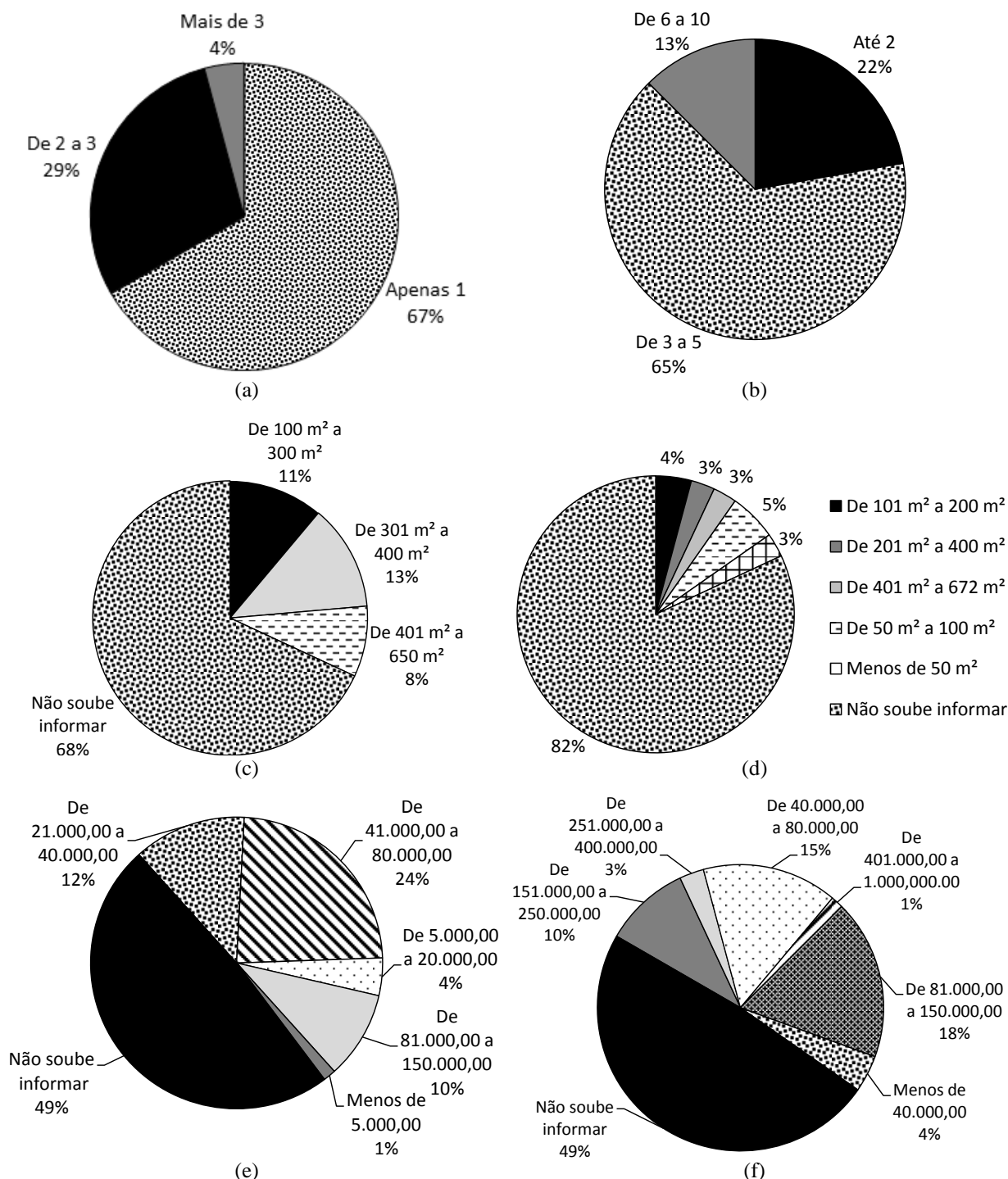


Figura 8.9 - Dados gerais das residências: (a) Quantidade de residências por lote; (b) Quantidade de pessoas residentes em cada casa; (c) Área do lote; (d) Área construída; (e) Valor venal do lote; (f) Valor venal do lote construído.

Informações sobre o tamanho do lote, área construída, valor venal do lote e valor venal do lote construído não foram, por desconhecimento da maioria dos moradores, informadas (Figura 8.9 c a Figura 8.9 d). Contudo, com base na informação dos que souberam informar o valor venal do imóvel foi possível verificar que existe uma predominância de casas com valor entre R\$ 81.000,00 (oitenta e um mil reais) e R\$ 150.000,00 (cento e cinquenta mil reais)

seguidas de casas com valor entre R\$ 40.000,00 (quarenta mil reais) e R\$ 80.000,00 (oitenta mil reais). Essas faixas de valores mostram-se proibitivas de aquisição para aqueles que moram pagando aluguel.

8.2.4 Infraestrutura Urbana

De acordo com o Estatuto da Cidade, Lei 10.257 (Brasil, 2001), capítulo I, art. 2º: “é dever da administração urbana fornecer equipamentos urbanos e serviços públicos adequados as demandas comunitárias e sociais”. A NBR 9284 (ABNT, 1986b) conceitua os equipamentos urbanos como sendo “todos os bens públicos ou privados, de utilidade pública, destinados à prestação de serviços necessários ao funcionamento da cidade, implantados mediante autorização do poder público, em espaços públicos e privados”. Já a Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979 que dispõe sobre o parcelamento do solo urbano separa os equipamentos em urbanos e comunitários. Os equipamentos urbanos compõem a infraestrutura básica, tendo como exemplo os equipamentos urbanos de escoamento das águas pluviais, iluminação pública, esgotamento sanitário, abastecimento de água potável, energia elétrica pública e domiciliar e vias de circulação. Os equipamentos comunitários referem-se a equipamentos públicos de educação, cultura, saúde, lazer e similares.

De forma mais didática, Duarte (2007) segmenta a estrutura urbana pública em três elementos: infraestrutura, equipamentos urbanos e serviços, onde os equipamentos urbanos são as edificações necessárias para a prestação de um dado tipo de serviço, sendo que o bom funcionamento desses equipamentos depende da disposição de equipamentos urbanos. Por exemplo: Um posto de saúde é um equipamento urbano destinado à prestação do serviço de saúde que só poderá ocorrer se tiver o mínimo de infraestrutura, tal como rede de iluminação.

Mascaró & Yoshinaga (2005), apontam que a infraestrutura urbana pode ser dividida em dois grupos: um comporta a infraestrutura essencial a qualquer cidade e bairro e outra comporta infraestrutura de grande porte exigidas apenas em grandes urbanizações (Tabela 8.2). Segundo esse autor deficiências de infraestrutura comprometem a qualidade de vida das pessoas. Complementarmente, e apoiado no exposto até aqui, propõem-se que os equipamentos comunitários sejam divididos de acordo com o serviço prestado e sua escala de abrangência como Mascaró & Yoshinaga (2005) fizeram para os tipos de infraestrutura. Os equipamentos comunitários constituem-se em itens relevantes na avaliação do estágio de desenvolvimento dos bairros no município e parte deles foram inseridos como quesitos nas

entrevistas realizadas (Tabela 8.3).

Tabela 8.2 - Tipos de infraestrutura (Mascaró & Yoshinaga, 2005 - adaptado).

Infraestrutura Essencial		Infraestrutura de Grande Porte
Sistema viário	Pavimentação Drenagem pluvial	Trens metropolitanos
Sistema sanitário	Rede de esgoto cloacal Rede de água potável	
Sistema energético	Redes de eletricidade Gás encanado	Anéis rodoviários
Sistema de Comunicações	Redes de telefone Redes de TV a cabo	

Tabela 8.3 - Tipos de equipamentos Comunitários.

Serviços	Equipamento Básico	Equipamento de Grande Porte
Saúde	Posto de saúde	Hospitais e laboratórios de exame
Educação	Creches e educação básica (ensino fundamental e médio)	Instituição de ensino técnico e tecnológico e/ou universidade
Lazer	Parques, quadras esportivas	Complexos poliesportivos, teatros
Coleta de lixo	Caminhões para coleta regular, Lixeiras em espaços públicos	Aterros sanitários
Segurança	Postos policiais	Delegacias
Transporte Público	Ponto de ônibus e linhas regulares	Terminais rodoviários urbanos

No que diz respeito à infraestrutura da área estudada a maioria das residências contam com iluminação pública, abastecimento de água por meio de rede canalizada, galeria de águas pluviais e pavimentação asfáltica (Tabela 8.4). Todavia, no que se refere a rede coletora de esgoto, apenas 24% das residências são atendidas, sendo que a grande maioria de 75% utiliza a fossa séptica para eliminação de esgotos.

Destaca-se que quanto a drenagem de águas pluviais, por vezes a evacuação é muitas vezes inapropriada seja quanto às condições de lançamento gerando erosões, seja quanto ao volume captado e lançado nos talvegues e cursos d'água gerando inundações a jusante. Uma alternativa mitigadora desse último problema seria criar um sistema misto de evacuação das águas pluviais composto pela rede de drenagem convencional e por sistemas de infiltração compensadores das áreas impermeabilizadas como aqueles estudados por Silva (2012) e Carvalho (2013). Adicionalmente seria ainda possível desenvolver a cultura da utilização das águas pluviais provenientes das áreas impermeabilizadas em atividades locais que não requerem tratamento prévio, como descarga em vasos sanitários, lavagem de pisos e molhagem de plantas.

Tabela 8.4 - Infraestrutura disponível para as residências.	
INFRAESTRUTURA	RESIDÊNCIAS ATENDIDAS (%)
Iluminação Pública	74%
Rede de abastecimento de água	93%
Rede coletora de esgoto	75%
Micro drenagem	83%
Pavimentação asfáltica	94%

O baixo acesso a rede coletora de esgoto confirma a afirmação de Parkinson *et al.* (2003) de que existe uma segregação do saneamento em geral, sendo que em várias cidades brasileiras a populações com baixa renda tem um baixo acesso a essa infraestrutura. Esse cenário apresenta uma contradição relevante se for considerado que entre os quatro sistemas que compõem a infraestrutura urbana essencial o custo com sistema sanitário, o qual inclui tanto a rede de água potável como a rede de esgoto, segundo Mascaró & Yoshinaga (2005) corresponde a apenas 20% do custo total com a infraestrutura completa.

Não é raro, quando da existência de rede de drenagem de águas pluviais e inexistência de esgotos sanitários, que parte da população se sirva do primeiro para o esgotamento de parte das águas servidas contribuindo assim para a poluição dos cursos d'água onde as águas pluviais são lançadas. Destaca-se ainda que essas águas poluídas são geralmente aceleradoras de processos erosivos devido ao fato dos solos tropicais terem a estrutura sensível a esse tipo de fluido.

8.2.5 Serviços Disponíveis

Abiko (2011) considera o serviço público como um instrumento para o desenvolvimento econômico e melhoria da qualidade de vida. Os serviços urbanos abordados nesse trabalho são à coleta de lixo, segurança, saúde e transporte coletivo. Destaca-se que para que os serviços urbanos possam devidamente ser prestados à população, necessitam da disponibilização de equipamentos urbanos e comunitários, tais como os abordados no item 8.24. Os dados referentes ao lixo residencial dos entrevistados estão apresentados no gráfico da Figura 8.10.

Embora a maioria significativa de 96% (Figura 8.10 a) dos moradores entrevistados contem com o serviço de coleta de lixo aproximadamente 6% desses moradores ou lançam lixo na erosão ou descartam o lixo a ser coletado de maneira imprópria colocando as sacolas diretamente sobre a calçada. Entre os que não contam com a coleta de lixo o descarte é feito ou por lançamento na erosão ou em lotes baldios (Figura 8.10 b). Destaca-se que tais práticas

terminam por contaminar o ar, o solo, a água e os próprios cursos d'água contribuindo para a deterioração da qualidade de vida e mesmo para o comprometimento da saúde pública. O morador ao lançar o lixo na erosão acredita tanto estar se livrando do problema do lixo como tentando solucionar o problema da erosão entulhando a incisão. Esse aspecto estabelece um elo direto entre as carências na educação ambiental da sociedade e no oferecimento de serviços públicos de qualidade no que tange a coleta e reciclagem dos resíduos sólidos urbanos.

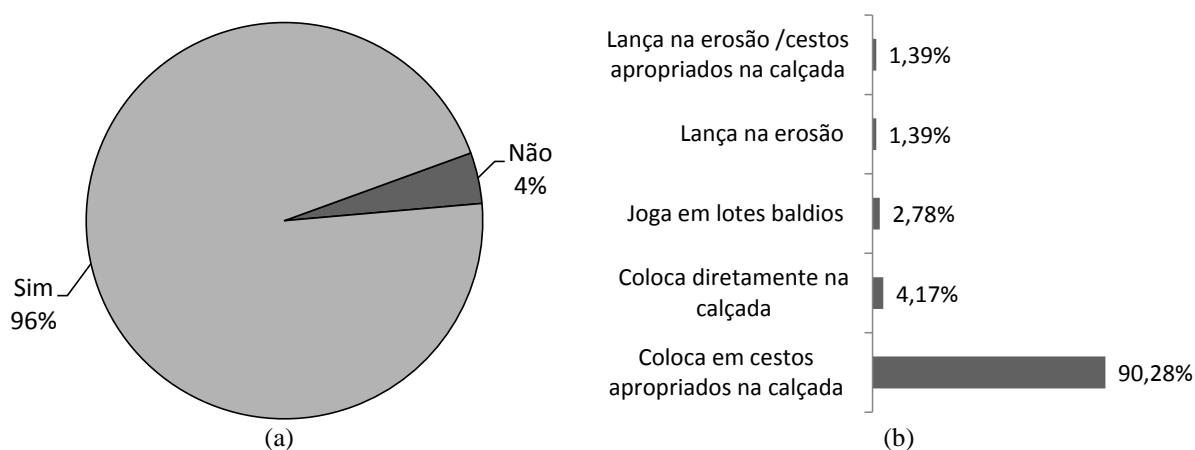


Figura 8.10 - Lixo residencial: (a) Coleta de lixo na residência; (b) Forma de descarte do lixo.

No que se refere a segurança 58% dos moradores não consideram o local violento (Figura 8.11 a), mas entre esses moradores a grande maioria não justificou sua opinião (Figura 8.11 b). Já entre os 42% dos entrevistados que consideram o local onde vivem violento, justificaram sua afirmativa por ocorrências de roubos e furtos, drogas e assassinatos, respectivamente com 37%, 35% e 12% (Figura 8.11 c).

Salienta-se que o item drogas é uma interpretação do trabalho que abrange à oralidade dos entrevistados que se referiam a uso/consumo de drogas e tráfico de drogas. Destaca-se ainda que a maioria dos entrevistados mencionava as erosões ou suas imediações como locais de muitos crimes, dentre eles assassinatos, uso e tráfico de drogas. Esses dados apontam para ausência e/ou descaso do Estado em relação à violência ou aos meios que a ela levam, como é o caso das drogas.

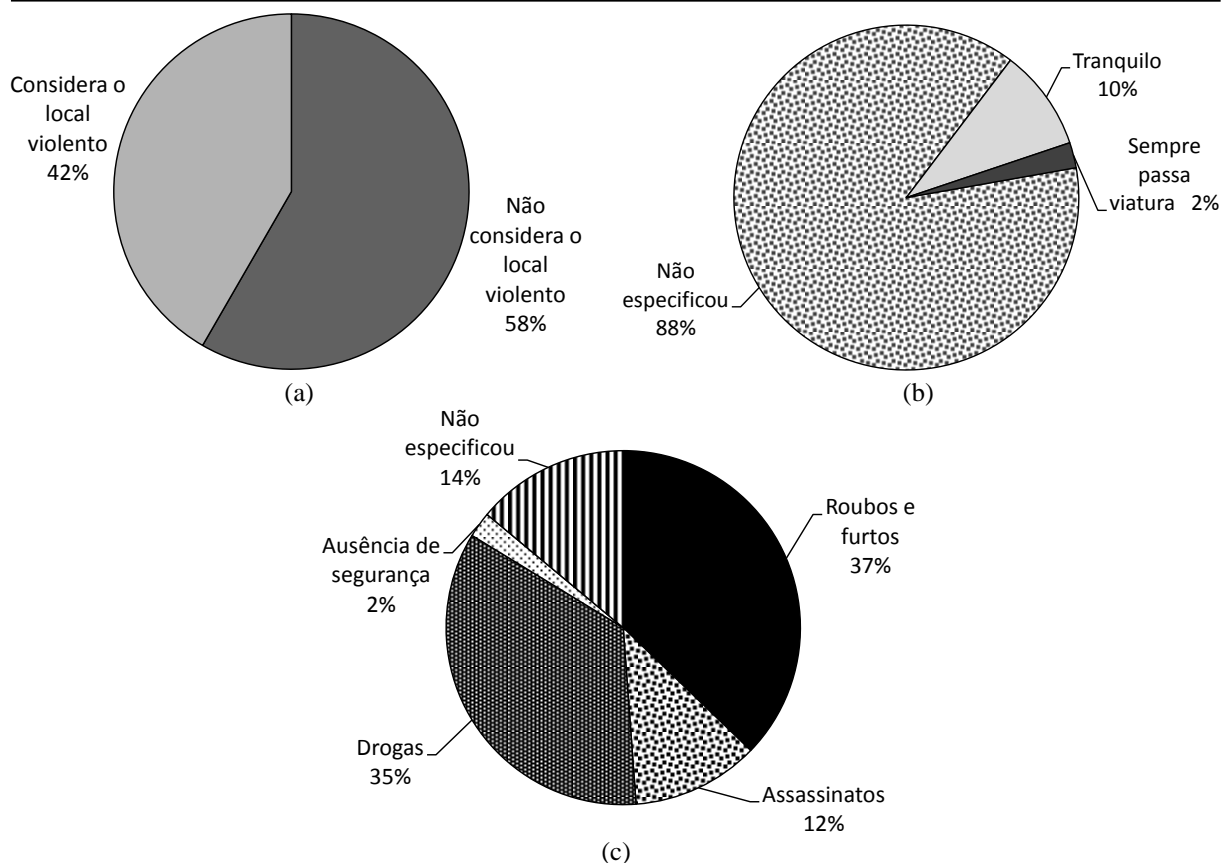


Figura 8.11 - Segurança: (a) Considera o lugar onde vive violento; (b) Motivos pelos quais não considera o local violento; (c) Motivos pelos quais considera o local violento.

Quanto aos serviços de saúde analisou-se tanto a visita de agentes de saúde e sanitários como o acesso a tratamento médico. Nessa análise foi possível verificar que 19% dos entrevistados nunca receberam visitas de agentes de saúde e/ou sanitários (Figura 8.12 a). Atribui-se a falta de visitas a possíveis problemas de relacionamento entre o agente e o morador uma vez que os vizinhos alegam receber as visitas periódicas e que muitas vezes o agente é um morador da região facilitando disposições e indisposições pessoais.

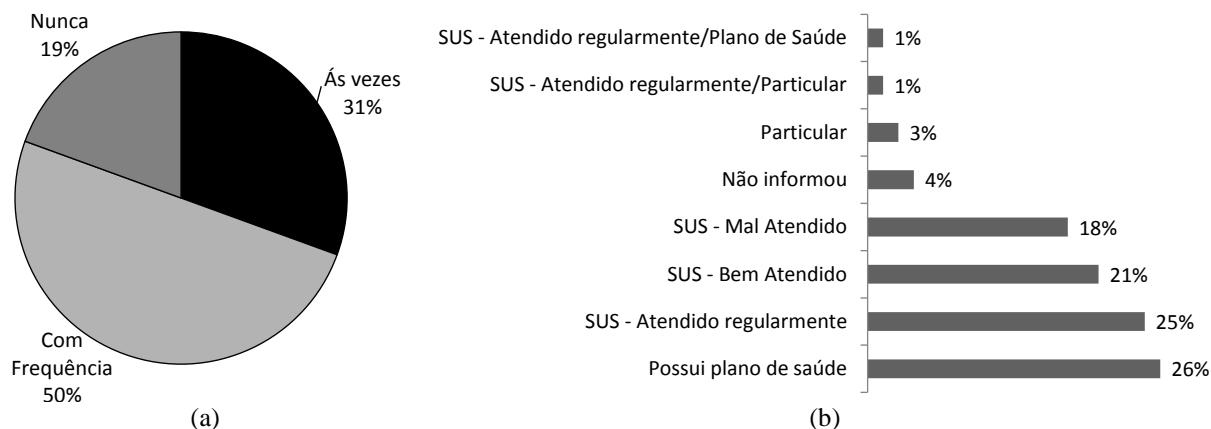


Figura 8.12 - Saúde: (a) Visita de agentes de saúde e sanitários; (b) Forma de tratamento médico.

No que diz respeito ao atendimento médico observa-se que 66% dos moradores obtém

tratamento médio pelo Sistema Único de Saúde (SUS), sendo que entre esses a maioria informou receber um atendimento regular, destacando-se um percentual acentuado de 18% indicando receber um mal atendimento (Figura 8.12 b). É interessante observar que mesmo tratando-se de população de relativamente baixo poder econômico, ainda assim, 26% do total possuem plano de saúde, o que aponta para deficiências no sistema público de saúde.

No que se refere aos serviços de transporte coletivo, 68% dos entrevistados consideram o transporte coletivo de boa qualidade e fácil acesso, sendo que quase a metade dos entrevistados utilizam esse serviço (Figura 8.13 a) utilizando em média uma ou duas conduções para chegar ao seu destino (Figura 8.13 b). Destaca-se que cerca de 23% dos moradores possuem carro e 5% possui moto e entre esses moradores que possuem seu próprio meio de locomoção (Figura 8.13 c) não existe a opção por deslocamento no transporte coletivo. Coincidentemente o somatório do percentual daqueles que possuem carro ou moto (28%) corresponde aproximadamente ao percentual daqueles que possuem plano de saúde (26%) o que aponta para o fato de que uma vez melhorada a condição econômica a população deixa o sistema público de saúde. Embora essa percepção deva ser melhor estudada e analisada ela aponta para a ineficiência ou mesmo precariedade do sistema público de saúde.

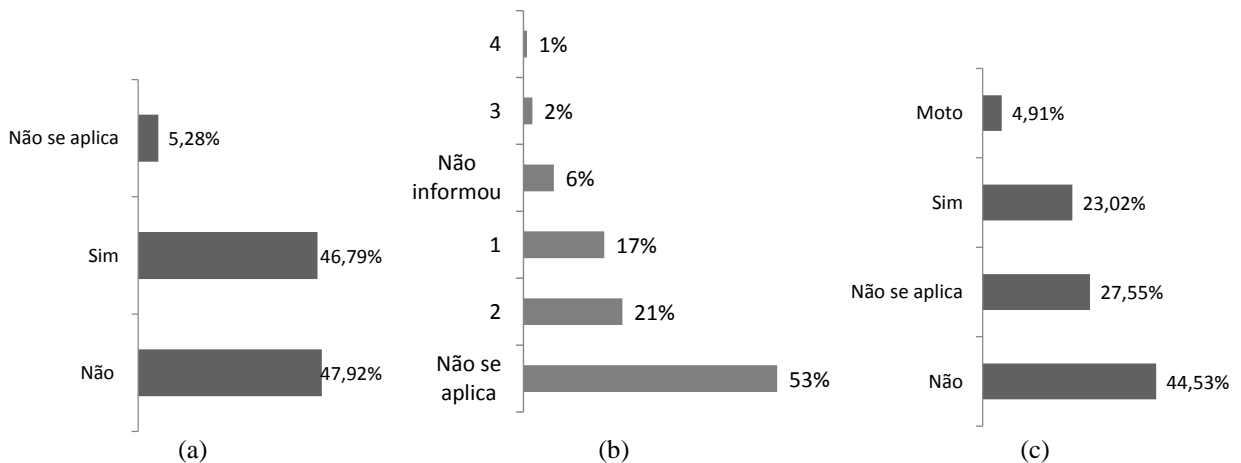


Figura 8.13 - Meios de transporte: (a) Utiliza o transporte coletivo; (b) Quantidade de conduções utilizadas; (c) Possui carro.

8.2.6 Acesso à Lazer e Informação

Quando perguntados sobre o tipo de lazer que desfrutam em momentos de folga os moradores apontaram vários elementos, mas o que mais impressionou foi o percentual elevado de referências a igreja e televisão como fonte de lazer. A igreja apareceu na resposta de 61% dos moradores, seguidos de um expressivo percentual de 46% de referências a televisão como

fonte de lazer (Figura 8.14).

A obtenção de informação por meio de jornal televisionado atingiu o percentual de 90% como fonte de informação dos moradores, seguida por rádio e internet, respectivamente mencionadas em 47% e 39% das vezes. Jornal escrito e revistas aparecem timidamente sendo cada um mencionado em 8% das entrevistas. Destaca-se que com relação a internet muitos moradores fazem o acesso via celular.

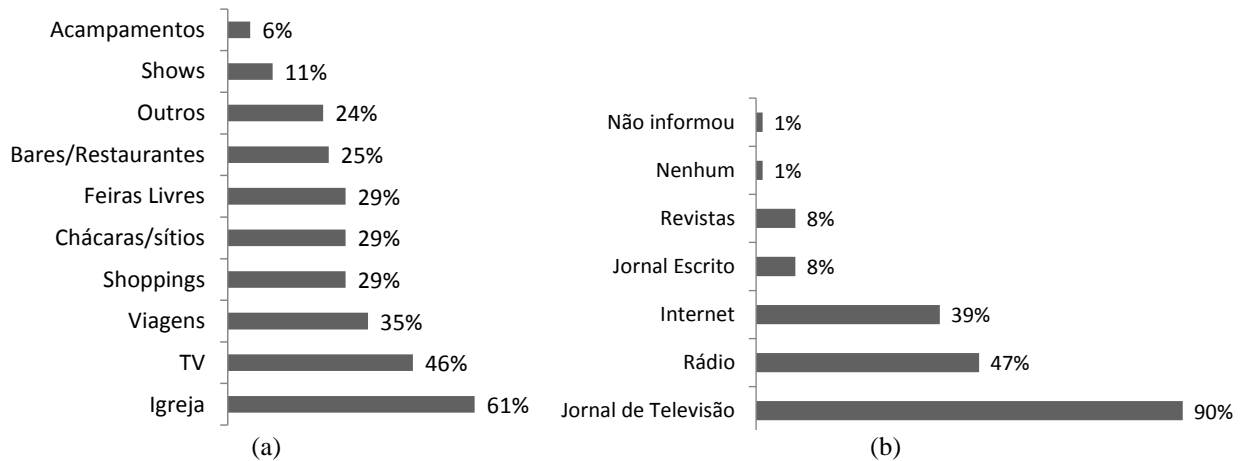


Figura 8.14 - Formas de acesso a: (a) Lazer; (b) Informação.

8.2.7 Percepção do local onde mora

Com relação às vantagens em residir no local, tranquilidade e localização aparecem como os principais elementos (Figura 8.15 a). Sendo considerado o percentual de 42% dos entrevistados que avaliam o bairro violento, pode parecer contraditório o fato da tranquilidade aparecer como a principal vantagem dos bairros analisados. Todavia, essa contradição é apenas aparente, pois percebe-se que a percepção de tranquilidade dos moradores está vinculada a muitos outros parâmetros além da violência, sendo possível citar a relação de vizinhança, proximidade com os parentes, casa própria, valor acessível do aluguel e até mesmo o fato desses locais ter uma maior tranquilidade no trânsito, menor nível de ruído e muitas vezes maior interação com ambientes dotados de cobertura natural.

Quanto às desvantagens, as erosões foram apontadas em 72% das vezes como elemento que interfere negativamente no cotidiano de quem habita o local (Figura 8.15 b). Escola, saúde e lazer também foram mencionados com grande incidência pelos moradores, revelando uma carência de equipamentos e serviços relacionados a esses itens.

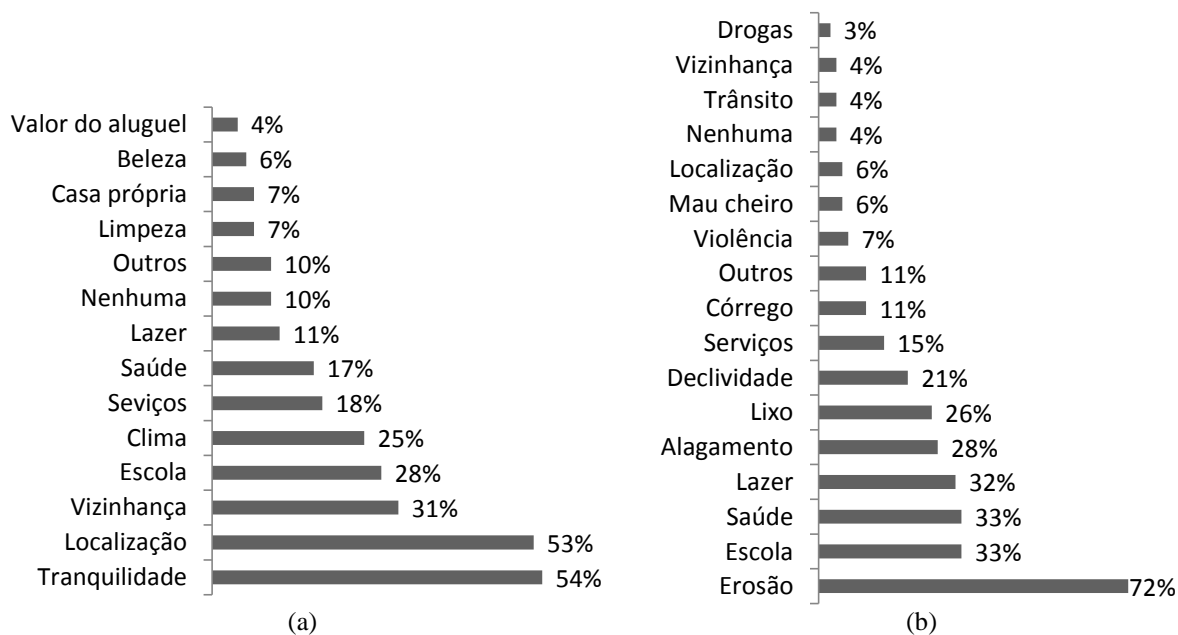


Figura 8.15 - Moradias próximas às erosões: (a) Vantagens em residir no local; (b) Desvantagens em residir no local.

Levando em consideração o fato das erosões serem, segundo a opinião dos moradores, a principal desvantagem em residir nos bairros pesquisados, verificou-se como a vida desses moradores pode ser prejudicada por essas incisões erosivas e constatou-se que 74% das respostas obtidas incluem algum tipo de prejuízo ao morador, haja vista que apenas 26% dos entrevistados apontam não haver nenhum prejuízo (Figura 8.16).



Figura 8.16 - Prejuízos causados pelas erosões.

Entre os relatos de prejuízos vinculados as incisões erosivas, destaca-se o mal cheiro, apontado por 18% dos moradores. O mau cheiro é um tipo de poluição invisível e silenciosa cuja magnitude não pode ser transmitida genuinamente nem por fotos nem por filmagem,

talvez o poder da boa escrita seja o instrumento de maior capacidade para traduzir esse fenômeno. Todavia, para se ter uma dimensão do grau desse impacto faz-se necessário vivenciá-lo. Quando se fala que uma voçoroca causa um impacto visual e apresenta-se uma foto da mesma, é possível se chocar com a imagem tanto como com uma visualização ao vivo do fenômeno, mas com o mau odor isso não é possível. Os pesquisadores de campo que colaboraram na coleta de dados para essa pesquisa ficaram unanimemente impressionados com o forte mau cheiro exalado pelas erosões, sendo que os que nunca tinham ido a campo afirmaram que seu conhecimento bibliográfico sobre erosão nunca foi capaz de lhe fazer imaginar quão impactante era o odor oriundo das voçorocas. Faz-se necessário, no entanto, abrir um parêntese sobre o assunto, pois na realidade nem ravinas nem voçorocas exalam por si só odores, sejam eles bons ou maus. Portanto, a causa do mau cheiro não é a erosão mas sim o fato de sobre ela serem lançados lixos e por vezes águas servidas pela própria população e que nem sempre é a local. Com isso as erosões podem contribuir para o surgimento de um outro impacto ambiental que interfere diretamente na qualidade de vida e na saúde pública o mau cheiro.

A presença de insetos também foi apontada como um prejuízo relacionado a erosão por 14% dos moradores. Em geral o mesmo lixo lançado nas incisões erosivas que ao entrar em decomposição causa os odores desagradáveis também favorece a proliferação de insetos como baratas, moscas e mosquitos. A presença de roedores como ratos também são mencionados por 6% dos moradores. Animais peçonhentos como escorpiões e cobras também foram relatados por alguns moradores, uma vez que esses animais encontram abrigo fácil entre o entulho e mato alto existente dentro das erosões. Não se pode deixar de mencionar que a presença de lixo ainda propicia a existência de criadores de mosquitos transmissores do vírus da dengue (*Aedes Aegypti*), sendo que 6% dos moradores apontam para existência de vetores de doenças como um prejuízo a ser associado as erosões.

Percebe-se, portanto, que o lixo é um sério problema que aparece atrelado as incisões erosivas todavia apenas 8% dos moradores fizeram menção a ele como um elemento que prejudica suas vidas. Isso se deve ao fato do lixo causar prejuízos indiretos, pois se somados os percentuais das vezes que ele foi mencionado ao percentual das vezes que elementos como vetores de doenças, roedores, insetos e mal cheiro foram mencionados será possível verificar que mesmo de maneira indireta o lixo aparece em 52% das referências a prejuízos associados a incisão erosiva.

A presença de animais e insetos vetores de doenças está associada a questões sanitárias e pode comprometer diretamente a saúde dos moradores que habitam o entorno dessas erosões sendo esse risco reconhecido por 6% dos entrevistados. Além disso, a contaminação da água pelos fluídos percolantes resultantes da degradação e decomposição do lixo também pode afetar aqueles que entrarem em contato com essa água e nesse caso as crianças são as mais vulneráveis. O risco às crianças foi mencionado por 4% dos moradores entrevistados e deve ser levado em consideração uma vez que da população abordada na pesquisa 20% corresponde a crianças de 0 a 14 anos. Tal risco envolve desde contaminação até mesmo quedas e cortes com objetos perfurocortantes existentes dentro da incisão.

Foi relatado ainda por um pequeno percental de moradores o fato das incisões erosivas servirem para esconderijo de marginais que utilizam o local para cometer crimes, usar e comercializar drogas, tendo sido mencionado até mesmo o encontro de um corpo em uma dessas erosões. Ações violentas relacionadas as incisões erosivas mostra a sua inserção em todas as dimensões da vida das pessoas que habitam seu entorno. Uma vez que 42% dos entrevistados consideram o local violento as erosões de fato podem passar a ser cenário de ações desse gênero.

Embora com todos os problemas relatados anteriormente destaca-se os 26% de entrevistados que afirmam não haver prejuízos resultantes das incisões erosivas. Desses moradores, 48% residem nas proximidades da Voçoroca Contorno, 26% habitam o entorno da Voçoroca Leopoldo de Bulhões, 16% vivem próximos a Voçoroca Cidade Jardim, 5% residem no entorno da Voçoroca Geovane Braga e 5% no entorno da Voçoroca Frei Eustáquio.

A opinião dos moradores entrevistados na Voçoroca Contorno pode ser justificada pois ela foi recuperada em 2009 com aterramento, asfaltamento e implantação de galerias de águas pluviais. No caso da Voçoroca Leopoldo de Bulhões, embora tenha provocado a interdição parcial da rua, com relatos tanto de danos a algumas edificações como de acidentes de trânsito provocados pelo recalque da pista, nem todos os moradores se sentiram prejudicados pelos visíveis problemas com a trafegabilidade. Na rua que margeia a Voçoroca Cidade Jardim apenas o lado direito situa-se as margens da voçoroca e essas residências são prejudicadas de maneira mais contundente, inclusive com maiores danos e danos a edificações. Talvez essa situação tenha implicado na opinião dos moradores que indicaram não haver nenhum prejuízo. Já na Voçoroca Geovane Braga, o fato do bairro ter sido asfaltado recentemente trouxe um impacto muito positivo para a percepção dos moradores, até por que sulcos e

ravinas comuns no período de chuva desapareceram. Na Voçoroca Frei Eustáquio algumas entrevistas foram feitas em casas que não estavam na proximidade imediata da incisão erosiva o que pode ter influenciado na opinião dos entrevistados.

Feitas as ressalvas quanto aos possíveis indutores mais óbvios da opinião dos moradores entrevistados que afirmaram não existir prejuízos a suas vidas provocados pelas incisões erosivas, há que se verificar justificativas menos explícitas que estão camufladas por trás dessa opinião. Em algumas casas entrevistadas o morador não possuía nem mesmo seu próprio quintal que foi erodido pelo avanço da erosão e, ainda assim, o morador entrevistado alegou não haver prejuízo algum. O que observa-se é que há um desconhecimento, por parte dos moradores dos danos e riscos a que estão submetidos. A erosão passa a fazer parte do cotidiano das pessoas, assim como a rua, a casa, os vizinhos. A Figura 8.17 revela essa relação com a erosão, onde uma família com 11 pessoas, sendo 5 crianças, é fotografada dentro da voçoroca Contorno como se posassem para uma foto na frente de casa ou na praça do bairro. Essas pessoas ignoram os riscos a sua integridade física e saúde em face a eventuais movimentos de massa e contaminação da área com o lixo.



Figura 8.17 - Família fotografada dentro da voçoroca Contorno (acervo da família - cedido espontaneamente à esta pesquisa no ato da realização das entrevistas. Os rostos da pessoas foram ocultados para preservar a identidade das fontes).

Quando perguntados sobre o que consideravam ser a origem das erosões uma maioria de 35% dos entrevistados disseram não saber explicar. Logo, é bem provável que esse desconhecimento da dinâmica evolutiva dos processos erosivos tenha uma relação com a dificuldade de percepção dos prejuízos causados por esse fenômeno ou ainda que parte deles

passaram a residir no local após o surgimento da erosão. Os outros 75% dos moradores que afirmaram saber a causa dos processos erosivos apresentaram os seguintes motivos respectivamente: Lançamento de águas, desmatamento, nascentes, administração pública, lançamento de lixo, chuva, declividade, escoamento superficial e ausência de asfalto (Figura 8.18).

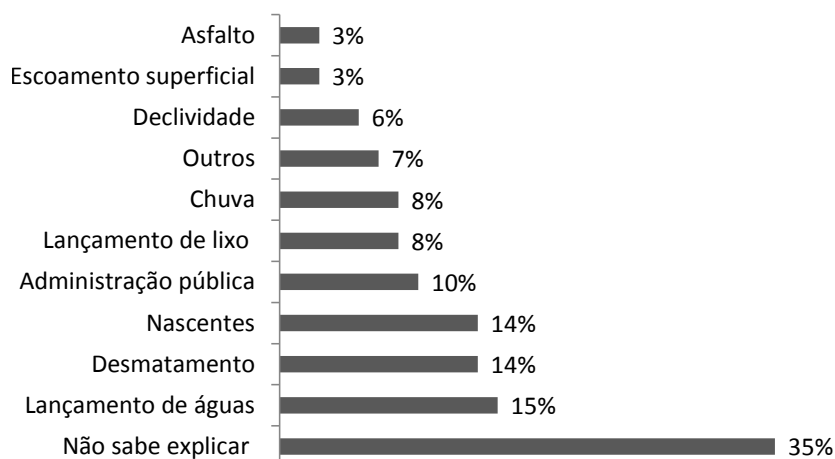


Figura 8.18 - Percepção sobre a origem dos problemas associados às erosões.

Quando perguntados sobre o que gostariam que fosse feito para resolver o problema (Figura 8.19), o desconhecimento também impactou nas respostas dos entrevistados que em 24% indicaram que gostariam que a área degradada fosse recuperada mas não souberam especificar como. Destaca-se ainda que 10% dos entrevistados não informaram e 4% afirmaram não saber responder.



Figura 8.19 - Procedimento almejado pelos moradores para resolução dos problemas associados às erosões. Erro em administração pública eficiente

O aterramento apareceu como o principal desejo dos moradores para resolver os problemas

sendo que 22% dos entrevistados apontaram para essa solução. Obras de drenagem foram mencionadas por 17% dos moradores como uma ação para resolver os problemas de erosão. Destaca-se que foi classificado aqui como obras de drenagem as seguintes referências feitas pelos moradores: canalizar a água da erosão, abrir a mina e canalizar, canalizar nascente, arrancar a mina, arrumar o córrego, bueiros eficientes, galerias de águas pluviais.

O asfaltamento também foi mencionado por 13% dos moradores como uma solução almejada para a resolução do problema das erosões. Equipamentos urbanos e construção de áreas de lazer foram mencionados respectivamente por 10% e 8% dos moradores. Entre os equipamentos urbanos mais solicitados estão postos de saúde, postos policiais, escolas e creches. A construção de áreas de lazer incluiu predominantemente parques e quadras de esportes.

A administração pública eficiente foi mencionada por 7% dos moradores como solução para as erosões. O termo administração pública eficiente não foi mencionado diretamente por nenhum entrevistado, mas acreditou-se ser este o termo que melhor agrupa as seguintes afirmações dos moradores: “que verbas dos projetos chegassem”, “que a prefeitura desse apoio a população”, “governo ter mais responsabilidade”, “iniciativa da prefeitura”, “maior intervenção da prefeitura”. Nesses termos, os entrevistados sempre atribuíam alguma ação ou responsabilidade direta a prefeitura com relação a solução dos problemas enfrentados com a ocorrência de erosões e eventualmente alagamentos e inundações.

Com percentuais bem inferiores de menções aparecem as seguintes ações desejadas pelos moradores para recuperar as erosões: “impedir o lançamento de lixo”, “indenização dos moradores”, “necessidade de fiscalização”, “estudos de recuperação e reflorestamento”.

Dentro desse contexto foi perguntado aos entrevistados o que a prefeitura já havia feito para resolver o problema (Figura 8.20). Um percentual de 32% dos moradores apontaram o aterramento como medida adotada pela prefeitura para sanar o problema das erosões. Empatados com o aterramento encontra-se 32% dos moradores afirmando que a prefeitura nunca fez nada para resolver o problema. Asfaltamento foi mencionado por 11% dos moradores e implantação de galerias de águas pluviais e sistema de drenagem foi apontado por 8% dos entrevistados. Destaca-se o percentual considerável de 14% dos moradores que não souberam informar nada sobre o assunto. Cercamento do local, obra paralisada, interdição, pesquisa com engenheiros e coleta de lixo seguem com percentuais pouco expressivos de menções. Também com um percentual muito reduzido aparece 3% de

afirmações que indicam que a erosão foi recuperada.

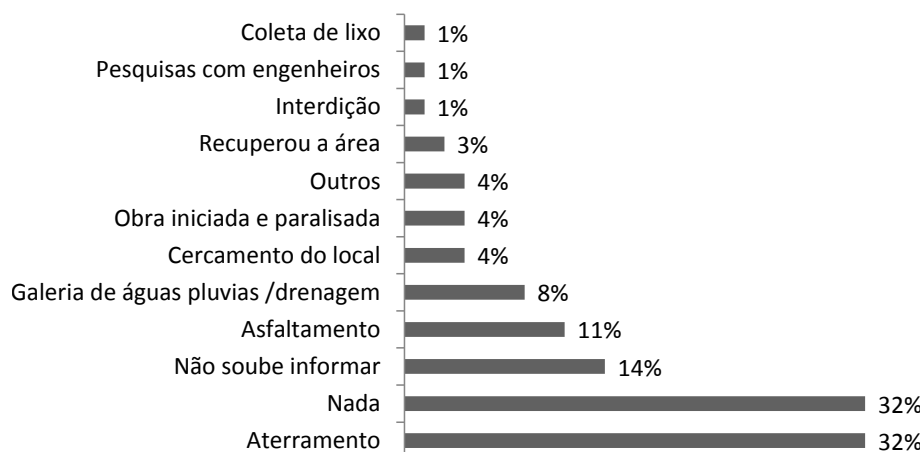


Figura 8.20 - Ações da prefeitura para resolução do problema.

Embora com todos os problemas 67% moradores informaram que se sentem satisfeitos no local onde moram (Figura 8.21 a). Todavia, 48% desses moradores não especificaram o motivo de sua satisfação, mas a tranquilidade aparece no topo das justificativas de satisfação sendo indicada por 19% dos moradores. Em segundo lugar como item de satisfação a vizinhança é indicada por 13% dos entrevistados. A casa própria aparece em terceiro lugar sendo mencionada por 10% dos moradores. Com percentuais inferiores seguem respectivamente a proximidade de serviços, o fato da erosão ter sido recuperada, emprego, localização e infraestrutura.

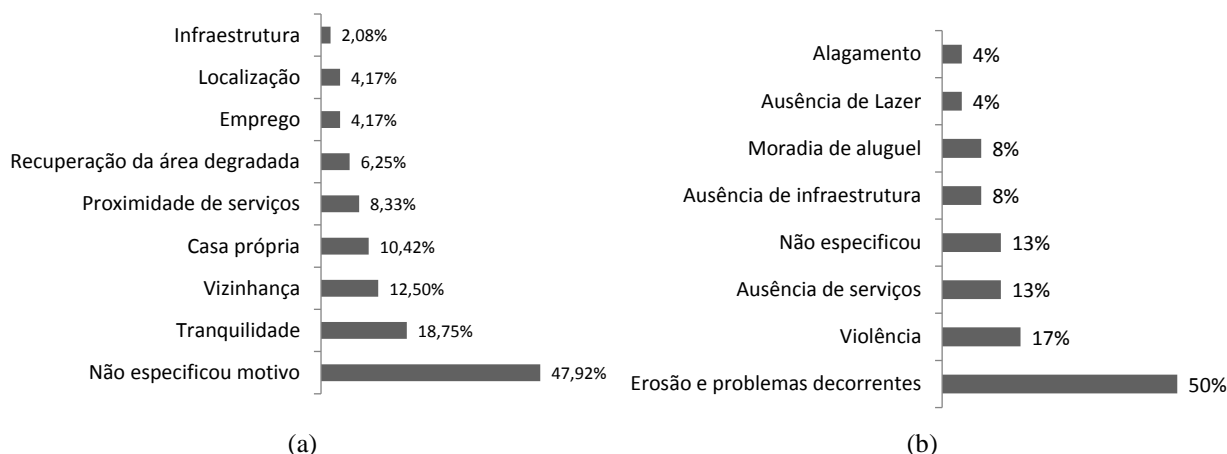


Figura 8.21 - Satisfação em residir nas adjacências das incisões erosivas: (a) Motivos de satisfação; (b) Motivos de insatisfação.

Por outro lado, dos 33% que se disseram insatisfeitos com o local (Figura 8.21 b), 50% justificaram sua opinião apontando as erosões e problemas delas decorrentes como principal motivo de sua insatisfação. A violência assumiu o segundo lugar entre os motivos de insatisfação tendo sido mencionada por 17% dos entrevistados. Em terceiro lugar estão

empatados o percentual de moradores que não especificaram o motivo de não se sentirem satisfeitos com o lugar onde moram com o percentual de moradores que indicaram a ausência de serviços como principal elemento de insatisfação, tendo 13% de menções cada um. Moradia de aluguel e ausência de infraestrutura foram, cada um, mencionados por 8% dos moradores. Por fim, ausência de lazer e presença de alagamentos são citados, cada um, por 4% dos entrevistados.

Diante de todas as dificuldades evidenciadas anteriormente quanto às erosões e os problemas resultantes da sua dinâmica evolutiva, quando perguntados se gostariam de se mudar, surpreendentemente, 61% dos moradores entrevistados disseram que não gostariam de se mudar. Contudo uma maioria de 52% desses moradores não especificaram o motivo do desejo de permanência no bairro. As justificativas apresentadas para o desejo de permanência foram diversificadas entre os moradores (Figura 8.22 a), de modo que os elementos que foram apresentados apenas por 2% dos entrevistados foram agrupados na classe outros que totalizou 14% das justificativas as quais incluem os seguintes itens: gosto pelo local, vizinhança, acesso a serviços, ausência de perigo para casa, recuperação da área degradada pela erosão. Destacou-se como justificativa pela opção de permanência no local a tranquilidade e a casa própria, cada um, com 9% de menções dos entrevistados.

Enquanto isso, dos 39% que gostariam de se mudar a maioria de 29% também não soube especificar os motivos, sendo que 14% alegaram motivos pessoais (Figura 8.22 b). Todavia, se destacaram os seguintes motivos de desejo de mudança: Erosão e problemas decorrentes, ausência de lazer, moradia melhor e casa própria, cada um mencionando por 11% dos moradores. Com percentuais inferiores foram mencionados a violência, ausência de infraestrutura, danos causados pelo escoamento da chuva, localização e emprego.

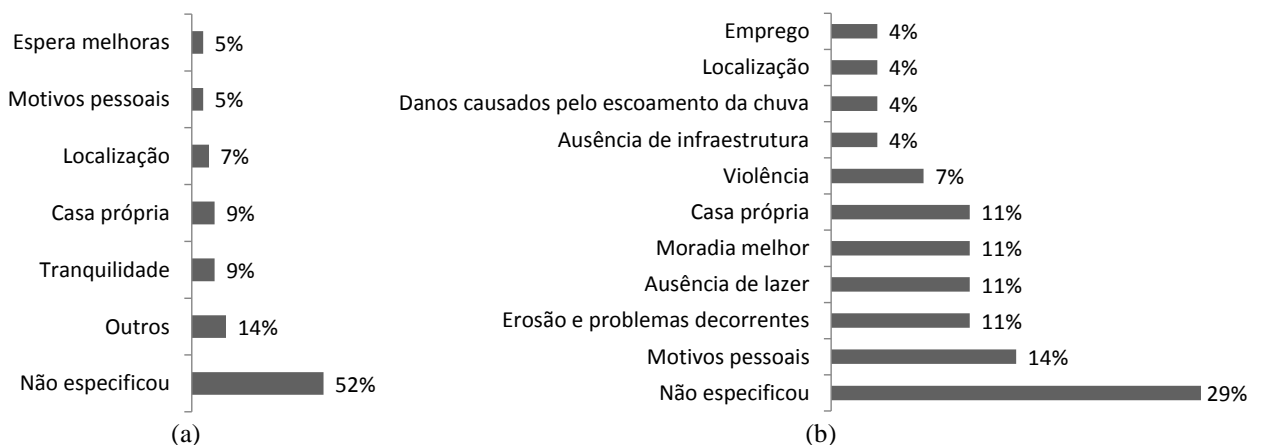


Figura 8.22 - Mudança do local onde reside: (a) Motivos para permanência no local; (b) Motivos de mudança para outro local.

Embora 61% dos moradores tenham afirmado que não gostariam de se mudar, quando perguntados se pudesse se mudar para qualquer bairro da cidade verificou-se que apenas 40% permaneceria no mesmo bairro. Os 60% que se mudariam migrariam para outros bairros (Figura 8.23 a) não ficando claro entre as respostas um bairro preferencial entre os moradores, tendo sido mencionados bairros diversos da cidade. Esses bairros foram mencionados principalmente por, segundo os moradores, oferecerem infraestrutura e proximidade de serviços, cada um mencionado por 14% dos entrevistados (Figura 8.23 b).

Diante do exposto observa-se que os vários profissionais precisam enxergar a erosão de forma diferente, mais ampla. O gestor público, por exemplo, deve ampliar a visão da erosão como um problema administrativo para um problema de segurança pública, desigualdade social, educação e saúde pública.

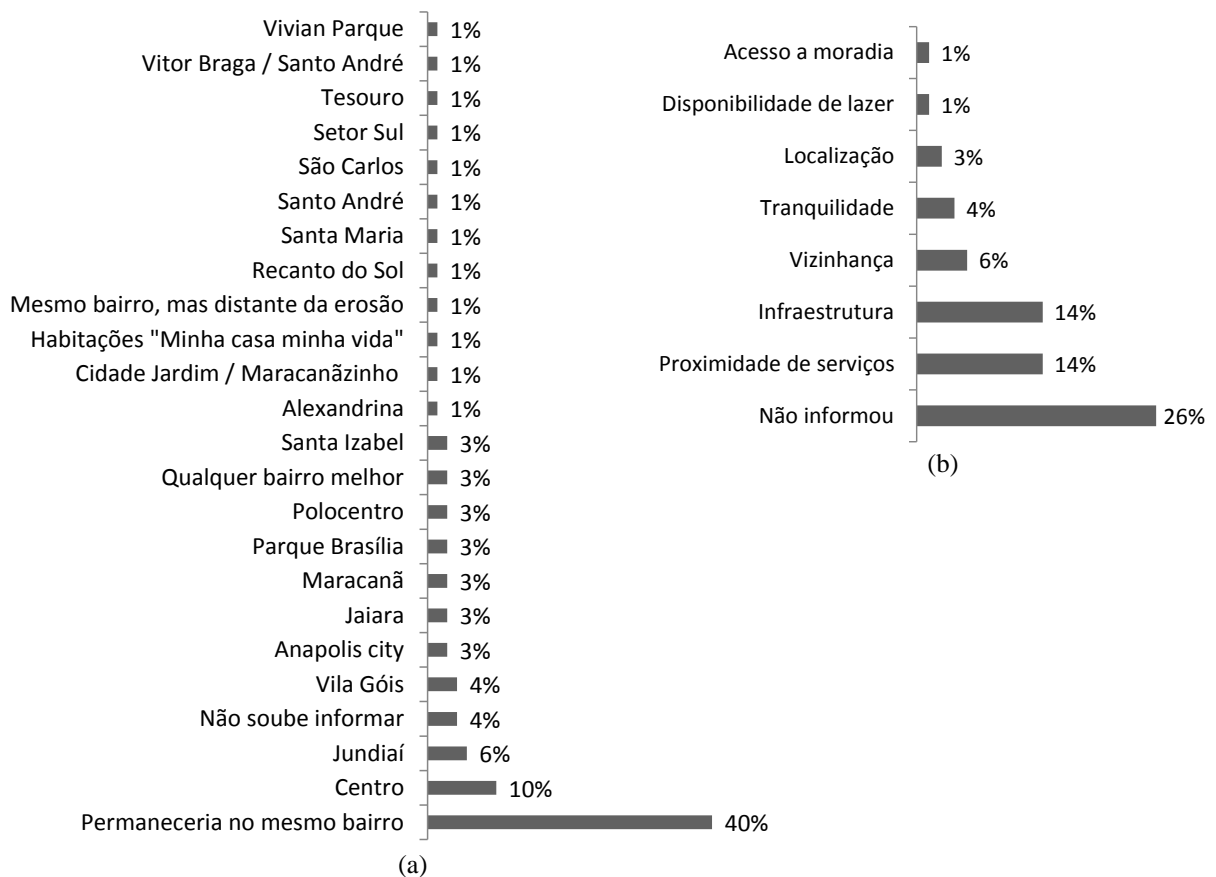


Figura 8.23 - Possibilidade de mudança para outro bairro: (a) Bairro almejado; (b) Motivos da escolha de outro bairro.

8.2.8 Articulação sócio-política dos moradores

No intuito de verificar a articulação sócio-política dos moradores diante da realidade marcada pela presença de erosões com a qual convivem diariamente, foi perguntado aos moradores o

que eles e seus vizinhos fizeram para resolver o problema (Figura 8.24). Foram apontadas diversas ações, mas destacou-se um percentual de 15% de moradores que afirmaram nunca ter feito nada e de 13% que afirmaram não saber informar sobre as ações.

A campeã das ações apontadas pelos moradores foi a reclamação na prefeitura apontada por 28% dos moradores, seguida de reclamação na imprensa que foi mencionada por 17% dos entrevistados. Ações via presidente de bairro e abaixo assinados foram, cada um, apontados por 14% dos entrevistados. Além disso, foram mencionadas outras ações, mas por um percentual reduzido de moradores. O que observa-se desse quadro é uma baixa articulação entre os moradores que em grande parte nunca fizeram nada para solucionar os problemas e entre os que tomaram alguma atitude muitas das vezes essa foi feita de maneira isolada sem envolver a vizinhança. Alguns moradores nem tem conhecimento da associação de moradores e se quer conhecem o presidente de bairro.

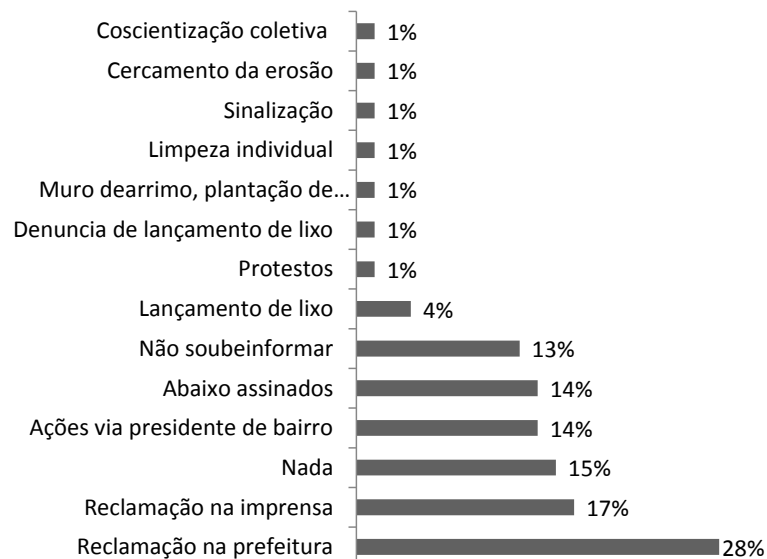


Figura 8.24 - Ações tomadas pelos moradores para resolução do problema.

Essa desarticulação sócio-política também é refletida na percepção dos moradores com relação ao valor do IPTU que pagam, pois a maioria dos entrevistados não souberam apresentar justificativas para o fato de considerarem o imposto justo ou não. O Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU) simultaneamente coíbi a atividade especulativa e gera recursos voltados a implementação da infraestrutura. Logo, em condições de desigualdes sócio-espaciais acentuadas, Souza (2010) aponta que, o IPTU possui uma acentuada capacidade de produzir maior justiça social.

Entre as moradias abordadas nesse trabalho o valor predominante de IPTU informado por 82% dos moradores foi de R\$ 50,00 (cinquenta reais) à R\$ 100,00 (cem reais) (Figura 8.25 a).

Ao serem perguntados sobre a equidade dos valores cobrados, 68% consideraram o valor injusto, 25% consideraram o valor justo e 7% não soube informar (Figura 8.25 b).

Dos que consideram o valor do IPTU injusto apresentam as seguintes justificativas: 14% não verifica retorno, 27% ausência de infraestrutura e 41% não souberam informar (Figura 8.25 c). Já entre os que consideram o valor justo, 22% consideram que existe um retorno do pagamento do imposto e outros 22% consideram o valor do imposto baixo comparado a outros locais. Além disso, 17% acham o valor compatível com o tamanho do imóvel e 11% apontaram a existência de infraestrutura. Destacou-se um percentual de 11% de entrevistados que não souberam informar porque consideram o valor do imposto justo (Figura 8.25 d).

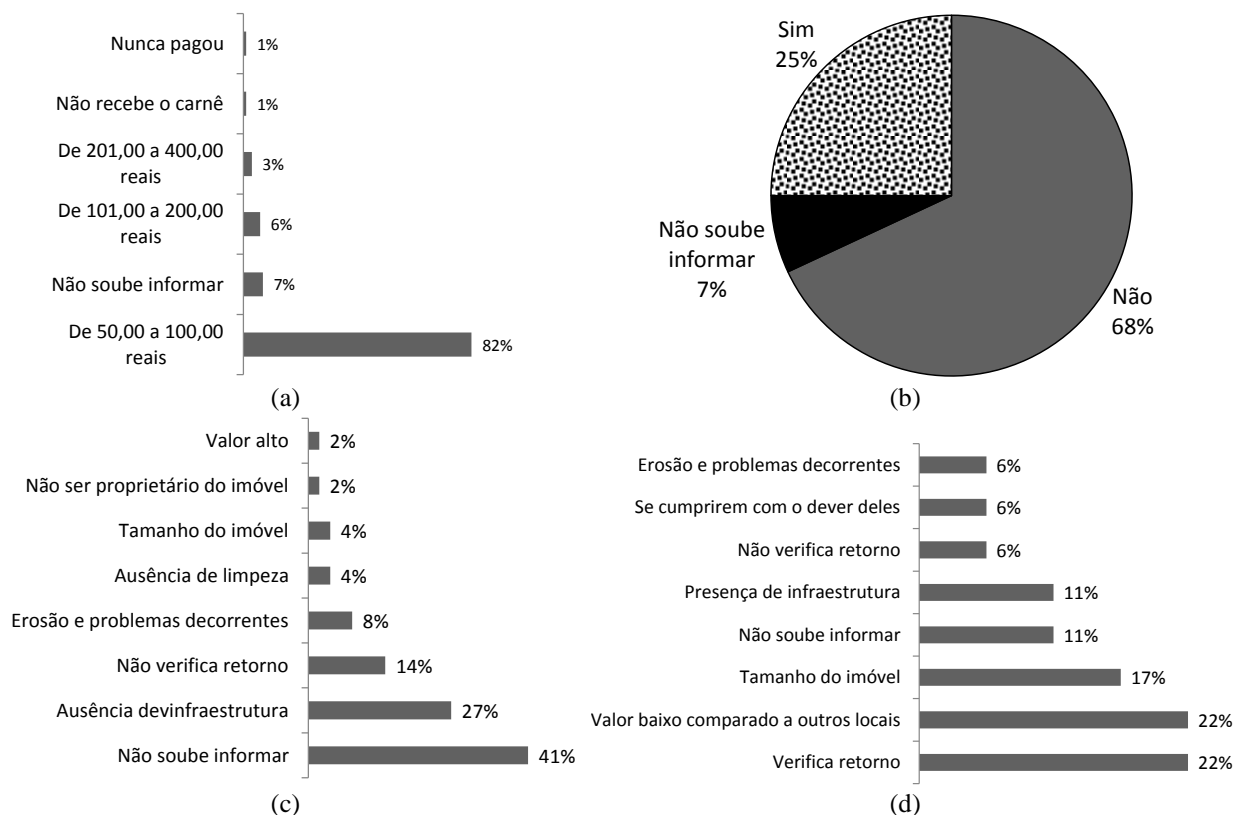


Figura 8.25 - IPTU: (a) Valor cobrado; (b) Percepção sobre a justa adequação do valor cobrado; (c) Porque considera o valor do IPTU injusto; (d) Porque considera o valor do IPTU justo.

8.3 QUALIDADE DE VIDA – O CONHECIMENTO COMO MEDIDA PREVENTIVA AS EROSÕES

No item anterior, referente aos indicadores de qualidade de vida foi possível verificar um grande desconhecimento no que se refere às causas dos processos erosivos e muitas vezes com relação às consequências do mesmo. Essa alienação com relação ao espaço habitado, por vezes, pode levar os moradores afetados direta e profundamente por esse fenômeno

agravarem a situação com lançamento de águas servidas, lançamento de lixo nas bordas e dentro da incisão erosiva. Além de não se articularem para resolver o problema e/ou pressionar o poder público no sentido de mitigar o problema.

Isso ocorre por falta de conhecimento do espaço em que habitam, dos riscos a que estão sujeitos e dos seus direitos como cidadãos. Logo, a qualidade de vida tem uma relação direta com o conhecimento do espaço em que se vive. Isso suscita, portanto, a necessidade de educação, educação para cidade, para o espaço, educação ambiental. Esse desconhecimento não parece ser uma questão de classe social ou de escolaridade, tendo se percebido que muitas pessoas desconhecem o relevo, a hidrografia que configuram a paisagem onde moram.

Considera-se que uma educação formal e /ou informal deveria ser implementada de modo a levar os habitantes da cidade a conhecerem sua configuração, quais são suas bacias hidrográficas, os tipos de solo, as características geológicas e geomorfológicas, as áreas de preservação permanente, as áreas de risco e os condicionantes dos processos erosivos. Esses temas já compõem os currículos da educação básica, onde muitas vezes é ensinado de maneira muito generalizada e desprovido das peculiaridades locais e regionais.

Além desses temas o meio ambiente de forma geral é apresentado pelos PCNs (Parâmetros Curriculares Nacionais) como tema transversal com orientações para abordagem em todos os ciclos do Ensino Básico. Dentro desse tema os PCNs propõem que no Ensino Fundamental primeira fase, os alunos sejam capazes de desenvolver várias competências dentre elas: “perceber-se integrante, dependente e agente transformador do ambiente, identificando seus elementos e as interações entre eles, contribuindo ativamente para a melhoria do meio ambiente” (Brasil, 1997 p.9). Já para a segunda fase do Ensino Fundamental aponta que a principal função do trabalho com o tema meio ambiente é “contribuir para a formação de cidadãos conscientes, aptos a decidir e atuar na realidade socioambiental de um modo comprometido com a vida, com o bem-estar de cada um e da sociedade, local e global” (Brasil, 1998 p.187).

Nos temas transversais como nos temas básicos a abordagem se distancia da realidade dos alunos. Pontual (2002) afirma que a percepção da população é um ponto fundamental para “uma pedagogia de participação da inclusão”, que segundo ele pode produzir novos significados sobre qualidade de vida. Ousa-se dizer que essa abordagem que se aproxima da realidade local pode produzir novos significados ambientais.

A Constituição Federal Brasileira (Brasil, 1988) no Art. 225, abordado no início desse texto,

aponta o meio ambiente equilibrado, necessário à qualidade de vida, como um direito dos cidadãos. Nesse artigo também é mencionado no parágrafo 1º, inciso VI que para assegurar esse direito o Poder Público deve “promover a educação ambiental em todos os níveis de ensino e a conscientização pública para preservação do meio ambiente.” Ressalte-se que proteger o meio ambiente entendido na Política Nacional do Meio ambiente, Lei 6.938 (Brasil, 1981) no seu Art. 3º, parágrafo I como “o conjunto de condições, leis, influências e interações de ordem física, química e biológica, que permite, abriga e rege a vida em todas as suas esferas” vai muito além dos parâmetros ecológicos e do meio físico, envolvendo o ser humano não só na sua faceta biológica, mas também cultural e social.

Observa-se, portanto, que falta uma efetividade das políticas de educação formal quanto à questão ambiental e efetividade da constituição em garantir a educação informal indistintamente. Ao se falar na educação informal toca-se num ponto importante que é educar aqueles que não estão na escola ou a ela não tiveram acesso, educar os próprios gestores.

Anápolis possui um excelente público para implementação de ação de educação ambiental formal, pois é relevante o número de pessoas em idade escolar (Figura 8.26). Esse percentual também é muito relevante entre a população que habita o entorno das voçorocas. Marcomim *et al.* (2008) aponta a escola como um espaço especial para o desenvolvimento da Educação Ambiental, sendo responsável por mudanças de atitude. Todavia, esses autores afirmam que isso exige a quebra de paradigmas tradicionais na forma de ensinar adotando a inter e transdisciplinaridade desde a primeira etapa da educação básica. No seguimento educação ambiental a educação não formal também assume grande relevância, pois permite a atuação em todas as camadas e faixas etárias da sociedade possibilitando a construção mais sólida da consciência voltada para a necessidade de preservação do meio ambiente e para práticas ambientalmente sustentáveis. A própria Figura 8.26 e Figura 8.27 apontam para um grande percentual de pessoas que pela faixa etária provavelmente não se encontra inserida na educação formal.

Educar e disponibilizar o conhecimento, certamente é uma medida preventiva eficaz como prevenção e mitigação de problemas ambientais, tais como erosões, alagamentos e inundações. A mitigação dos impactos ambientais, por sua vez, não depende apenas da educação, mas também da intervenção da gestão, uma vez que os custos com as obras mitigadores são extremamente altos e exigem soluções técnicas específicas para cada caso e profissionais capacitados para tal execução. Na prevenção de problemas ambientais como os

citados o estabelecimento de planos diretores bem fundamentados constitui-se em elemento eficaz.

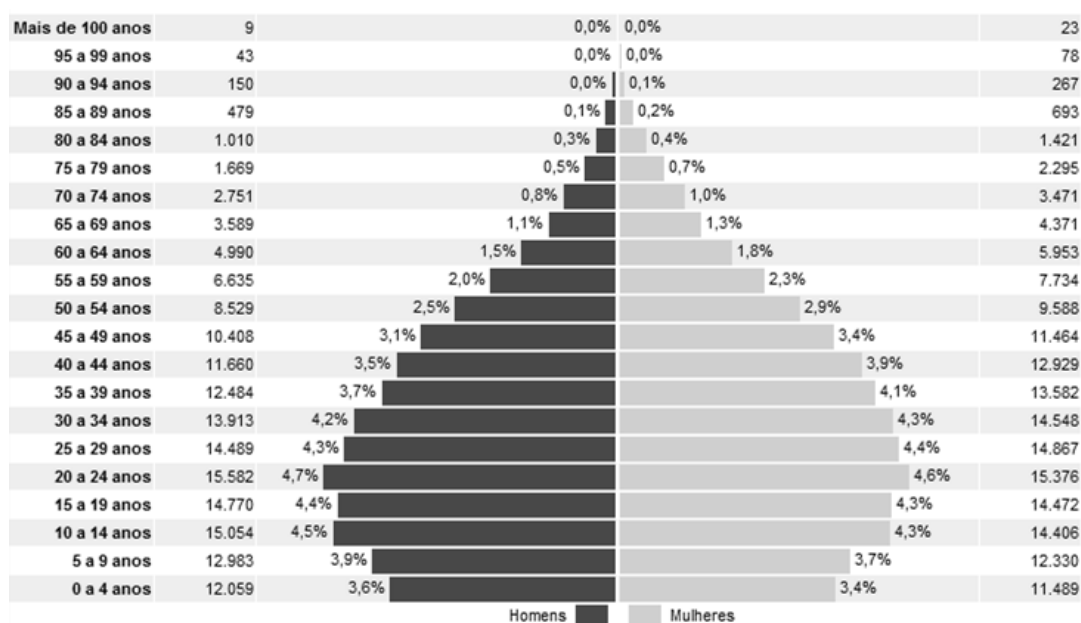


Figura 8.26 - Distribuição da população segundo censo 2010 (IBGE, 2010) para Anápolis.

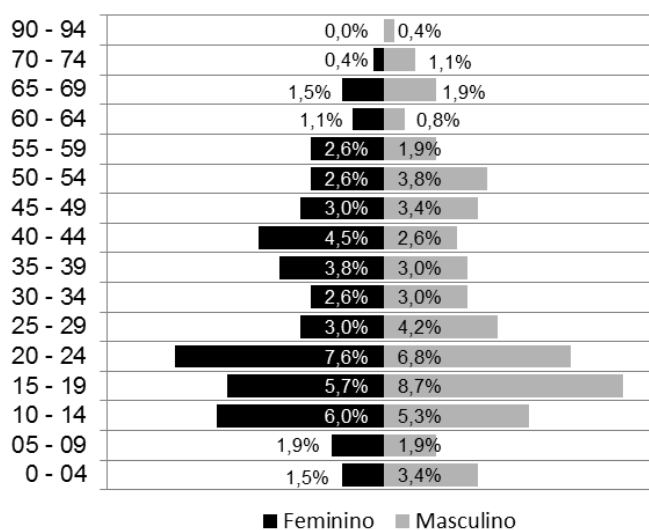


Figura 8.27 - Distribuição da população em 2012 para o entorno das voçorocas estudadas.

Em Anápolis foi inaugurado em 27 de dezembro de 2012 o Parque da Liberdade (Figura 8.28). O terreno onde o parque foi construído sofreu por mais de 50 anos com a expansão de uma erosão, que se tornou um lixão, gerando muitos problemas para os moradores do local). Ações como essa, somam locais de lazer a vida da população e colabora nesse aspecto para melhoria da qualidade de vida. Quando bem elaborado e mantido pode se constituir em objeto de educação ambiental por meio da elaboração de cenários comparativos entre o estado poluído e de risco anterior e o atual mais aprazível. Podem retratar a história do local e apresentar as causas da erosão existente anteriormente e como elas foram solucionadas.



Figura 8.28 - Recuperação de erosão no município de Anápolis: (a) Vista de montante para jusante; (b) Vista de jusante para montante.

No caso da voçoroca da avenida Getulino Artiaga o processo de recuperação foi feito com remoção do lixo que colmatava a incisão, eliminação do lançamento de águas pluviais a meia encosta, retaludamento, terraceamento, implantação de sistema de drenagem e cobertura vegetal (Figura 8.29). De um modo geral parece um projeto muito bem executado, todavia constatou-se a necessidade de um sistema de drenagem mais robusto dadas as características da área com um declive muito acentuado em cabeceira de drenagem e solos rasos, isso caracteriza uma convergência de fluxo muito forte, podendo levar a rupturas dos taludes.



Figura 8.29 - Execução da obra de recuperação da voçoroca da avenida Getulino Artiaga em Anápolis (Anápolis, 2008b).

Outra obra de recuperação de área afetada por processo erosivo que levou em consideração os pressupostos de uma boa prática mitigadora foi a recuperação da voçoroca Túnel, onde também houve remoção de lixo, retirada do lançamento de águas pluviais, retaludamento, implantação de sistema de drenagem das águas de subsuperfície e de superfície. Todavia, cometeu-se, pelo menos no que tange a questão ambiental, a imprudência de instalar nesse local, onde inclusive existe uma grande cabeceira de drenagem em anfiteatro a obra do Túnel

que conecta o ramal de acesso da Ferrovia Norte/Sul com o Distrito Agroindustrial de Anápolis. Do ponto de vista técnico o local escolhido para implantação da obra tem resultado em rupturas sucessivas de talude conforme foi explicado no Capítulo 3. A Figura 8.30 mostra uma visão panorâmica dessa cabeceira de drenagem com a voçoroca recuperada a direita e o emboque do Túnel a esquerda.



Figura 8.30 - Vista panorâmica da cabeceira de drenagem onde está localizada a voçoroca Túnel.

Em Anápolis existem outras obras de mitigação de processos erosivos que nem sempre levaram em consideração os pressupostos básicos de recuperação de áreas afetadas por processos erosivos. Houve um período que chegou-se a admitir oficialmente o lançamento de resíduo de construção civil no intuito de eliminar as incisões, revelando desconhecimento quanto a dinâmica das águas superficiais e subsuperficiais com seu poder erosivo constante. Assim, as águas de chuva rapidamente carreavam esses materiais para dentro das drenagens promovendo, junto com o solo erodido, seu assoreamento (Figura 8.31). Outro aspecto relevante a ser realçado é que a falta de orientação da população e de fiscalização do poder público terminou permitindo que diferentes tipos de resíduos sólidos urbanos fossem lançados nessa erosões constituindo-se em verdadeiras fontes de poluição do ar, da água e do solo.



(a)



(b)

Figura 8.31 - Entulhamento das voçorocas e a ação das águas pluviais: (a) voçoroca Túnel; (b) voçoroca Contorno.

A própria voçoroca Túnel, antes da recuperação pelas obras de construção do túnel, chegou a receber esse tipo equivocado de medida mitigadora (Figura 8.31 a). A voçoroca Contorno também foi alvo de tentativa de recuperação por lançamento de resíduo da construção civil (Figura 8.31 b). Essa atitude contraria as práticas de educação ambiental informal, pois peca pelo exemplo, levando as pessoas a acreditarem que tal atitude de fato é benéfica ou isenta de consequências. O fato é que o lançamento de entulho não resolveu o problema e a prefeitura iniciou um processo de recuperação de fato em 2008.

Todavia, no caso da voçoroca Contorno, é possível verificar na Figura 8.32 que mais ou menos acima da linha vermelha está a vertente onde existia a voçoroca, a jusante da linha vermelha está a planície de inundação assoreada pelo sedimentos (lixo, entulho e solo) oriundos da voçoroca formando um cone de dejeção. A drenagem das águas subsuperficiais se prolongou até esse ponto tendo sido implantados dois drenos de 20 cm de diâmetro, em tubo de concreto poroso, revestido por camada de brita 2 com 32 cm nas laterais, 23 cm na parte superior e 15 cm na base envelopados com geotêxtil. A implantação dos drenos sem remoção do lixo (cone de dejeção), com exposição do geotêxtil e em alguns pontos do envelopamento de brita sem a cobertura com o geotêxtil torna esse trecho da obra muito vulnerável a ação da água proveniente do escoamento superficial. Posteriormente às obras de drenagem realizou-se o aterro completo da incisão, desconhecendo-se os dados a respeito do seu dimensionamento. Como não houve uma cobertura vegetal do aterro, atualmente ele está sendo esculpido por sulcos e por ravinas que possuem cerca de 2 m de profundidade como já foi apresentado no Capítulo 3.



Figura 8.32 - Recuperação da voçoroca Contorno: Vista de jusante para montante.

O exposto nesse capítulo deixa claro que os danos ao meio ambiente e qualidade de vida dos moradores ocasionados pelas erosões vão além dos riscos oferecidos pela própria incisão

erosiva atingido diretamente a qualidade de vida e riscos à própria saúde se não houver orientação da população e fiscalização do poder público. A área erodida que foi recuperada com implantação de parque mais que mostrar ser possível esse tipo de recuperação indica que previamente ao surgimento da erosão tais espaços podem já em nível de plano diretor serem pensados e oportunamente implantados. O custo de recuperação das áreas erodidas é sempre indiscutivelmente superior ao de implantação previa dos mesmos locais de lazer.

Sobressai ainda dessa análise junto à população a urgente necessidade do poder público atuar de modo efetivo nas educações formal e não formal de modo a construir uma consciência que leve ao desenvolvimento urbano sustentável.

Capítulo 9 - Considerações Finais

9.1 CONCLUSÕES

- Analisando as características do meio físico de cada uma das voçorocas pesquisadas foi possível verificar um padrão de ocorrência com relação às variáveis do meio físico. Como a informação geológica não é muito detalhada é difícil atribuir a ela maior ou menor influência em escala macro. No entanto, em escala de detalhe, observando-se as feições de campo e peculiaridades do comportamento nos ensaios de laboratório depreende-se ao observar os solos lateríticos que a geologia perde importância como elemento interveniente no processo erosivo à medida que o solo é intemperizado.
- Por sua vez, observando-se o padrão de comportamento dos solos saprolíticos verifica-se que a estrutura, estratigrafia, disposição mineralógica e sistema de falhamentos e fraturamento podem exercer grande influência nos mecanismos de deflagração e evolução dos processos erosivos aí se incluindo o aspecto hidrogeológico ligado a tais estruturas.
- No que se refere aos aspectos geomorfológicos, as voçorocas estudadas tendem a ocorrer em cabeceiras de drenagem e baixas vertentes com diversidade altimétrica alta e com declividades superiores a 15% podendo atingir valores superiores a 45%. A morfologia do relevo tende a ser Côncava/Côncava na cabeceira da voçoroca. Uma variação de solos e orientação das vertentes sugere que a geomorfologia, entre as demais variáveis do meio físico, contribui mais significativamente, para conferir instabilidade natural nos terrenos estudados.
- As análises realizadas mostram, no entanto, que o olhar geomorfológico deve ser radiográfico, adentrando nas peculiaridades internas do maciço quanto ao fluxo, estrutura, composição textural, químico-mineralógica e ao comportamento hidromecânico. Por exemplo, se o modelado foi desenvolvido na escala de tempo geológico com frente de intemperismo que confere certa homogeneidade em perfil o comportamento frente ao processo erosivo certamente será diverso daquele que se observará no modelado antrópico que confere heterogeneidade em perfil. Isso porque a relação entre a energia externa atuante oriunda das variações atmosféricas, aí se incluindo as precipitações, se altera em relação à energia interna fruto de elementos como sucção e distribuição de tensões.
- Os parâmetros geotécnicos indicam solos mineralogicamente estáveis, com exceção do solo saprolítico da voçoroca Túnel que possui mineral expansivo. O comportamento

granulométrico é arenoso em campo, sendo suscetíveis a erosão superficial como foi verificado nos ensaios de perda de massa, desagregação e inderbitzen e com baixo potencial a erosão interna, eluviação e esqueletização quando da ocorrência de fluxo interno. Uma avaliação qualitativa desses parâmetros para o maciço de solo de cada voçoroca indica uma suscetibilidade mediana desses solos quanto a evolução de processos erosivos.

- Há que se destacar ainda que a grande instabilidade estrutural dos solos em especial o laterítico face a ação de defloculantes coloca em evidencia o risco de infiltrar águas servidas no solo, pois a tendência normal é que esses contaminantes modificadores do pH fluam em direção às vertentes e em especial em direção às cabeceiras de drenagem proporcionando a contaminação do lençol freático assim como favorecendo o desencadeamento e evolução dos processos erosivos.
- Analisando o uso e cobertura do solo de cada uma das voçorocas pesquisadas, com base nos mapas e inspeção de campo foi possível verificar grande influência da ocupação urbana no seu surgimento e evolução. Em todas as voçorocas identificou-se algum tipo de área urbana a montante, sistema de arruamento impróprio para as condições do meio físico tais como ruas longas no sentido do declive e/ou transversais às cabeceiras de drenagem. Além disso, em todas elas existe alguma dificuldade com o disciplinamento das águas pluviais, com inexistência de sistema de galerias pluviais, escoamento superficial concentrado ou lançamento inadequado das águas pluviais pelo sistema de microdrenagem sem estruturas dissipadoras da energia cinética da água.
- Do ponto de vista da suscetibilidade os atributos do meio físico dos locais onde ocorrem as erosões estudadas nessa tese possuem uma forte fragilidade ambiental à ocorrência desses processos. Sendo essa suscetibilidade potencializada pelas formas de uso e cobertura do solo.
- Dos estudos realizados junto à população ficou claro que os danos ao meio ambiente oriundos dos processos erosivos afetam a qualidade de vida e geram riscos para a saúde e para a própria vida fazendo necessária a atuação preventiva e em certos casos mitigadora desses problemas por parte do Poder Público. Essa atuação do Poder Público deve se iniciar quando da elaboração do Plano Diretor e continuar por meio da elaboração de normas apropriadas de ocupação e uso do solo que inclusive prevejam a implantação de obras básicas de infraestrutura. Para a efetividade dessas normas faz-se necessário intensificar as ações voltadas para a educação ambiental formal e não formal da população

e a prática de atos de fiscalização, lembrando que o educar previne evitando danos futuros.

- Enfatiza-se que a realização desse trabalho de investigação de erosão linear mostra que em termos gerais áreas com alta declividade, morfologia concentradora de fluxo e nível d'água próximo a superfície são características que em geral, para qualquer área, aumenta a suscetibilidade dos terrenos. Por outro lado, existem muitos outros parâmetros geomorfológicos, geológicos, pedológicos e geotécnicos que são muito variáveis na superfície, sendo complexo desenvolver um modelo único que explique a evolução do processo erosivo linear. Todavia, para qualquer tipo de terreno, em Anápolis ou outro lugar influenciado por clima tropical, um uso inadequado do solo poderá acionar a instalação de processo erosivo cujas causas principais é o disciplinamento indevido ou inexistente das águas superficiais.
- O estudo dos fatores desencadeadores e responsáveis pela evolução dos processos erosivos analisados deixa claro que planejamento da ocupação e uso do solo em meio rural e urbano deve passar por considerações de ordem, geológica, geomorfológica, geotécnica, climática e mesmo cultural da população. O parâmetro cultural é passível de ser modificado, de modo a se evitar problemas socioambientais como as erosões, alagamentos e inundação. Nessa direção o plano urbanístico das cidades tem grande relevância e deve estabelecer como elemento essencial a preservação ambiental e o desenvolvimento sustentável.
- Finalmente, cabe destacar, conforme se viu ao longo da descrição dos processos erosivos que todas as erosões analisadas foram objeto do lançamento de resíduos sólidos urbanos e tiveram origem na concentração do fluxo das águas pluviais e/ou lançamentos inapropriados dos sistemas de drenagem. Certamente esses lançamentos de lixo se deram ao longo das diferentes gestões municipais o que torna urgente ações educativas para a sociedade e esclarecedoras e de formação para os gestores públicos.

9.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Esse trabalho com proposta multidisciplinar esbarra em dificuldade de aprofundamento de determinados elementos inclusive por uma questão de tempo, mas que podem contribuir para o entendimento dos processos erosivos. Desse modo, destaca-se algumas sugestões para trabalhos futuros:

-
- Refinamento do mapa geomorfológico apresentado por Lacerda (2005) utilizando a base topográfica detalhada elaborada para essa pesquisa;
 - Apuramento metodológico na atribuição de pesos específicos para cada parâmetro geotécnico adotado com vistas a determinação da suscetibilidade;
 - Espacialização da avaliação da suscetibilidade dos terrenos em mapa;
 - Gerar cenários de suscetibilidade a erosões lineares;
 - Confeção de mapa de risco utilizando-se dos elementos abordados neste trabalho;
 - Construção de novos mapas de suscetibilidade e alagamento utilizando uma gama maior de variáveis como mapas de uso e cobertura de outras datas, mapas de curvatura, mapa geológico e outros atributos geomorfológicos;
 - Tabulação cruzada entre todos os produtos cartográficos;
 - Elaboração de mapa de solos detalhado até o primeiro nível categórico da classificação brasileira de solos com apoio da base topográfica elaborada nessa tese;
 - Elaboração de microscopia eletrônica de varredura em solos com secagem prévia e com umidade de campo para verificar possíveis alterações na estrutura dos solos no perfil de intemperismo em função da atuação de fatores climáticos como a insolação;
 - Efetuar análises químicas dos solos estudados de modo a aprofundar no entendimento do comportamento dos perfis de intemperismo frente a erosão e ao processo de infiltração de águas pluviais e servidas;
 - Análise da qualidade da água de subsuperfície em função da presença do cemitério afim de se descartar uma possível interferência de sua presença no processo evolutivo da erosão Frei Eustáquio;
 - Análise da qualidade da água da chuva ao longo do ano afim de verificar eventuais alterações que afetem a estabilidade estrutural dos solos;
 - Estender as entrevistas a uma amostra maior envolvendo núcleos que não moram próximos às erosões para estabelecer uma percepção geral sobre o conhecimento das pessoas acerca desse problema.
 - Realizar estudos topoclimáticos entre Anápolis e Goiânia estabelecendo uma relação com a formação do solo em ambos os locais.

Referências Bibliográficas

- Ab'saber, A.N. (1977). Potencialidades paisagísticas brasileiras. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Recursos naturais, meio ambiente e poluição. Rio de Janeiro, RJ, p.19-37.
- Abiko, A. (2011). Texto Técnico - Serviços Públicos Urbanos. Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, SP. Disponível em: <<http://publicacoes.pcc.usp.br/Textos.Tecnicos/TT10.pdf>>, acesso em: 01/11/2012.
- Almeida Filho, G.S. & Almeida, M.C.J. (2001). O impacto da expansão urbana no desenvolvimento de processos erosivos lineares no município de Bauru, SP. 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, João Pessoa, PB, n. IX-007, 16p.
- Almeida Filho, G.S. & Ridente Júnior, J.L. (2001). Erosão: diagnóstico, prognóstico e formas de controle. Simpósio Nacional de Controle de Erosão, ABGE, Goiânia, GO, Minicurso 1: p. 1-70.
- Almeida, M.C.J. & Freitas, C.G.L. (1996). Uso do solo Urbano: suas relações com o meio físico e os problemas decorrentes. Simpósio Brasileiro de Cartografia, ABGE, São Paulo, SP, p. 195-200.
- American Society for Testing and Materials - ASTM (2003). D 5298-03. Standard Test Method for Measurement of Soil Potential (Suction) Using Filter Paper. ASTM International, Pennsylvania, USA, 6p.
- American Society for Testing and Materials - ASTM (2004). D 3080-04 Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions. ASTM International, Pennsylvania, USA, 9p.
- Anápolis (2006a). Código tributário e de rendas do município de Anápolis. Lei Complementar nº 136, de 28 de dezembro de 2006, Anápolis, GO.
- Anápolis (2006b). Plano diretor participativo do município de Anápolis. Lei Complementar nº 128, de 10 de outubro de 2006, Anápolis, GO.
- Anápolis (2008a). Planta baixa da voçoroca da Av. Contorno no bairro Polocentro. Prefeitura Municipal de Anápolis.
- Anápolis (2008b). Obras do Parque da Liberdade estão adiantadas. Prefeitura Municipal de Anápolis. Disponível em: <<http://www.anapolis.go.gov.br/portal/multimedia/noticias/ver-obras-do-parque-da-liberdade-est-o-adiantadas>> Acessado em: 21/12/2012.
- Araújo, V.A. (1994). Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Nerópolis (GO) - Folha SE.22-X-B-I. DNPM/CPRM, Brasília, DF.
- Arcaya, S.G.CH. (2007). Avaliação dos fatores condicionantes dos processos erosivos no Distrito Federal. Dissertação de Mestrado, Publicação G.DM-156/07, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 189p.
- Arêdes, M.N. & Coelho, K.B.P. (2005). Uso do solo e implicações Ambientais em áreas urbanas: um estudo de caso. Moura, A.M.S., Sena Filho, N. (Orgs.). Cidades: relações de poder e cultura urbana. Ed. Vieira, Goiânia, GO, p.277-301.

- Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (1984a). NBR 6508. Solo - Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, RJ, 8p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (1984b). NBR 7181. Solo - Análise granulométrica. Rio de Janeiro, RJ, 13p. 12/1984
- Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (1984c). NBR 6459 Solo - Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, RJ, 6p. 10/1984
- Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (1984d). NBR 7180 Solo - Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, RJ, 3p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (1986a). NBR 6457. Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, RJ, 9p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (1986b). NBR 9284. Equipamento Urbano - Classificação. Rio de Janeiro, RJ, 4p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (1998). NBR 14114 Solo - Solos argilosos dispersivos. Identificação e classificação por meio do ensaio do furo de agulha (Pinhole Test). Rio de Janeiro, RJ, 8p.
- ASTER (2010). Global Digital Elevation Map. Disponível em: <<http://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp>>. Acessado em: 12 de mar de 2007.
- Ávila, F.F. & Lacerda, H. (2006). Erosão acelerada e suas relações com as formas de relevo e uso da terra na porção sudoeste de Anápolis (GO). IV Seminário de Iniciação Científica, UEG, Anápolis, GO.
- Ayoade, J.O. (1991). Introdução à climatologia para os trópicos. Ed. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, RJ, 332p.
- Barbosa, S.R.C.S. (1995). Ambiente, qualidade de vida e cidadania. Algumas reflexões sobre regiões urbano-industriais. Hogan, D.J. & Vieira, P.F. (Orgs.). Dilemas sócioambientais e desenvolvimento sustentável. UNICAMP, Campinas, SP, p.193-210.
- Barretto, A.G.O.P., Lino, J.S. & Sparovek, G. (2009). Bibliometria da Pesquisa Brasileira em Erosão Acelerada do Solo: Instituições, Temas, Espaço e Cronologia. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 33, n. 6, p. 1845-1854. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG.
- Batista, P.H.L. (2011). Geoprocessamento Aplicado aos Processos de Inundação em Anápolis/GO. Monografia de Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Católica de Brasília, Brasília, DF, 44p.
- Batista, P.H.L., Jesus, A.S., Mendes, M.J.A., Souza, N.M. & Camapum de Carvalho, J. (2012). Análises de cenários de suscetibilidade a inundações e alagamentos. Camapum de Carvalho, J., Gitirana Junior, G.F.N., Carvalho, E.T.L. (Org.) Tópicos sobre infiltração: teoria e prática aplicadas a solos tropicais. UnB, Faculdade de Tecnologia, Brasília, DF, 644p.
- Batista, P.H.L., Jesus, A.S., Mendes, M.J.A., Souza, N.M. & Camapum de Carvalho. (2013). Metodologia de mapeamento do uso e cobertura do solo aplicado à cartografia geotécnica: estudo de caso em Anápolis/GO. INPE, Anais, XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR.

- Bertoni, J. & Lombardi Neto F. (1999). Conservação do solo. Ed. Ícone, São Paulo, SP, 2.ed, 355p.
- Borges, B.G. (1990). O Despertar das Dormentes. Ed. Cegraf, Goiânia, GO. p. 87-118.
- Borges, H.C. (1975). História de Anápolis, Ed. Cerne, Anápolis, GO.
- Braga, R. (2002). Qualidade de vida urbana e cidadania. Território e Cidadania, v 2, n. 2, jul/dez.
- Brasil (1981). Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, Brasília, DF.
- Brasil (1988). Constituição da República Federativa do Brasil, Brasília, DF.
- Brasil (1997). Parâmetros curriculares nacionais: meio ambiente, saúde. Secretaria de Educação Fundamental, v.9.1. Brasília, DF, 128p.
- Brasil (1998). Parâmetros curriculares nacionais: terceiro e quarto ciclos: apresentação dos temas transversais. Secretaria de Educação Fundamental, v.10.3. Brasília, DF, 436p.
- Brasil (2001). Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001, Brasília, DF.
- Brasil (2011). Decreto nº 7.655, de 23 de dezembro de 2011, Brasília, DF.
- Brasil (2012). Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012, Brasília, DF.
- Brito, R.M.F.A. (2007). A Gestão da Cidade e sua Organização Interna: Anápolis 1993 a 2004. Dissertação de Mestrado em Geografia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, 192p.
- Camapum de Carvalho, J. & Gitirana Júnior, G. (2005). Considerações sobre parâmetros de resistência de solos tropicais. II Simpósio Sobre Solos Tropicais e Processos Erosivos no Centro-Oeste, UFG, Goiânia, GO, v. 1. p. 183-191.
- Camapum de Carvalho, J. & Leroueil, S. (2004) Curva característica transformada. Solos e Rochas, São Paulo, SP, 27(3), p. 231-242.
- Camapum de Carvalho, J. (2009). Erosão: Origens, soluções e responsabilidades. 5ª Conferência Brasileira de Estabilidade de Encostas. ABMS, São Paulo, SP.
- Camapum de Carvalho, J., Guimarães, R.C., Cardoso, F.B.F. & Pereira, J. H. F. (1996). Proposta de uma Metodologia para Ensaio de Sedimentação. 30ª Reunião Anual de Pavimentação, Salvador, BA, p. 520-531.
- Camapum de Carvalho, J., Lelis, A.C., Carvalho, J.T.C. & Leuzinger, M.D. (2008). Erosão em meio urbano: um problema de engenharia, direito ou de educação. Interesses difusos: temas polêmicos. Brasília, DF, v.46, p. 73-87.
- Camapum de Carvalho, J., Leuzinger, M.D., Camapum de Carvalho, J.T. & Lelis, A.C. (2009). Engenharia, meio ambiente e a expansão urbana. Instituto Estudos Direito e Cidadania. Revista internacional de Direito e Cidadania, v.2, n. 3, p.149-157. Ed. Habilis, Erechim, RS.
- Camapum de Carvalho, J., Nunes, P.M., Berberian & Ferreira E.S. (1987). Influence of pH saturation liquid on collapsability (in spanish). VII Panamerican Conferece in Soil Mechanics and Foundation Engineering, Cartagena, Colômbia, Vol. 2.
- Camapum de Carvalho, J., Sales, M.M., Mortari, D., Fázio, J.A., Motta, N.O. & Francisco, R.A. (2006). Processos erosivos. Camapum de Carvalho, J. et al. (Org.). Processos Erosivos no Centro-Oeste Brasileiro, Finatec, Brasília, DF, 464p.

- Câmara, G., Souza, R.C.M., Freitas, U.M. & Garrido, J. (1996). SPRING: integrating remote sensing and GIS by object oriented Data modeling. National Institute for Space Research - INPE, Brazil, *J Computer & Graphics* 20 (3), p. 395-403.
- Campagnoli, F. (2002). A Aplicação do Assoreamento na Definição de Geoindicadores Ambientais em Áreas Urbanas: Exemplo na Bacia do Alto Tietê, SP. Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - EPUSP, São Paulo, SP, 192p.
- Cardoso, F.B.F. (2002). Propriedades e comportamento mecânico de solos do Planalto Central Brasileiro. Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, DF, 351p.
- Carlos, A.F.A. (2001). A Cidade. Ed. Contexto, São Paulo, SP, 104p.
- Carvalho, E.T.L. (2013). Avaliação Geotécnica de Poços de Infiltração de Águas Pluviais. Tese de Doutorado em Geotecnia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, FT, UnB, Brasília, DF.
- Casseti, V. (1991). Ambiente e apropriação do relevo. Ed. Contexto, São Paulo, SP.
- Casseti, V. (2005). Geomorfologia. [S.l.]: Disponível em: <<http://www.funape.org.br/geomorfologia/>>. Acesso em 02 de jan. de 2012.
- Castro, S.S. & Salomão, F.X.T. (2000). Compartimentação Morfopedológica e sua Aplicação: Considerações metodológicas. GEOUSP, São Paulo, SP, n.7, p. 29-35.
- Centro Meteorológico Militar da Base Aérea de Anápolis - CMMBAAN (2005). Precipitação pluviométrica anual em Anápolis de 1985 a 2004.
- Christofoletti, A. (1999). Modelagem de sistemas ambientais. Ed. Edgard Blucher, São Paulo, SP, 236p.
- Coelho, M.C.N. (2001). Impactos ambientais em áreas urbanas: teorias, conceitos e métodos de pesquisa. Impactos ambientais urbanos no Brasil. Guerra, A.J.T. & Cunha, S.B. (eds.), Ed. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, RJ, p. 19-45.
- Comissão Técnica de Cartografia Geotécnica e Geoambiental - CTCG (2004). Diagnóstico Preliminar da Cartografia Geotécnica e Geoambiental no Brasil. 5º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, São Carlos/SP.
- Das, B.M. (2007). Fundamentos de engenharia geotécnica. Ed. Thomson Learning, São Paulo, SP, 560p.
- Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE & Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT. (1990). Controle de erosão: bases conceituais e técnicas para planejamento urbano e regional, orientações para o controle de voçorocas urbanas. DAEE/IPT, São Paulo, SP.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem - DNER (1994). Método de Ensaio 256 - Solos compactados com equipamento miniatura - Determinação da perda de massa por imersão. Rio de Janeiro, RJ, 6p.
- Díaz, J.S. (2001). Control de Erosión em Zonas Tropicales. Bucaramanga, Univesidad Industrial de Santander.
- Drew, D. (1994). Processos interativos homem-meio ambiente. Ed. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, RJ, 206p.
- Duarte, F. (2007). Planejamento Urbano. Ed. Ibpx, Curitiba, PR.

- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA (1999). Sistema brasileiro de classificação de solos. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Brasília, DF, 412 p.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA (2006). Sistema brasileiro de classificação de solos. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Rio de Janeiro, RJ, 306 p.
- Estevam, L. (1998). O tempo da transformação: estrutura e dinâmica da formação econômica de Goiás. Editora do Autor, Goiânia, GO, p.104-119.
- Fácio, J.A. (1991). Proposição de uma metodologia de estudo da erodibilidade dos solos do Distrito Federal. Dissertação de Mestrado em Geotecnia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, UnB, Brasília, DF.
- Faissol, S. (1952). O Mato Grosso de Goiás. Biblioteca Geográfica Brasileira, Rio de Janeiro, (publicação nº 9).
- Ferreira, O.M. (2006). Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos em Aterros Sanitários: Elementos Norteadores e Custos Decorrentes no Estado de Goiás. Dissertação de Mestrado (Engenharia do Meio Ambiente), Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, p. 65-66.
- Fleck, M.P.A., Leal, O.F., Louzada, S., Xavier, M., Chachamovich, E., Vieira, G., Santos, L. & Pinzon, V. (1999). Desenvolvimento da versão em português do instrumento de avaliação de qualidade de vida da OMS (WHOQOL-100). Revista Brasileira Psiquiatr, 21 (1).
- França, M.S. (1973). A formação histórica da cidade Anápolis e a sua área de influência regional. UFG, Goiânia, GO.
- Fredlund, G.D. (1995). The scope of unsaturated soil mechanics: an overview. International Conference on Unsaturated Soils, Paris, p. 1155-1177.
- Freitas, R.A. (1995). Anápolis: Passado e Presente. Ed. Voga, Anápolis, GO.
- Futai, M.M. (2002). Estudo Teórico-Experimental do Comportamento de Solos Tropicais Não Saturados: Aplicação a um Caso de Voçorocamento. Tese de Doutorado, COPPE, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ.
- Google Earth (2003). Anápolis-GO, Brasil. Data da imagem: 10/05/2003. Coordenadas UTM 719960,00 m E 8195125,39 m S, altitude do ponto de visão 2,16 km. DigitalGlobe. Disponível em: <<http://www.earth.google.com>> Acessado em: 26/06/2013.
- Google Earth (2005a). Anápolis-GO, Brasil. Data da imagem: 07/05/2005. Coordenadas UTM 717442,32 m E 8186478,76 m S, altitude do ponto de visão 1,39 km. DigitalGlobe. Disponível em: <<http://www.earth.google.com>> Acessado em: 26/06/2013.
- Google Earth (2005b). Anápolis-GO, Brasil. Data da imagem: 07/05/2005. Coordenadas UTM 716510,60 m E 8188604,02 m S, altitude do ponto de visão 1,37 km. DigitalGlobe. Disponível em: <<http://www.earth.google.com>> Acessado em: 26/06/2013.
- Google Earth (2005c). Anápolis-GO, Brasil. Data da imagem: 07/05/2005. Coordenadas UTM 718040,36 m E 8189029,95 m S, altitude do ponto de visão 2,24 km. DigitalGlobe. Disponível em: <<http://www.earth.google.com>> Acessado em: 26/06/2013.
- Google Earth (2005d). Anápolis-GO, Brasil. Data da imagem: 14/04/2005. Coordenadas UTM 717201,64 m E 8194449,67 m S, altitude do ponto de visão 1,27 km. DigitalGlobe. Disponível em: <<http://www.earth.google.com>> Acessado em: 26/06/2013.

- Google Earth (2009). Anápolis-GO, Brasil. Data da imagem: 09/07/2009. Coordenadas 16°19'14,39"S 48°59'40,20"O, altitude do ponto de visão 2,06 km. DigitalGlobe. Disponível em: <<http://www.earth.google.com>> Acessado em: 03/02/2013.
- Google Earth (2010a). Anápolis-GO, Brasil. Data da imagem: 12/04/2010. Coordenadas UTM 717576,70 m E 8186492,23 m S, altitude do ponto de visão 1,33 km. DigitalGlobe. Disponível em: <<http://www.earth.google.com>> Acessado em: 26/06/2013.
- Google Earth (2010b). Anápolis-GO, Brasil. Data da imagem: 12/04/2010. Coordenadas UTM 717705,42 m E 8195502,12 m S, altitude do ponto de visão 1,23 km. DigitalGlobe. Disponível em: <<http://www.earth.google.com>> Acessado em: 26/06/2013.
- Google Earth (2010c). Anápolis-GO, Brasil. Data da imagem: 28/06/2010. Coordenadas 16°22'20,54"S 48°53'07,74"O, altitude do ponto de visão 2,15 km. DigitalGlobe. Disponível em: <<http://www.earth.google.com>> Acessado em: 03/02/2013.
- Google Earth (2010d). Anápolis-GO, Brasil. Data da imagem: 28/06/2010. Coordenadas 16°23'05,90"S 48°54'13,78"O, altitude do ponto de visão 1,42 km. DigitalGlobe. Disponível em: <<http://www.earth.google.com>> Acessado em: 03/02/2013.
- Google Earth (2011). Anápolis-GO, Brasil. Data da imagem: 28/07/2011. Coordenadas UTM 717707,06 m E 8195497,85 m S, altitude do ponto de visão 1,23 km. DigitalGlobe. Disponível em: <<http://www.earth.google.com>> Acessado em: 26/06/2013.
- Google Earth (2013). Anápolis-GO, Brasil. Data da imagem: 15/04/2013. Coordenadas UTM 717524,66 m E 8193957,88 m S, altitude do ponto de visão 1,41 km. DigitalGlobe. Disponível em: <<http://www.earth.google.com>> Acessado em: 26/06/2013.
- Guedes Pinto, J.B. (1995). Pesquisa e qualidade de vida. Cadernos de Ciência e Tecnologia. Brasília, DF, v.12, n1/3, p. 21-28.
- Guerra, A.J.T. & Guerra, A.T. (2001). Novo Dicionário Geológico-Geomorfológico. Ed. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, RJ, 647 p.
- Guimarães, E.M. (1999). Difractometria de raios-X. Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Brasília, DF.
- Guimarães, M.L.G. & Lacerda, H. (2005). Acidentes geomorfológicos na microbacia do córrego Frutuoso em Anápolis (GO). III Seminário de Iniciação Científica da Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, GO, 6 p.
- Hagerty, D.J. (1991). Piping/Sapping Erosion II. Identification and Diagnosis. Journal of Hydraulic Engineering, 117 (8), p. 1009-1025.
- Head, K.H. (1982). Direct Shear tests. Manual of Soil Laboratory Testing, Vol. 2: Permeability, Shear Strength and Compressibility Tests. Pentech Press, London, England, p. 509-580.
- Iwasa, O.Y. & Fendrich, R. (1998). Controle de Erosão Urbana. Oliveira, A. M. S., Brito, S. N. A. (Org.). Geologia de Engenharia. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia - ABGE, São Paulo, SP, p. 271-282.
- Inderbitzen, A.L. (1961). An erosion test for soils. Materials Research & Standards, 1 (7), p. 553-554.
- Infanti Junior, N. & Fornasari Filho, N. (1998). Processos de Dinâmica Superficial. Oliveira, A.M.S., Brito, S.N.A. (Org.). Geologia de Engenharia. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia - ABGE, São Paulo, SP, p. 131-152.

- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (1992). Manual Técnico da Vegetação Brasileira. Diretoria de Geociências, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, Rio Janeiro, RJ, n. 1.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2006). Manual Técnico de Uso da Terra. Diretoria de Geociências, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, Rio de Janeiro, RJ, 2 ed., n. 7, 91p.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2010). Censo Demográfico 2010. Disponível em: <<http://censo2010.ibge.gov.br/resultados>>, acessado em: 05/12/2012.
- Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT (1991). Ocupação de encostas. Cunha, M.A. (coord.), IPT, São Paulo, SP.
- Jesus, A.S. & Lacerda, H. (2004). Geomorfologia antrópica, riscos geomorfológicos e hidrológicos na porção centro-leste de Anápolis (GO). VI congresso Brasileiro de Geógrafos, Goiânia, GO.
- Jesus, A.S. & Lopes, L.M. (2006). Geomorfologia da alta bacia do Rio das Antas, Anápolis (GO) e a ocorrência de processos erosivos. VI Simpósio Nacional de Geomorfologia, Goiânia, GO.
- Jesus, A.S. (2007). Impactos ambientais na alta bacia urbana do rio das Antas em Anápolis (GO). Dissertação de Mestrado em Geografia (Natureza e Apropriação do Espaço do Cerrado), Instituto de Estudos Sócio-Ambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, 159p.
- Jesus, A.S., & Santos, L.R. (2002). Ficha de cadastro da voçoroca do Bairro São Carlos. UEG, Anápolis, GO, (inédito).
- Jesus, A.S., Camapum de Carvalho, J. & Santos, W.M. (2009c). Avaliação da evolução de um perfil de solo tropical em área de cabeceira de drenagem: nascente do rio das antas em Anápolis (GO). IV Simpósio Sobre Solos Tropicais e Processos Erosivos do Centro-Oeste e de Minas Gerais, ABMS, Uberlândia, MG.
- Jesus, A.S., Lopes, L.M. & Camapum de Carvalho, J. (2009a). Implicações do uso e ocupação do solo na gênese de processos erosivos: o exemplo da alta bacia do rio das antas em Anápolis (GO). VIII Simpósio nacional de Controle de Erosão. ABGE, São Paulo, SP.
- Jesus, A.S., Lopes, L.M. & Camapum de Carvalho, J. (2009b). Erosão acelerada e suas interferências na qualidade de vida: o exemplo da alta bacia do rio das antas na área urbana de Anápolis (GO). Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, UFV, Viçosa, MG.
- Jorge, F.N. & Uehara, K. (1998). Águas de Superfície. Oliveira, A.M.S., Brito, S.N.A. (Org.). Geologia de Engenharia. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia - ABGE, São Paulo, SP.
- Lacerda Filho, J.V. (1999). Geomorfologia. Lacerda Filho, J.V., Rezende, A., Silva, A. (Orgs). Geologia e Recursos Minerais do Estado Goiás e Distrito federal. CPRM, Goiânia, GO, 200p.
- Lacerda, H. (2003). Projeto de geologia ambiental de Anápolis - Fase I: Anápolis e o ensino de geologia ambiental. UEG, Anápolis, GO, (inédito).
- Lacerda, H. (2005). Mapeamento geomorfológico como subsídio ao controle preventivo da erosão urbana em Anápolis-GO. 11º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, ABGE, Florianópolis, SC, p. 679-692.

- Lacerda, H., Teixeira, L. L. F. M. & Oliveira, S. N. (2005). Diagnóstico geológico/geomorfológico da erosão acelerada e do assoreamento na bacia do alto curso do Rio das Antas em Anápolis (GO). II Simpósio Sobre Solos Tropicais e Processos Erosivos no Centro-Oeste, 2005.
- Leal, A.C (1995). Meio Ambiente e urbanização na microbacia do Areia Branca - Campinas - São Paulo. Dissertação de Mestrado em Geociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP.
- Lepsch, I. F. (2002). Formação e conservação dos solos. Ed. Oficina de Textos, São Paulo, SP, 178p.
- Lepsch, I. F., Bellinazzi Júnior, R., Bertolini, D. & Espíndola, C.R. (1991). Manual para Levantamento Utilitário do Meio Físico e Classificação de Terras no Sistema de Capacidade de Uso. SBCS, Campinas, SP, 175p.
- Lima, M.C. (1999). Contribuição ao estudo do processo evolutivo de boçorocas na área urbana de Manaus. Dissertação de Mestrado em Geotecnia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, FT, UnB, Brasília, DF.
- Lima, M.C. (2003). Degradação físico-química e mineralógica de maciços junto às voçorocas. Tese de Doutorado em Geotecnia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, FT, UnB, Brasília, DF.
- Luiz, G.C. (2012). Influência da Relação Solo-Atmosfera no Comportamento Hidromecânico de Solos Tropicais Não Saturados: Estudo de Caso - Município de Goiânia-GO. Tese de Doutorado em Geotecnia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, FT, UnB, Brasília, DF.
- Luz, J.S. (2001). A especialização da atividade comercial atacadista: o setor atacadista-transportador moderno de Anápolis. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade de Brasília. DF.
- Macêdo, I.L. (2009). Estudo de Modelos em Ambiente de Geoprocessamento para a Previsão de Erosão e Assoreamento de Reservatórios: o Caso da Bacia do Rio Indaiá - UHE Três Marias, MG. Tese de Doutorado, Publicação G.TD-060/09, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 312p.
- Machado, P.H.B (2004). Curitiba, a qualidade e a vida. INTERTHESIS. Santa Catarina, SC.
- Mamede L., Ross, J.L.S., Santos, L.M. & Nascimento, M.A.L.S. (1983). Geomorfologia. MME/SG/Projeto RadamBrasil. Folha SE.22 Goiânia. Levantamento de Recursos Naturais, (31), Rio de Janeiro, RJ.
- Mamede, L. (1993). Compartimentação geomorfológica da região Centro-Oeste. Boletim SGB, Núcleo Centro-Oeste, nº 16, Goiânia, GO, p.107-144.
- Marcomim, F.E., Mendonça, A.W. & Mazzuco, K.T.M. (2008). Educação ambiental e o pensamento complexo: uma reflexão possível. Baggio, A. & Barcelos, V. Educação ambiental e complexidade: entre pensamentos e ações. Ed. Edunisc, Santa Cruz do Sul, RS.
- Mascaró, J.L. & Yoshinaga, M. (2005). Infraestrutura Urbana. Ed. Masquatro, Porto Alegre, RS, 207p.
- Mccooy, J. & Johnston, K. (2002). Using ArcGis Spatial Analyst. GIS/ESRI, New York, USA, 232p.

- Moreira, C.V.R. & Pires Neto A.G. (1998). *Clima e Relevo*. Oliveira, A.M.S., Brito, S.N.A. (Org.). Geologia de Engenharia. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia - ABGE, São Paulo, SP.
- Morin, E. (2008). *O Método - 1. A natureza da natureza*. Ed. Sulina, Porto Alegre, RS, 479p.
- Mortari, D. (1994) *Caracterização Geotécnica e Análise do Processo Evolutivo das Erosões no Distrito Federal*. Dissertação de Mestrado em Geotecnia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, FT, UnB, Brasília, DF.
- Murta, A.S. (2006). Políticas públicas e qualidade de vida. Disponível em <www.cultiva.org.br/textos/qualidade_vida.doc>, Acessado em: 06/11/2006.
- Nascimento, M.A.S. (1992). Geomorfologia do Estado de Goiás. *Boletim Goiano de Geografia*. v.12, n.1, p.1-22.
- Nimer, E. (1989) *Clima*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Geografia do Brasil: Região Centro-Oeste. Rio de Janeiro, RJ, 268p.
- Nogami, J. S. & Villibor, D. F. (1994). Identificação expedita dos grupos de classificação MCT para solos tropicais. 10º Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Vol. 4, Foz do Iguaçu, PR, ABMS. pp. 1293 - 1300.
- Nogueira, J.F. (2005). *Análise da influência do fluxo por capilaridade na degradação físico-química do solo*. Tese de Doutorado em Geotecnia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, FT, UnB, Brasília, DF.
- Novaes, A.S.S., Amaral Filho, Z.P., Vieira, P.C. & Fraga, A.G.C. (1983). *Pedologia. MME/SG/Projeto RadamBrasil. Levantamento de Recursos Naturais*, (31), Rio de Janeiro, RJ.
- Nunes, E.D., Romão, P.A. & Ferreira, N.C. (2008). Otimização de Medidas de Entropia da Paisagem como Subsídio ao Planejamento Ambiental - Região de Goiânia-GO. *Boletim Goiano de Geografia*, Goiânia, GO, 28(2), p. 125-140.
- Oliveira, M.C., Fagg, C.W., Camapum de Carvalho, J. & Correia, C.R.M.A. (2012). Queimadas, práticas agrícolas, recuperação de áreas degradadas e a infiltração no cerrado. Camapum de Carvalho, J., Gitirana Junior, G.F.N., Carvalho, E.T.L. (Org.) *Tópicos sobre infiltração: teoria e prática aplicadas a solos tropicais*. UnB, Faculdade de Tecnologia, Brasília, DF, 644p.
- Oliveira, S.N., Santos, L.R., Jesus, A.S., Ávila, F.F. & Teixeira, .L.L.F.M. (2005). Utilização de fichas para cadastro de acidentes geomorfológicos urbanos em Anápolis, Goiás. Encontro Regional de Geografia, UFT, Porto Nacional, TO.
- Palmieri, F., Larach, J.O.I. (2000). *Pedologia e geomorfologia*. Guerra, A.J.T. & Cunha, S.B.(Org.). *Geomorfologia e meio ambiente*. Ed. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, RJ, p. 59-122.
- Parkinson, J., Milograna, J., Campos, L.C. & Campos, R. (2003). *Relatório do Workshop de Drenagem Urbana Sustentável no Brasil*. Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO.
- Polonial, J. (1995). *Anápolis nos tempos da ferrovia*. Associação Educativa Evangélica, Anápolis, GO.
- Polonial, J. (2000). *Ensaio sobre a história de Anápolis*. Associação Educativa Evangélica, Anápolis, GO.

- Pontual, P.C. (2002). Qualidade de vida, participação e percepção de população. Keinert, T.M.M. & Karruz, A.P. Qualidade de vida: Observatórios, experiências e metodologias. Ed. Annablume, FAPESP, São Paulo, SP.
- Radaelli, V.A. (1994). Programa de levantamentos geológicos básicos do Brasil. Anápolis (GO) - Folha SE.22-X-B-II. DNPM/CPRM, Brasília, DF.
- Resende, M., Curi, N., Rezende, S.B. & Corrêa, G.F. (1995). Pedologia base para distinção de ambientes. NEPUT, Viçosa, MG.
- Ribeiro, J.F. & Walter, B.M. (1998). Fitofisionomias do Bioma Cerrado. Almeida, S.P. & Sano, S.M. (Org.). Cerrado: ambiente e flora. Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias, Planaltina, DF, 556p.
- Rodrigues, A.M. (2001). Moradia nas cidades brasileiras. Ed. Contexto, São Paulo, SP.
- Roseno, J.L. & Camapum de Carvalho, J. (2007). Avaliação Granulométrica de um Perfil de Solo Tropical Usando o Granulômetro a Laser. III Simpósio sobre Solos Tropicais e Processos Erosivos no Centro-Oeste, Anais, Cuiabá, MT.
- Ross, J.L.S. (1994). Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. Revista do Departamento de Geografia, São Paulo, FFLCH/USP, n.8, p.63-74.
- Ross, J.L.S. (2000). Geomorfologia: ambiente e planejamento. Ed. Contexto, São Paulo, SP, 96p.
- Salomão, F.X. & Iwasa, O.Y. (1995). Erosão e a ocupação rural e urbana. Bitar, O.Y. (Org.). Curso de geologia aplicada ao meio ambiente. ABGE/IPT, São Paulo, SP, p. 31-57.
- Salomão, F.X.T. & Antunes, F.S. (1998). Solos em Pedologia. Oliveira, A.M.S., Brito, S.N.A. (Org.). Geologia de Engenharia. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia - ABGE, São Paulo, SP, p. 101-109.
- Salomão, F.X.T. (2005). Controle e prevenção dos processos erosivos. Guerra, A.J.T., Silva, A.S. & Botelho, R.G.M. (Orgs). Erosão e conservação dos solos: Conceitos, temas e aplicações. Ed. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, RJ.
- Santos, A.R. (2008). Diálogos Geológicos: é preciso conversar mais com a terra. Ed. O Nome da Rosa, São Paulo, SP.
- Santos, K.R. & Lemes S.S. (2007). Formas de relevo, ocupação e erosão acelerada no bairro Geovane Braga em Anápolis (GO). X EREGEO, Simpósio Regional de Geografia, UFG, Catalão, GO.
- Santos, L.D. & Martins, I. (2002) A qualidade de vida urbana - O caso da cidade do Porto. Working Papers, n 116, Faculdade de Economia da Universidade do Porto, Porto, Portugal.
- Santos, L.R. & Lacerda, H. (2004). Formas do relevo na porção noroeste de Anápolis (GO). VI Congresso Brasileiro de Geógrafos, Goiânia, GO.
- Santos, L.R. & Lopes, L.M. (2007). Bacia do Córrego da Lagoinha em Anápolis (GO): Morfopedologia, uso da terra e problemas decorrentes. Simpósio Brasileiro de Geografia, UFV, Viçosa, MG.
- Santos, L.R. (2007). Meio físico e uso da terra na bacia do Córrego da Lagoinha, Anápolis (GO). Dissertação de Mestrado em Geografia (Natureza e Apropriação do Espaço do Cerrado), Instituto de Estudos Sócio-Ambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO.

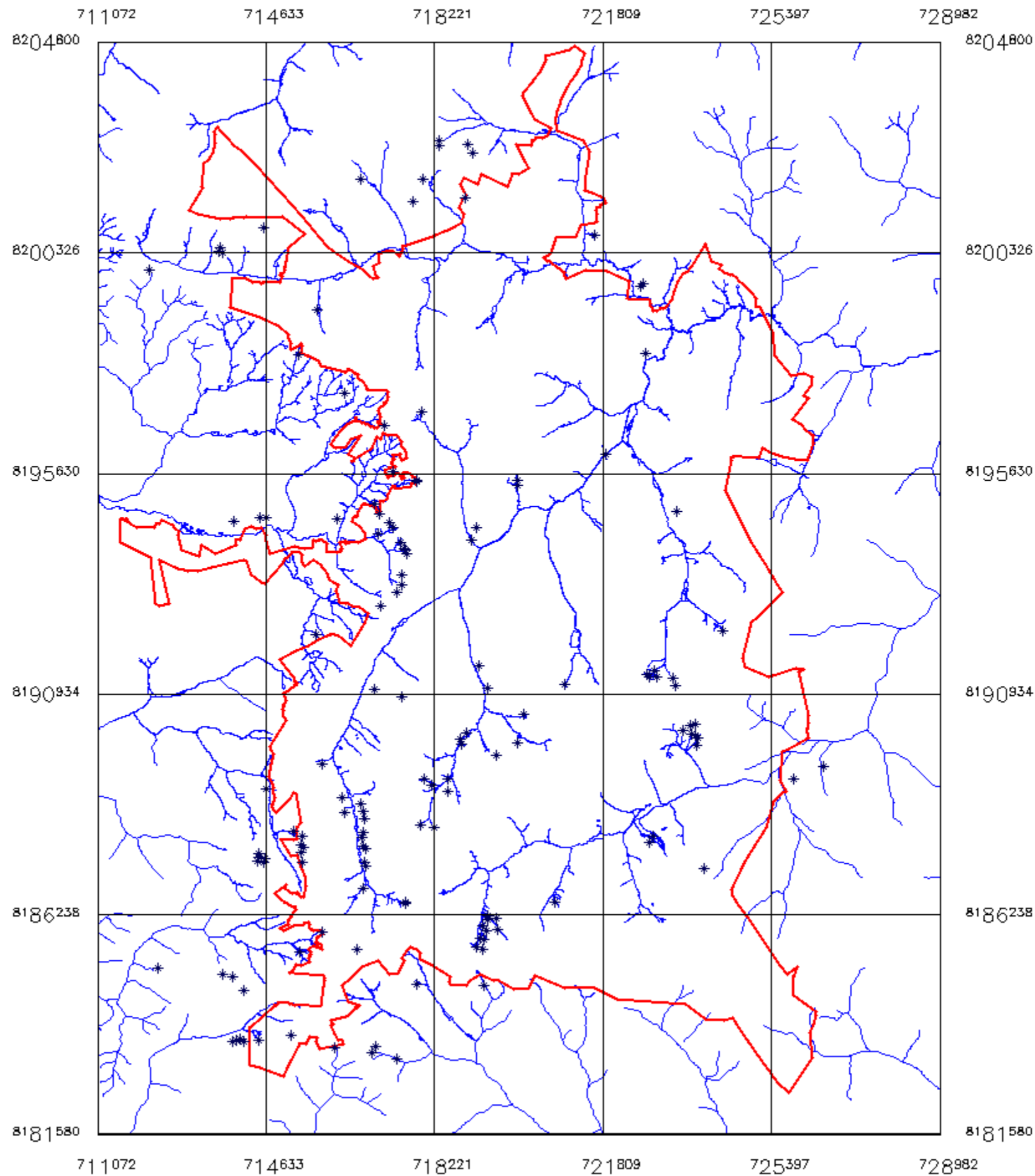
- Santos, R.M.M. & Camapum de Carvalho, J. (1998). Ensaios de Erodibilidade em Voçorocas do Município de Goiânia. Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, ABMS, Brasília, p. 581-588.
- Santos, R.M.M. (1997). Caracterização geotécnica e análise do processo evolutivo das erosões no município de Goiânia. Dissertação de Mestrado em Geotecnia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, FT, UnB, Brasília, DF.
- Sayago, J.M. & Guido, E.I. (1990). Caracterization de los riesgos geológicos e geomorfológicos en la cidade de Chilecito (La Rioja), Argentina. Simpósio Latino-Americano Sobre Risco Geológico Urbano. Anais, ABGE, São Paulo, SP, p.236-237.
- Sherard, J.L., Dunnigan, L.P., Decker, R.S. & Steele, E.F. (1976). Pinhole test for identifying dispersive soils. *Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE*, 102 (1).
- Silva, A.M., Schulz, H.E. & Camargo, P.B. (2003). Erosão e Hidrossedimentologia em Bacias Hidrográficas. Ed. Rima, São Carlos, SP.
- Silva, J.P. (2012). Estruturas de infiltração com utilização de materiais alternativos no controle de alagamentos, inundações e prevenção de processos erosivos. Tese de Doutorado em Geotecnia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, FT, UnB, Brasília, DF.
- Sistema Estadual de Estatística e de Informações Geográficas de Goiás - SIEG. (2005). Plano Diretor da Bacia do Rio Paranaíba. Mapa de solos, escala: 1:250.000.
- Sousa Pinto, C. (2006). Curso Básico de Mecânica dos Solos. Ed. Oficina de Textos, São Paulo, SP, 356p.
- Souto, K.V. & Lacerda, H. (2004). Uso da terra, erosão acelerada e assoreamento na microbacia do Córrego dos Góis, Anápolis (GO). II Simpósio de Iniciação Científica da Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, GO, 6p.
- Souza, J.C. & Teixeira, S.S. (2003). Tipos de Acidentes Geomorfológicos-Hidrológicos na Área Urbana de Anápolis. Monografia de Especialização (Geografia, Meio Ambiente e Turismo), Anápolis, GO, 37p.
- Souza, J.C., Lacerda, H. & Teixeira, S.S. (2004). Erosão acelerada e inundações em Anápolis (GO): Inventário a partir da imprensa local e dos registros do Corpo de Bombeiros. VI Congresso Brasileiro de Geógrafos, Goiânia, GO, 11p.
- Souza, M.L. (2010). Mudar a cidade: Uma introdução crítica ao planejamento e à gestão urbanos. Ed. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, RJ.
- Souza, N.M. (2009). Grupo de pesquisa cartografia geotécnica e geoprocessamento. Camapum de Carvalho, J., Cordão Neto, M.P. & Aguiar, L.A. (Org.) Livro comemorativo dos vinte anos do Programa de Pós- Graduação em Geotecnia da Universidade de Brasília. Editora FT, Brasília, DF, 470p.
- Teixeira, L.L.F.M. & Romão, P.A. (2009). Análise Integrada do Meio Físico como Subsídio ao diagnóstico de processos Erosivos na Bacia do Ribeirão Extrema em Anápolis (GO). *Boletim Goiano de Geografia, Goiânia, GO*, 29(2), p. 127-142.
- Teixeira, L.L.F.M. (2008). Análise Integrada do Meio Físico como Subsídio ao Diagnóstico de Processos Erosivos na Bacia do Ribeirão Extrema em Anápolis (GO). Dissertação de Mestrado em Geografia, Instituto de Estudos Sócio-Ambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO.

-
- Teixeira, L.L.F.M., Oliveira, S.N. & Lacerda, H. (2005). Erosões no Bairro Polocentro em Anápolis (GO): Cadastramento e Relações com as Formas de Relevo e Uso da Terra. III Seminário de Iniciação Científica e I Jornada de Pesquisa e Pós-Graduação da UEG, Anápolis, GO, 2005, 6p.
- Tricart, J. & Kilian, J. (1979). *L' Eco-géographie:Y la ordenación del medio natural*. Ed. Anagrama, Barcelona, Espanha.
- Tucci, C.E.M. (1995). Inundações urbanas. Tucci C.E.M., Porto R.L. & Barros, M.T. (org.) *Drenagem urbana*. ABRH/Ed. UFRGS, Porto Alegre, RS, p.15-36.
- United States Air Force - USAF (1964). *Fotografia aérea de Anápolis*. Escala 1:60.000, n. 7742/7743/7744/7745.
- United States Air Force - USAF (1965). *Fotografia aérea de Anápolis*. Escala 1:60.000, n. 47364/47365/47366/47367/47368.
- World Health Organization - WHO (1993). *Special Report - Study protocol for the World Health Organization project to develop a Quality of Life assessment instrument (WHOQOL)*. Geneva, Switzerland, *Quality of Life Research*, n. 2, p. 153-159.
- Zuquette, L.V. & Nakazawa, V.A. (1998). *Cartas de Geologia de Engenharia*. Oliveira, A.M.S. & Brito, S.N.A. (Eds.) *Geologia de Engenharia*. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia - ABGE, São Paulo, SP, cap. 17, p.283-300.

Apêndice A - Documentos cartográficos de referência





MAPA DE FEIÇÕES EROSIVAS



LEGENDA

* Voçorocas e ravinas

Convenções Cartográficas

 Drenagem
 Perimetro Urbano



0 2000 4000 m

Compilado de: Lacerda (2005)

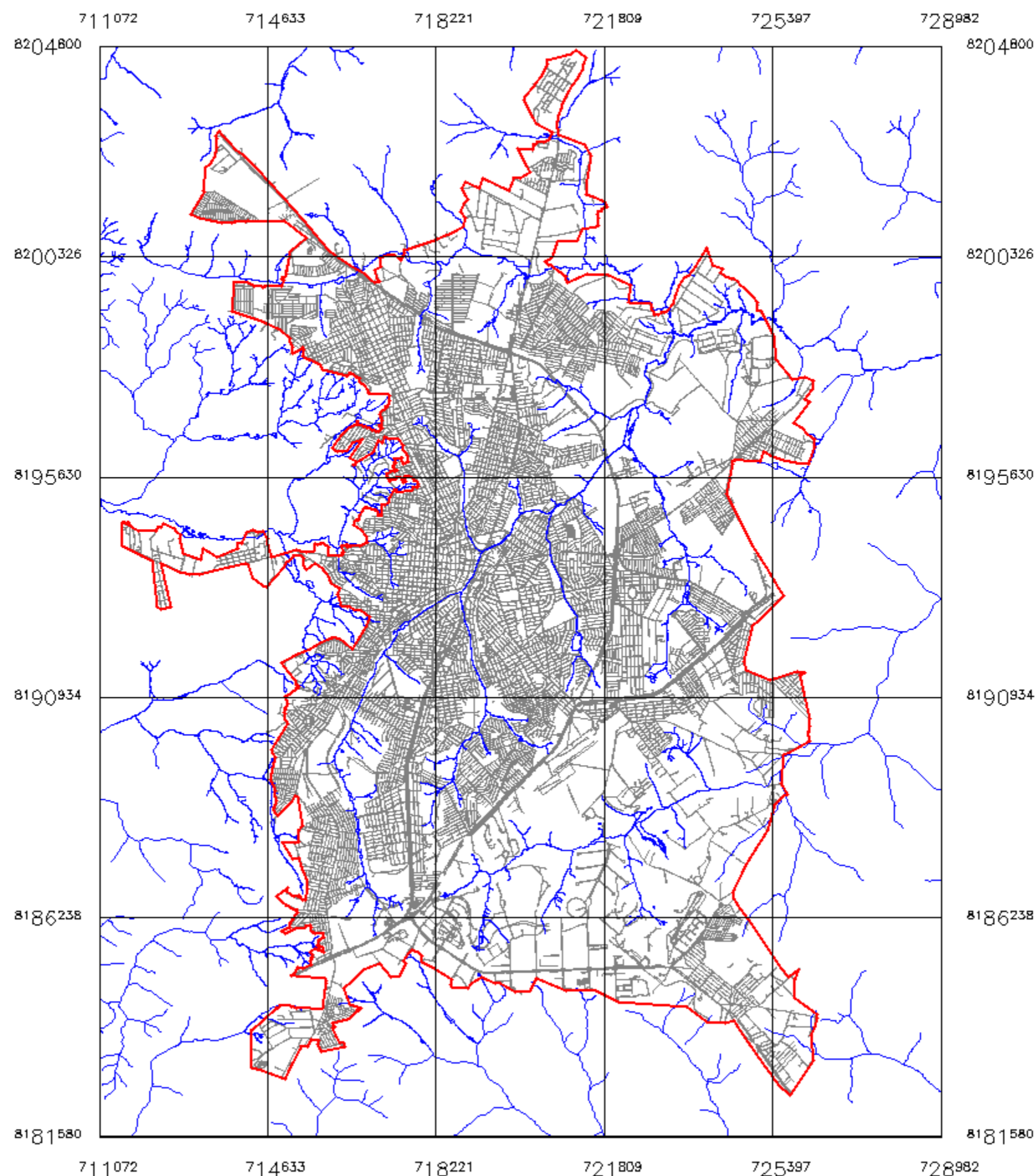
(Escala Original – 1:20.000)

Projeção Cartográfica Universal Transversa de Mercator – UTM
Sistema Geodésico de Referência: South American Datum – SAD 69
Meridiano Central: W.Gr. 51° / Fuso 22 Hemisfério Sul
Elaborado por: Andrelisa Santos de Jesus

Figura A.1 - Mapa de feições erosivas.



MAPA DA MALHA URBANA DE ANÁPOLIS





LEGENDA



Malha Urbana

Convenções Cartográficas

-  Drenagem
-  Perímetro Urbano



0 2000 4000 m

Fonte: Topocart

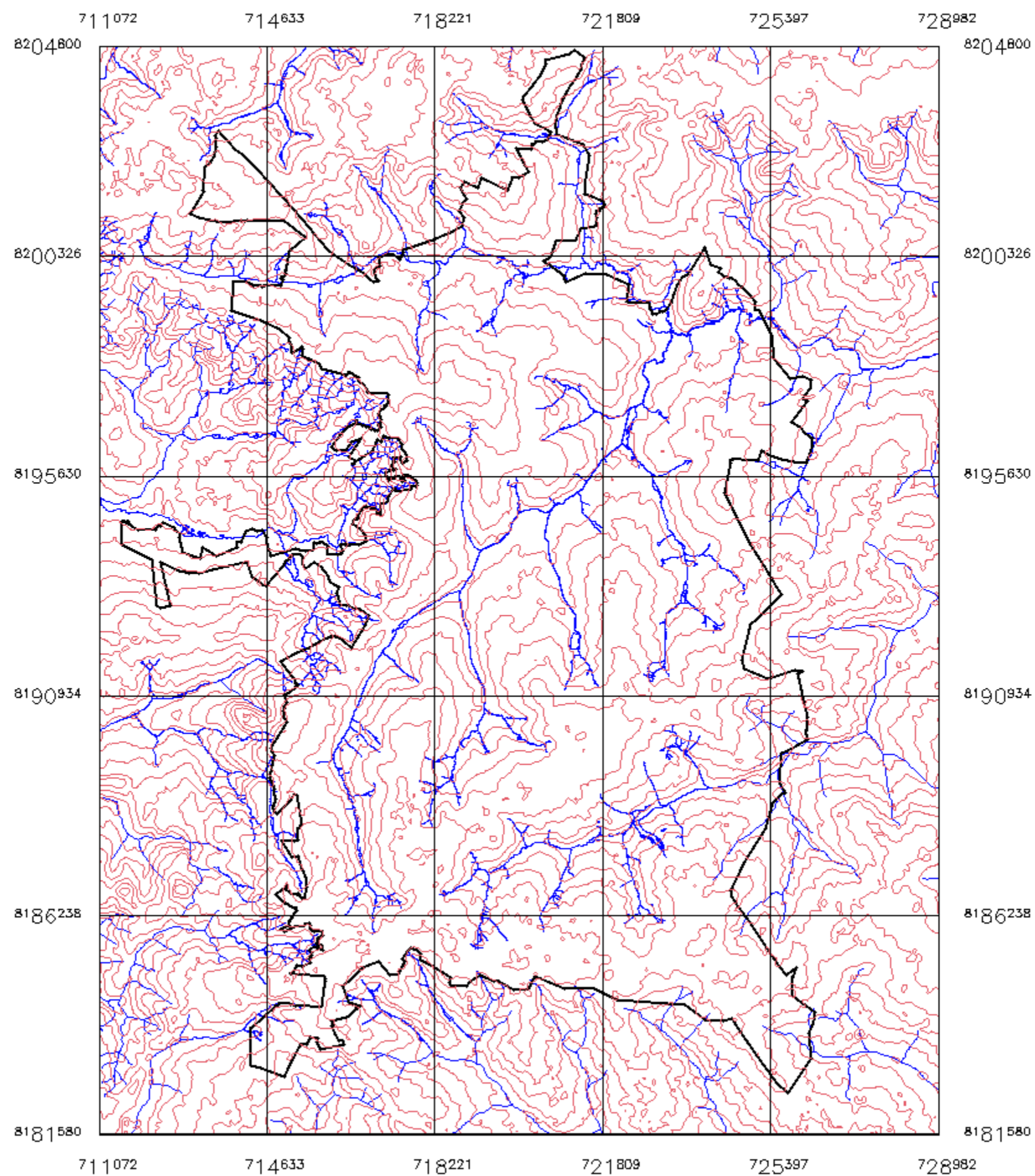
(Escala Original – 1:20.000)

Projeção Cartográfica Universal Transversa de Mercator – UTM
Sistema Geodésico de Referência: South American Datum – SAD 69
Meridiano Central: W.Gr. 51° / Fuso 22 Hemisfério Sul
Elaborado por: Andrelisa Santos de Jesus




Figura A.2 - Mapa da malha urbana de Anápolis.



BASE CARTOGRÁFICA



Convenções Cartográficas

-  Drenagem
-  Perímetro Urbano
-  Curvas de Nível



0 2000 4000 m

Fonte: Topocart/ASTER-GDEM

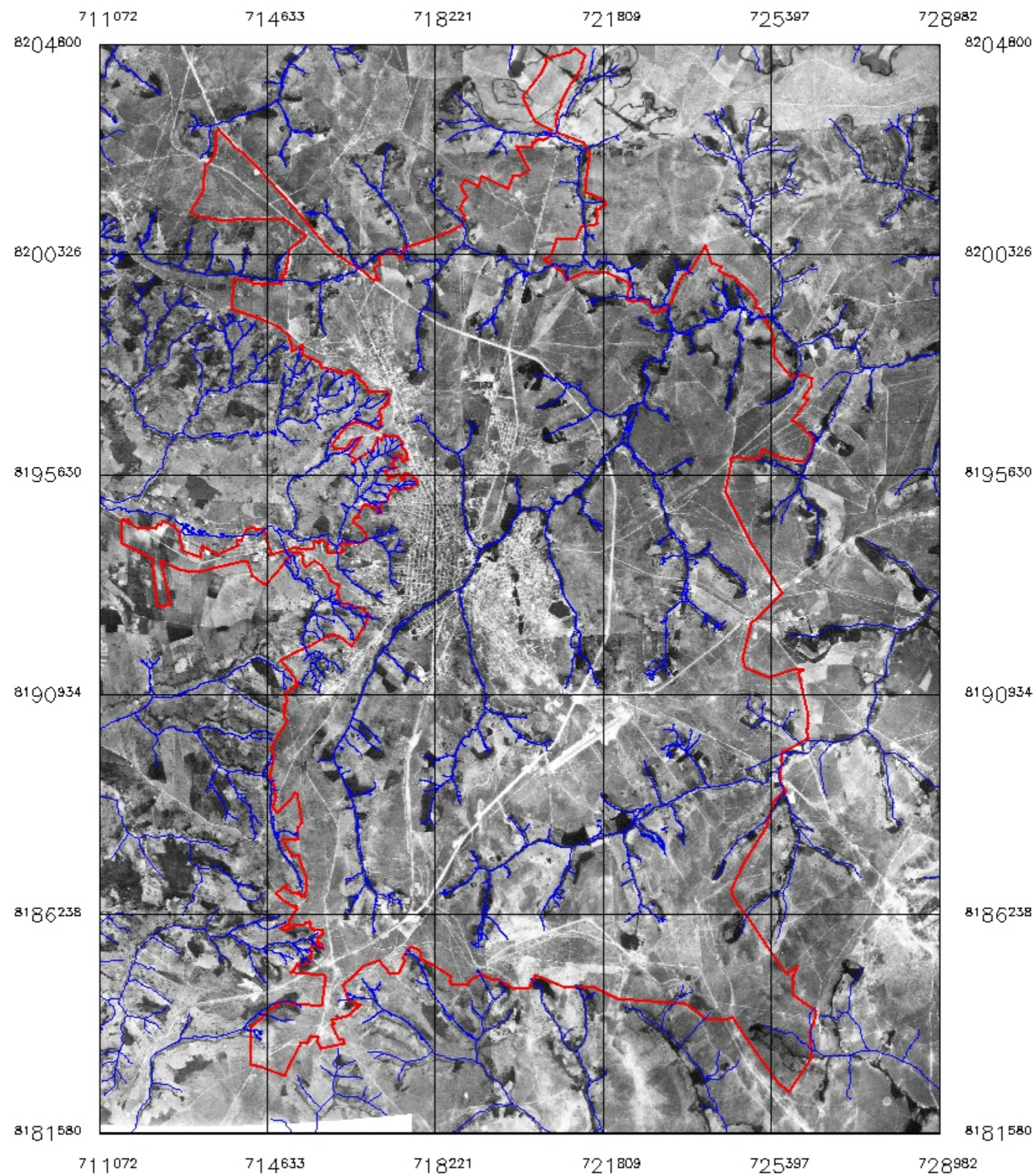
(Escala Original – 1:20.000)

Projeção Cartográfica Universal Transversa de Mercator – UTM
Sistema Geodésico de Referência: South American Datum – SAD 69
Meridiano Central: W.Gr. 51° / Fuso 22 Hemisfério Sul
Elaborado por: Andrelisa Santos de Jesus



Figura A.3 - Base cartográfica.



CARTA IMAGEM 1965



Convenções Cartográficas

-  Drenagem
-  Perímetro Urbano



0 2000 4000 m

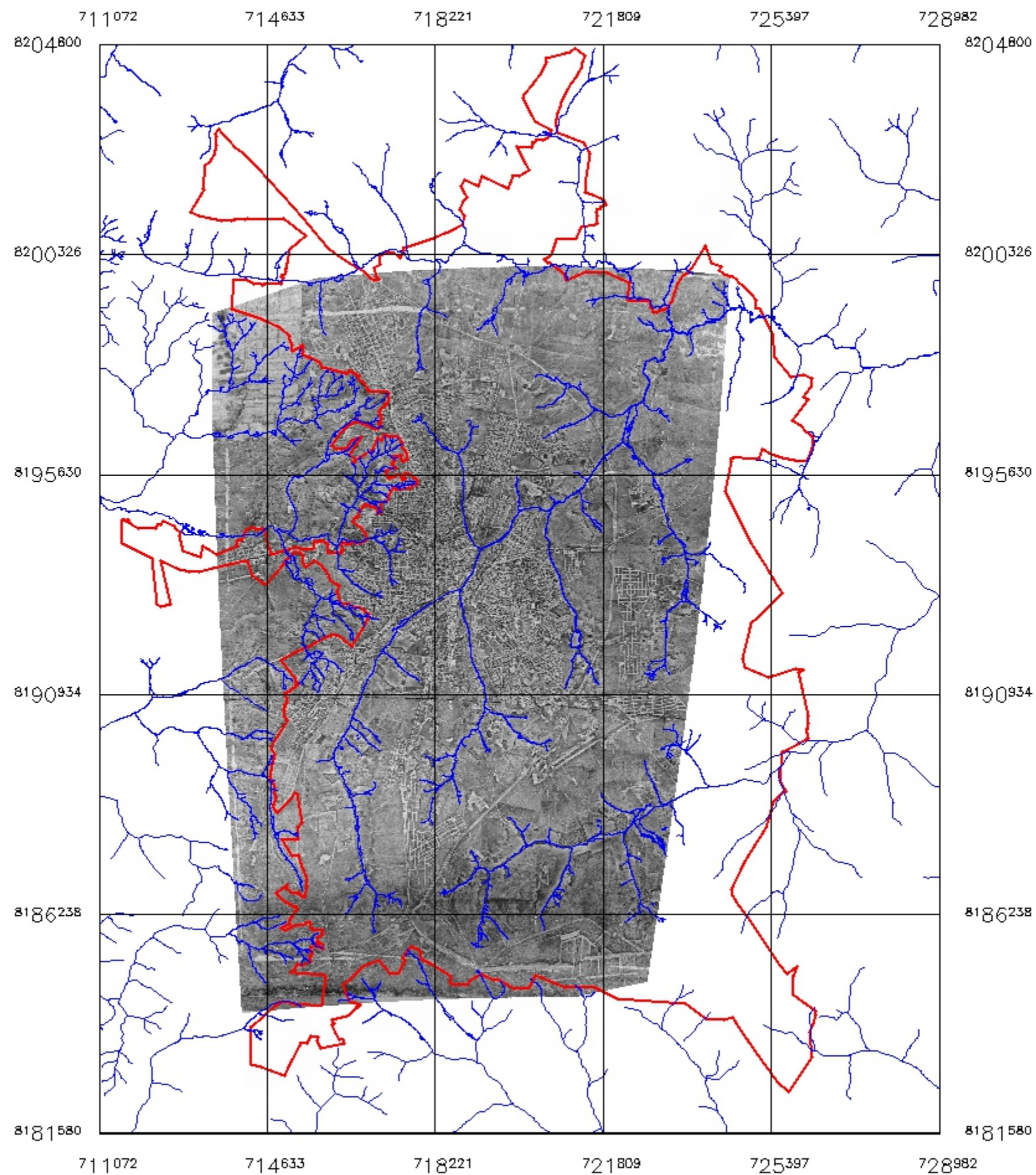
Fonte: USAF, 1964–1965/Topocart/ASTER–GDEM
(Resolução de 6 m)

Projeção Cartográfica Universal Transversa de Mercator – UTM
Sistema Geodésico de Referência: South American Datum – SAD 69
Meridiano Central: W.Gr. 51° / Fusa 22 Hemisfério Sul
Elaborado por: Andrelisa Santos de Jesus



Figura A.4 - Carta Imagem 1965.



CARTA IMAGEM 1977



Convenções Cartográficas

-  Drenagem
-  Perímetro Urbano



0 2000 4000 m

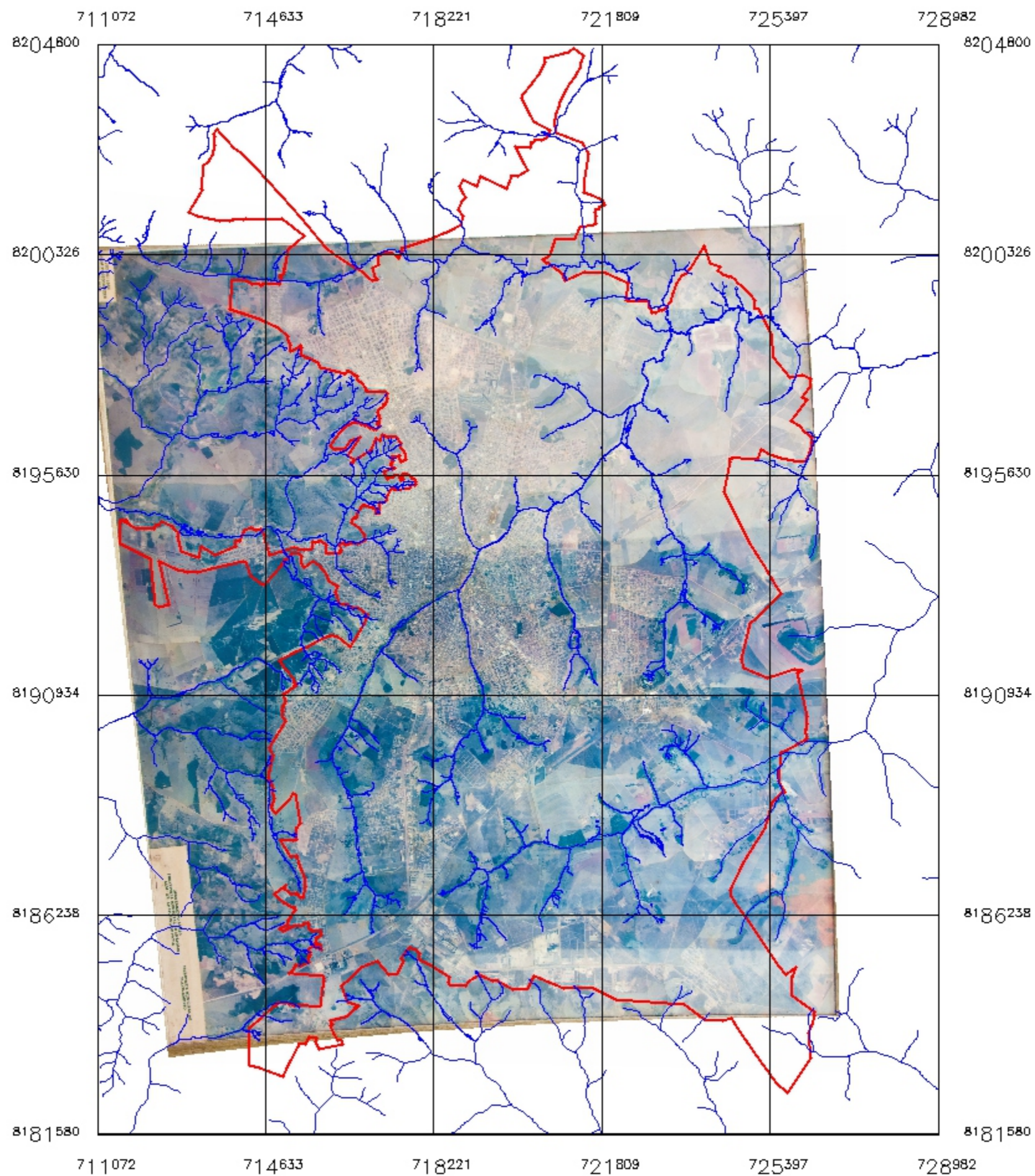
Fonte: Terrafoto, 1977/Topocart/ASTER-GDEM
(Resolução de 4.5 m)

Projeção Cartográfica Universal Transversa de Mercator – UTM
Sistema Geodésico de Referência: South American Datum – SAD 69
Meridiano Central: W.Gr. 51° / Fuso 22 Hemisfério Sul
Elaborado por: Andrelisa Santos de Jesus



Figura A.5 - Carta Imagem 1977.



CARTA IMAGEM 1989



Convenções Cartográficas

-  Drenagem
-  Perímetro Urbano



0 2000 4000 m

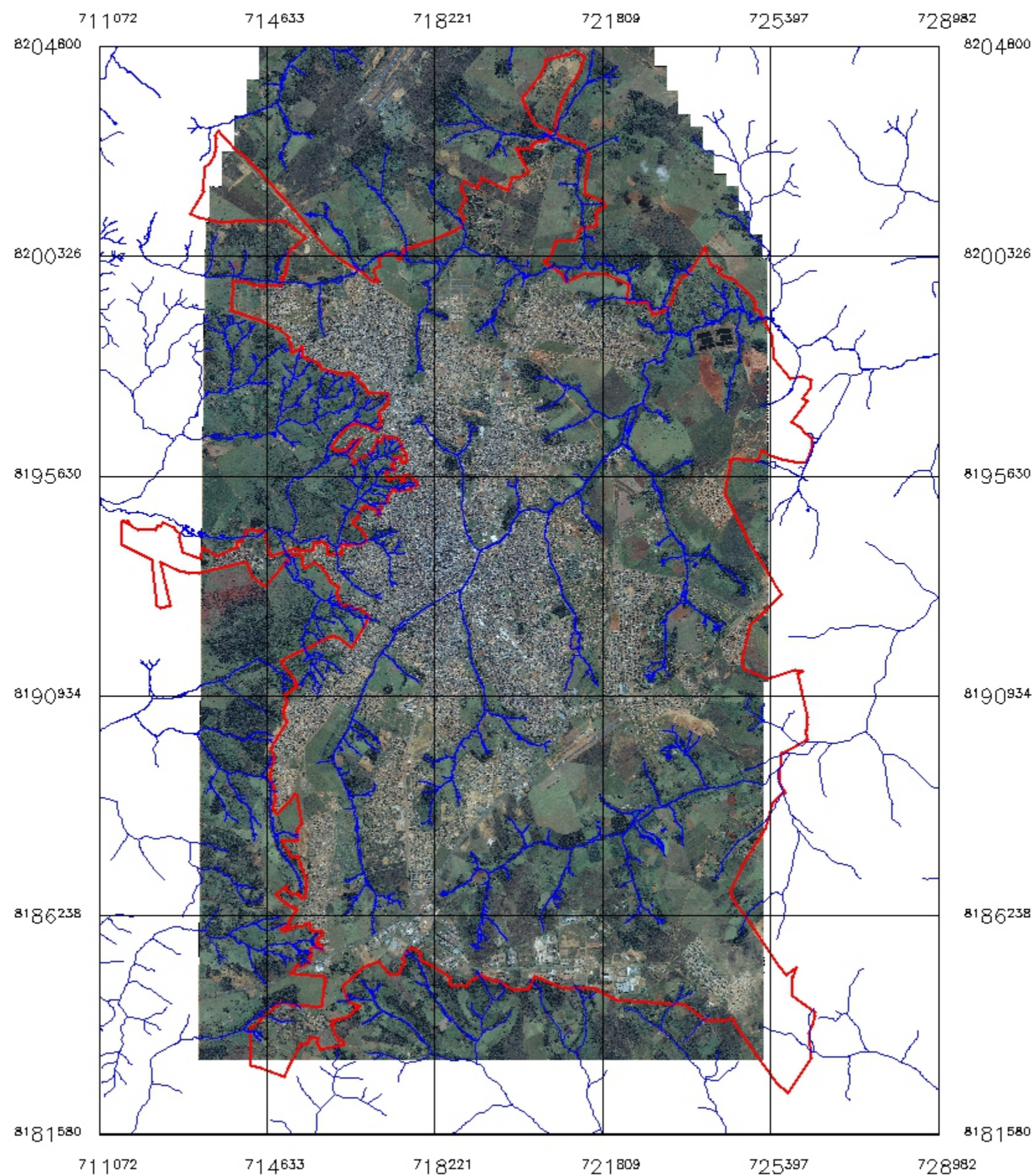
Fonte: Prefeitura de Anápolis, 1989/Topocart/ASTER-GDEM
(Resolução de 4 m)

Projeção Cartográfica Universal Transversa de Mercator – UTM
Sistema Geodésico de Referência: South American Datum – SAD 69
Meridiano Central: W.Gr. 51° / Fuso 22 Hemisfério Sul
Elaborado por: Andrelisa Santos de Jesus



Figura A.6 - Carta Imagem 1989.



CARTA IMAGEM 2001



Convenções Cartográficas

-  Drenagem
-  Perímetro Urbano



0 2000 4000 m



Fonte: Ikonos, 2001/Topocart/ASTER-GDEM

(Resolução de 1 m)

Projeção Cartográfica Universal Transversa de Mercator – UTM
Sistema Geodésico de Referência: South American Datum – SAD 69

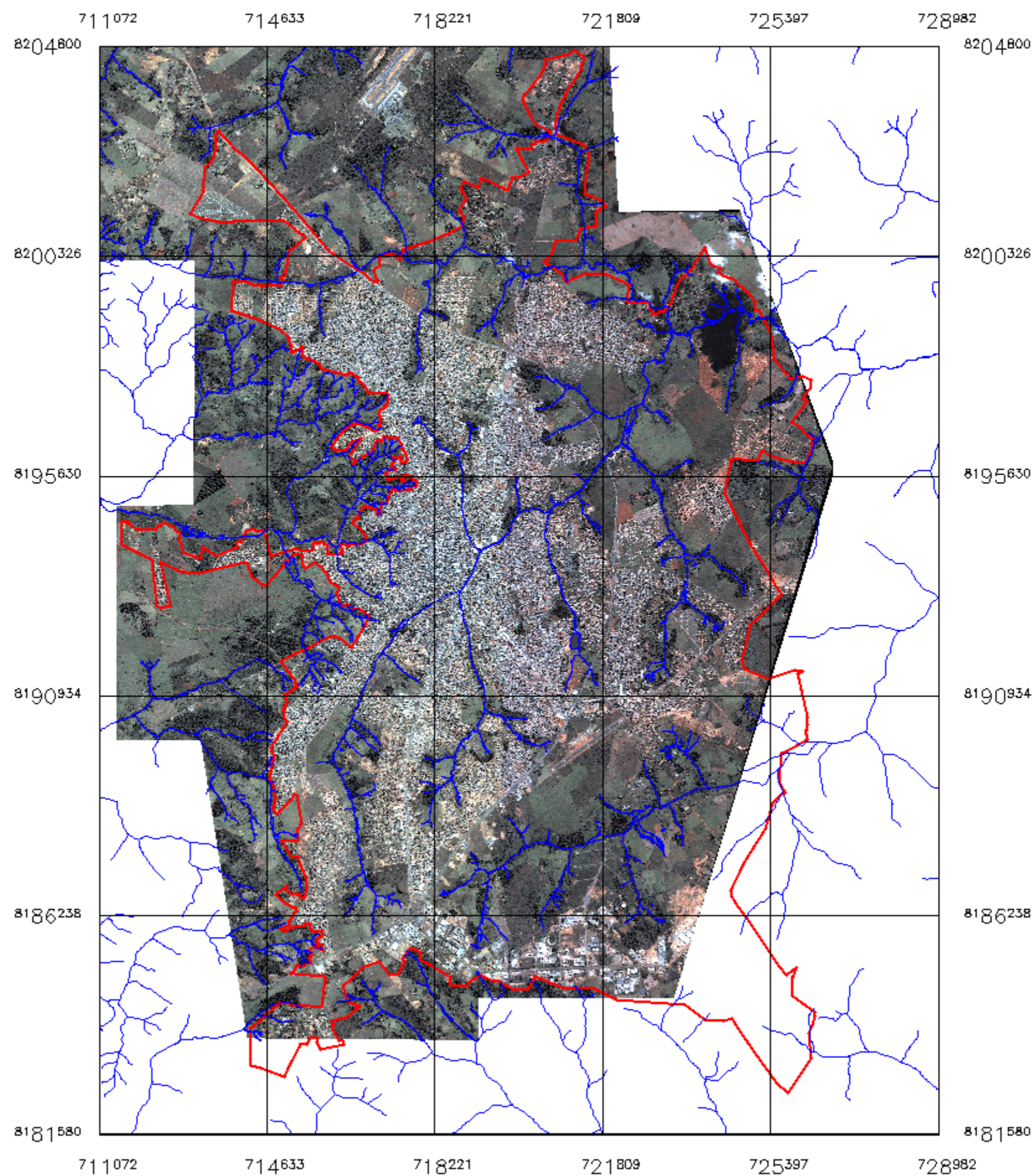
Meridiano Central: W.Gr. 51° / Fuso 22 Hemisfério Sul

Elaborado por: Andrelisa Santos de Jesus



Figura A.7 - Carta Imagem 2001.

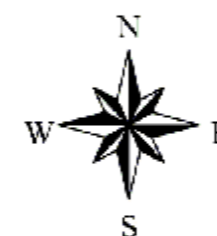


CARTA IMAGEM 2008



Convenções Cartográficas

-  Drenagem
-  Perímetro Urbano



0 2000 4000 m

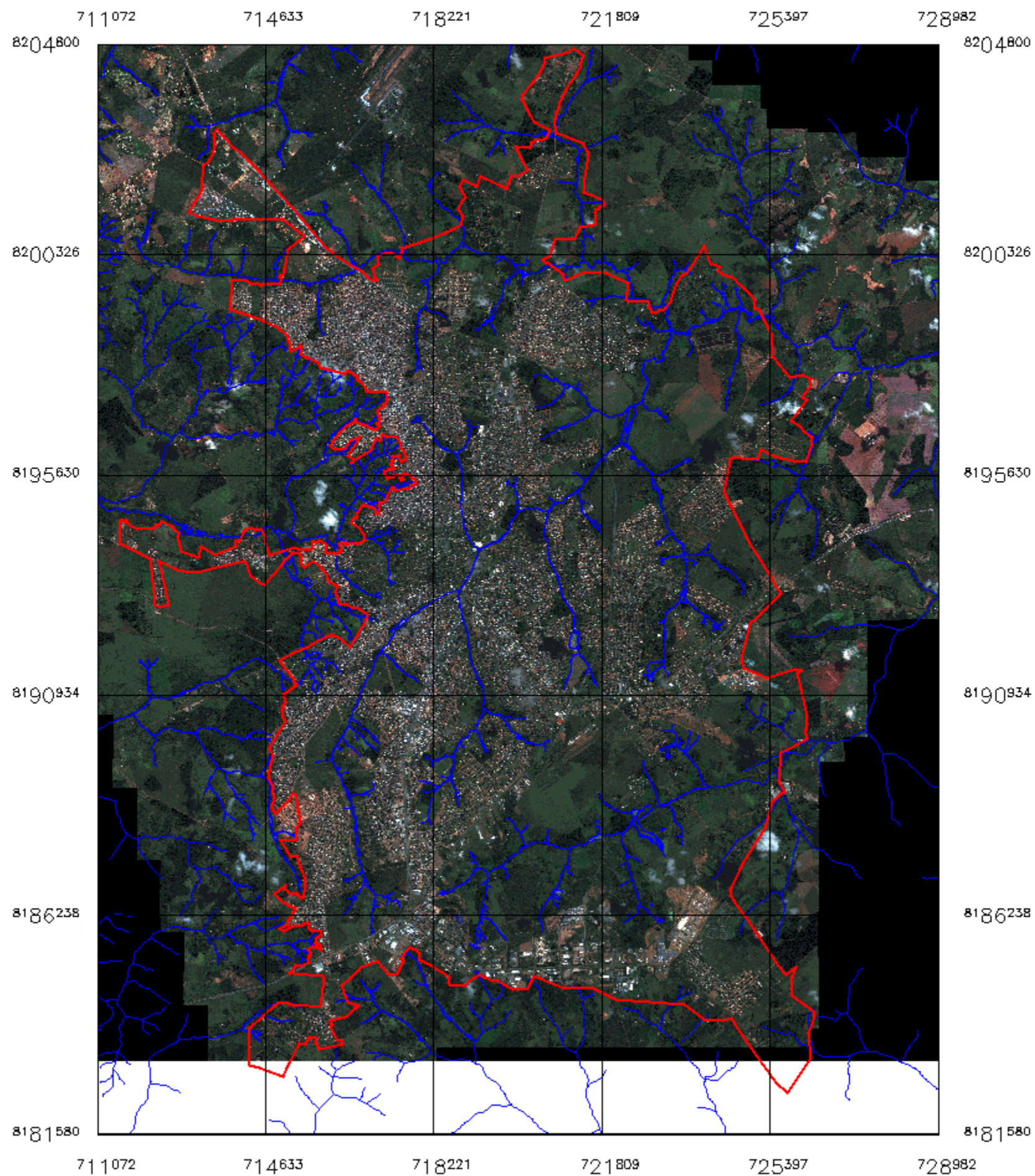
Fonte: Quickbird, 2008–2007/Topocart/ASTER–GDEM
(Resolução de 60 cm)

Projeção Cartográfica Universal Transversa de Mercator – UTM
Sistema Geodésico de Referência: South American Datum – SAD 69
Meridiano Central: W.Gr. 51° / Fuso 22 Hemisfério Sul
Elaborado por: Andrelisa Santos de Jesus

Figura A.8 - Carta Imagem 2008/2007.



CARTA IMAGEM 2010



Convenções Cartográficas



Drenagem



Perímetro Urbano



0 2000 4000 m

Fonte: GeoEye, 2010/Topocart/ASTER-GDEM

(Resolução de 50 cm)

Projeção Cartográfica Universal Transversa de Mercator – UTM
Sistema Geodésico de Referência: South American Datum – SAD 69
Meridiano Central W.Gr. 51° / Fuso 22 Hemisfério Sul
Elaborado por: Pedro Henrique Lopes Batista (2011)

Figura A.9 - Carta Imagem 2010.

Apêndice B - Documentos utilizados nas entrevistas

B.1 TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE ESCLARECIDO

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Você está sendo convidado(a) para participar, como voluntário(a), de uma pesquisa. Meu nome é **Andrelisa Santos de Jesus**, sou a pesquisadora responsável e minha área de atuação é a **Geografia** com ênfase em questões do meio físico urbano.

Após receber os esclarecimentos e as informações a seguir, no caso de aceitar fazer parte do estudo, assine ao final deste documento, que está em duas vias. Uma delas é sua e a outra é do pesquisador responsável. Em caso de recusa, você não será penalizado(a) de forma alguma.

Em caso de **dúvida sobre a pesquisa**, você poderá entrar em contato com a pesquisadora responsável **Andrelisa Santos de Jesus nos telefones 62-81541320 e 62-3521-1184**. Em casos de dúvidas **sobre os seus direitos** como participante nesta pesquisa, você poderá entrar em contato com o **Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Goiás, nos telefones: 3521-1075 ou 3521-1076**. Destaca-se que as ligações poderão ser feitas a cobrar.

INFORMAÇÕES IMPORTANTES SOBRE A PESQUISA

- TÍTULO: PROCESSOS EROSIVOS EM ANÁPOLIS (GO): DIAGNÓSTICO, MEDIDAS MITIGADORAS E PREVENÇÃO.
- As entrevistas compõem uma pesquisa que investiga processos erosivos em Anápolis.
- As entrevistas podem revelar as condições socioeconômicas da população e de perda de qualidade de vida em função da convivência com as erosões.
- Objetiva-se com a **pesquisa identificar como a população se relaciona com as questões do meio físico** e até que ponto as erosões e processos relacionados provocam **perda da qualidade de vida** dos moradores que habitam seu entorno.
- Serão realizadas **entrevistas controladas** com o uso de um roteiro de entrevistas.
- O entrevistado terá que oferecer cerca de **30 minutos** do seu **tempo para receber o pesquisador**.
- A pesquisa poderá despertar o interesse **de investimentos públicos** que **previnam e corrijam os processos erosivos** em áreas urbanas.
- **O acompanhamento** do andamento da pesquisa poderá ser feito contactando a **pesquisadora ou a instituição** responsável e através dos **meios de divulgação científica**.

- A pesquisa **não implica em nenhum tipo de despesa** decorrente da participação da pessoa entrevistada.
- - **NÃO haverá** nenhum tipo de **pagamento** ou gratificação financeira pela sua participação.
- O sigilo e a privacidade dos sujeitos entrevistados serão assegurados por meio do anonimato, ou seja, **não haverá** em hipótese alguma a **divulgação do nome e endereço das pessoas entrevistadas**.
- A coleta de informações só ocorrerá com **o pleno consentimento das pessoas entrevistadas**.
- O entrevistado poderá **em qualquer momento** antes da publicação dos dados **desistir de fornecer as informações** verbais obtidas via entrevista, **sem penalizações e prejuízos**.
- A pessoa que **sofrer qualquer dano resultante** da pesquisa tem o **direito à indenização** requerida junto à instituição responsável pela pesquisa

Nome e Assinatura do pesquisador _____

CONSENTIMENTO DA PARTICIPAÇÃO DA PESSOA COMO SUJEITO DA PESQUISA

Eu, _____, RG n.º _____
_____ CPF n.º _____ abaixo assinado, concordo em
participar _____ do _____ estudo

_____, como sujeito. Fui devidamente informado(a) e esclarecido(a) pelo pesquisador(a) _____ sobre a pesquisa, os procedimentos nela envolvidos, assim como os possíveis riscos e benefícios decorrentes de minha participação. Foi-me garantido que posso retirar meu consentimento a qualquer momento, sem que isto leve a qualquer

Local e data: _____

Nome e Assinatura do sujeito: _____

B.2 GUIA DE ENTREVISTAS

 UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA FACULDADE DE TECNOLOGIA DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOTECNIA	 UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS INSTITUTO DE ESTUDOS SÓCIO- AMBIENTAIS
--	---

ROTEIRO DE ENTREVISTA

DATA ___/___/___

Coordenada UTM _____

1. Nome do

entrevistado _____

2.**Endereço:** _____**3. Dados gerais sobre a residência:****a) Residência própria:**

SIM () NÃO ()

b) Se mora de aluguel, quanto paga?

NADA () ATÉ 250,00 () de 250,00 à 622,00 ()

de 622,00 à 1000,00 () mais de 1000,00 ()

c) Há quanto tempo reside no local?

Menos de 1 ano () de 1 a 5 anos () de 6 a 10 anos () de 10 a 20 anos ()

d) Quantas pessoas moram na casa?

Até 2 () de 3 a 5 () de 5 a 10 ()

e) Quantas residências existem no lote?

Apenas uma () de 2 a 3 () mais de 3 ()

f) Quantos m² possui o lote?**g) Qual a área construída?****h). Qual o valor venal: do lote _____; do lote construído _____.****4. Dados individuais de cada morador da casa**

Características	Morador							
	A	B	C	D	E	F	G	H
a) Sexo: (M) (F)								

b) Idade									
c) Profissão									
d) Empregado formal (F) <i>Qual o salário?</i>									
e) Empregado informal (IF) <i>Qual o salário?</i>									
f) Aposentado (AP) <i>Qual o salário?</i>									
g) Desempregado (D) <i>Há quanto Tempo?</i>									
h) Escolaridade									
Analfabeto (A)									
Ens. Fund. 1ª Fase (C) (I) (Cur)									
Ens. Fund. 2ª Fase (C) (I) (Cur)									
Ensino Médio (C) (I) (Cur)									
Ensino Superior (C) (I) (Cur)									
Especialização (C) (I) (Cur)									
Mestrado (C) (I) (Cur)									
Doutorado (C) (I) (Cur)									
i) Se está estudando, qual o tipo de instituição?									
Particular com bolsa (Pb)									
Particular sem bolsa (Psb)									
Público federal (PF)									
Público Estadual (PE)									
Público Municipal (PM)									
j) Possui carro (SIM) (NÃO)									
l) Utiliza transporte coletivo? (SIM) (NÃO)									
m) Quantas conduções utiliza para chegar a escola e/ou trabalho?									

5. Origem da família

a) Sempre morou em Anápolis? SIM () NÃO ()

b) Se não é de Anápolis Onde morava anteriormente? _____.

c) Quando se mudou? _____

d) O que motivou sua vinda para Anápolis?

() Algum problema onde morava? Qual? () Algum atrativo em Anápolis? Qual?

e) *Que atividade exercia onde morava?*

f) *Você encontrou aqui em Anápolis aquilo que estava almejando?*

g) *Sempre morou neste bairro? SIM () NÃO ()*

h) *Em qual bairro morava anteriormente?*

i) *Por que escolheu este bairro para morar?*

6) Percepção do local onde mora

a) *Há alguma vantagem em residir no local (enumerar os principais)? Quais?*

- () visão () localização () Vizinhaça
 () Beleza () Clima Serviços () outros. Quais?
 () Limpeza () Escola _____
 () Declividade () Lazer _____
 tranquilidade () Córrego () Saúde _____

b) *Há alguma desvantagem em residir no local (enumerar os principais)? Quais?*

- () declividade () localização () Vizinhaça
 () erosão () Clima Serviços () outros. Quais?
 () Declividade () Escola _____
 () Córrego () Lazer _____
 inundações/ () Saúde _____

alagamentos

- () lixo

c) *Você considera o lugar onde vive violento? Por quê?*

d) *Como considera que sua vida é prejudicada pelas erosões, aterros de lixo, inundações e alagamentos?*

e) *Qual a origem destes problemas?*

f) *O que a prefeitura já fez para resolver estes problemas?*

g) O que você gostaria que fosse feito para resolver os problemas da área?

h) Como você e os seus vizinhos tentam resolver os problemas que afetam a área?

i) Você se sente satisfeito morando aqui,? Por quê?

() SIM () NÃO

j) Gostaria de se mudar daqui? Por quê?

m) Em qual bairro de Anápolis gostaria de morar? Por quê?

7) Serviços e infraestrutura

a) O transporte coletivo é de fácil acesso e de boa qualidade?

SIM () NÃO ()

b) Sua casa conta com coleta lixo?

SIM () NÃO ()

c) O que você faz com o lixo?

Coloca em cestos apropriados na calçada () Joga em lotes baldios () Lança na erosão ()

c) Sua rua conta com boa iluminação pública?

SIM () NÃO ()

d) Possui água encanada?

SIM () NÃO ()

e) Sua rua possui asfalto?

SIM () NÃO ()

f) Sua rua possui galeria de águas pluviais?

SIM () NÃO ()

g) Como sua casa elimina os esgotos?

() Fossa Séptica () Rede de esgoto () outros

h) Recebe visita de agentes de saúde e sanitários?

() Nunca () Às vezes () Frequentemente

i) Tratamento médico;

- () Possui plano de saúde
 () Utiliza os serviços do SUS. Considera-se bem atendido? () SIM () NÃO () regular

j) Qual o valor do seu último IPTU?

Você acha que este valor foi justo? SIM () NÃO ().
 Porquê? _____

8) Acesso à informação

a) Você se mantém informado através de quais meios de comunicação?

() Jornal de Televisão	() Jornal Escrito	() Revistas	() Internet	() Rádio

9) Acesso a lazer

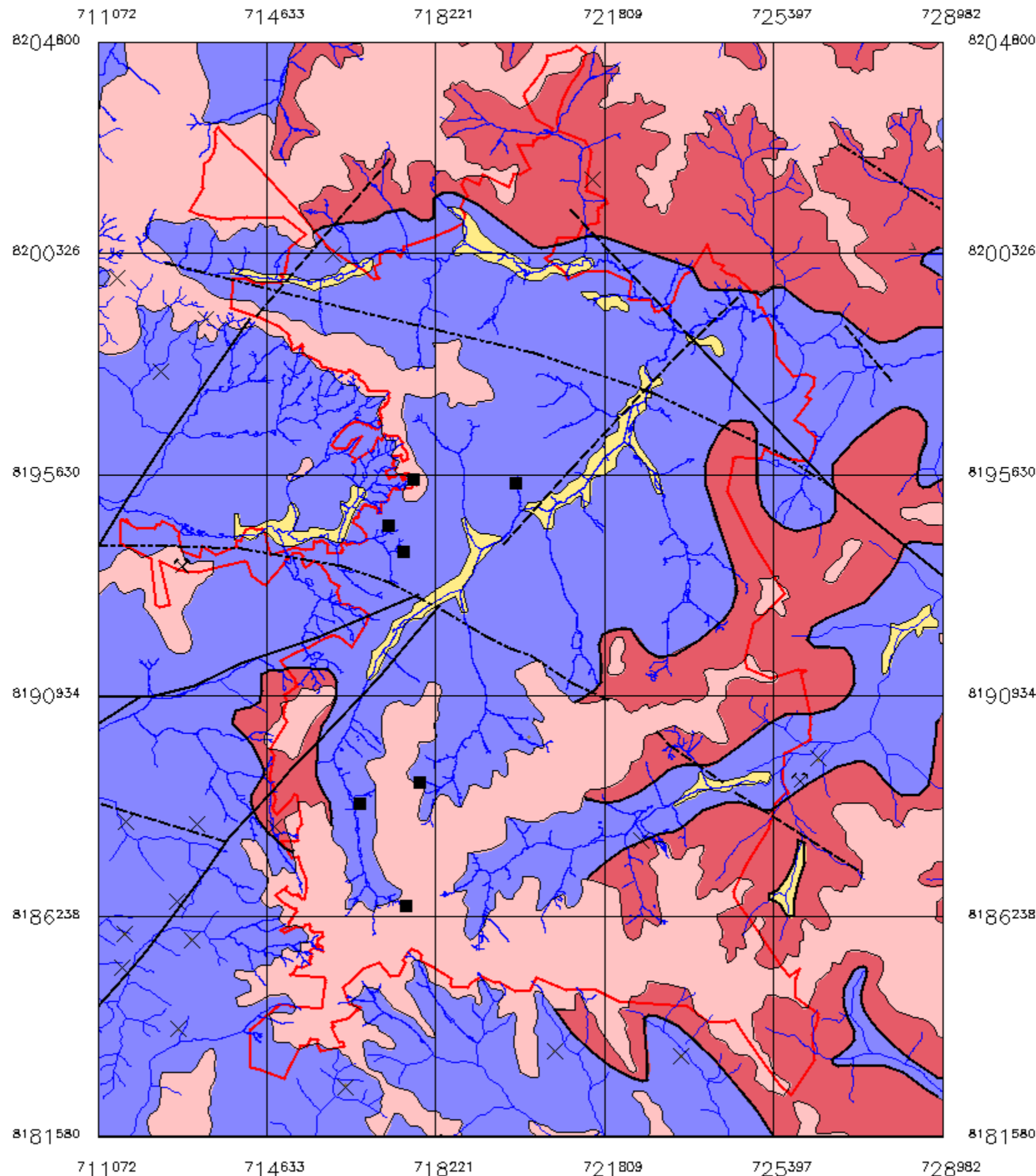
a) O que você faz nas horas de lazer?

() Viagens	() Chácaras/sítios	() TV	() Outros
() Shoppings	() Igreja	() Bares/Restaurantes	Quais? _____
() Acampamento	() Feiras Livres	() Shows	_____









Apêndice C - Mapas do Meio Físico






MAPA DE GEOLOGIA



LEGENDA

-  Qa – Depósitos aluvionares
-  TQdl – Coberturas Detrito-Lateríticas
-  PMaB – Grupo Araxá Sul de Goiás
-  APIlgaio – Complexo Granulítico Anapólis-Itaocú
-  Afloramento
-  Mineração
-  Contato aproximado
-  Contato

Convenções Cartográficas

-  Voçorocas
-  Drenagem
-  Perímetro Urbano



0 2000 4000 m

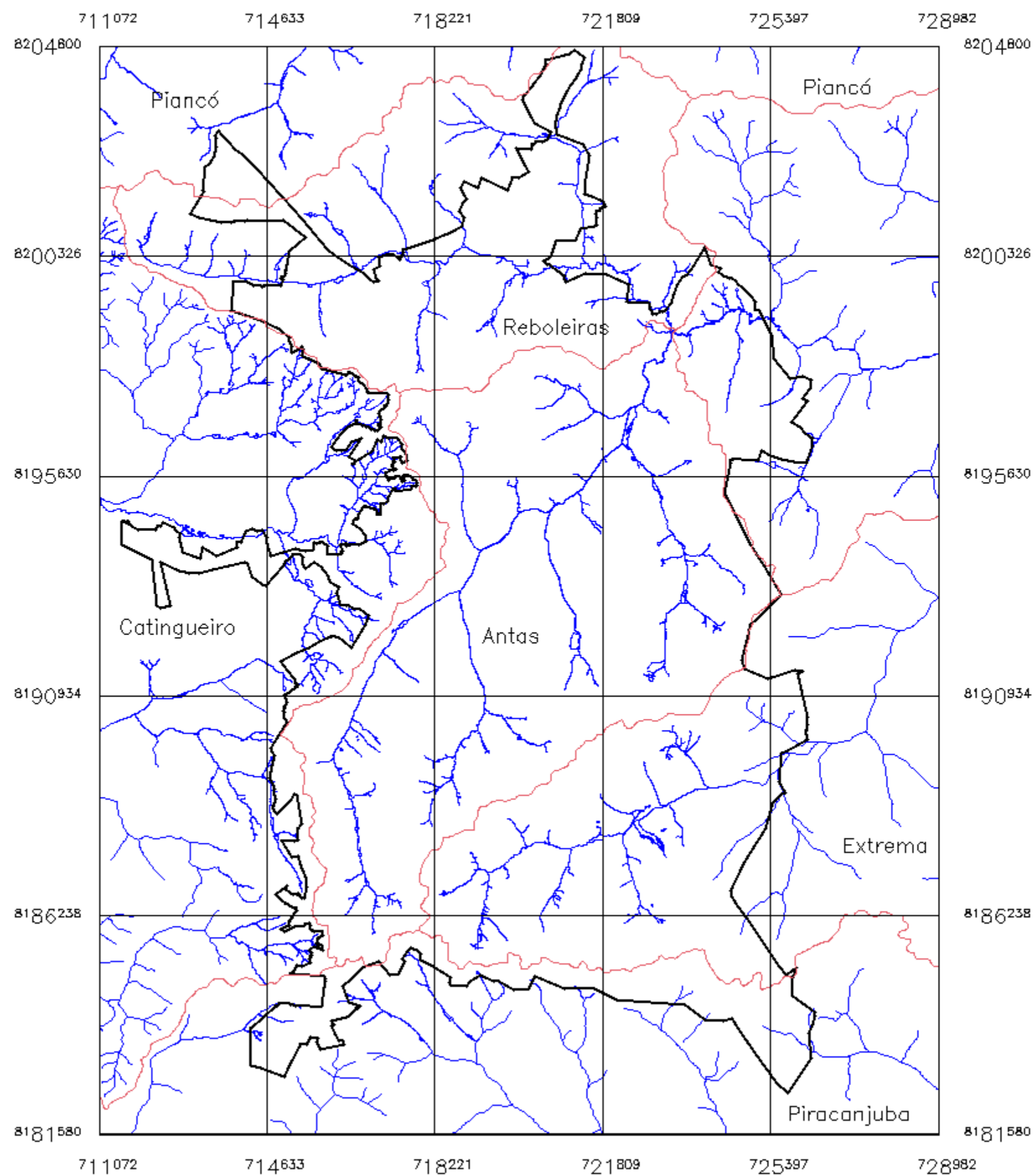
Compilado de: Radaelli (1994)
(Escala Original – 1:100.000)

Projeção Cartográfica Universal Transversa de Mercator – UTM
Sistema Geodésico de Referência: South American Datum – SAD 69
Meridiano Central: W.Gr. 51° / Fuso 22 Hemisfério Sul
Elaborado por: Andrelisa Santos de Jesus




Figura C.1 - Mapa Geológico.



MAPA DE DELIMITAÇÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS



Convenções Cartográficas

-  Drenagem
-  Perímetro Urbano
-  Bacias Hidrográficas



0 2000 4000 m

Fonte: Topocart/ASTER-GDEM

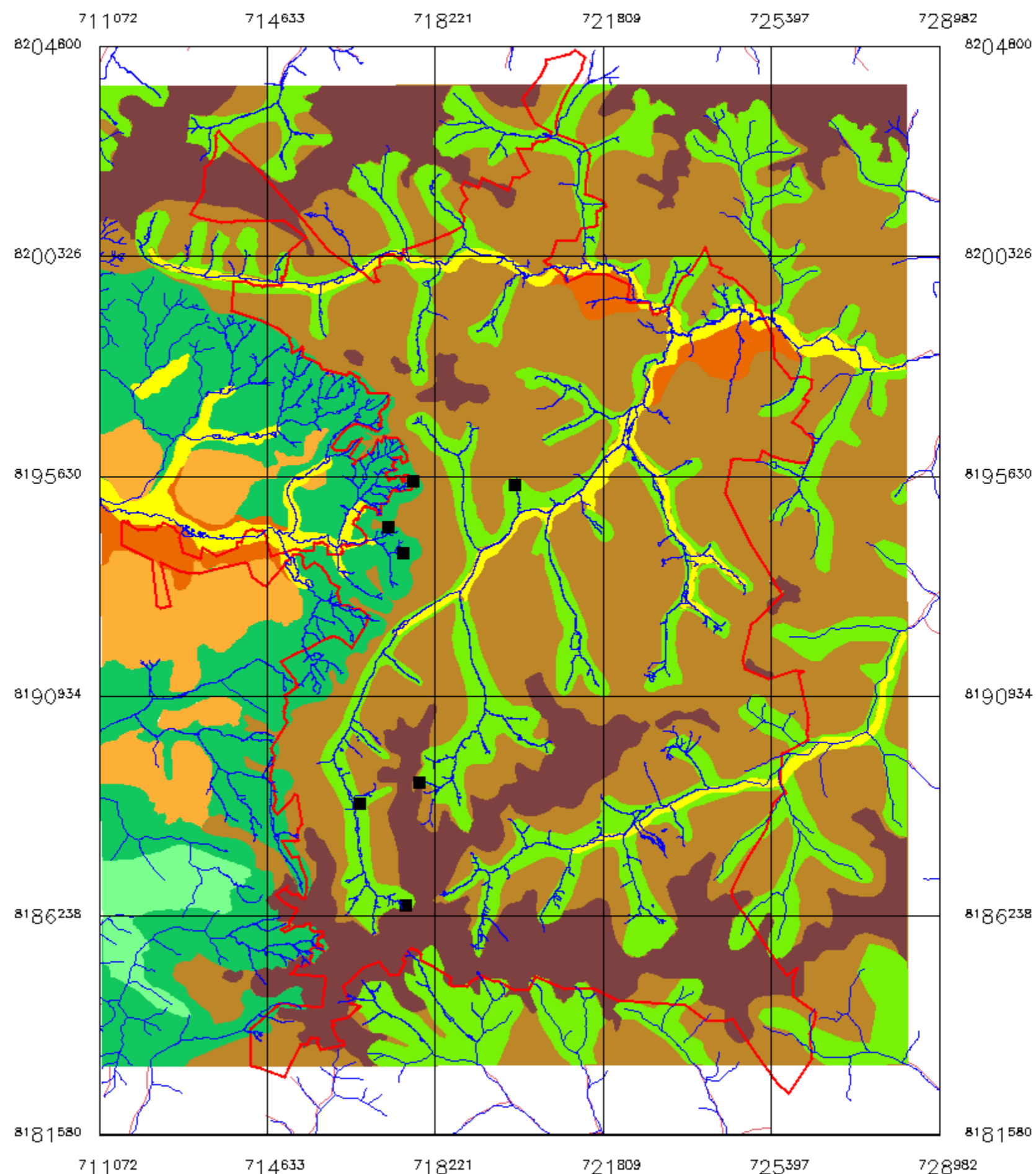
(Escala Original – 1:20.000)

Projeção Cartográfica Universal Transversa de Mercator – UTM
Sistema Geodésico de Referência: South American Datum – SAD 69
Meridiano Central: W.Gr. 51° / Fuso 22 Hemisfério Sul
Elaborado por: Andrelisa Santos de Jesus

Figura C.2 - Mapa de delimitação de bacias hidrográficas.



MAPA GEOMORFOLÓGICO



LEGENDA

Modelado de Aplainamento

- Topo Plano
- Rampas 1º Geração
- Rampas 2º Geração

Modelado de Dissecação

- Baixas Vertentes
- Morros
- Cristas

Modelado de Acumulação

- Terraços Fluviais
- Planícies Fluviais

Convenções Cartográficas

- Voçorocas
- Drenagem
- Perímetro Urbano



0 2000 4000 m

Compilado de: Lacerda (2005)

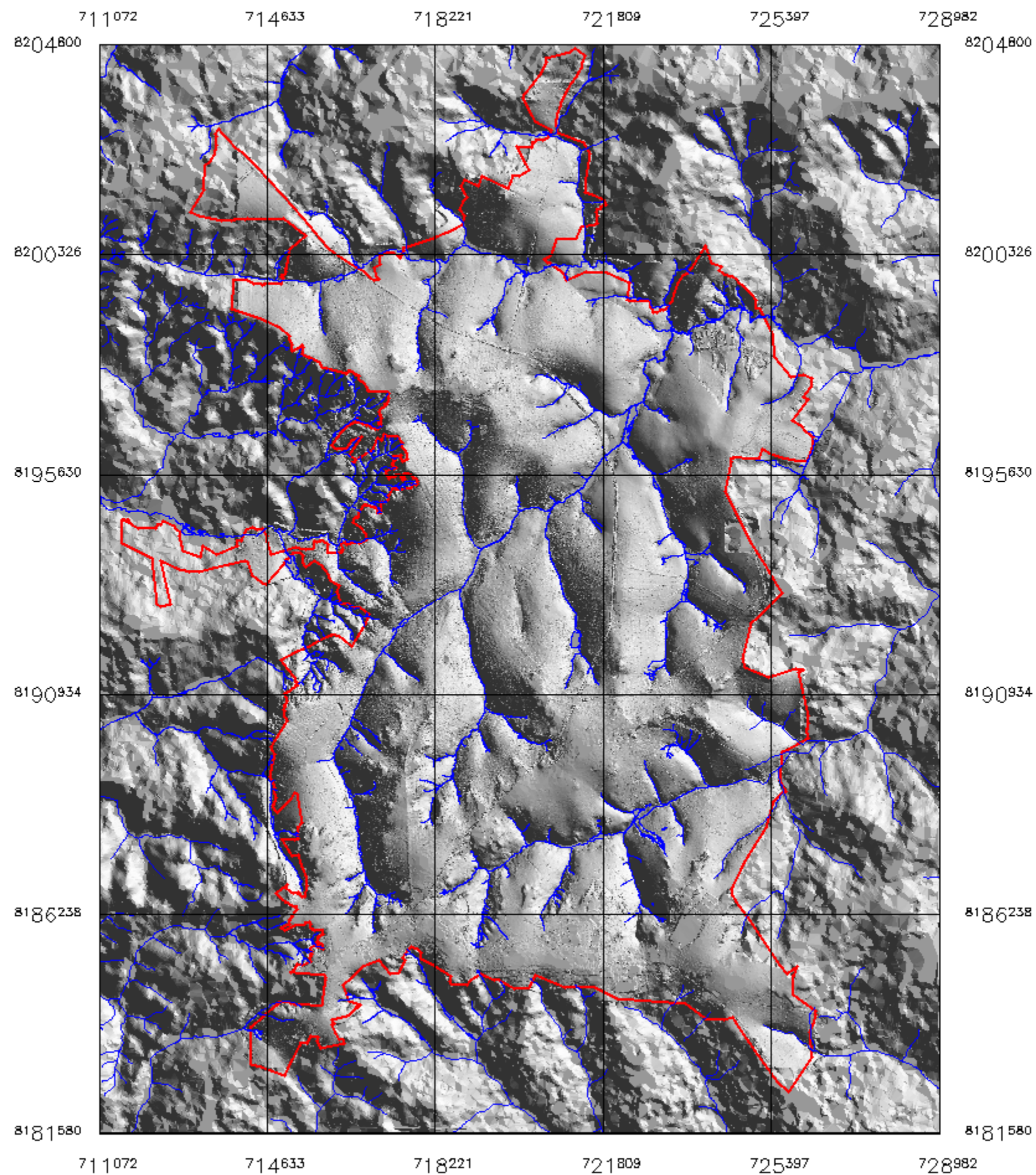
(Escala Original – 1:50.000)

Projeção Cartográfica Universal Transversa de Mercator – UTM
Sistema Geodésico de Referência: South American Datum – SAD 69
Meridiano Central: W.Gr. 51° / Fuso 22 Hemisfério Sul
Elaborado por: Andrelisa Santos de Jesus



Figura C.3 - Mapa Geomorfológico.



MAPA DE MODELO DE SOMBRA



Convenções Cartográficas

-  Drenagem
-  Perímetro Urbano



0 2000 4000 m

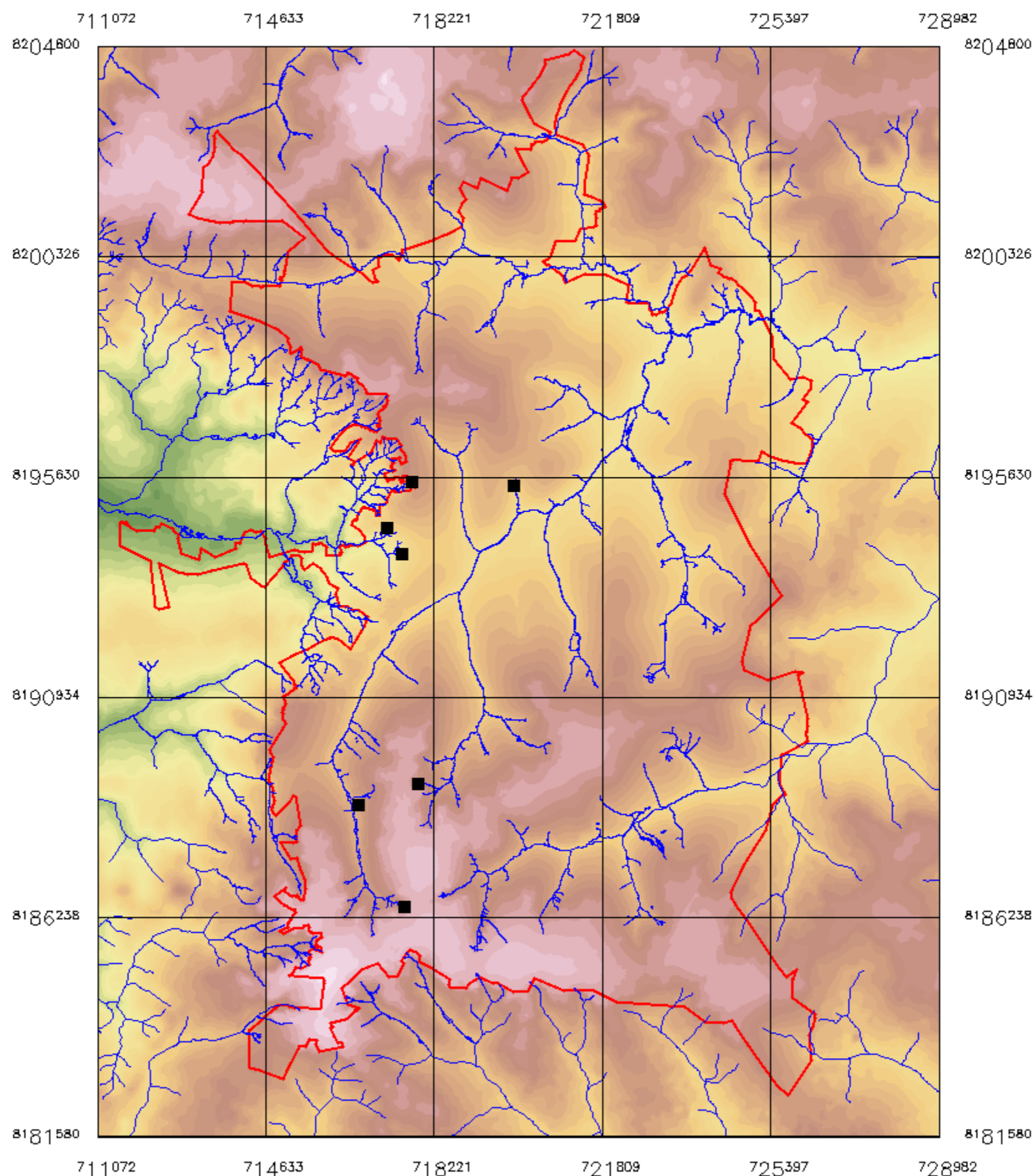
Fonte: Topocart/ASTER-GDEM
(Escala Original - 1:20.000)

Projeção Cartográfica Universal Transversa de Mercator - UTM
Sistema Geodésico de Referência: South American Datum - SAD 69
Meridiano Central: W.Gr. 51° / Fuso 22 Hemisfério Sul
Elaborado por: Andrelisa Santos de Jesus

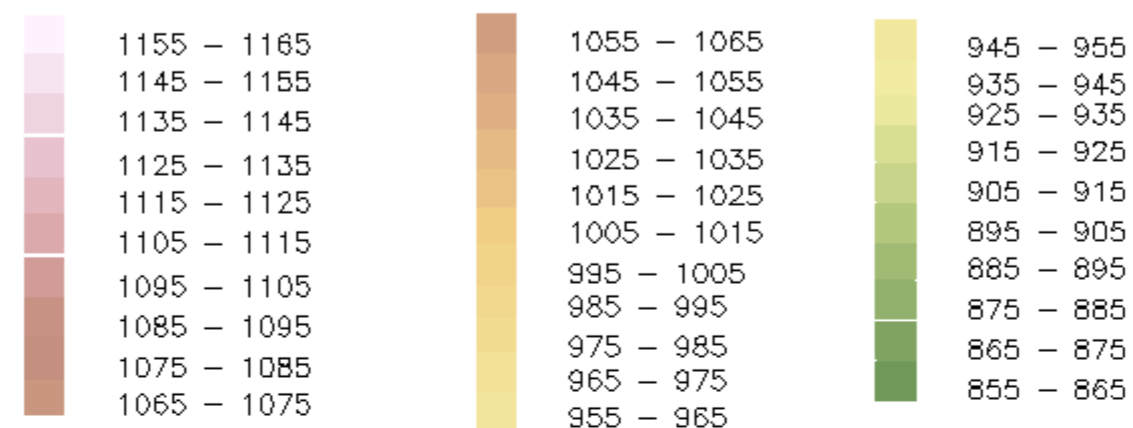
Figura C.4 - Modelo de Sombra.



MAPA HIPSOMÉTRICO



LEGENDA



Convenções Cartográficas

- Vócorocas
- Drenagem
- Perímetro Urbano



0 2000 4000 m

Fonte: Topocart/ASTER-GDEM

(Escala Original - 1:20.000)

Projeção Cartográfica Universal Transversa de Mercator - UTM
Sistema Geodésico de Referência: South American Datum - SAD 69

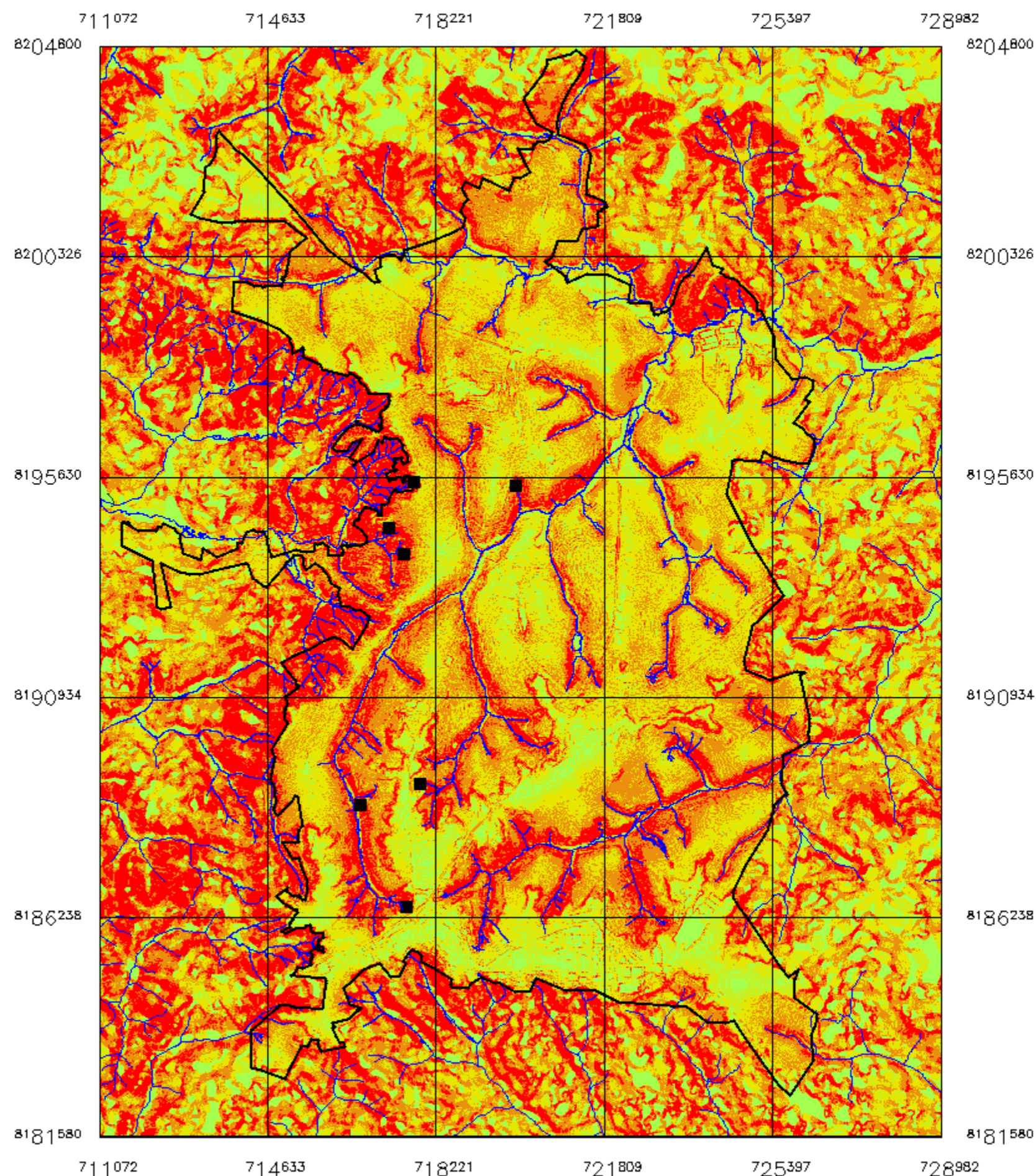
Meridiano Central: W.Gr. 51° / Fuso 22 Hemisfério Sul

Elaborado por: Andrelisa Santos de Jesus

Figura C.5 - Mapa hipsométrico.



MAPA DE DIVERSIDADE ALTIMÉTRICA



LEGENDA

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

Convenções Cartográficas

- Voçorocas
- Drenagem
- Perímetro Urbano



0 2000 4000 m

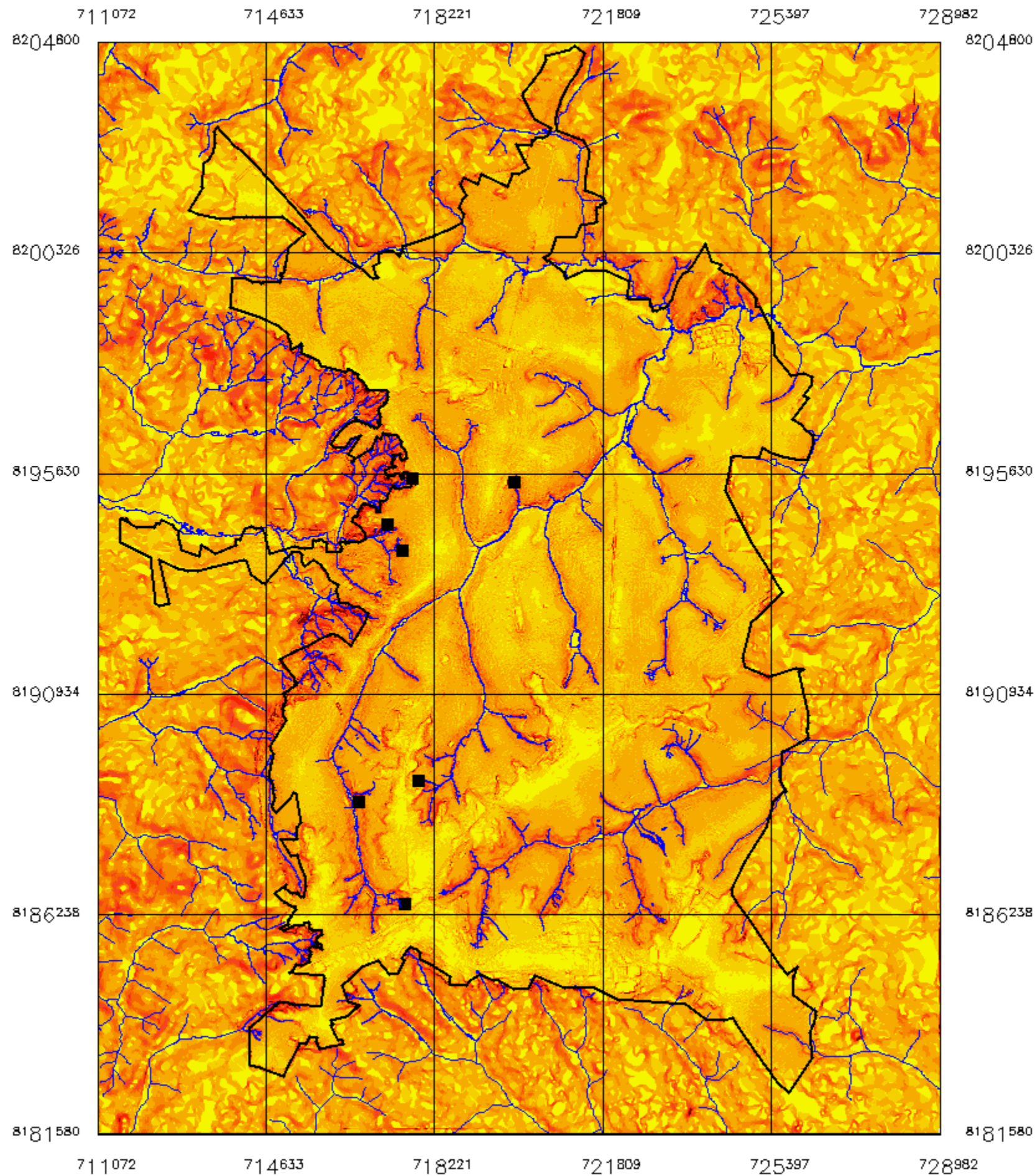
Fonte: Topocart/ASTER-GDEM
(Escala Original – 1:20.000)

Projeção Cartográfica Universal Transversa de Mercator – UTM
Sistema Geodésico de Referência: South American Datum – SAD 69
Meridiano Central: W.Gr. 51° / Fuso 22 Hemisfério Sul
Elaborado por: Andrelisa Santos de Jesus

Figura C.6 - Mapa de diversidade altimétrica.



MAPA DE DECLIVIDADE



LEGENDA

%	
	0 - 2
	2 - 5
	5 - 10
	10 - 15
	15 - 20
	20 - 30
	30 - 45
	> 45

Convenções Cartográficas

- Voçocorcas
- Drenagem
- Perímetro Urbano



0 2000 4000 m

Fonte: Topocart/ASTER-GDEM

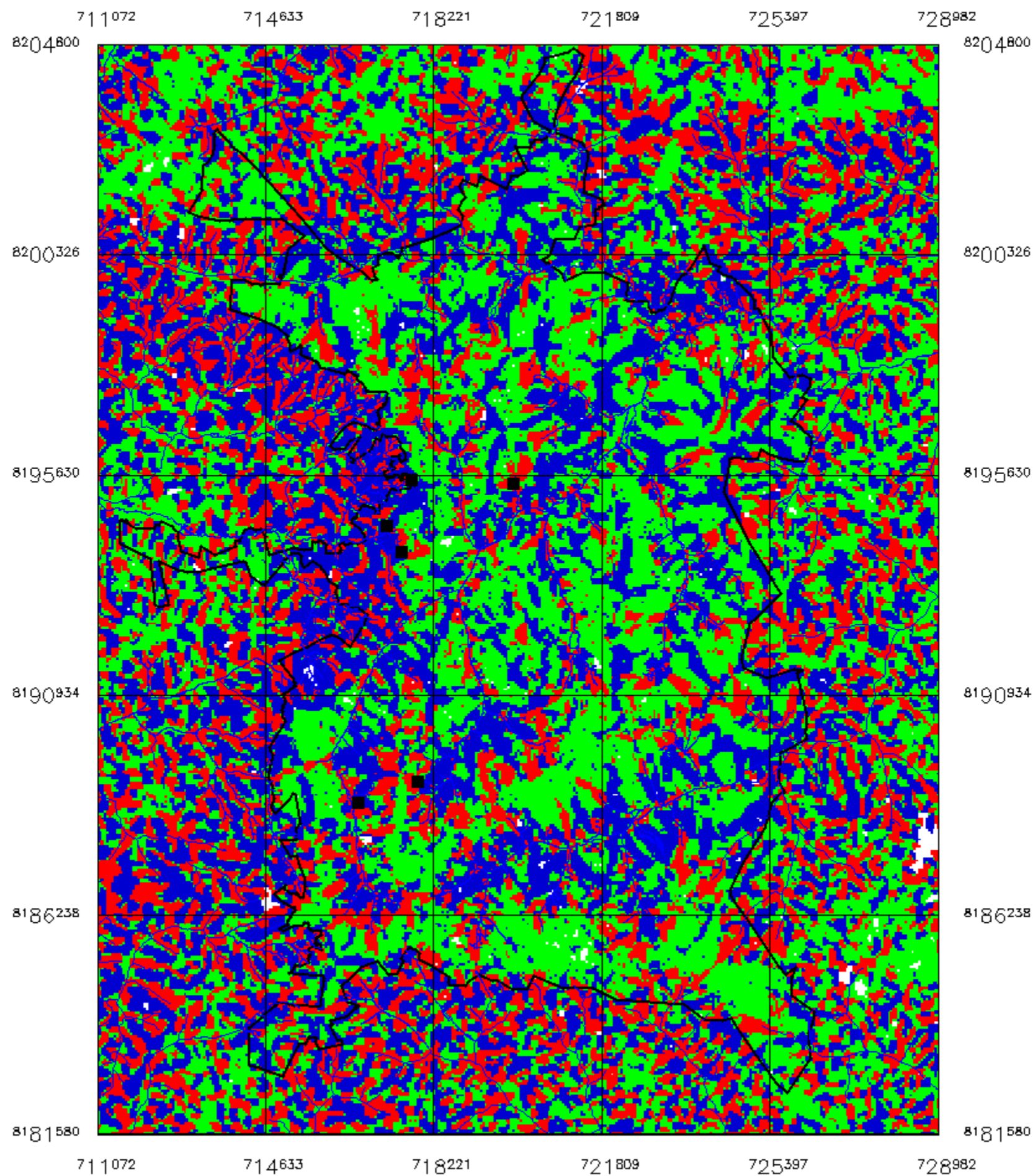
(Escala Original - 1:20.000)

Projeção Cartográfica Universal Transversa de Mercator - UTM
Sistema Geodésico de Referência: South American Datum - SAD 69
Meridiano Central: W.Gr. 51° / Fuso 22 Hemisfério Sul
Elaborado por: Andrelisa Santos de Jesus

Figura C.7 - Mapa de declividade.



MAPA DE CURVATURA PLANA



LEGENDA

- concavo
- convexo
- retilíneo

Convenções Cartográficas

- Voçorocas
- Drenagem
- Perímetro Urbano



0 2000 4000 m

Fonte: Topocart/ASTER-GDEM

(Escala Original – 1:20.000)

Projeção Cartográfica Universal Transversa de Mercator – UTM
Sistema Geodésico de Referência: South American Datum – SAD 69

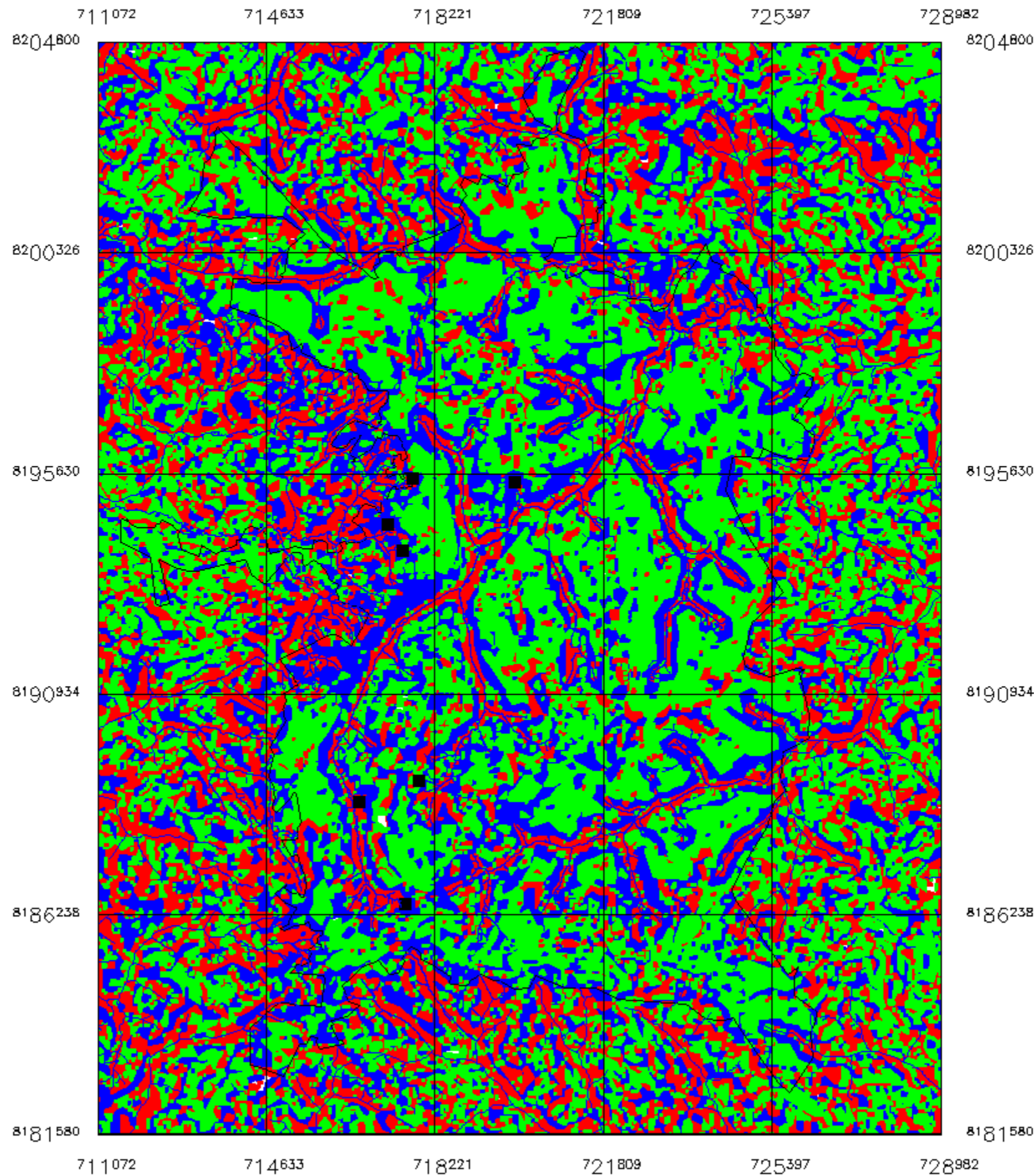
Meridiano Central: W.Gr. 51° / Fuso 22 Hemisfério Sul

Elaborado por: Andrelisa Santos de Jesus

Figura C.8 - Mapa de curvatura plana.



MAPA DE CURVATURA EM PERFIL



LEGENDA

- côncava
- convexa
- retílinea

Convenções Cartográficas

- Voçoracas
- Drenagem
- Perímetro Urbano



0 2000 4000 m

Fonte: Topocart/ASTER-GDEM

(Escala Original – 1:20.000)

Projeção Cartográfica Universal Transversa de Mercator – UTM
Sistema Geodésico de Referência: South American Datum – SAD 69

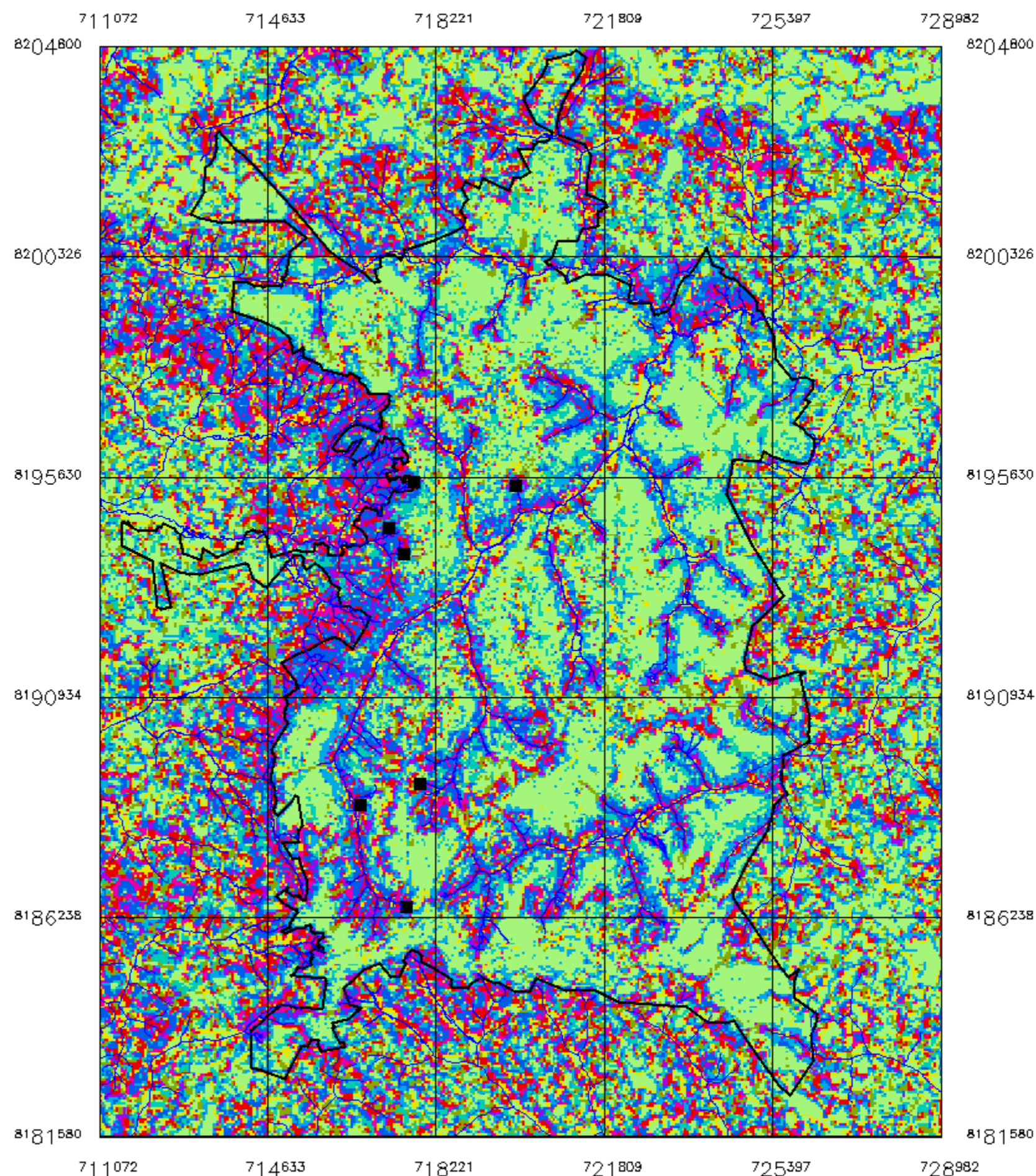
Meridiano Central: W.Gr. 51° / Fuso 22 Hemisfério Sul

Elaborado por: Andrelisa Santos de Jesus

Figura C.9 - Mapa de curvatura em perfil.



MAPA DE CURVATURA – INTERSECÇÃO PLANA/PERFIL



LEGENDA

- Concavo–Concavo
- Concavo–Retilineo
- Concavo–Convexo
- Convexo–Concavo
- Convexo–Convexo
- Convexo–Retilineo
- Retilineo–Retilineo
- Retilineo–Concavo
- Retilineo–Convexo

Convenções Cartográficas

- Voçoracas
- Drenagem
- Perímetro Urbano



0 2000 4000 m

Fonte: Topocart/ASTER–GDEM

(Escala Original – 1:20.000)

Projeção Cartográfica Universal Transversa de Mercator – UTM
Sistema Geodésico de Referência: South American Datum – SAD 69

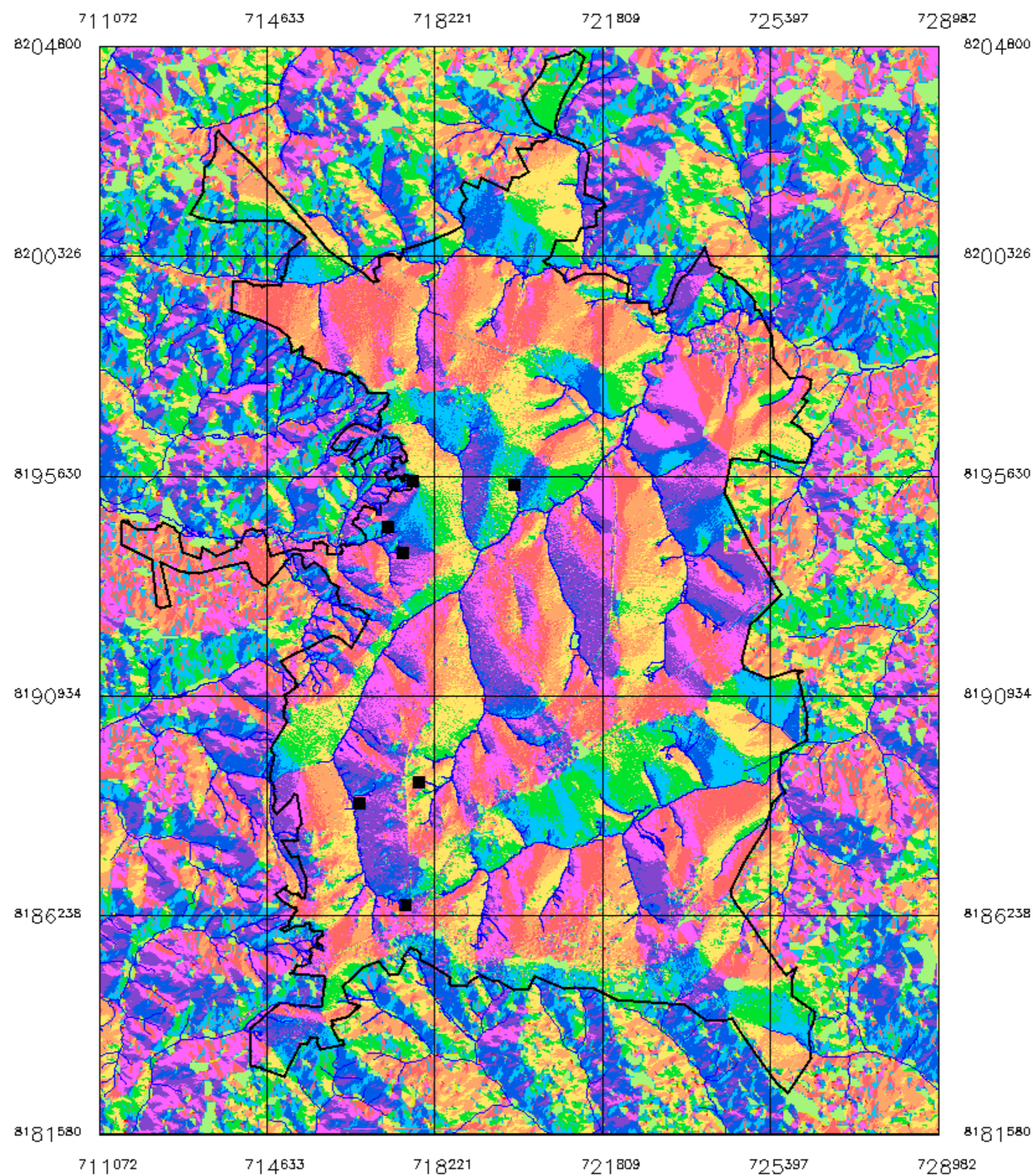
Meridiano Central: W.Gr. 51° / Fuso 22 Hemisfério Sul

Elaborado por: Andrelisa Santos de Jesus

Figura C.10 - Mapa de curvatura - intersecção plana/perfil.



MAPA DE ORIENTAÇÃO DAS VERTENTES



LEGENDA

- N
- NE
- L
- SE
- S
- SW
- W
- NW

Convenções Cartográficas

- Voçorocas
- Drenagem
- Perímetro Urbano



0 2000 4000 m

Fonte: Topocart/ASTER-GDEM

(Escala Original – 1:20.000)

Projeção Cartográfica Universal Transversa de Mercator – UTM
Sistema Geodésico de Referência: South American Datum – SAD 69

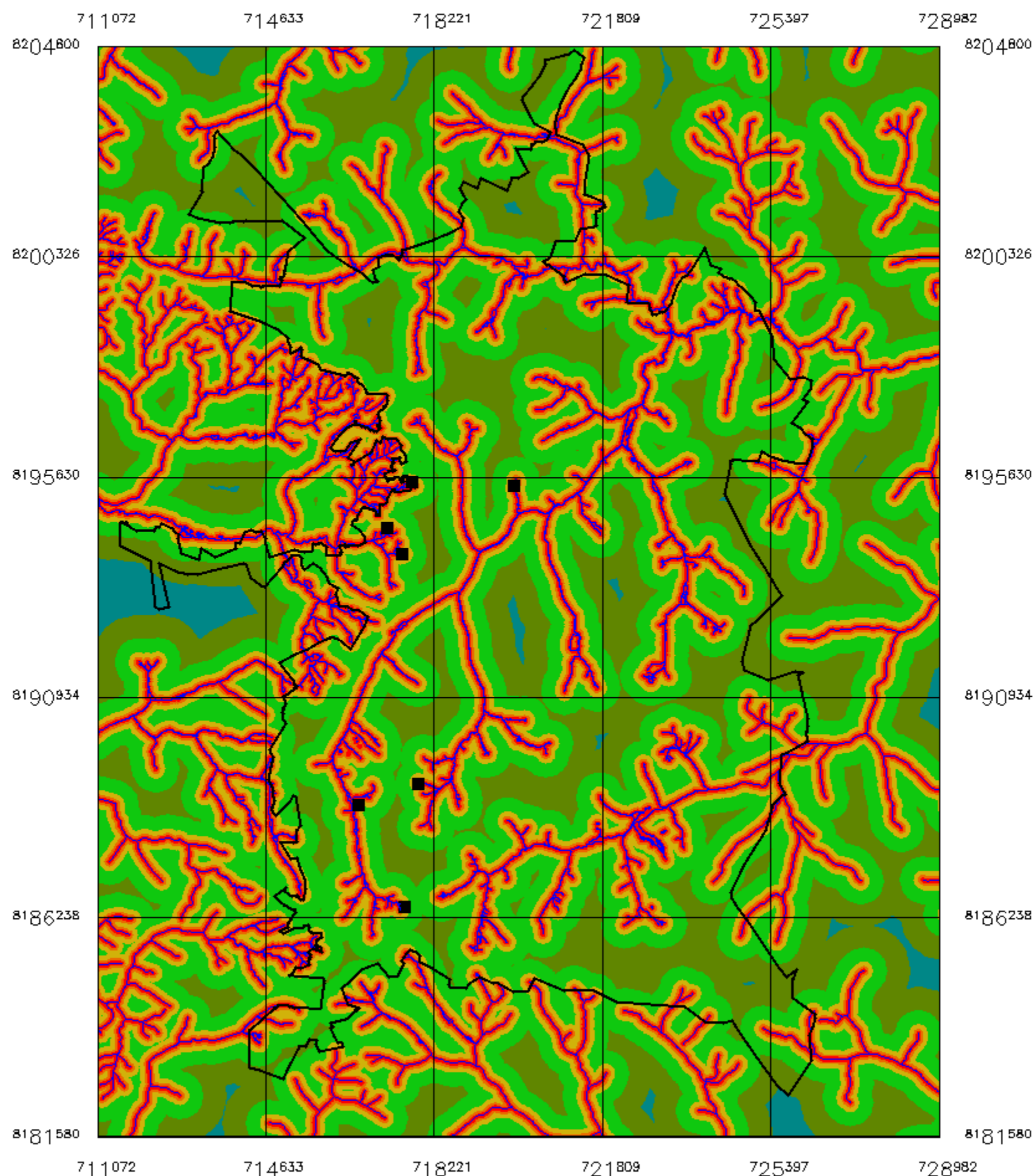
Meridiano Central: W.Gr. 51° / Fuso 22 Hemisfério Sul

Elaborado por: Andrelisa Santos de Jesus

Figura C.11 - Mapa de orientação das vertentes.



MAPA DE DISTÂNCIA DA DRENAGEM



LEGENDA

- 0 a 50m
- 50 a 100m
- 100 a 200m
- 200 a 500m
- 500 a 1000m
- >1000m

Convenções Cartográficas

- Vaçarocas
- Drenagem
- Perímetro Urbano



0 2000 4000 m

Fonte: Topocart/ASTER-GDEM

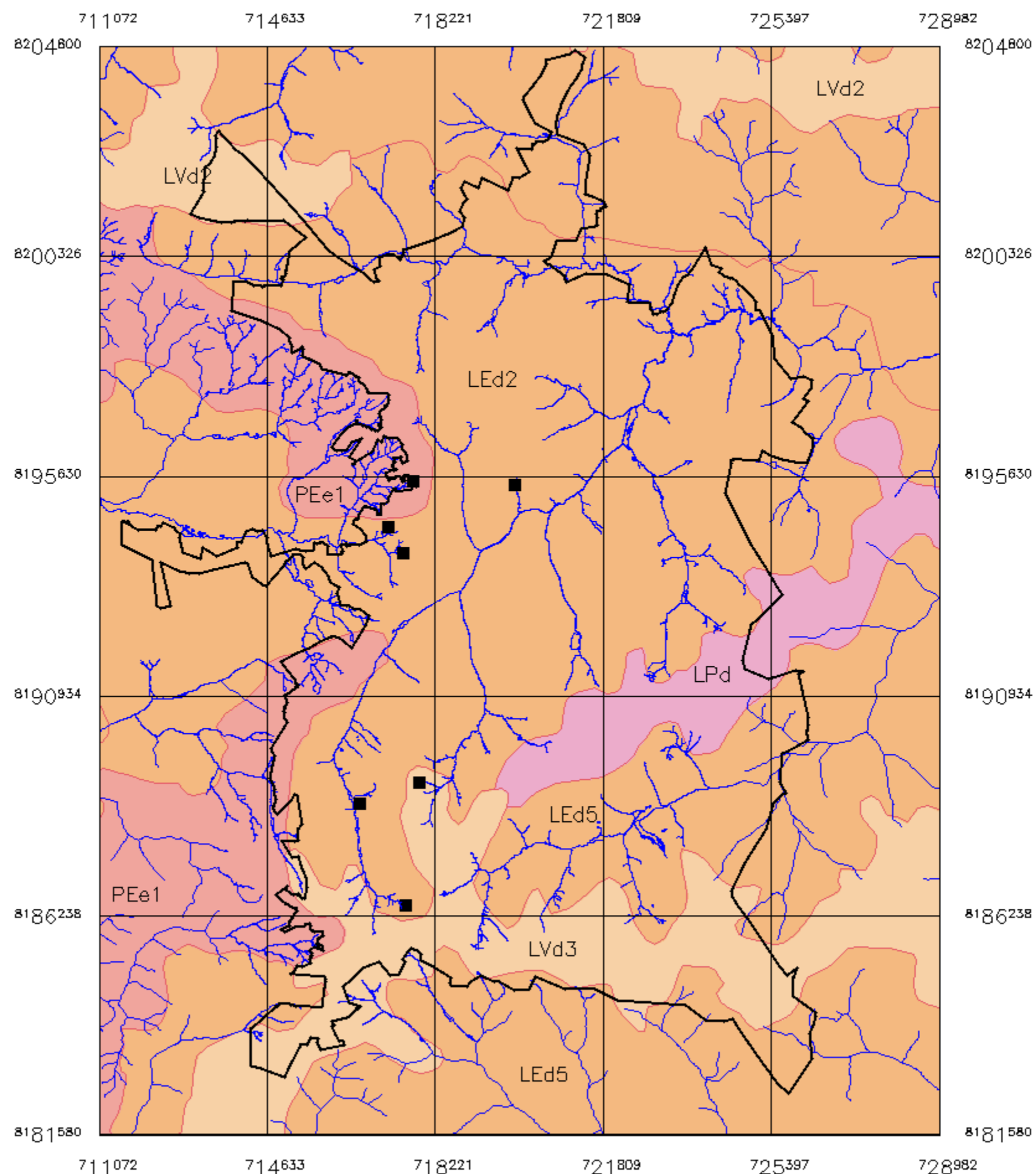
(Escala Original - 1:20.000)

Projeção Cartográfica Universal Transversa de Mercator - UTM
Sistema Geodésico de Referência: South American Datum - SAD 69
Meridiano Central: W.Gr. 51° / Fuso 22 Hemisfério Sul
Elaborado por: Andrelisa Santos de Jesus

Figura C.12 - Mapa de distância de drenagem.



MAPA PEDOLÓGICO



LEGENDA

- LP – Latossolo Petrolítico
- LV – Latossolo Vermelho-Amarelo
- LE – Latossolo Vermelho Escuro
- PE – Podzólico Vermelho Escuro

Convenções Cartográficas

- Voçorocas
- Drenagem
- Perímetro Urbano



0 2000 4000 m

Compilado de: Plano Diretor da Bacia do Rio Paranaíba (2005)
(Escala Original – 1:250.000)

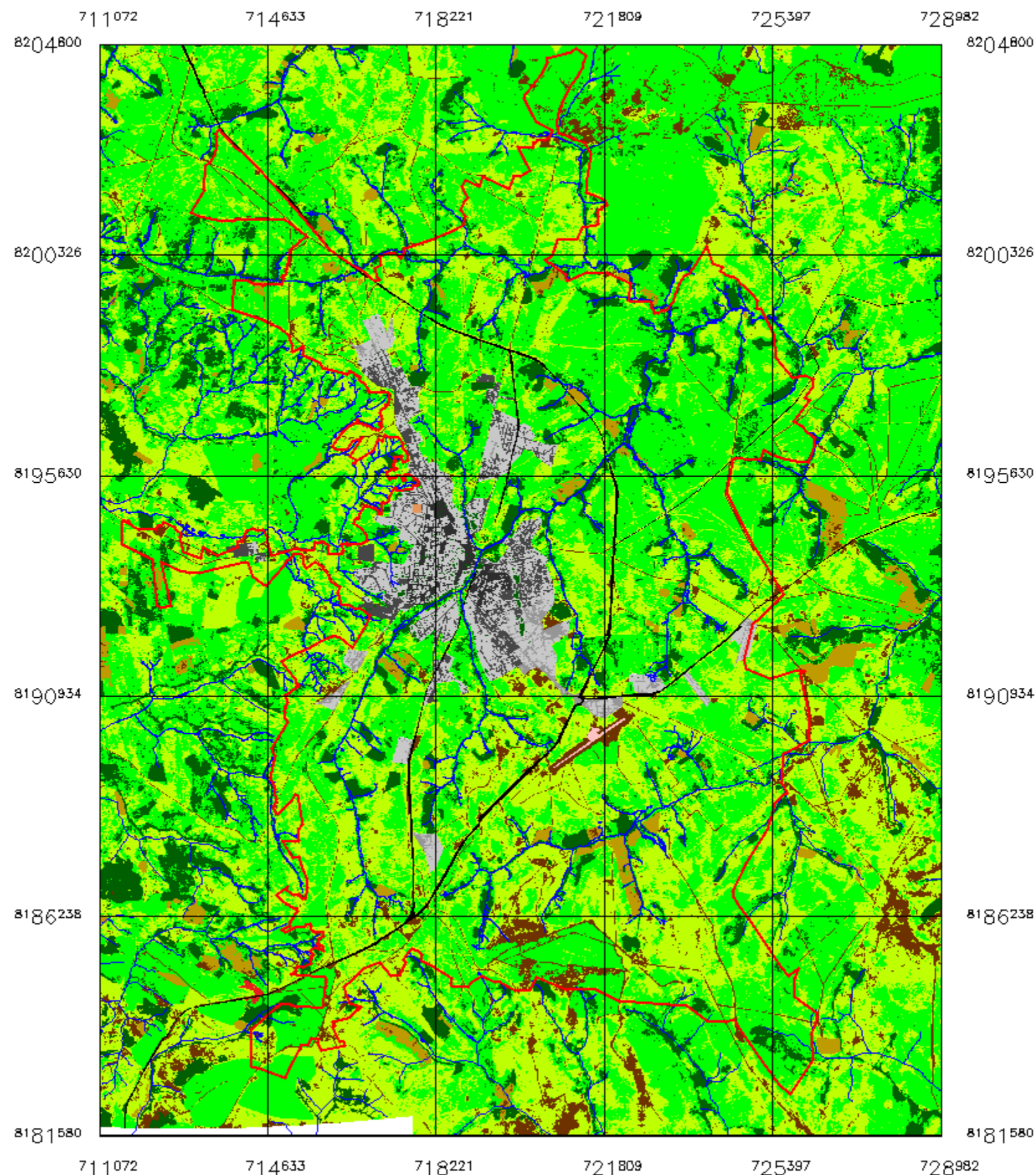
Projeção Cartográfica Universal Transversa de Mercator – UTM
Sistema Geodésico de Referência: South American Datum – SAD 69
Meridiano Central: W.Gr. 51° / Fuso 22 Hemisfério Sul
Elaborado por: Andrelisa Santos de Jesus

Figura C.13 - Mapa pedológico.

Apêndice D - Mapas de uso e cobertura do solo



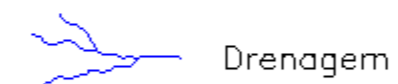
MAPA DE USO E COBERTURA DO SOLO – 1965



LEGENDA

- | | |
|--|----------------------|
| ■ Área Urbana Consolidada | ■ Formação Florestal |
| ■ Área Urbana em Consolidação | ■ Solo Exposto |
| ■ Área Urbana Parcelada | ■ Cemitério |
| ■ Área Urbana Parcelada Veg. Antropizada | ■ Aeroporto |
| ■ Cultivo Temporário e Perene | ■ Via Principal |
| ■ Pastagem | ■ Água, Lago e Lagoa |
| ■ Formação Savânica | ☁ Nuvem |

Convenções Cartográficas



Drenagem



Perímetro Urbano



0 2000 4000 m

Fonte: USAF, 1965/Topocart/ASTER-GDEM

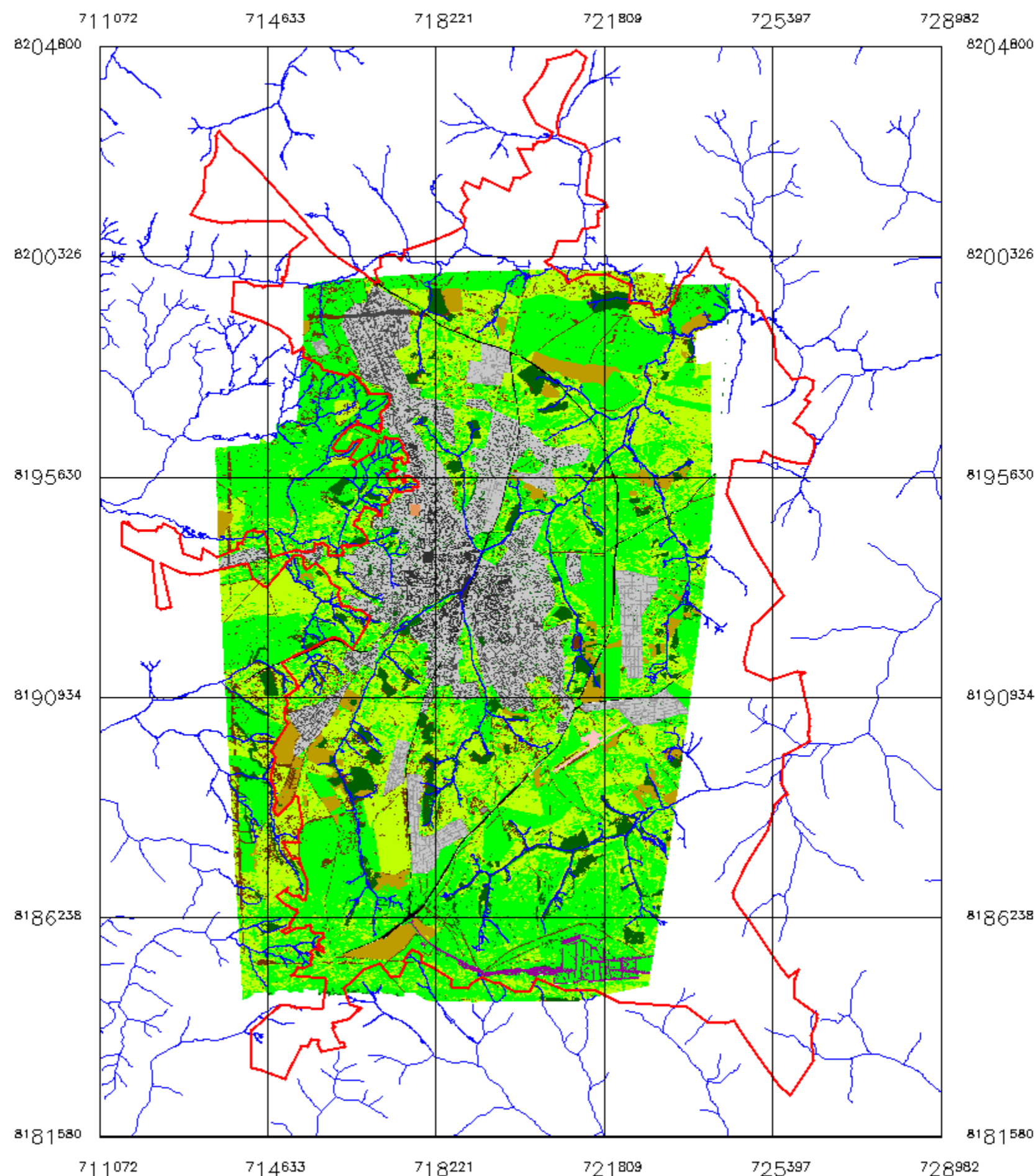
(Resolução de 6 m)

Projeção Cartográfica Universal Transversa de Mercator – UTM
Sistema Geodésico de Referência: South American Datum – SAD 69
Meridiano Central W.Gr. 51° / Fuso 22 Hemisfério Sul
Elaborado por: Pedro Henrique Lopes Batista
e Andrelisa Santos de Jesus

Figura D.1 - Mapa de uso e cobertura do solo de 1965.



MAPA DE USO E COBERTURA DO SOLO – 1977



LEGENDA

- | | |
|--|----------------------|
| ■ Área Urbana Consolidada | ■ Formação Savânica |
| ■ Área Urbana em Consolidação | ■ Formação Florestal |
| ■ Área Urbana Parcelada | ■ Solo Exposto |
| ■ Área Urbana Parcelada Veg. Antropizada | ■ Cemitério |
| ■ Área Urbana Industrial | ■ Aeroporto |
| ■ Cultivo Temporário e Perene | ■ Via Principal |
| ■ Pastagem | ■ Água, Lago e Lagoa |
| | ☁ Nuvem |

Convenções Cartográficas

- | | |
|--|------------------|
| | Drenagem |
| | Perímetro Urbano |



0 2000 4000 m

Fonte: Terrafoto, 1977/Topocart/ASTER-GDEM

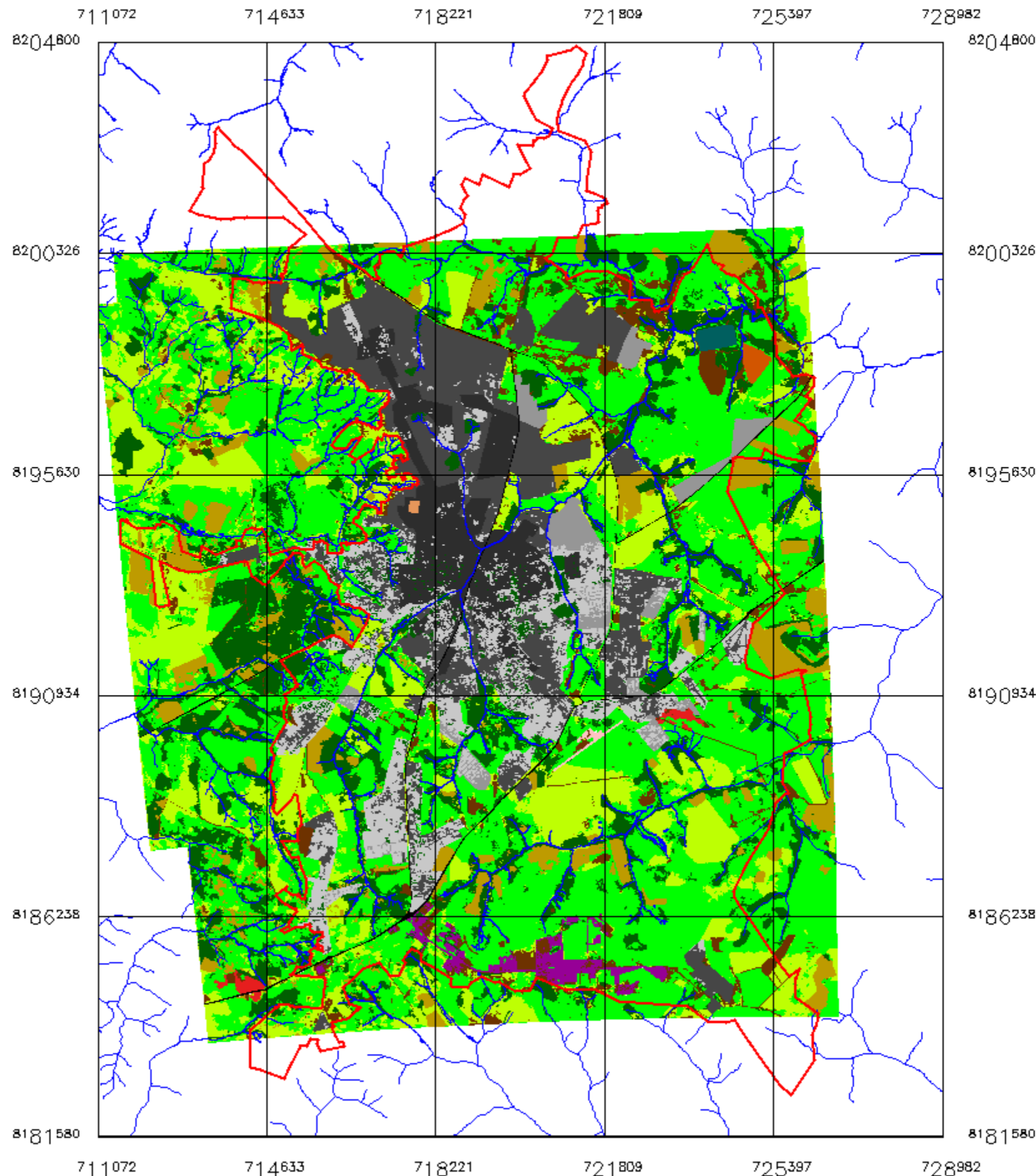
(Resolução de 4.5 m)

Projeção Cartográfica Universal Transversa de Mercator – UTM
Sistema Geodésico de Referência: South American Datum – SAD 69
Meridiano Central W.Gr. 51° / Fuso 22 Hemisfério Sul
Elaborado por: Pedro Henrique Lopes Batista
e Andrelisa Santos de Jesus

Figura D.2 - Mapa de uso e cobertura do solo de 1977.





MAPA DE USO E COBERTURA DO SOLO – 1989



LEGENDA

- | | |
|--|----------------------|
| ■ Área Urbana Consolidada | ■ Solo Exposto |
| ■ Área Urbana em Consolidação | ■ Área Minerada |
| ■ Área Urbana Parcelada | ■ Aterro Sanitário |
| ■ Área Urbana Parcelada Veg. Antropizada | ■ ETE |
| ■ Área Urbana Industrial | ■ Cemitério |
| ■ Cultivo Temporário e Perene | ■ Aeroporto |
| ■ Pastagem | ■ Via Principal |
| ■ Formação Savânica | ■ Água, Lago e Lagoa |
| ■ Formação Florestal | ☁ Nuvem |

Convenções Cartográficas

-  Drenagem
-  Perímetro Urbano



0 2000 4000 m

Fonte: Prefeitura de Anápolis, 1989/Topocart/ASTER-GDEM

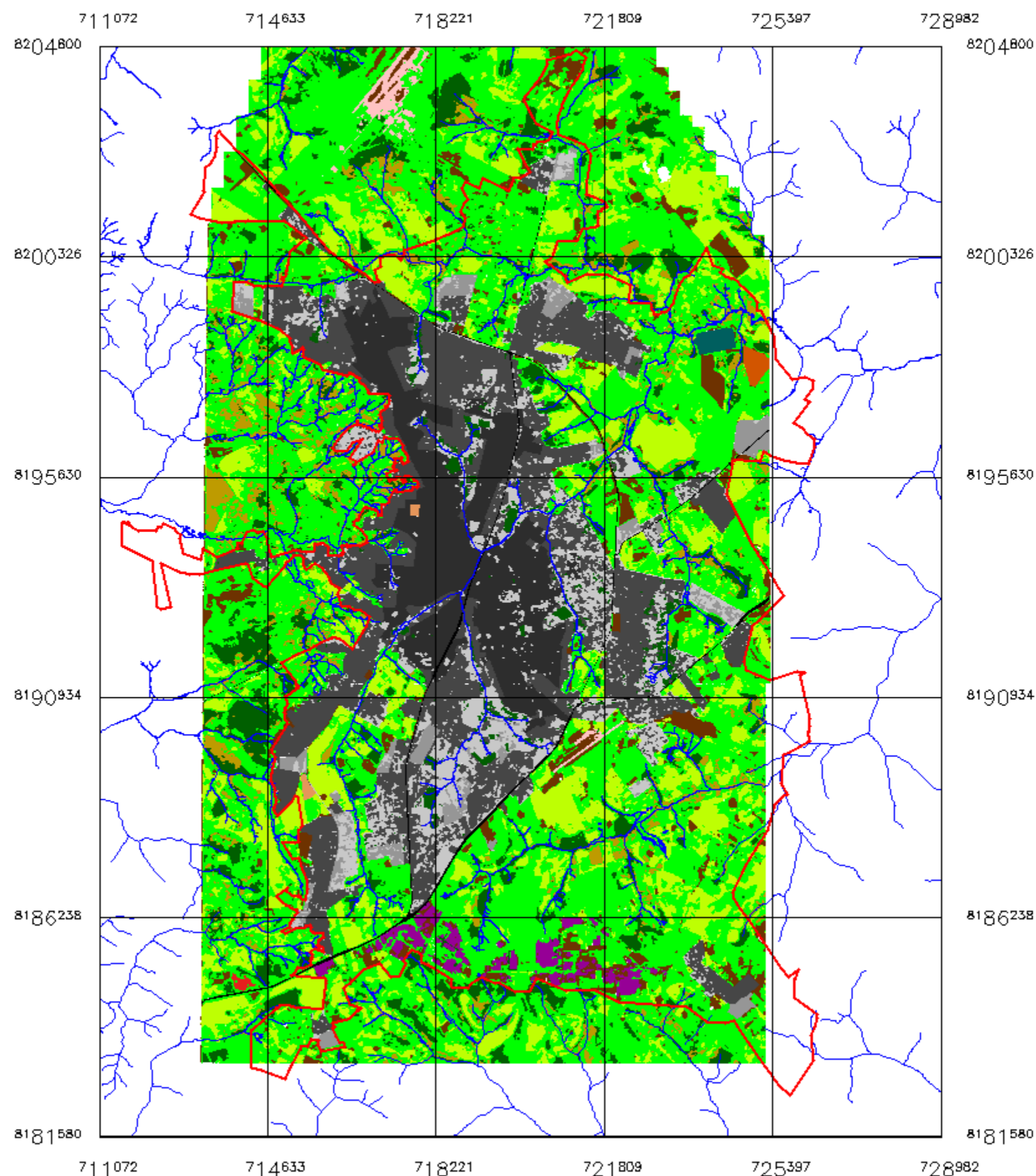
(Resolução de 4 m)

Projeção Cartográfica Universal Transversa de Mercator – UTM
Sistema Geodésico de Referência: South American Datum – SAD 69
Meridiano Central W.Gr. 51° / Fuso 22 Hemisfério Sul
Elaborado por: Pedro Henrique Lopes Batista
e Andrelisa Santos de Jesus

Figura D.3 - Mapa de uso e cobertura do solo de 1989.



MAPA DE USO E COBERTURA DO SOLO – 2001



LEGENDA

- | | |
|--|----------------------|
| ■ Área Urbana Consolidada | ■ Solo Exposto |
| ■ Área Urbana em Consolidação | ■ Área Minerada |
| ■ Área Urbana Parcelada | ■ Aterro Sanitário |
| ■ Área Urbana Parcelada Veg. Antropizada | ■ ETE |
| ■ Área Urbana Industrial | ■ Cemitério |
| ■ Cultivo Temporário e Perene | ■ Aeroporto |
| ■ Pastagem | ■ Via Principal |
| ■ Formação Savânica | ■ Água, Lago e Lagoa |
| ■ Formação Florestal | ☁ Nuvem |

Convenções Cartográficas

- Drenagem
- Perímetro Urbano



0 2000 4000 m

Fonte: Ikonos, 2001/Topocart/ASTER-GDEM

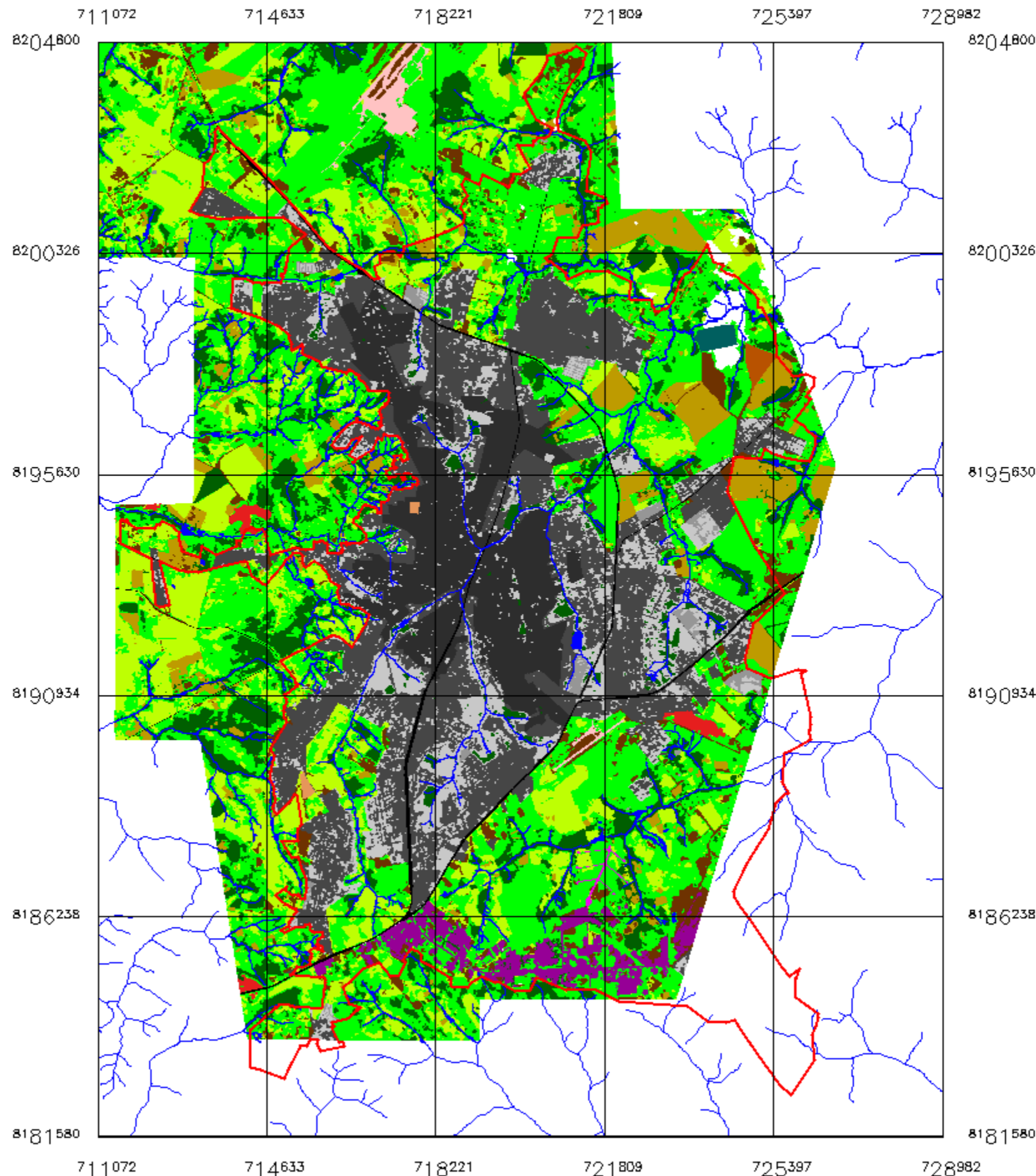
(Resolução de 1 m)

Projeção Cartográfica Universal Transversa de Mercator – UTM
Sistema Geodésico de Referência: South American Datum – SAD 69
Meridiano Central W.Gr. 51° / Fuso 22 Hemisfério Sul
Elaborado por: Pedro Henrique Lopes Batista
e Andrelisa Santos de Jesus

Figura D.4 - Mapa de uso e cobertura do solo de 2001.



MAPA DE USO E COBERTURA DO SOLO – 2008/2007



LEGENDA

- | | |
|--|----------------------|
| ■ Área Urbana Consolidada | ■ Solo Exposto |
| ■ Área Urbana em Consolidação | ■ Área Minerada |
| ■ Área Urbana Parcelada | ■ Aterro Sanitário |
| ■ Área Urbana Parcelada Veg. Antropizada | ■ ETE |
| ■ Área Urbana Industrial | ■ Cemitério |
| ■ Cultivo Temporário e Perene | ■ Aeroporto |
| ■ Pastagem | ■ Via Principal |
| ■ Formação Savânica | ■ Água, Lago e Lagoa |
| ■ Formação Florestal | ☁ Nuvem |

Convenções Cartográficas

- | | |
|--|------------------|
| | Drenagem |
| | Perímetro Urbano |



0 2000 4000 m

Fonte: Quickbird, 2008–2007/Topocart/ASTER–GDEM

(Resolução de 60 cm)

Projeção Cartográfica Universal Transversa de Mercator – UTM
Sistema Geodésico de Referência: South American Datum – SAD 69
Meridiano Central W.Gr. 51° / Fuso 22 Hemisfério Sul

Elaborado por: Pedro Henrique Lopes Batista
e Andrelisa Santos de Jesus

Figura D.5 - Mapa de uso e cobertura do solo de 2008/2007.



MAPA DE USO E COBERTURA DO SOLO – 2010

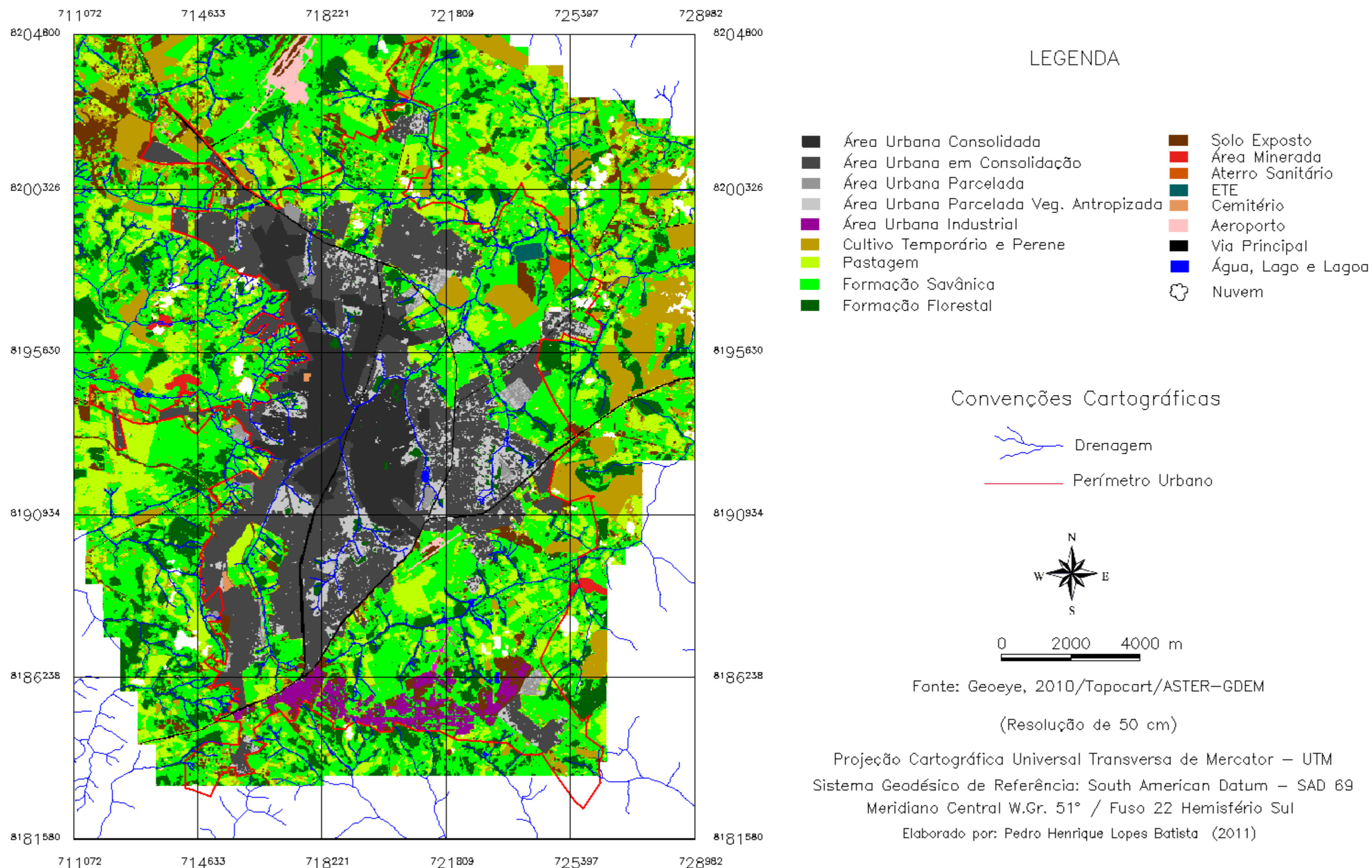


Figura D.6 - Mapa de uso e cobertura do solo de 2010.

Anexo A - Documentos do Comitê de Ética

A.1 PARECER DO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA DO INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA REFERENTE A APROVAÇÃO DA REALIZAÇÃO DA PESQUISA.



Comitê de Ética em Pesquisa
Instituto de Ciências Humanas
Universidade de Brasília

Universidade de Brasília
Instituto de Ciências Humanas
Campus Universitário Darcy Ribeiro

ANÁLISE DE PROJETO DE PESQUISA

Título do Projeto: PROCESSOS EROSIVOS EM ANÁPOLIS(GO): DIAGNÓSTICO, MEDIDAS MITIGADORAS E PREVENÇÃO

Número do projeto: 04-06/2012

Com base nas Resoluções 196/96, do CNS/MS, que regulamenta a ética da pesquisa em seres humanos, o Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos do Instituto de Ciências Humanas da Universidade de Brasília, após análise dos aspectos éticos, resolveu **APROVAR** o projeto intitulado “PROCESSOS EROSIVOS EM ANÁPOLIS(GO): DIAGNÓSTICO, MEDIDAS MITIGADORAS E PREVENÇÃO”.

O pesquisador responsável fica notificado da obrigatoriedade da apresentação de um relatório final sucinto e objetivo sobre o desenvolvimento do Projeto, no prazo de 1 (um) ano a contar da presente data (itens VII.13 letra “d” e IX.2 letra “c” da Resolução CNS 196/96).

Brasília, 22 de julho de 2012.

Debora Diniz
Coordenadora Geral – CEP/IH

A.2 PARECER DO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS REFERENTE A APROVAÇÃO DA REALIZAÇÃO DA PESQUISA.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA



Goiânia, 18 de junho de 2012.

**PARECER CONSUBSTANCIADO REFERENTE AO ATENDIMENTO DE
PENDÊNCIAS EM PROJETO DE PESQUISA**
Protocolo nº 086/12

I. Identificação:

1. *Título do Projeto: Processos erosivos em Anápolis (GO): diagnóstico, medidas mitigadoras e prevenção*
2. *Pesquisador Responsável: Andreisa Santos de Jesus*
3. *Unidade/Órgão: Instituto de Estudos Sócio-Ambientais/IESA-UFV.*
4. *Pesquisadores Participantes: Cláudia Valéria de Lima/IESA-UFV*
5. *Data de apresentação do protocolo ao CEP: 19/04/12*
6. *Data do Relato: 22/05/12*
7. *Data de Atendimento das Pendências: 30/05/12*

II - Parecer do CEP:

Informamos que o *Comitê de Ética em Pesquisa* da Universidade Federal de Goiás, após análise das adequações solicitadas, **Aprovou**, em 18 de junho de 2012, o projeto acima referido, e o mesmo foi considerado em acordo com os princípios éticos vigentes.

O pesquisador responsável deverá encaminhar ao CEP/UFV, relatórios da pesquisa, encerramento, conclusão(ões) e publicação(ões) de acordo com as recomendações da Resolução 196/96.

III - Data da reunião: 18/06/2012


Prof. João Batista de Souza
Coordenador do Comitê de Ética em Pesquisa/CEP

Prof. João Batista de Souza
Coordenador do Comitê de Ética em Pesquisa
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação/UFV

Comitê de Ética em Pesquisa/CEP

Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação/PRPPG-UFV, Caixa Postal: 131, Prédio da Reitoria, Piso 1,
Campus Samambaia (Campus II) - CEP:74001-970, Goiânia – Goiás, Fone: (55-62) 3521-1215.
Email: cep.prppg.ufv@gmail.com

A.3 PARECER DO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS REFERENTE A APROVAÇÃO DO RELATÓRIO FINAL DE PESQUISA.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA



Goiânia, 15 de abril de 2013.

PARECER CONSUBSTANCIADO REFERENTE AO RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE PESQUISA
Protocolo nº 086 /12

I – Identificação

- **Título do projeto:** Processos Erosivos em Anápolis (GO): Diagnóstico, Medidas Mitigadoras e Prevenção
- **Pesquisador Responsável:** Andrelisa Santos de Jesus
- **Instituição onde foi realizado o estudo:** Universidade Federal de Goiás/UFV
- **Data de apresentação ao CEP/UFV:** 07/03/13
- **Área Temática:** Engenharias

II – Projeto de pesquisa

Trata-se do Relatório Final do Projeto de Pesquisa cujo objetivo geral é compreender a gênese e evolução dos processos erosivos na área urbana e periurbana da cidade de Anápolis (GO).

III- Parecer do CEP

- Protocolo: Aprovado o Relatório Final que traz informações pertinentes ao encaminhamento e desfecho da pesquisa. Foi apresentado um documento comprobatório do trabalho de extensão. No relatório final também foi relatado a utilização dos dados da pesquisa para compor um capítulo da tese da responsável pela pesquisa e após a defesa serão elaborados artigos para periódicos e eventos e capítulos de livro.

VI – Data da reunião: 15/04/2012


Prof. João Batista de Souza
Coordenador do Comitê de Ética em Pesquisa/CEP
Prof. João Batista de Souza
Coordenador do Comitê de Ética em Pesquisa
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação/UFV

Comitê de Ética em Pesquisa/CEP
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação/PRPPG-UFV, Caixa Postal: 131, Prédio da Reitoria, Piso 1,
Campus Samambaia (Campus II) - CEP:74001-970, Goiânia – Goiás, Fone: (55-62) 3521-1215.
Email: cep.prppg.ufv@gmail.com