

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

**MAPEAMENTO GEOAMBIENTAL DA ÁREA URBANA DE
MANAUS - AM**

WALLACE VARGAS ROQUE

ORIENTADOR: NEWTON MOREIRA DE SOUZA

CO-ORIENTADORA: NORIS DA COSTA DINIZ

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM GEOTECNIA

PUBLICAÇÃO: G.DM-145/06

BRASÍLIA - DF: MARÇO / 2006

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

**MAPEAMENTO GEOAMBIENTAL DA ÁREA URBANA DE
MANAUS - AM**

WALLACE VARGAS ROQUE

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

APROVADA POR:

**NEWTON MOREIRA DE SOUZA, DSc (UnB)
(ORIENTADOR)**

**MÁRCIO MUNIZ DE FARIAS, PhD (UnB)
(EXAMINADOR INTERNO)**

**FREDERICO GARCIA SOBREIRA, PhD (UFOP)
(EXAMINADOR EXTERNO)**

DATA: BRASÍLIA/DF, 28 DE MARÇO de 2006.

FICHA CATALOGRÁFICA

ROQUE, WALLACE VARGAS

Mapeamento Geoambiental da Área Urbana de Manaus – AM. [Distrito Federal] 2006. xvi, 162 p., 297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Geotecnia, 2006). Dissertação de Mestrado - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil

- | | |
|----------------------------|---------------------------|
| 1. Mapeamento Geoambiental | 2. Região Amazônica |
| 3. Avaliação de Terreno | 4. Cartografia Geotécnica |
| I. ENC/FT/UnB | II. Título (série) |

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ROQUE, W.V. (2006). Mapeamento Geoambiental da Área Urbana de Manaus - AM. Dissertação de Mestrado, publicação nº G.DM-145/06, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 162 p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Wallace Vargas Roque

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO: Mapeamento Geoambiental da Área Urbana de Manaus – AM.

GRAU / ANO: Mestre / 2006

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

Wallace Vargas Roque
SQN 405, BL. N, Ap. 100 Térreo.
Asa Norte - 70846-140
Brasília/DF - Brasil
wallaceroque@unb.br

*Dedico,
a Deus, pela saúde e perseverança a mim concedidos.
A minha esposa, Priscila, pelos momentos de amor e
companheirismo. Aos meus pais, Osmar e Serrat, por
uma vida inteira de dedicação e amor. A minha irmã,
Magda, pelo amor e carinho dados a minha pessoa.*

AGRADECIMENTOS

Venho aqui expressar meu profundo agradecimento a todos aqueles cujas sugestões, críticas e apoios tornaram de alguma forma, possível o desenvolvimento desta pesquisa. Cabe dentre eles destacar:

Ao CNPq pelo apoio financeiro.

À Prefeitura Municipal de Manaus, na pessoa do Dr. René Levy Aguiar, que acreditou em mim e concedeu parte do material necessário ao desenvolvimento da pesquisa.

À empresa SONDAPT Ltda., na pessoa do Engenheiro Geólogo Eduardo Teles de Barros, pela cessão dos relatórios técnicos de sondagens das empresas Consulgeo Fundações LTDA.

À Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais-CPRM, pela cessão dos relatórios técnicos de poços tubulares profundos executados na região urbana de Manaus.

À todos os professores do curso de pós-graduação em geotecnia da Universidade de Brasília, em especial ao professor Newton Moreira de Souza e a professora Noris da Costa Diniz, pela orientação e pelos conhecimentos transmitidos não apenas para a pesquisa.

À todos os colegas e amigos da geotecnia, com especial destaque Isabella, James, Mariana, Sandra, Jenny, Joice e Élder, pela convivência, profunda amizade e apoio tanto nos momentos de dificuldades quanto nos de alegria, compartilhados muitas vezes nas inúmeras madrugadas de estudo.

Aos meus pais Osmar e Serrat, pelo amor, carinho e dedicação a minha pessoa, sem os quais não conseguiria alcançar os meus objetivos. A minha irmã Magda, pela amizade e confiança no meu sucesso.

Aos meus sogros Antonio e Cidinha, pelo apoio e confiança depositados sobre minha pessoa ao longo dessa jornada. Ao primo Wilcelio Roque e sua família, pelo carinho e ajuda prestada no momento em que mais precisei.

Finalmente desejo expressar minha profunda gratidão à minha esposa Priscila, por estar sempre ao meu lado compartilhando os momentos difíceis e de intensa alegria, os quais não haveria sentindo sem a sua presença.

RESUMO

O presente trabalho apresenta um conjunto de procedimentos metodológicos voltados ao reconhecimento do meio físico, com o objetivo de sintetizar as informações de interesse geotécnico em mapas na escala 1:25.000. Essa metodologia contempla a realização de um banco de dados georeferenciado com informações geológico-geotécnicas da área de estudo. A pesquisa foi desenvolvida no município de Manaus/AM, mais precisamente entre os paralelos 2°55'00" e 3°10'00" sul e os meridianos 59°52'30" e 60°07'30" oeste, ocupando uma área total de 354 km², correspondente a área urbana e periurbana da cidade. Utilizaram-se técnicas de interpretação de imagens de sensoriamento remoto, ensaios de caracterização geotécnica, bem como a análise de 241 relatórios técnicos referentes à execução de sondagens de simples reconhecimento (SPT) e poços tubulares profundos, resultando nos seguintes documentos cartográficos: mapa de documentação, carta imagem da área de trabalho, mapa hipsométrico, mapa de declividades, mapa de cobertura e uso do solo, mapa de unidades de terreno. Como forma de aplicação da base de dados gerada, foram elaboradas as seguintes cartas de zoneamento geotécnico: carta de áreas para a disposição de resíduos e carta orientativa para a exploração de materiais de construção. Por fim, apresenta-se aqui uma base de dados com informações geotécnicas, que tem como objetivo geral subsidiar o planejamento urbano e ambiental do município e o aproveitamento sustentável dos seus recursos naturais.

ABSTRACT

This thesis presents a set of systematic procedures directed to the recognition of the environment, with the objective to synthesize information of geotechnical interest in a georeferenced database, being produced, parallel, maps of specific purposes in scale 1:25.000. The research was developed in the city of Manaus/AM, more necessarily between the parallels 2°55'00 "and 3°10'00" south and the meridians 59°52'30 "and 60°07'30" west, occupying a total area of 354km², relative the urban area of the city. Techniques of interpretation of remote sensing images, assays of geotechnical characterization had been used, as well as the analysis of 241 referring reports technician to the execution of soundings of simple recognition and deep tubular wells, resulting in following cartographic documents: map of documentation, letter image of the work area, hypsometric map, map of declivities, map of covering and use of the land, map of geotechnical units. As form of application of the database generated, the following letters of geotechnical zoning had been elaborated: chart of areas for the disposal of residues and chart for the exploration of construction materials. Finally, a database with geotechnical information is presented here, that has as objective generality to subsidize the urban and ambient planning of the city and the sustainable exploitation of its natural resources.

ÍNDICE

1 - APRESENTAÇÃO	1
1.1 - INTRODUÇÃO	1
1.2 - OBJETIVOS	2
1.3 - JUSTIFICATIVA	3
2 - MAPEAMENTO GEOTÉCNICO E SUA APLICAÇÃO	4
2.1 - MAPEAMENTO GEOTÉCNICO E O PLANEJAMENTO	5
2.2 - MÉTODOS DE INVESTIGAÇÃO UTILIZADOS EM MAPEAMENTOS.....	6
2.3 - ABORDAGENS METODOLÓGICAS PARA O MAPEAMENTO.....	9
2.3.1 - ABORDAGEM ANALÍTICA	9
2.3.2 - ABORDAGEM SINTÉTICA.....	11
2.4 - METODOLOGIAS PARA O MAPEAMENTO	13
2.4.1 - METODOLOGIA PUCE	14
2.4.2 - METODOLOGIA MEXE	16
2.4.3 - METODOLOGIA DA IAEG	18
2.5 - MAPEAMENTO GEOTÉCNICO COM BASE NA GEOMORFOLOGIA.....	21
2.6 - COMPARTIMENTAÇÃO FISIAGRÁFICA PARA FINS DE MAPEAMENTO.....	22
2.7 - O USO DOS SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA PARA FINS DE MAPEAMENTO ...	23
2.7.1 - REPRESENTAÇÃO COMPUTACIONAL.....	24
2.7.2 - BANCO DE DADOS.....	25
3 - PERFIS TÍPICOS DE ALTERAÇÃO EM SOLOS TROPICAIS.....	27
3.1 - SOLO RESIDUAL TROPICAL	28
3.1.1 - GÊNESE	29
3.2 - PERFIL TÍPICO DE ALTERAÇÃO	29
3.2.1 - SOLO LATERÍTICO	30
3.2.2 - SOLO SAPROLÍTICO	31
3.3 - CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DOS SOLOS RESIDUAIS TROPICAIS	31
3.3.1 - MAPEAMENTO.....	31
3.3.2 - CARACTERIZAÇÃO	32
3.3.3 - CLASSIFICAÇÃO.....	32
4 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	34
4.1 – LOCALIZAÇÃO E DIVISÃO POLÍTICA.....	34
4.2 – CARACTERIZAÇÃO URBANA.....	35
4.2.1 – HISTÓRICO DA OCUPAÇÃO	35
4.2.2 – CRESCIMENTO DEMOGRÁFICO E O CRESCIMENTO URBANO.....	36

4.2.3 – INFRA-ESTRUTURA URBANA E ASPECTOS SÓCIO-ECONÔMICOS.....	38
4.3 – ASPECTOS FISIAGRÁFICOS	41
4.3.1 – CLIMA	41
4.3.2 – VEGETAÇÃO.....	43
4.3.3 – HIDROGRAFIA.....	43
4.4 – CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS	44
4.4.1 – INTRODUÇÃO.....	44
4.4.2 – GEOLOGIA	45
4.4.2.1 – ESTRATIGRAFIA	45
4.4.2.2 – GEOLOGIA ESTRUTURAL.....	47
4.4.3 – GEOMORFOLOGIA	49
4.4.4 – MATERIAL INCONSOLIDADO.....	51
5 – METODOLOGIA UTILIZADA.....	53
5.1 – COLETA DE INFORMAÇÕES PRÉ-EXISTENTES	54
5.2 – CLASSIFICAÇÃO DO TERRENO.....	55
5.2.1 – MAPAS BÁSICOS.....	55
5.2.1.1 – CARTA IMAGEM DA ÁREA DE ESTUDO.....	56
5.2.1.2 – MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO.....	56
5.2.1.3 – MAPA DE DECLIVIDADE.....	56
5.2.1.4 – MAPA DE DOCUMENTAÇÃO.....	58
5.2.2 – DETERMINAÇÃO DOS <i>LANDFORMS</i>	58
5.3 – CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA	61
5.3.1 – ENSAIOS GEOTÉCNICOS.....	61
5.3.1.1 – COLETA E PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS	62
5.3.1.2 – CARACTERIZAÇÃO EXPEDITA.....	62
5.3.1.3 – DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA	63
5.3.1.4 – LIMITES DE CONSISTÊNCIA.....	64
5.3.2 – ANÁLISE GEOTÉCNICA DAS SONDAGENS.....	64
5.4 – MAPEAMENTO GEOTÉCNICO FINAL.....	68
5.4.1 – MAPA DE COBERTURA E USO DO SOLO.....	71
5.4.2 – CARACTERIZAÇÃO DAS UNIDADES DE TERRENO.....	71
5.4.2.1 – FORMAS DE RELEVO	72
5.4.2.2 – MATERIAL INCONSOLIDADO	72
5.4.2.3 – PERFIL TÍPICO DE N_{spt}	72
5.4.2.4 – AVALIAÇÃO DO TERRENO.....	73
5.4.3 – CARTA DE ÁREAS POTENCIAIS PARA DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS	77
5.4.4 – CARTA ORIENTATIVA PARA A EXPLORAÇÃO DE RECURSOS NATURAIS.....	79
6 – ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	81

6.1	– MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO (MDE).....	81
6.2	– COBERTURA E USO DA TERRA.....	86
6.3	– CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DAS UNIDADES DE TERRENO.....	93
6.3.1	– UNIDADE DE TERRENO Pps (Platô com superfície plana).....	97
6.3.2	– UNIDADE DE TERRENO Plw (Platô com superfície levemente ondulada).....	99
6.3.3	– UNIDADE DE TERRENO Pfr (Fragmento de platô).....	101
6.3.4	– UNIDADE DE TERRENO Sp (Superfície de ligação entre platôs).....	102
6.3.5	– UNIDADE DE TERRENO Ta (Terraço aluvionar).....	104
6.3.6	– UNIDADE DE TERRENO Hcx (Encosta convexa).....	105
6.3.7	– UNIDADE DE TERRENO Hp (Encosta plana).....	107
6.3.8	– UNIDADE DE TERRENO Hcv (Encosta côncava).....	109
6.3.9	– UNIDADE DE TERRENO HcxBcv (Encosta convexa com base côncava).....	110
6.3.10	– UNIDADE DE TERRENO HpTex (Encosta plana com topo convexo).....	112
6.3.11	– UNIDADE DE TERRENO HcvBcx (Encosta côncava com base convexa).....	113
6.3.12	– UNIDADE DE TERRENO Hdr (Cabeceiras de drenagens e anfiteatros).....	115
6.3.13	– UNIDADE DE TERRENO Pfl (Planície de inundação).....	116
6.3.14	– UNIDADE DE TERRENO Dva (Fundo de vale).....	118
6.4	– CARTA DE ÁREAS POTENCIAIS PARA A DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS.....	120
6.5	– CARTA ORIENTATIVA PARA A EXPLORAÇÃO DE RECURSOS NATURAIS.....	122
7	– CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	124
7.1	– CONCLUSÕES.....	124
7.2	– RECOMENDAÇÕES.....	127
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	128
	APÊNDICE A.....	133
	APÊNDICE B.....	148

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Algumas propriedades dos solos pela classificação MCT (modificado de Nogami & Villibor 1995).....	9
Tabela 2.2 – Sistema numérico da metodologia PUCE	15
Tabela 2.3 – Relação entre as categorias de terreno e a escala de trabalho na metodologia MEXE.....	17
Tabela 2.4 – Principais propriedades das formas texturais em imagens de satélite e sua respectiva caracterização.....	23
Tabela 5.1 – Principais documentos utilizados para o desenvolvimento da pesquisa.	55
Tabela 5.2 – Tabela com os valores padrões utilizados na pesquisa.....	66
Tabela 5.3 – Relação entre as classes de susceptibilidade/adequabilidade/favorabilidade e os valores de X.....	73
Tabela 5.4 – Relação entre os atributos para a determinação da susceptibilidade aos processos erosivos, à inundação e aos movimentos de massa.....	74
Tabela 5.5 - Relação entre os atributos para a análise do potencial para loteamentos, estradas e disposição de resíduos.....	75
Tabela 5.6 - Relação entre os atributos para a obtenção do potencial a exploração de argila, areia e cascalho.....	77
Tabela 5.7 – Atributos utilizados para a elaboração da carta de áreas potenciais para a disposição de resíduos.....	78
Tabela 5.8 - Atributos utilizados na elaboração da carta orientativa para a exploração de recursos naturais.....	80
Tabela 6.1– Densidade dos dados, na forma de relatórios de sondagens por unidade geotécnica	95
Tabela 6.2 – Classificação obtida para os materiais inconsolidados de superfície.....	97
Tabela 6.3 – Tabela com os resultados de adequabilidade da unidade Pps.	98
Tabela 6.4 – Tabela com os resultados de adequabilidade da unidade Plw.....	100
Tabela 6.5 – Tabela com os resultados de adequabilidade da unidade Pfr	102
Tabela 6.6 – Tabela com os resultados de adequabilidade da unidade Sp.....	103
Tabela 6.7 – Tabela com os resultados de adequabilidade da unidade Ta.....	105
Tabela 6.8 – Tabela com os resultados de adequabilidade da unidade Hcx	107
Tabela 6.9 – Tabela com os resultados de adequabilidade da unidade Hp	108

Tabela 6.10 – Tabela com os resultados de adequabilidade da unidade Hcv	110
Tabela 6.11 – Tabela com os resultados de adequabilidade da unidade HcxBcv.....	111
Tabela 6.12 – Tabela com os resultados de adequabilidade da unidade HpTcx.....	113
Tabela 6.13 – Tabela com os resultados de adequabilidade da unidade HcvBcx.....	114
Tabela 6.14 – Tabela com os resultados de adequabilidade da unidade Hdr.....	116
Tabela 6.15 – Tabela com os resultados de adequabilidade da unidade Pfl	118
Tabela 6.16 – Tabela com os resultados de adequabilidade da unidade Dva	119
Tabela 6.17 – Quantificação das áreas obtidas por classes de resíduos.....	120
Tabela 6.18 – Quantificação das áreas obtidas por material a ser explorado.....	122

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Aplicação da técnica de avaliação de terreno (modificado de Brink et al., 1966).	12
Figura 2.2 - Formato adotado na metodologia PUCE (Diniz, 1998).	16
Figura 2.3 - Formato adotado na metodologia MEXE (modificado de Dearman, 1991).	18
Figura 2.4 – Estrutura geral de um SIG (Câmara, 1995).	26
Figura 4.1 – Localização da área de estudo.	34
Figura 4.2 – Planta-croquis da cidade de Manaus no ano de 1852 (Monteiro, 1994 citado por Bento, 1998).	36
Figura 4.3 – a) Linha de tendência do crescimento populacional de Manaus; b) Incremento populacional e atividade econômica predominante (IBGE, 2005).	37
Figura 4.4 – Evolução urbana de Manaus para o período de 1685 a 1990.	40
Figura 4.5 – Mapa mostrando Manaus entre as isoietas de 2.000 e 2.200 mm (Sioli, 1991). .	41
Figura 4.6 – a) Precipitações médias anuais para períodos de 10 anos; b) Precipitações médias para o período de um ano; c) Temperaturas máximas, médias e mínimas para o período de um ano; d) Umidade relativa do ar para o período de um ano; e) Evaporação média para o período de um ano; f) Balanço hídrico anual médio para o período entre 1961 a 1990 (INMET, 2006).	42
Figura 4.7 – Esquema da morfologia do leito fluvial do rio Negro (Sioli, 1991).	44
Figura 4.8 – Mapa de Unidades geológicas com a localização da área de trabalho (modificado BRASIL-MME, 1978).	46
Figura 4.9 – Exposição do Arenito Manaus da Formação Alter do Chão (Bento, 1998).	47
Figura 4.10 – Falhamento normal na Formação Alter do Chão (Prado, 2004).	48
Figura 4.11 – Mapa das unidades morfoestruturais com a localização da área de trabalho (modificado BRASIL-MME, 1978).	50
Figura 4.12 – Perfil típico dos platôs na Formação Alter do Chão (Prado, 2004).	52
Figura 5.1 – Carta imagem.	57
Figura 5.2 – Mapa de documentação.	59
Figura 5.3 – Imagem referente a condição utilizada para a fotointerpretação, mostrando as curvas de nível a cada 5m e as drenagens.	60

Figura 5.4 – Carta de classificação utilizada na descrição dos solos pela metodologia MCT (Nogami e Villibor, 1995).....	63
Figura 5.5 – Fluxograma mostrando os procedimentos e suas relações.	65
Figura 5.6 – (a) Tela principal do software; (b) Tela para cadastro dos relatórios de sondagens; (c) Tela de pesquisa por relatórios já cadastrados para edição; (d) Tela para a exportação dos dados.	68
Figura 5.7 – Fluxograma da pesquisa.....	70
Figura 6.1 – Gráficos correspondentes aos perfis do terreno no sentido NW-SE, SW-NE, S-N e E-W da área.	82
Figura 6.2 – Configuração dos perfis.	82
Figura 6.3 – Foto da área próxima ao porto de São Raimundo onde pode ser observada a formação das falésias.	83
Figura 6.4 – Mapa hipsométrico.	84
Figura 6.5 – Mapa de declividade.	85
Figura 6.6 – Erosão típica da região ocasionada pela alto índice pluviométrico e alteração da vegetação natural.....	86
Figura 6.7 – Segmentação da imagem Quickbird com valores de similaridade igual a 15 e área mínima igual 25.....	87
Figura 6.8 – Mapa de uso e cobertura do solo.	88
Figura 6.9 – a) Foto ilustrativa da unidade (http://www.ambientebrasil.com.br); b) Amostra retirada da imagem quickbird referente a classe temática floresta ombrófila densa.....	89
Figura 6.10 – Amostra retirada da imagem quickbird representativa da classe temática floresta ombrófila aberta.	89
Figura 6.11 – Amostra representativa da classe temática mata de várzea.	90
Figura 6.12 – Amostra representativa da classe temática capoeira, obtida na imagem quickbird.....	90
Figura 6.13 – a) campo limpo, forma irregular, cor verde a marrom e textura lisa; b) campo úmido, forma irregular a arredondada, cor verde médio a escuro e textura lisa a pouco rugosa; c) campo sujo, forma irregular, cor verde claro e textura lisa a pouco rugosa.	91
Figura 6.14 – a) amostra representativa da classe agricultura; b) amostra relativa a classe sede rural.	91
Figura 6.15 – a) Aspecto representado na classe temática ocupação urbana; b) amostra representativa da classe temática ocupação urbana; c) amostra representativa da classe temática ocupação periurbana.	92

Figura 6.16 – a) Foto representativa da classe solo exposto; b) amostra representativa da classe solo exposto.	92
Figura 6.17 – a) Foto representativa da classe loteamento recente; b) amostra da classe obtida nas imagens quickbird.	93
Figura 6.18 – Mapa de unidades do terreno.	94
Figura 6.19 – Classificação adotada na análise do perfil geotécnico.	96
Figura 6.20 – Caracterização do perfil geotécnico da unidade de terreno Pps.	98
Figura 6.21 - Caracterização do perfil geotécnico da unidade de terreno Plw.	100
Figura 6.22 – Caracterização do perfil geotécnico da unidade de terreno Pfr.	101
Figura 6.23 - Caracterização do perfil geotécnico da unidade de terreno Sp.	103
Figura 6.24 - Caracterização do perfil geotécnico da unidade de terreno Ta.	104
Figura 6.25 - Caracterização do perfil geotécnico da unidade de terreno Hcx.	106
Figura 6.26 - Caracterização do perfil geotécnico da unidade de terreno Hp.	108
Figura 6.27 - Caracterização do perfil geotécnico da unidade de terreno Hcv.	109
Figura 6.28 - Caracterização do perfil geotécnico da unidade de terreno HcxBev.	111
Figura 6.29 - Caracterização do perfil geotécnico da unidade de terreno HpTcx.	112
Figura 6.30 - Caracterização do perfil geotécnico da unidade de terreno HcvBcx.	114
Figura 6.31 - Caracterização do perfil geotécnico da unidade de terreno Hdr.	115
Figura 6.32 - Caracterização do perfil geotécnico da unidade de terreno Pfl.	117
Figura 6.33 - Caracterização do perfil geotécnico da unidade de terreno Dva.	119
Figura 6.34 – Carta de áreas potenciais para a disposição de resíduos.	121
Figura 6.35 – Carta orientativa para a exploração de recursos naturais.	123

LISTA DE SÍMBOLOS

% - Por cento

3D – Três Dimensões

AASHO – *American Association of State Highway Officials*

ABGE - Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

AM - Amazonas

cm – Centímetros

CNPQ – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

COSAMA – Companhia de Saneamento do Estado do Amazonas

CPRM – Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais

E – Leste

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

ha - Hectares

IAEG – “*International Association of Engineering Geology*”

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IMPLURB - Instituto Municipal de Planejamento Urbano

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

Km - Kilometros

Km² - Kilometros quadrados

m – Metro

MCT – Miniatura, Compactado, Tropical

MDE – Modelo Digital de Elevação

MEXE – *Military Engineering Experimental Establishment*

mm – Milímetros

MNT – Modelos Numéricos de Terreno

N – Norte

NBR – Norma Brasileira

NE – Nordeste

Nspt – Número de *Standart Penetration Test*

NW - Noroeste

LISTA DE SÍMBOLOS (Continuação)

O – Oeste

PUCE – *Pattern, Unit, Component, Evaluation*

S – Sul

SE – Sudeste

SIG – Sistema de Informações Geográficas

SPRING - Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas

SPT - “*Standard Penetration Test*” (Sondagem de Simples Reconhecimento)

SW – Sudoeste

UFAM - Universidade Federal do Amazonas

UnB - Universidade de Brasília

UNESCO - Organ. das Nações Unidas para o progresso da Educação, Ciência e Cultura

W – Oeste

1 - APRESENTAÇÃO

1.1 - INTRODUÇÃO

Ao longo de sua história, o mapeamento geotécnico tem se mostrado como uma ferramenta eficaz no reconhecimento do meio físico. Durante muitos anos a sua aplicação foi realizada de forma pontual, muita das vezes em função da construção de obras de engenharia ou em caráter emergencial, como base para a aplicação de medidas mitigadoras. O potencial de integração entre as características ambientais e informações socioeconômicas transformou-o em uma das principais ferramentas para a criação de políticas públicas de gestão urbana e territorial, subsidiando o desenvolvimento sustentável e ambientalmente correto.

A tomada de consciência e a possibilidade de utilização das informações do meio físico para o planejamento urbano e ambiental incentivaram o desenvolvimento de novas técnicas que orientassem a coleta, análise, manipulação, apresentação e armazenamento destas informações. Assim sendo, tornou-se possível a elaboração de documentos cartográficos em grande escala com informações geológicas-geotécnicas, permitindo a formulação de modelos de entendimento e previsibilidade do comportamento do terreno assim como o estudo de soluções para os problemas decorrentes da relação homem e meio ambiente.

Não obstante, o município de Manaus apresenta inúmeros problemas sócio-ambientais ocasionados pela ocupação humana inadequada induzida pelo crescimento demográfico acentuado em um período curto de tempo, sem uma política de controle desta intervenção sobre o meio. A situação ainda é agravada pela falta de conhecimento técnico das características do meio físico, muito comum às cidades da região amazônica, tornando cada vez pior o contexto ambiental local face às intervenções humanas.

Na região o desenvolvimento é principalmente voltado ao reconhecimento das características geológicas e dos fatores intervientes a sua formação. Neste contexto podem-se ressaltar os trabalhos de Igreja e Franzinelli (1987), Fernandes Filho (1995 e 1996), Oliveira et al. (1995),

Franzinelli e Rossi (1996) e Carvalho et al. (2003). A abordagem geotécnica só fora retratada a partir dos estudos de Frota et al. (1987), Lucas (1989), Bento (1998) e Prado (2004), sendo que somente os dois últimos estão contextualizados à cartografia geotécnica.

Neste sentido, o presente trabalho visa contribuir ao conhecimento geológico-geotécnico da região por meio da elaboração de cartas de zoneamento geotécnico. Para isso, utilizou-se a técnica de avaliação de terreno por meio da fotointerpretação dos produtos de sensoriamento remoto, assim como a análise de relatórios técnicos de sondagens de simples reconhecimento e poços tubulares profundos, além de informações obtidas a partir de ensaios de caracterização geotécnica. De uma forma mais ampla, espera-se ampliar o volume de informações existentes sobre o meio físico possibilitando a atualização do planejamento urbano e a implantação de políticas de desenvolvimento sustentável da região.

Esta dissertação compreende sete seções primárias: apresentação, mapeamento geotécnico e sua aplicação, perfis típicos de alteração, caracterização da área de estudo, metodologia utilizada, análise dos resultados e conclusões e sugestões.

O capítulo 1 refere-se à introdução onde são descritos os objetivos e as justificativas da pesquisa; o capítulo 2 trata da revisão bibliográfica, revendo os aspectos que envolvem o mapeamento geotécnico e a sua aplicação; o capítulo 3 trata das técnicas de investigação e análise dos perfis típicos de alteração; o capítulo 4 trata das características gerais da região e da área de trabalho, retratando sua localização geográfica na cartografia internacional, seus aspectos socioeconômicos e fisiográficos, e por fim as características geológicas; o capítulo 5 disserta sobre a metodologia utilizada, retratando a obtenção das informações, bem como sua análise e a relação entre os atributos do meio físico para a obtenção das cartas de zoneamento; o capítulo 6 trata da análise e discussão dos resultados obtidos; o capítulo 7 faz a exposição das conclusões e das sugestões para pesquisas futuras.

1.2 - OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é o desenvolvimento, com base nas metodologias de avaliação de terreno, das cartas de zoneamento geotécnico na escala 1:25.000, obtendo as unidades geotécnicas representativas da área urbana do município de Manaus.

Paralelamente ao trabalho de zoneamento, teve-se como objetivo secundário a elaboração do mapa de uso e cobertura do solo atualizado, possibilitando a análise da região em relação a adequabilidade para a disposição de resíduos e a exploração de recursos naturais.

Ao final, obteve-se um banco de dados georeferenciado num sistema de informação geográfica (SIG), a fim de auxiliar no processo de tomada de decisão. Estes recursos agilizam e viabilizam as atividades de levantamento, análise, finalização e posteriores atualizações das informações espaciais.

1.3 - JUSTIFICATIVA

Os municípios amazônicos possuem inúmeros aspectos que dificultam o desenvolvimento da ocupação urbana de forma adequada, tais como: a grande extensão, a escassez de recursos, as características peculiares do meio físico e a falta de informações sobre o mesmo.

De modo geral, o zoneamento geotécnico proporciona o conhecimento das características básicas do meio físico, subsidiando o desenvolvimento adequado tecnicamente de um planejamento urbano e ambiental.

Neste contexto, este trabalho fornece um conhecimento mais detalhado da região permitindo uma visão integrada das informações, onde estas se encontram individualizadas em unidades que refletem a organização espacial das características do meio físico. Isto permitirá uma redução substancial nas etapas preliminares do planejamento urbano e ambiental da área urbana da cidade e no tempo de análise dos riscos ambientais em meio à atividade antrópica.

2 - MAPEAMENTO GEOTÉCNICO E SUA APLICAÇÃO

O mapeamento geotécnico surgiu no início do século XX, em busca de se conhecer as características e o comportamento do meio físico, sendo que inicialmente pensava-se na sua utilização com enfoque voltado às obras de engenharia. Na segunda metade do século surgem as questões ambientais que passam a ser incorporadas em seus objetivos de atuação, em decorrência da necessidade de se considerar os limites ambientais no uso e ocupação do meio físico.

O conhecimento das características do meio físico é de fundamental importância na avaliação da implantação das obras de engenharia, no planejamento territorial e na exploração dos recursos naturais, pois permite o conhecimento prévio das limitações e das potencialidades de uma determinada região.

A abordagem preventiva inerente aos estudos de mapeamento permite a aplicação de soluções mais adequadas e otimizadas, graças à possibilidade de uma análise integrada entre os problemas e os recursos que envolvem o meio físico no ato de sua ocupação. De acordo com Matula (1969), o mapeamento geotécnico tem sido uma ferramenta importante, nos mais diversos países, na delimitação e fiscalização da ocupação territorial com embasamento técnico e ambientalmente correto, permitindo que a interação homem e meio ambiente seja realizada de forma adequada.

Neste contexto, Zuquette (1987) afirma que o mapa ou carta geotécnica é a representação gráfica na qual são avaliados todos os componentes de um ambiente geológico de particular interesse para o planejamento, projeto e construção civil. Zuquette (1993) define o mapeamento geotécnico como sendo um conjunto de procedimentos com a finalidade de se obter as representações gráficas das características geológicas-geotécnicas, fundamentais ao planejamento das atividades antrópicas. De uma forma geral estas características são obtidas de forma bastante variada, sendo função da metodologia utilizada, da escala de trabalho e dos objetivos da aplicação. Para a IAEG (1976), o mapa geotécnico é um tipo de mapa geológico

que fornece uma representação generalizada de todos os componentes do ambiente geológico de significado no planejamento do uso e ocupação dos terrenos, e em projetos, construção e manutenção, aplicada a obras civis e de mineração. Na prática conclui-se então, que um dos objetivos do mapeamento geotécnico é fornecer diretrizes, seja na fase de implantação de obras de engenharia ou no planejamento urbano e ambiental de uma determinada região.

Segundo Prado (2004), em um mapeamento geotécnico os trabalhos de investigação são os principais fornecedores de informações. Esses trabalhos são realizados com o objetivo de caracterizar e permitir a análise dos materiais inconsolidados e de sua distribuição. De uma forma geral, a escolha dos métodos e dos ensaios de investigação a serem utilizados dentro da diversidade existente deve ser feita conforme os seus resultados satisfaçam os objetivos do mapeamento, a metodologia e a escala adotada.

A compartimentação geotécnica também está diretamente ligada à metodologia utilizada, à escala e aos objetivos do mapeamento. Sua diversidade tem dado um caráter subjetivo aos limites que encerram as porções do terreno, além de proporcionar um universo de denominações para os compartimentos mapeados.

Em um mapeamento geotécnico existem dois procedimentos básicos para a espacialização das informações: a análise integrada, representada pela abordagem de avaliação de terreno, e a análise multitemática, a qual faz parte de um levantamento individual das informações temáticas para a sua posterior integração.

Atualmente, os sistemas de informação geográfica (SIG) tornaram-se importantes instrumentos de apoio na elaboração dos trabalhos de mapeamento, principalmente devido a sua eficácia no tratamento e manipulação das informações espaciais e a possibilidade de gerar novos dados a partir da sua integração, organizados em um banco de dados georeferenciado.

2.1 - MAPEAMENTO GEOTÉCNICO E O PLANEJAMENTO

O desenvolvimento equilibrado de uma região deve ser resultado de uma relação harmônica entre a atividade antrópica e o meio ambiente, de forma a permitir o uso adequado dos recursos, a fim de suprir as necessidades sócio-econômicas. A elaboração de um planejamento deve considerar os limites do meio físico quanto ao seu uso e procurar compatibilizá-lo com o

crescimento urbano que está se desenvolvendo, bem como considerar a existência de locais que estejam sujeitos a riscos naturais ou induzidos pela possível ocupação.

Neste contexto, o mapeamento do meio físico subsidia a elaboração correta de um planejamento urbano e ambiental, no momento em que permite o conhecimento do meio físico e da variação espacial de suas propriedades. Este tipo de estudo proporciona a adoção de decisões tecnicamente corretas baseadas nas características do meio ambiente, nas necessidades da sociedade e nos fatores operacionais para uma dada região.

De uma forma geral, o desenvolvimento do processo de planejamento deve partir de um conjunto de informações oriundas de diferentes campos de estudos, obtidos de forma diferenciada e com significados particulares, mas que propiciem um nível mínimo de conhecimento a fim de que se possam tomar as decisões adequadas.

Segundo Zuquette (1993), um planejamento pode ser desenvolvido para duas situações básicas:

- Regional – quando a região considerada envolver extensões superiores a 500 km² e diferentes tipos de ocupação;
- Urbana – quando envolve os centros urbanos e suas áreas de expansão.

Não necessariamente os documentos básicos devem ter suas escalas condicionadas à situação de planejamento, pois esta é função direta da extensão territorial e dos tipos de ocupação. Mas em qualquer das situações deve-se salientar a importância da etapa relativa à coleta, produção e interpretação das informações no desenvolvimento das etapas seguintes, já que estas serão as principais informações na definição da solução dos processos. Esta decisão deve ser direcionada à finalidade do planejamento, ou seja, a elaboração de planos diretores, a análises de áreas de riscos, a investigações locais, fiscalização ou a outros mapeamentos de uso específico.

2.2 - MÉTODOS DE INVESTIGAÇÃO UTILIZADOS EM MAPEAMENTOS

O mapeamento geotécnico, de uma forma geral, constitui-se em um conjunto de procedimentos necessários ao conhecimento do meio físico e do seu comportamento frente às inúmeras formas de ocupação e, desta forma deve ser considerado como uma metodologia

científica de investigação. Pejon (1992) considera que o mapeamento geotécnico deve ser um processo científico de investigação da natureza, que permita a obtenção de um produto que possa ser utilizado para diversos fins como o planeamento da ocupação de uma região, por exemplo.

A elaboração de mapeamento geotécnico deve partir de uma esquematização do problema, seguido pela definição de uma hipótese de trabalho em concordância com a finalidade do estudo. Em uma primeira fase tem-se o levantamento bibliográfico, onde são analisadas todas as informações existentes sobre a área de estudo, como mapas, trabalhos de campo e de laboratório. Em uma segunda fase, dá-se início ao processo classificatório, em geral, a delimitação dos *landforms*, buscando a divisão da área em diversas unidades, em função das propriedades e relações dos atributos previamente escolhidos. Por hipótese, essas unidades representam zonas homogêneas quanto às características dos componentes do meio físico analisado.

Com o avanço dos trabalhos, são realizados os estudos experimentais onde a hipótese será comprovada. Desta forma, são realizadas amostragens dos materiais inconsolidados e das rochas e, em alguns casos, são realizados ensaios *in situ*. Os ensaios posteriormente realizados devem apresentar resultados semelhantes para uma mesma unidade e, quando necessário deve-se fazer uso de métodos estatísticos.

Em um mapeamento geotécnico, o número de pontos amostrados está diretamente relacionado com o grau de detalhamento do trabalho, ou seja, da escala. A escolha de uma escala compatível com o número de informações existentes é imprescindível para se obter a confiabilidade no produto final (Prado, 2004).

No geral, as principais ferramentas utilizadas na execução de um mapeamento são o sensoriamento remoto, os ensaios geofísicos, ensaios *in situ* e laboratoriais e as sondagens mecânicas.

O sensoriamento remoto tornou-se indispensável à execução dos trabalhos de mapeamento, graças à possibilidade de integração das informações por meio de dados sensores como as fotografias aéreas e as imagens de satélite, somado ao baixo custo por unidade de área. Sua capacidade de estocagem e a possibilidade de constante atualização das informações, além das

ferramentas de manipulação, diminuem substancialmente o tempo de trabalho e possibilitam a redução dos trabalhos de campo.

Segundo Prado (2004), os métodos geofísicos constituem um conjunto de ensaios que permitem determinar os parâmetros físicos dos maciços, os quais possuem estreitas relações com algumas das suas características geológico-geotécnicas, como o grau de alteração, fraturamento e tipo litológico, que são aspectos fundamentais na investigação de uma determinada área.

As sondagens de simples reconhecimento (SPT) podem ser definidas como sendo um tipo de prospecção do subsolo, que tem como objetivo determinar as características do perfil geotécnico, nível d'água e as características de resistência dos solos. Com as sondagens é possível definir as propriedades dos materiais ao longo da linha de perfuração, descrevendo os testemunhos, as variações litológicas e as características geotécnicas.

Os ensaios geotécnicos são procedimentos utilizados para a determinação das propriedades dos materiais, possibilitando a sua classificação em diferentes grupos. Sua execução é de baixo custo e permite caracterizar os diferentes grupos de materiais inconsolidados e sua distribuição. Os ensaios mais comuns são: os ensaios de umidade, massa específica dos sólidos, granulometria, limites de consistência e ensaios de caracterização MCT.

Os ensaios da classificação MCT (Miniatura Compactada Tropical) (Nogami & Villibor, 1995), desenvolvidos para os solos tropicais, dividem os materiais inconsolidados em dois grandes grupos: solos de comportamento laterítico (L) e de comportamento não laterítico (N). Essas duas classes são subdivididas conforme a fração granulométrica e textura predominante (A- areia, A'- arenoso, S'- siltiloso, G'- argiloso), possuindo diferentes comportamentos e propriedades geotécnicas (Tabela 2.1).

Tabela 2.1 – Algumas propriedades dos solos pela classificação MCT (modificado de Nogami & Villibor 1995)

Comportamento	N = Não Laterítico				L = Laterítico		
	NA	NA'	NS'	NG'	LA	LA'	LG'
Expansão	Baixa	Baixa	Alta	Média a Alta	Baixa	Baixa	Baixa
Permeabilidade	Média a Alta	Baixa	Baixa a Média	Baixa a Média	Baixa a Média	Baixa	Baixa
Contração	Baixa	Baixa a Média	Média	Média a Alta	Baixa	Baixa a Média	Média a Alta
Capacidade de Sorção	Alta	Baixa a Média	Alta	Média a Alta	Baixa	Baixa	Baixa

NA – areias siltosas com siltes quartzosos e siltes argilosos não-lateríticos / NA' – areias siltosas e areias argilosas não-lateríticas / NS' – siltes caolínicos e micáceos, siltes arenosos e siltes argilosos não-lateríticos / NG' – argilas, argilas siltosas e argilas arenosas não-lateríticas / LA – areias com pouco argila laterítica / LA' – areias argilosas lateríticas / LG' – argilas lateríticas e argilas lateríticas arenosas.

2.3 - ABORDAGENS METODOLÓGICAS PARA O MAPEAMENTO

As metodologias desenvolvidas para o mapeamento geotécnico podem ser divididas em dois grandes grupos, em função da forma de espacialização das informações: as multitemáticas e as integradas.

2.3.1 - ABORDAGEM ANALÍTICA

Na abordagem multitemática os produtos cartográficos são trabalhados separadamente para posterior integração, de acordo com uma finalidade específica, podendo ter pesos diferenciados ou não. A técnica mais utilizada é conhecida como álgebra de mapas que pode ser vista como uma extensão da álgebra tradicional, com um conjunto de operadores onde as variáveis são campos geográficos. Estes operadores podem manipular inúmeros geocampos, sendo que cada um descreve um atributo diferente.

A álgebra de mapas pode examinar critérios sociais, físicos, biológicos e outros, para determinar áreas com o mesmo potencial. Baseia-se no princípio de que a paisagem é resultante dos múltiplos fatores que constituem o meio ambiente. De uma forma geral, a sua aplicação se dá pela combinação de diversos temas por meio de mapas representativos dos

diversos componentes do meio ambiente. A sobreposição desses mapas, sob determinados critérios, permite a distinção de áreas mais adequadas segundo uma finalidade.

Os SIG são capazes de realizar as análises multitemáticas de forma ágil e precisa, pois permitem a partir de algoritmos específicos realizar a combinação de dados de diversas fontes, tanto no domínio vetorial quanto no matricial. Atualmente a álgebra de mapas é a base para as operações de análise em diferentes sistemas, tendo como funções mais utilizadas a proximidade, vizinhança, reclassificação, intersecção de mapas e operações algébricas não cumulativas e cumulativas.

A análise de proximidade ou operação de *buffer* consiste em gerar zonas com larguras especificadas, na forma de faixas, em torno de um ou mais elementos (ponto, linha ou polígono) de um mapa temático.

A análise de vizinhança trabalha algebricamente os atributos de um determinado *pixel* em relação aos seus vizinhos imediatos. É amplamente utilizada na obtenção de superfícies que aproximem o fenômeno estudado da representação real, levando em consideração sua variabilidade espacial.

A função de reclassificação é capaz de agrupar classes distintas de um mapa temático sob novas regras, ou seja, com base no rearranjo de seus atributos. A forma como será realizada a reclassificação depende do objetivo e da natureza dos dados trabalhados.

As intersecções de mapas consistem na simples sobreposição de planos de informação com o objetivo de se identificar áreas com características previamente definidas ou não. As análises de intersecção, devido ao georeferenciamento a qual todos os planos de informação foram submetidos, podem ser eficazmente implementadas sem um limite máximo de operações.

As análises algébricas cumulativas correspondem às operações de adição, subtração, divisão e multiplicação entre as matrizes correspondentes ao arranjo dos dados espaciais contidos nos mapas. Na maioria dos casos fornecem resultados ambíguos, ou seja, valores muito elevados ou muito baixos.

As análises algébricas não cumulativas baseiam-se nas operações condicionais, podendo ter a atribuição de pesos ou não para os atributos. A lógica booleana é a forma mais simples de aplicar este tipo de análise, consiste em estabelecer limites baseados em informações inadequadas, atributo 0 (zero), ou adequadas, atributo 1 (um). A análise booleana faz uso de operadores condicionais: “não”, “e”, “ou” e “sim”.

2.3.2 - ABORDAGEM SINTÉTICA

Também conhecida como avaliação de terreno, esta abordagem baseia-se na identificação e análise das feições de relevo (*landforms*), as quais são resultados dos processos naturais atuantes sobre a superfície terrestre. Portanto, nesse processo são obtidas unidades de terreno com base na análise dos padrões fisiográficos do relevo, e a partir do emprego das técnicas de fotointerpretação aplicados em dados de sensoriamento remoto.

Segundo Grant (1970), o primeiro trabalho em escala regional que fez uso dos *landforms* foi realizado por Heberon no início do século XX, mas somente com Bourne (1931), ocorreu a primeira discussão sobre o uso desta técnica no zoneamento regional. Nos trabalhos de Belcher (1942 e 1943), são estabelecidas as primeiras relações entre os elementos da paisagem e as condições dos solos e rochas e suas características.

Com o surgimento dos trabalhos de fotointerpretação, a técnica de avaliação de terreno se popularizou, passando a ser utilizada em inúmeros trabalhos com diversas finalidades. Essa técnica influenciou inúmeras metodologias, com destaque para a metodologia PUCE, desenvolvida na Austrália e a metodologia Oxford-MEXE, desenvolvida na Inglaterra.

Assim, pode-se dizer que a avaliação de terreno é o processo de identificação de áreas consideradas homogêneas, de acordo com a escala de trabalho e com o objetivo do mapeamento. Sua capacidade é potencializada e o tempo de execução é reduzido quando se trabalha com os produtos de sensoriamento remoto, pois esses permitem uma visão integrada, expondo com clareza a organização espacial do meio físico.

Em um trabalho de fotointerpretação tem-se que a menor superfície contínua e homogênea distinguível em um dado sensor e passível de repetição é denominada textura ou elemento textural. Segundo Sausen et al. (1982), as variações texturais do relevo e da drenagem

constituem a propriedade fundamental da análise da imagem, pois permitem associar, ou não, feições segundo suas características.

Segundo Verstappen (1977), a obtenção dos *landforms* a partir da fotointerpretação não deve se basear apenas nas características texturais do dado sensor, mas também nas associações existentes entre essas e os fenômenos não visíveis como os processos, as propriedades hidrológicas, as características pedológicas, etc.

Segundo Brink et al. (1966), para esta análise são comumente utilizados três níveis hierárquicos: sistema de terreno (*land system*), unidade de terreno (*land unit*) e elemento de terreno (*land element*) (Figura 2.1). Estes níveis são escolhidos de acordo com a escala, a finalidade e o grau de detalhamento do mapeamento.

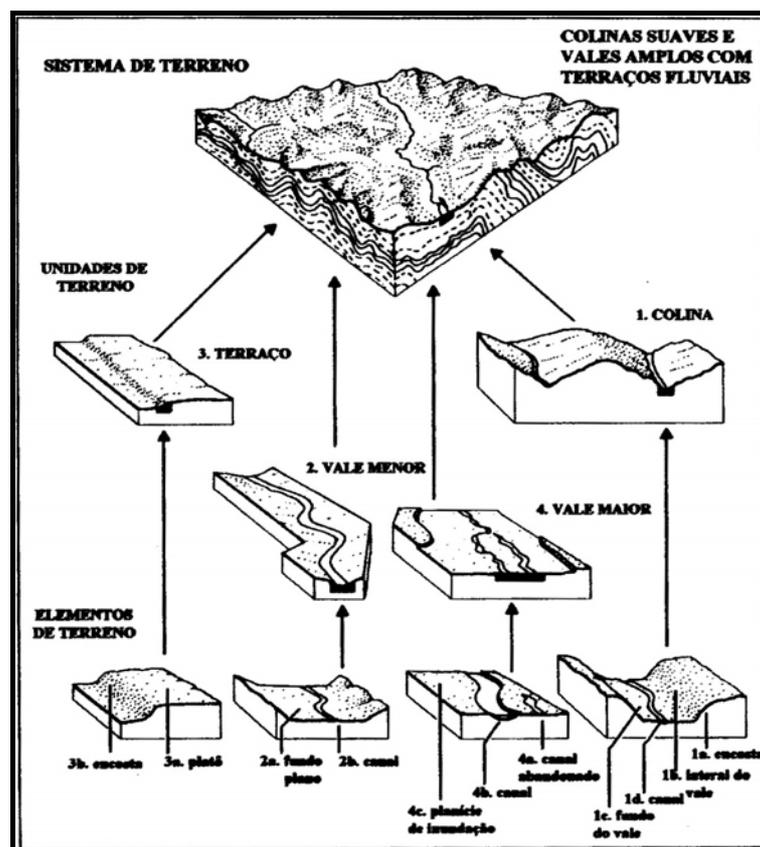


Figura 2.1 - Aplicação da técnica de avaliação de terreno (modificado de Brink et al., 1966).

O sistema de terreno é o maior nível hierárquico sendo definido por critérios geomorfológicos, tais como: amplitude do relevo local, modelo e densidade de drenagem. Normalmente observa-se uma consistência e uniformidade no padrão das formas de relevo.

Segundo Dearman (1991), a unidade de terreno é a base para o mapeamento sendo definida segundo a geologia, o regime hidrológico e a forma de relevo. O elemento de terreno pode ser considerado com sendo uma parcela da unidade de terreno, tendo como base as características geomorfológicas como o tipo e a declividades das encostas, tipo de perfil de solo, uso ou cobertura da terra, vegetação e litologias do substrato rochoso.

Numa etapa posterior os ensaios de campo serão utilizados na verificação da confiabilidade dos resultados obtidos na fotointerpretação, podendo indicar ou não um possível ajuste da mesma. Esta etapa consiste no levantamento de seções-tipo dos *landforms* identificados, caracterizando os materiais bem como verificando sua variabilidade vertical.

2.4 - METODOLOGIAS PARA O MAPEAMENTO

Atualmente, o mapeamento geotécnico mostra-se uma importante ferramenta para a gestão do meio físico, fornecendo as informações necessárias para a análise de possíveis riscos e para um planejamento adequado de uma região. Diversos são os fatores que estimulam o seu uso, dentre eles pode-se citar a mobilidade da escala de trabalho, o seu desenvolvimento voltado a uma finalidade e a visão integrada das características do meio físico.

A escala de um mapa geotécnico depende da finalidade a qual o estudo se destina e está relacionada com o nível de detalhamento do mesmo. Pode abranger um ambiente urbano (escalas entre 1:50.000 a 1: 5.000), onde se procuram identificar as áreas potenciais para os riscos geológico-geotécnicos; ou regional (1:100.000 a 1:250.000), que são os estudos voltados ao planejamento regional.

Os mapas geotécnicos, como já dito anteriormente, possibilitam uma visão integrada do meio físico, ou seja, fornecem uma análise conjunta das características geológicas, geomorfológicas, geodinâmicas, hidrogeológicas e do uso e ocupação de uma área específica. Desta forma, proporcionam o conhecimento local do meio físico e da sua interação com a atividade antrópica, servindo como ferramenta para o controle e para aplicação de medidas mitigadoras dos impactos no meio ambiente.

Portanto, conclui-se que o mapeamento geotécnico é um estudo regionalizado e que seu desenvolvimento deve-se voltar às características da área estudada, adaptado à realidade local.

Dentre as inúmeras metodologias existentes podem-se destacar as que influenciaram o desenvolvimento deste trabalho: a metodologia PUCE, desenvolvida na Austrália; a metodologia Oxford-MEXE, desenvolvida na Inglaterra; a metodologia da IAEG.

2.4.1 - METODOLOGIA PUCE

A metodologia PUCE tem sua origem na Austrália e foi discutida por Aitchison e Grant, e posteriormente descrita em detalhes por Grant (1970). Baseia-se no princípio de que qualquer paisagem pode ser definida segundo critérios geomorfológicos, ou seja, pode ser compartimentada em áreas com os mesmos padrões típicos de formas de relevo (para cada unidade de terreno) e adequados à escala de estudo. Esta metodologia trabalha com quatro níveis hierárquicos: província, padrão de terreno, unidade e componente de terreno.

- Província: pode ser definida como uma área com geologia constante. Muito utilizada em mapeamentos com escalas inferiores a 1:250.000, em estudos de viabilidade e planejamento regional;
- Padrão de terreno: pode ser delimitado segundo uma associação de *landforms*, solos e vegetação idênticos. Baseia-se em critérios geomorfológicos, tais como: amplitude de relevo, modelo e densidade de drenagem. Deve ser utilizada em mapeamentos com escala 1:100.000 ou inferior, aplicada aos estudos de viabilidade e planejamento;
- Unidade de terreno: é uma área com um único *landform*, com características de solo e vegetação homogêneas. Utilizada em mapeamentos com escala 1:10.000 ou inferior, em estudos para projeto básico e planejamento urbano;
- Componente de terreno: É a unidade básica do mapeamento. Pode ser definida como sendo uma fração topográfica da unidade de terreno e baseia-se em características geomorfológicas, como tipo e declividade das encostas, perfil de solo, uso e cobertura da terra, vegetação e litologias do substrato rochoso. Adequada a mapeamentos em escalas superiores a 1:10.000, ou seja, para projeto básico e executivo.

Essa metodologia surge com o objetivo de racionalizar os procedimentos de coleta e processamento das informações de engenharia que, a partir da análise qualitativa do meio físico, possam ser direcionados aos estudos de viabilidade, planejamento e construção. Segundo Grant (1970), citado por Diniz (1998), a metodologia PUCE é hierárquica no sentido

de que cada elemento de um nível é composto por uma associação limitada e constante de elementos do nível precedente.

O sistema de nomenclatura utilizado para a classificação dos níveis do terreno pela metodologia é realizado a partir de índices numéricos (Tabela 2.2), sendo complementado pelas tabelas de classificação e avaliação de terrenos, possibilitando que os dados levantados sejam tratados de maneira a se tornarem compatíveis com um sistema computacional.

Tabela 2.2 – Sistema numérico da metodologia PUCE

Níveis de Generalização	Índices Numéricos	Características Relacionadas
Componentes de terreno	1	Tipos de encostas segundo a seção transversal, ou seja, análise de superfícies convexas, côncavas, planas e suas combinações;
	2 e 3	Declividade máxima ao longo do eixo ortogonal;
	4 e 5	Horizontes e perfis de solo;
	6	Cobertura e uso do solo;
	7 e 8	Vegetação
Unidades de terreno	1 e 2	Formas de relevo
	3	Perfil de solo
	4	Formação vegetal
Padrão de terreno	1	Amplitude máxima do relevo local, utilizando intervalos de classificação
	2	Densidade de drenagem
	3	Serial, se necessário
Província	1	Era geológica
	2	O sistema geológico dentro de cada Era
	3, 4 e 5	Serial

Em resumo, o sistema de classificação PUCE baseia-se na delimitação das feições da paisagem facilmente reconhecíveis, tendo com fundamento os seus componentes (relevo, substrato rochoso, vegetação e solo), identificados a partir de suas características geomórficas (declividade, litologia e estruturas). A classificação do terreno é feita por meio de fotointerpretação e pelos trabalhos de campo. O número de pontos amostrados é reduzido,

devido à predeterminação de sítios com características homogêneas, podendo ter os dados extrapolados e as propriedades estimadas.

Na Figura 2.2 é apresentado um modelo de carta PUCE segundo o seu sistema de classificação. Nesse exemplo estão representados os diversos níveis hierárquicos, tais como: a província (33001), o padrão de terreno (36), a unidade de terreno (1-8-31) e os componentes de terreno (141 052 02) sendo que este último é representado na forma de hachuras na carta. Deve-se ressaltar que cada código fornece uma descrição dos atributos do terreno.

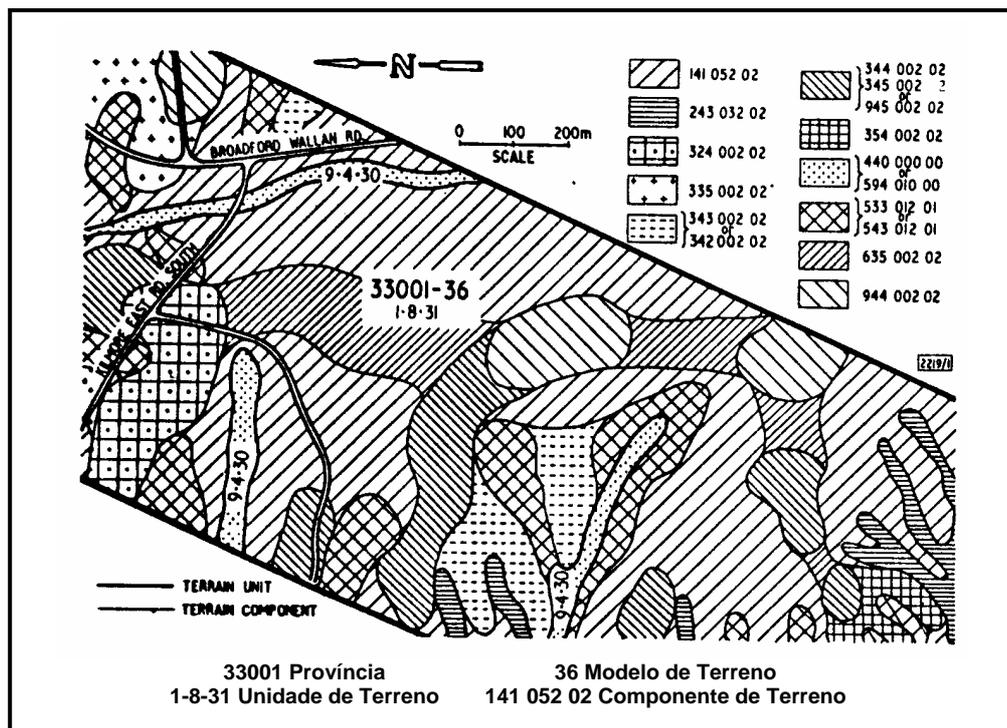


Figura 2.2 - Formato adotado na metodologia PUCE (Diniz, 1998).

2.4.2 - METODOLOGIA MEXE

A metodologia MEXE (“Military Engineering Experimental Establishment”) foi elaborada pelo exército britânico em conjunto com a Universidade de Oxford, pela a necessidade de se estabelecer o traçado de estradas em países em desenvolvimento, sendo inicialmente aplicada na África onde a avaliação do terreno era relativamente simples.

Baseia-se na técnica de avaliação de terreno, onde são definidos sete níveis de classificação com base na relação entre as características climáticas, geológicas e formas de relevo (Tabela

2.3). Normalmente, somente as três últimas categorias são comumente usadas em trabalhos de engenharia.

Tabela 2.3 – Relação entre as categorias de terreno e a escala de trabalho na metodologia MEXE

Categoria de terreno	Escala indicada
Zona de terreno	Menores que 1:15.000.000
Divisão de terreno	
Província de terreno	1:15.000.000 até 1:5.000.000
Região de terreno	1:5.000.000 até 1:1.000.000
Sistema de terreno	1:1.000.000 até 1:250.000
Unidade de terreno	1:50.000 até 1:10.000
Elemento de terreno	Maiores 1:10.000

O sistema de terreno corresponde a um padrão de relevo característico, envolvendo o mapeamento de grandes áreas. Equivale ao padrão de terreno do programa PUCE, sendo delimitado, normalmente, pela amplitude do relevo e densidade de drenagem. A unidade de terreno é definida pela geologia, clima e as formas de relevo, correspondendo à delimitação de um único *landform*. Tem como principal característica a aparente homogeneidade do solo, com pequenos intervalos de declividade, sendo a categoria mais utilizada em trabalhos de engenharia. O elemento de terreno corresponde à unidade básica de mapeamento, sendo definido pela geologia, regime hidrológico e relevo. Seu mapeamento está diretamente ligado à escala e ao objetivo do trabalho, sendo indicado aos estudos de estabilidade para mapeamentos de risco, em escala de detalhe.

A identificação dos compartimentos, tal qual a metodologia PUCE, é realizada por fotointerpretação e de trabalhos de campo. De uma forma geral, a classificação da compartimentação é realizada por associação alfabética, com base nas características do material inconsolidado, das formas de relevo, topografia e drenagem (Figura 2.3).

Um dos destaques da metodologia da Oxford-MEXE foi o pioneirismo na sua utilização em trabalhos regionais com finalidade específica, como as obras lineares e de prospecção de materiais de construção para rodovias.

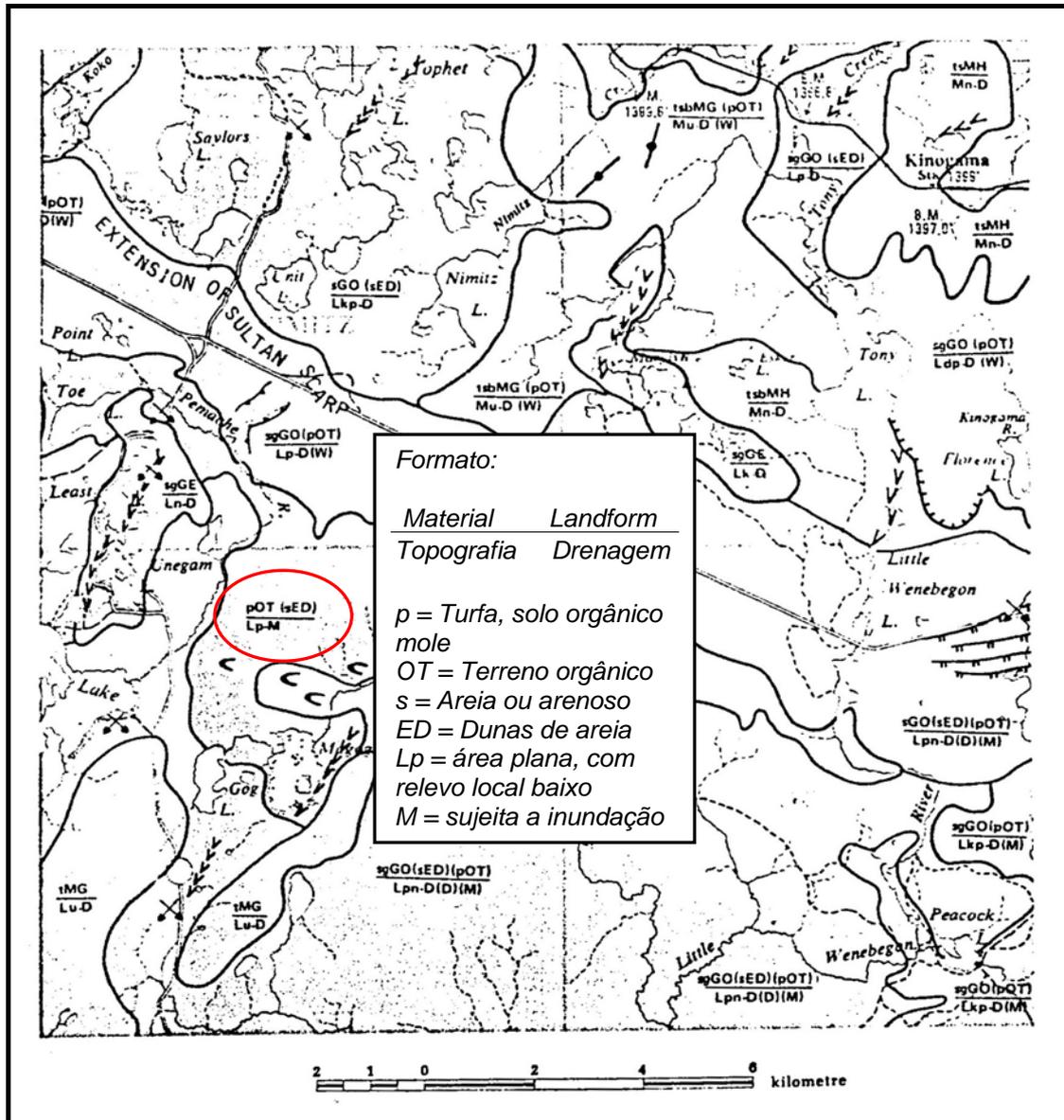


Figura 2.3 - Formato adotado na metodologia MEXE (modificado de Dearman, 1991).

2.4.3 - METODOLOGIA DA IAEG

Foi elaborada por uma comissão formada pela IAEG com o objetivo de universalizar os procedimentos utilizados para a realização do mapeamento geotécnico, tendo como princípio a sua adequação a maioria dos países, tanto tecnicamente quanto economicamente. Para esta metodologia um mapa geotécnico deve proporcionar uma análise dos aspectos do meio físico

de interesse ao planejamento regional e ao estudo da adequabilidade das áreas para o seu uso e ocupação, possibilitando a prevenção contra possíveis riscos e sendo de fácil entendimento.

Segundo esta metodologia a elaboração do mapa geotécnico deve considerar as características das rochas e dos solos, a geomorfologia, a hidrogeologia, além dos fenômenos geodinâmicos, bem como deve partir da definição dos objetivos e da sua classificação quanto à finalidade, conteúdo e escala.

I. Quanto à finalidade:

I.a – finalidade especial – analisa determinados aspectos do meio físico ou condições geotécnicas para um determinado tipo de obra;

I.b - multifinalidade - apresenta informações gerais que podem ser usadas para diversas finalidades.

II. Quanto ao conteúdo:

II.a– analítico – analisa um aspecto do meio físico, sendo direcionado a uma finalidade específica;

II.b– sintético – trata os componentes do meio físico de forma integrada, possibilitando sua expressão em termos de zoneamento geotécnico, ou seja, em áreas homogêneas geotecnicamente sendo que o grau de homogeneidade depende da escala e da finalidade do mapa. Este tipo de estudo pode ser voltado a um uso específico ou geral, podendo ser identificadas as seguintes unidades taxonômicas:

II.b.1 - região – unidade onde há uniformidade entre os elementos estruturais e geotécnicos;

II.b.2 - área – baseada na semelhança entre as unidades geomorfológicas regionais;

II.b.3 - zona – unidade onde se verifica uma homogeneidade em termos de litologia e de arranjo estrutural das rochas e solos;

II.b.4 - distrito – baseada na semelhança entre as condições hidrogeológicas e os fenômenos geodinâmicos.

III. Quanto à escala:

III.a – grande escala – para escalas iguais ou maiores que 1:10.000, em estudos com finalidade específica;

III.b - intermediária – escalas entre 1:10.000 a 1:100.000, em estudos voltados ao planejamento regional;

III.c – pequena – escalas de 1:100.000 ou menores, para mapeamentos de caráter geral.

IV. Quanto a litogênese:

IV.a tipo geologia de engenharia (*engineering geological type*) – nas escalas 1:5000 ou maiores com uniformidade nas características litológicas quanto ao estado de alteração;

IV.b tipo litológico (*lithological type*) – nas escalas entre 1:5000 a 1:10.000, com homogeneidade em relação a estrutura, textura, composição e heterogeneidade quanto à alteração;

IV.c complexo litológico (*lithological complex*) – nas escalas 1:10.000 a 1:200.000, compreendendo tipos litológicos relacionados geneticamente, desenvolvidos sob condições geotectônicas e paleogeográficas específicas;

IV.d suíte litológica (*lithological suite*) – nas escalas menores que 1:200.000, associando vários complexos litológicos que se desenvolveram sob condições tectônicas e paleogeográficas similares;

As principais técnicas para a obtenção dos dados são: a fotogeologia, os métodos geofísicos, as sondagens, as amostragens, os ensaios *in situ* e laboratoriais. Existe ainda uma preocupação com as formas de apresentação dos resultados e como estes devem ser interpretados, desta forma sugere um sistema de classes para os inúmeros parâmetros assim como os símbolos para serem usados nos documentos gráficos.

Deve-se observar que a aplicação dessa metodologia passa primeiramente pela escolha da escala de trabalho, seguida por uma reflexão sobre quais documentos são mais adequados ao estudo e a forma como será realizado o mapeamento, estabelecendo as condições e estipulando as classes a serem utilizadas.

2.5 - MAPEAMENTO GEOTÉCNICO COM BASE NA GEOMORFOLOGIA

A geomorfologia é a ciência voltada para os estudos do conhecimento das formas da superfície terrestre, compreendendo a análise histórica evolutiva dos *landforms* com base nos processos geodinâmicos e na análise estratigráfica.

De acordo com Prado (2004), a modelagem da superfície terrestre é basicamente resultante da interação entre variáveis climáticas (exógenas) e geológicas (endógenas), sendo que a análise das suas relações depende essencialmente da escala de mapeamento. Desta forma, conclui-se que em um estudo geomorfológico deve-se primeiramente definir a escala de representação das feições de relevo, pois disso dependerá o nível de abordagem do conjunto de formas do relevo.

Atualmente, existem diversas metodologias aplicáveis na confecção de um mapa geomorfológico, mas de uma forma geral possuem como base a ordenação dos fatos mapeados segundo uma taxonomia que os hierarquiza. Normalmente são usadas quatro unidades de compartimentos, de acordo com a escala:

- I. Domínio morfoestrutural – relaciona os fatos geomorfológicos com os elementos geotectônicos, os arranjos estruturais e litologia, a partir dos quais são gerados arranjos regionais de relevos com formas variadas, mas que guardam relações de causa entre si.
- II. Região geomorfológica – a delimitação desse segundo táxon está diretamente ligada a fatores climáticos passados ou atuais, que proporcionaram, dentro de uma análise regional, mudanças significativas nos aspectos fitoecológicos e pedológicos.
- III. Unidade geomorfológica – esse terceiro táxon equivale aos sistemas de terreno e podem ser definidos como sendo um arranjo de formas fisionomicamente semelhantes. É delimitada de acordo com a predominância de determinados tipos de modelados e dos processos originários, a partir da análise dos comportamentos, dos padrões e anomalias das drenagens.
- IV. Modelado – pode ser definido como sendo uma área com significativa semelhança entre formas de relevo, em função da gênese comum e da generalização dos processos morfogenéticos atuantes, proporcionando uma recorrência dos materiais superficiais.

2.6 - COMPARTIMENTAÇÃO FISIAGRÁFICA PARA FINS DE MAPEAMENTO

Segundo Vedovello (1993), a compartimentação fisiográfica consiste na divisão de uma determinada região em áreas que apresentam características internas homogêneas e distintas das áreas adjacentes. Sua execução é baseada em uma análise dos elementos constituintes do meio físico e na identificação de suas formas de ocorrência.

Atualmente, os produtos de sensoriamento remoto são amplamente utilizados na realização de compartimentações, uma vez que refletem o meio físico e sua organização sobre as quais é possível traçar limites. Sua utilização, por meio da fotointerpretação, exige do profissional o conhecimento prévio das formas da paisagem a serem individualizadas, assim como das características texturais associadas a essas formas.

De uma forma geral, a compartimentação realizada em imagens de satélite permite que, por meio da análise das propriedades dos elementos texturais, sejam delimitadas as feições do terreno sendo que o grau de detalhamento das superfícies identificadas depende diretamente da escala do produto utilizado.

Segundo Maia (2003), a avaliação dos limites das unidades fisiográficas deve ser feita com base nos critérios de homogeneidade e da similaridade. A primeira consiste em uma análise interna na busca por inconsistências que justifiquem uma redivisão ou junção. Enquanto que a segunda consiste em se verificar a existência de unidades com características semelhantes que possam ser agrupadas sob a mesma denominação. Portanto, a identificação das zonas homogêneas, em imagens de satélite, é feita a partir das diferenças de homogeneidade, tropia, assimetria dos elementos texturais e de suas estruturas na imagem. A Tabela 2.4 detalha as principais propriedades texturais da imagem e como as mesmas são caracterizadas.

Na compartimentação fisiográfica com base na análise dos *landforms* deve-se procurar caracterizá-los quanto à densidade textural de relevo, alinhamentos e lineações dos elementos estruturais do relevo, quebras de relevo e assimetria do relevo. A análise dessas quatro propriedades permite a obtenção de dados relacionados à expressão morfológica das unidades geológicas ou associações dessas, grau relativo de dissecação em função da densidade textural de relevo, grau relativo de resistência à erosão em função da forma das encostas e outros.

Tabela 2.4 – Principais propriedades das formas texturais em imagens de satélite e sua respectiva caracterização

Propriedade textural	Caracterização	Exemplo de aplicação
Tipo do elemento	Relacionado ao tipo de elemento textural que está sendo analisado (relevo, drenagem ou tonal)	Relevo, drenagem ou tonal
Densidade de textura	Refere-se à quantidade de elementos texturais de um mesmo tipo, por unidade de área da imagem	Alta, baixa, moderada, etc.
Arranjo textural	Refere-se à forma como os elementos estruturais se dispõem espacialmente	Drenagem de padrão dendrítica, anelar, etc.
Grau de estruturação	Refere-se ao nível da organização espacial dos elementos texturais, em função do seu arranjo	Alto, médio, baixo, mal definido, etc.
Ordem de estruturação	Refere-se à complexibilidade de organização dos elementos texturais, sendo sua classificação dada em função da ocorrência ou não de uma ou mais estruturas sobrepostas	Ordem um, ordem dois, etc.

2.7 - O USO DOS SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA PARA FINS DE MAPEAMENTO

O SIG pode ser definido como sendo um sistema de suporte a decisões, capaz de promover a integração de informações espacialmente referenciadas permitindo a captura, o gerenciamento, a manipulação, a análise e o armazenamento de dados espaciais ou alfanuméricos, para a solução de problemas de planejamento e gerenciamento. O suporte à análise de dados é realizado pelas operações de informações de mapas, permitindo a geração de cenários em análises de risco, suscetibilidades e potencialidades, a partir de funções que

variam de álgebra cumulativa (operações aritméticas) à álgebra não-cumulativa (operações lógicas).

Segundo Câmara (1995), as principais características de um SIG são:

- Capacidade de integrar, em uma única base de dados, as informações espaciais provenientes de dados cartográficos, censitários e de cadastramento, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno;
- Oferecer mecanismos para a integração de informações, com uso de algoritmos de manipulação e análise, além de consultar, recuperar, visualizar e permitir saídas gráficas para o conteúdo da base de dados geocodificados.

No mapeamento geotécnico, o SIG proporciona a geração de análises a partir do gerenciamento da base de dados geotécnicos, porém sua validade está condicionada a consistência das informações e da metodologia utilizada.

2.7.1 - REPRESENTAÇÃO COMPUTACIONAL

Em um SIG o armazenamento dos dados pode ser realizado em dois formatos distintos: o matricial e o vetorial. O armazenamento no formato matricial consiste basicamente na decomposição finita do plano, em células disjuntas e discretas também conhecidas como *pixels*, onde esses são associados a um valor corresponde a um tema de interesse e a sua localização espacial.

No caso do formato vetorial, tem-se a representação dos dados na forma de arcos, sendo que linhas e regiões podem ser definidas a partir de um conjunto de pontos georeferenciados e de uma seqüência de conectividade.

Segundo Câmara & Medeiros (1998), os principais tipos de dados trabalhados no SIG são: os temáticos, os cadastrais, as imagens e o MNT (modelo numérico de terreno). Esses são descritos abaixo:

- Temáticos – descrevem de forma qualitativa a distribuição espacial de uma grandeza geográfica. Seu armazenamento pode ser realizado no formato vetorial, indicado para as operações que exijam maior precisão, ou no formato matricial, onde as operações de álgebra de mapas são facilmente realizadas;
- Cadastrais - onde cada elemento é considerado um objeto geográfico possuindo atributos e podendo estar associado a várias representações gráficas. Normalmente, é armazenado no formato vetorial, com a topologia associada;
- Imagens - armazenadas como matrizes onde cada elemento está ligado a um valor proporcional à energia eletromagnética refletida ou emitida pelo elemento da superfície terrestre. Podem ser obtidas por meio de satélites, fotografias aéreas ou *scanners* aerotransportados, sendo uma forma de captura indireta de informações espaciais.
- MNT - forma de representação quantitativa de uma grandeza que varia continuamente no espaço. Os MNT podem ser convertidos em mapas temáticos ou imagens, sendo que em ambos os casos a grandeza numérica é quantizada.

2.7.2 - BANCO DE DADOS

Um banco de dados espacial consiste num conjunto de dados organizados de modo a atender uma determinada finalidade ou um conjunto de finalidades integradas, sendo que os dados a serem trabalhados possuem características espaciais, ou seja, possuem informações que descrevem sua localização no espaço e a sua forma de representação. A organização de um banco de dados está relacionada a um mecanismo eficiente de armazenamento e manipulação, cujo gerenciamento é controlado pelo Sistema Gerenciador de Banco de Dados (SGBD).

Segundo Silva (2002), um SGBD é um conjunto de softwares que gerenciam a estrutura do banco de dados e controlam o acesso aos dados armazenados no mesmo, tendo como meta básica proporcionar um ambiente conveniente e eficiente para o armazenamento e recuperação da informação. Na Figura 2.4 está esquematizada a arquitetura de um SIG e a sua relação com SGBD.

Inúmeras são as vantagens da utilização de um SGBD em geologia de engenharia, dentre elas pode-se destacar:

- O potencial de armazenamento e recuperação das informações geológicas-geotécnicas de uma determinada área;
- A utilização pública da informação subsidiando o desenvolvimento de projetos e o desenvolvimento urbano;
- A possibilidade de manuseio da informação a partir de outros aplicativos;
- A possível associação de informações com origens diversas, como por exemplo o relacionamento de informações de ordem sócio-econômica com os componentes do meio físico.

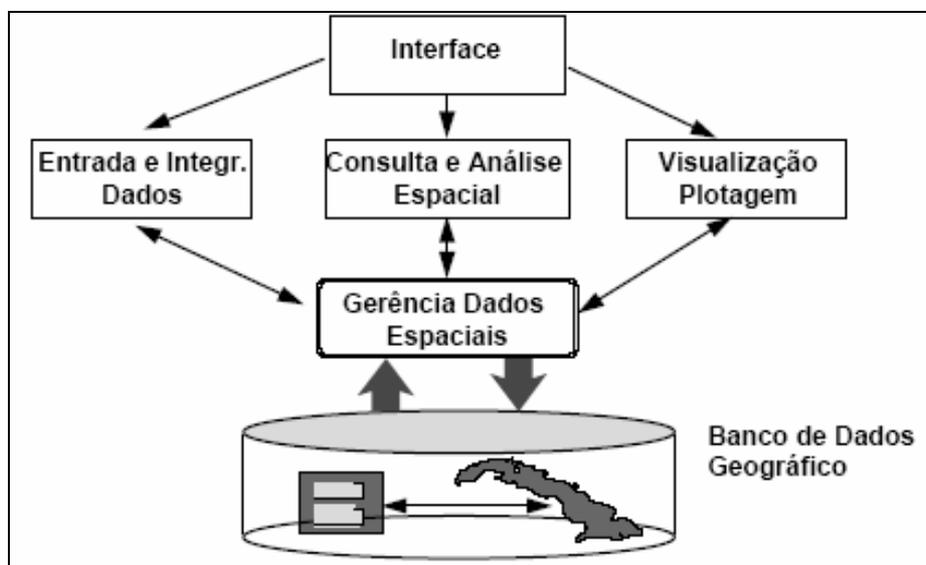


Figura 2.4 – Estrutura geral de um SIG (Câmara, 1995).

3 - PERFIS TÍPICOS DE ALTERAÇÃO EM SOLOS TROPICAIS

Os primeiros trabalhos de mapeamento eram fundamentados na análise das características físicas dos solos e rochas para o estudo do comportamento dos mesmos. A partir da segunda metade do século XX, com o desenvolvimento da geologia de engenharia nas regiões tropicais, foi incorporado o estudo dos processos de formação sendo consideradas as características relacionadas com a geologia, a pedologia, a geomorfologia e a mecânica dos solos.

Atualmente, os trabalhos de zoneamento vêm demonstrando a importância da análise dos materiais inconsolidados, pois esse possibilita de forma simples a caracterização e previsão do comportamento geotécnico dos perfis de alteração em estudos desenvolvidos em regiões tropicais.

De uma forma geral, os níveis de alteração nos solos residuais tropicais são profundos e extensos, desenvolvendo comportamentos particulares de acordo com o tipo do material inconsolidado encontrado. Desta forma, surge a necessidade de um estudo minucioso das propriedades e do comportamento do solo considerando a sua mineralogia, textura e estrutura, antes do seu uso.

Portanto, em estudos desenvolvidos em regiões tropicais deve-se procurar realizar uma análise geotécnica voltada aos estudos das propriedades relacionadas à gênese do solo.

No mapeamento geoambiental de Manaus, a caracterização geotécnica das unidades de terreno foi realizada a partir do estudo dos relatórios técnicos de sondagens e poços tubulares profundos, com base na análise dos perfis de alteração típicos dos materiais inconsolidados. Segundo Souza (1992), esse tipo de análise proporciona uma melhora na caracterização qualitativa e reforça a validade dos dados quantitativos a serem obtidos.

3.1 - SOLO RESIDUAL TROPICAL

O solo residual tropical é o resultado da decomposição da rocha *in situ* devido à ação de processos de alteração pedogenéticos característicos de regiões tropicais úmidas, tais como o intemperismo químico e físico. Nessas regiões, esses processos se encontram em constante atividade, e sua ação conjunta ou individual proporciona a deposição de horizontes diferenciados, aproximadamente paralelos à superfície do terreno, podendo apresentar certa desconformidade com a estrutura da rocha de origem.

O grau de intemperismo varia com a profundidade em função das características originais da rocha, tais como: natureza, estrutura e mineralogia. De uma forma geral, esses solos apresentam comportamentos particulares quando utilizados como material de engenharia, conseqüência do seu processo genético de formação, pois a decomposição, o transporte e a deposição proporcionada pela ação intempérica estão diretamente ligados às propriedades mecânicas desse material.

Segundo a Geological Society (1990), a classificação dos perfis de alteração deve ser baseada no grau de evolução genética, na mineralogia e na distribuição granulométrica das partículas ao longo da profundidade. Basicamente, podem-se separar os horizontes de acordo com o grau de alteração e quanto aos minerais constituintes e sua distribuição, ou seja, nos horizontes mais superficiais encontram-se os solos com os minerais altamente alterados (ferralíticos), passando freqüentemente, de cima para baixo, para horizontes com minerais menos alterados (ferrissialíticos), nos quais os minerais da rocha original se encontram preservados ou parcialmente alterados. Segundo Fookes (2004), o conteúdo de argila freqüentemente diminui de cima para baixo ao longo do perfil, resultando que argilo-minerais 1:1 (caulinita) podem passar a argilo-minerais 2:1 (esmectitas), dando lugar a características geotécnicas significativamente diferentes.

O processo de decomposição pode gerar perfis completos de alteração, ou seja, com níveis de material da rocha até o material totalmente alterado, sendo que qualquer um desses níveis pode ocorrer como solo superficial tal como ter a exposição da rocha sã, sendo esta condicionada por sua posição no relevo.

3.1.1 - GÊNESE

As regiões tropicais são marcadas por intensos processos de alterações devido aos fatores climáticos e ambientais inerentes ao local e ao tipo de clima, com destaque para o intemperismo químico e físico. Dentre estes fatores, pode-se citar: a sazonalidade das chuvas e da temperatura, a mobilidade e acidez das águas subterrâneas, além da densa cobertura vegetal. Os principais condicionantes do intemperismo físico seriam: a variação térmica, a acidez das águas, a erosão, as tensões tectônicas, a vegetação, os animais e os microrganismos. No caso do intemperismo químico seriam: as soluções, a hidrólise, a oxidação, a troca iônica e a carbonatação.

De uma forma geral, observa-se que o solo residual tem sua formação influenciada pelo material de origem, pelas chuvas e pela drenagem, sendo que nas áreas de clima tropical o tipo de alteração mais freqüente é a laterização. Essa pode ser definida como o processo, que em condições climáticas favoráveis, promove a rápida decomposição dos feldspatos e dos minerais de ferro e magnésio, além da remoção da sílica e das bases aumentando a concentração de óxidos de alumínio e ferro.

Dentre os mecanismos de laterização pode-se destacar a lixiviação, que se dá pela percolação da água com pH ácido ao longo do perfil, tanto por capilaridade quanto por gravidade, promovendo a remoção dos materiais solúveis do solo seguido pelo transporte de ferro e óxidos de alumínio.

3.2 - PERFIL TÍPICO DE ALTERAÇÃO

Diferentemente das regiões temperadas, os solos tropicais têm como característica a variabilidade das propriedades geotécnicas de acordo com o seu estágio de alteração e ao longo do perfil de alteração. Desta forma o levantamento dessas propriedades deve partir de uma caracterização detalhada do perfil, procurando delimitar os horizontes em conformidade com o grau de alteração e seu comportamento geotécnico.

Segundo Souza (1992), para fins de mapeamento geotécnico, a delimitação de compartimentos geotecnicamente homogêneos deve considerar o perfil típico de alteração de cada unidade geotécnica identificada no relevo, individualizando os diversos níveis de

alteração que possuam características físicas e comportamentos geotécnicos distintos. De uma forma geral, a obtenção destes compartimentos está intimamente ligada às formas de relevo identificadas, à evolução do perfil de alteração quanto à espessura e ao grau de evolução genética de cada nível.

Vargas (1985) dividiu o perfil de alteração de um solo tropical, em relação à profundidade, em duas porções distintas: a primeira, mais superficial, com intensa evolução pedogenética e alto grau de laterização, chamado de solo laterítico; a segunda, mais profunda, que apresenta características próximas à rocha sã e se constitui saprolito.

3.2.1 - SOLO LATERÍTICO

Os solos lateríticos são típicos de regiões tropicais quentes e úmidas, com grandes volumes de precipitações anuais e temperaturas elevadas. Segundo Fookes (2004), nesses solos todos os minerais, exceto o quartzo, se encontram alterados em condições de pH neutro, e a maior parte da sílica e das bases foram removidas em soluções. Na sua fração argila, a sílica remanescente se combina com a alumina formando a caulinita ou a gibsitita, quando normalmente se verifica um excesso desse mineral. Secundariamente pode conter ilita e/ou esmectita, e na fração granular goethita, hematita, magnetita. Normalmente a estrutura desse solo é micro agregada ou maciço porosa sendo instável e colapsível quando saturado e exposto a um carregamento.

Na região amazônica, em locais com nível freático alto, com capa superficial contendo abundante matéria orgânica e com baixo valor de pH, observa-se a dissolução da caulinita e a remoção de ferro e alumínio do solo, promovendo a formação de horizontes residuais de areias brancas, com espessuras que podem alcançar 3m. Normalmente esse processo ocorre em terraços aluvionares e fundos de vale, onde se observa uma maior exposição dos depósitos de areia à precipitação (Lucas et al., 1987).

Nesse tipo de solo é comum, em condições favoráveis, a formação próxima à superfície de concreções lateríticas, ou também conhecidas como lateritas. Esse material possui boa resistência normalmente sendo utilizado na engenharia para construção de estradas como material de base. Atualmente, existem estudos do uso desse material como agregado para a execução de concreto betuminoso em revestimentos asfálticos.

3.2.2 - SOLO SAPROLÍTICO

Os solos saprolíticos são formados a partir da decomposição das rochas por ação do intemperismo químico, cuja principal característica é apresentar a estrutura reliquiária da rocha de origem. Nesse tipo de solo também se encontram preservadas as descontinuidades observadas no maciço rochoso, tais como falhas, fraturas e juntas. Normalmente encontram-se na porção intermediária do perfil de alteração ficando entre o horizonte mais superficial e mais alterado (solos lateríticos) e a rocha sã.

De uma forma geral, a espessura e a composição granulométrica desse material são muito variáveis, pois dependem da rocha de origem e de sua posição no relevo. Podem ser divididos em dois níveis, sendo um superior, composto por um solo residual jovem onde ocorrem argilas residuais, areias argilosas e argilas arenosas e o inferior, composto por um saprolito grosseiro onde ocorrem argilas, areias argilosas e argilas arenosas e/ou pedregulhos e blocos de rocha.

3.3 - CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DOS SOLOS RESIDUAIS TROPICAIS

3.3.1 - MAPEAMENTO

O estudo do material inconsolidado para fins de mapeamento tem como objetivo a delimitação de unidades segundo o critério de comportamento geológico-geotécnico semelhantes. Para isso, faz uso da análise das características químicas, mineralógicas, morfológicas e de suas variações, sendo por meio do estudo dos produtos de sensoriamento remoto e/ou por ensaios *in situ* e de laboratório. Desta forma é possível, por meio de metodologias que tenham como base o estudo detalhado dos perfis de alteração, estimar com precisão o comportamento potencial e limitativo desses materiais frente ao seu uso e ocupação, tais como a sua fragilidade quanto aos riscos geológicos (erosão, inundação, escorregamentos e outros), sua adequabilidade para fins de engenharia (loteamento, estradas, disposição de resíduos e outros), além da possibilidade de exploração para uso como material de construção.

3.3.2 - CARACTERIZAÇÃO

A caracterização dos materiais inconsolidados tem como objetivo fornecer informações capazes de confirmar a veracidade na individualização dos perfis, em relação às propriedades geotécnicas distintas em superfície e em profundidade. Desta forma, possibilita sua generalização dentro da unidade geotécnica e estabelece diretrizes para a estimativa do comportamento geotécnico, direcionando de forma adequada a adoção de critérios durante a fase de avaliação no mapeamento geotécnico.

Portanto, esse tipo de análise em solos tropicais deve partir do reconhecimento das características morfológicas prosseguindo até um estudo detalhado das propriedades físicas e químicas do material em questão. O estudo morfológico deve englobar todos os seus elementos possibilitando a busca por padrões em uma macro análise do relevo e da drenagem, e uma caracterização quanto a fatores como o tipo e espessura dos horizontes, a cor, a textura, a estrutura, a consistência, a porosidade, além da existência de concreções.

Os ensaios de laboratório são comumente utilizados na obtenção das propriedades físicas e químicas do material inconsolidado. Dentre as propriedades físicas mais comuns estão: a distribuição granulométrica, umidade, limites de Atterberg, permeabilidade, massa específica, potencial de expansão e contração, e capacidade de retenção de água. Com relação às propriedades químicas, pode-se citar: carbono orgânico, soma e subtração de bases, CTC, concentração de sais e composição elementar.

3.3.3 - CLASSIFICAÇÃO

A classificação dos perfis de alteração em relação aos materiais inconsolidados que o constituem, tem como objetivo principal organizar os conhecimentos e as informações obtidas procurando estabelecer relações que tornem possível a subdivisão de classes, de acordo com o princípio e comportamento do solo, de forma a possibilitar a identificação dos limites e as aptidões para o uso. De uma forma geral, pode-se dizer que a classificação reúne os solos em grupos ou classes de elementos com propriedades similares.

A escolha por um determinado sistema de classificação deve ser influenciada pelas considerações a qual este sistema se baseia e pelas possíveis limitações em relação ao seu

emprego em determinadas regiões. As classificações existentes buscam a união da simplicidade e funcionalidade e, de forma geral, podem sofrer influência da regionalidade.

Dentre as classificações existentes podemos citar a proposta por Casagrande conhecida como SUCS (Sistema Unificado de Classificação de Solos), que se baseia na distribuição granulométrica, na plasticidade e presença de matéria orgânica do solo (ASTM, 1989a), a de Terzaghi conhecida como HRB (*Highway Research Board*), que acrescentou o estudo da forma das partículas e sua influência na compressibilidade dos solos (ASTM, 1989b), e a MCT (Miniatura, Compactado, Tropical), proposta por Nogami e Villibor em 1981, que considera o comportamento laterítico avaliado em ensaios de mini-MCV e de perda de massa por imersão (Nogami e Villibor, 1995).

4- CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

4.1 – LOCALIZAÇÃO E DIVISÃO POLÍTICA

A área de estudo se limita à área urbana do município de Manaus, localizado na porção nordeste do estado do Amazonas (Figura 4.1). Manaus está situada na margem esquerda da confluência dos rios Negro e Solimões, formadores do rio Amazonas, fazendo parte da Bacia Amazônica. Possui uma área de aproximadamente 11.458,50 km², sendo limitado pelos municípios de Presidente Figueiredo ao norte, Iranduba e Careiro ao sul, Rio Preto da Eva e Itacoatiara a leste e Novo Airão a oeste.

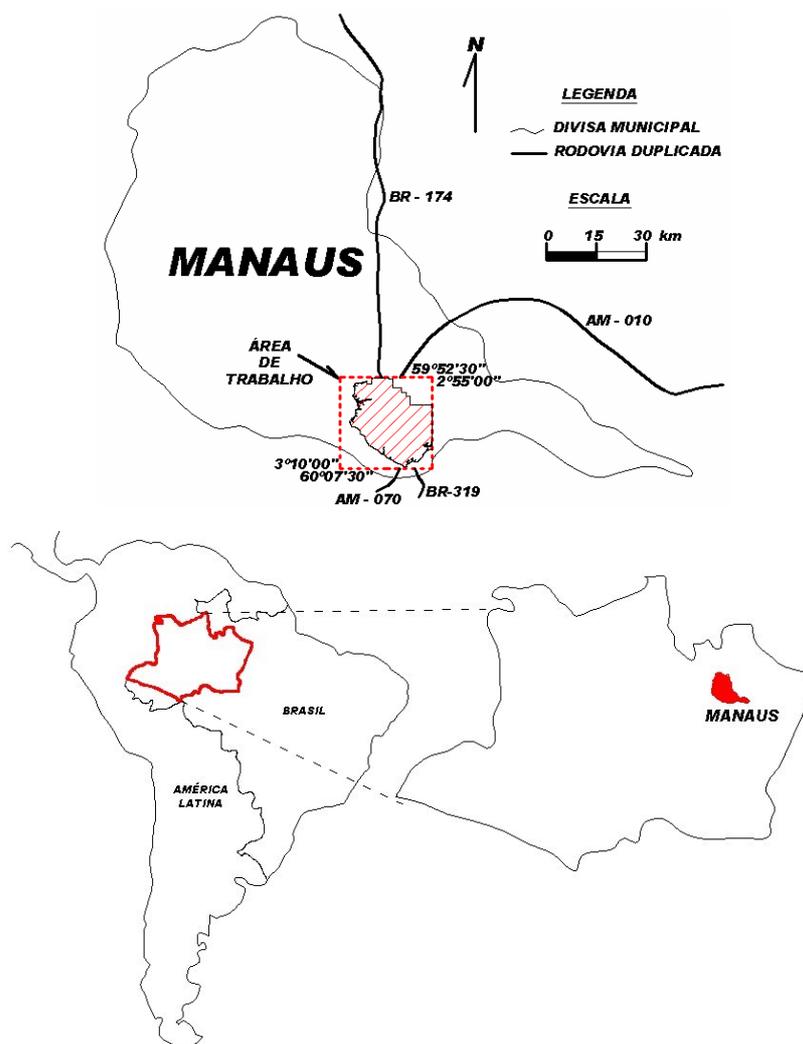


Figura 4.1 – Localização da área de estudo.

A porção do município compreendida por este trabalho é limitada pelo retângulo formado pelos paralelos 2°55'00" e 3°10'00" sul e os meridianos 59°52'30" e 60°07'30" oeste, ocupando uma área total de 354 km². De acordo com o sistema cartográfico internacional ao milionésimo está inserida nas Folhas SA.21 – Santarém e SA.20 – Manaus, cujos meridianos centrais são os de 57° e 63° W Greenwich, respectivamente.

Manaus pode ser considerada como sendo o centro de irradiação da rede rodoviária existente, de onde partem as rodovias estaduais e federais:

- BR-174, rumo norte, que liga Manaus ao município de Presidente Figueiredo e a cidade de Boa Vista no estado de Roraima, com extensão aproximada de 780 km;
- BR-319, rumo sudoeste, em direção à cidade de Porto Velho no estado de Rondônia, com extensão aproximada de 870 km;
- AM-070, rumo sul, ligando-a ao município de Careiro e Manacapuru, com extensão aproximada de 85 km;
- AM-010, rumo leste, ligando-a ao município de Rio Preto da Eva e Itacoatiara, com extensão aproximada de 268 km.

4.2 – CARACTERIZAÇÃO URBANA

4.2.1 – HISTÓRICO DA OCUPAÇÃO

A ocupação da região teve início no século XVII com a construção da Fortaleza de São João da Barra do Rio Negro no centro geográfico amazônico, com o objetivo de resguardar o Rio Negro das incursões inimigas. A partir de então, no entorno da Fortaleza, deu-se início a formação do povoado da Barra e em 1791, graças a sua posição geográfica e da proximidade das fontes de alimentos, passa a ser a sede do governo da Capitania de São José do Rio Negro. Em 1799, o então povoado da Barra passou a ser chamado de Lugar da Barra e somente em 1808 assumiu a condição definitiva de capital. Em 1848, esta foi elevada a categoria de cidade, sob o título de “Cidade da Barra do Rio Negro” (Bento, 1998).

Em 1850, foi criada a Província do Amazonas tendo como capital a Cidade da Barra, sendo que essa, na data de 4 de setembro de 1856, recebeu a denominação de “Cidade de Manaus”. Com a criação da Província, Manaus conseguiu atingir o primeiro passo para o

desenvolvimento econômico e urbano e sair da condição ruralista a qual se encontrava. Na Figura 4.2 pode-se observar a configuração da cidade em 1852.



Figura 4.2 – Planta-croquis da cidade de Manaus no ano de 1852 (Monteiro, 1994 citado por Bento, 1998).

4.2.2 – CRESCIMENTO DEMOGRÁFICO E O CRESCIMENTO URBANO

Desde a sua criação, na data de 4 de setembro de 1856, pela lei nº. 68 da Assembléia Provincial do Amazonas, a cidade de Manaus viveu dois períodos distintos. O primeiro deles é marcado pelo início da atividade extrativista na região tendo como o seu principal produto o látex. A economia prosperou baseada na comercialização da borracha, resultando em grandes transformações urbanas. Mas após 1920, a cidade enfrentou um período de decadência econômica e estagnação populacional e somente em 1967, com a instalação da Zona Franca de Manaus essa situação seria revertida. A partir deste período, Manaus passa a ser um pólo de intensa atividade industrial e comercial, atraindo um grande número de pessoas que se originavam principalmente do interior do Estado e da região Nordeste. Observa-se nesse

período um intenso crescimento da sua população urbana, que saltaria de 300 mil habitantes, na década de 1970, para aproximadamente 1645 mil em 2005.

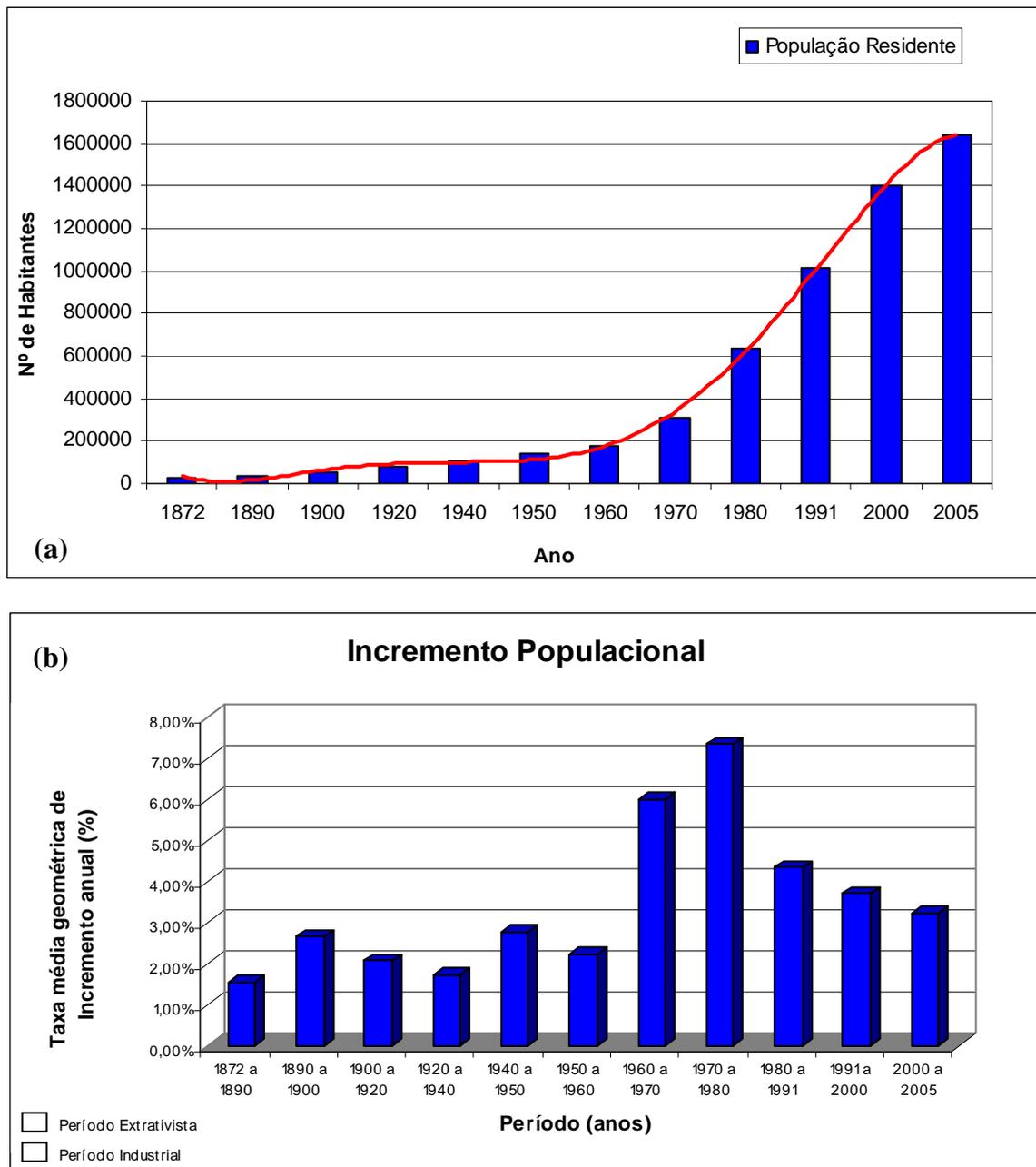


Figura 4.3 – a) Linha de tendência do crescimento populacional de Manaus; b) Incremento populacional e atividade econômica predominante (IBGE, 2005).

Na Figura 4.3a, pode-se observar que Manaus a partir de 1967, com a instalação da Zona Franca, passa por um período de intenso crescimento populacional devido ao aumento de oportunidades que ocasionaram o movimento migratório vindo principalmente do interior do estado. Até então, a cidade só tinha passado por pequenos incrementos populacionais, com

criações arquitetônicas luxuosas voltadas à classe burguesa da cidade, que se fartava economicamente com o comércio do látex.

Com o falecimento econômico da economia extrativista surgem os problemas sociais e de infra-estrutura, ocasionados pelo alto índice de desemprego por conta dos trabalhadores dessa atividade. Surgem as primeiras ocupações ao longo da margem dos igarapés, resultando na construção de moradias precárias, alcançando segundo dados do IMPLAN (1996), a 2.200 habitantes no assentamento sobre o Igarapé do Educandos, por exemplo.

Desse período até a instalação da Zona Franca de Manaus, a cidade passou por um período de estagnação econômica, possuindo como principais atividades o comércio e a indústria de beneficiamento de produtos regionais. Durante esta fase, ocorrem a formação de inúmeros bairros com moradias de baixa renda que se desenvolveram ao longo dos igarapés, tais como o bairro de Educandos e o bairro do São Raimundo.

A definição da Amazônia Legal, no ano de 1953, propiciou o desenvolvimento agrícola da região e permitiu o melhoramento da infra-estrutura municipal, tais como o sistema de transporte, comunicação, energia, saúde, e outros. Com a implantação da Zona Franca, no ano de 1967, surgem os primeiros conjuntos residenciais na tentativa de suprir a demanda por moradia ocasionada pelo crescimento populacional, resultado da migração de pessoas vindas do interior e de outras regiões do país.

Conforme a Figura 4.3b, a década de 70 é marcada por um forte incremento populacional atingindo valores em torno de 7,35% ao ano. No ano de 1980 a população de Manaus já passava dos 630.000 habitantes, ocasionando um desajuste do crescimento normal da região, decorrendo no caos da infra-estrutura urbana e na deficiência na prestação de serviços sociais. Segundo dados do IBGE (2005), a população de Manaus em 1967 era de 242.000 habitantes e em 2005 estava em torno de 1.644.690 habitantes, um crescimento total de aproximadamente 579% no decorrer de 38 anos, ou seja, desde a implantação do distrito industrial.

4.2.3 – INFRA-ESTRUTURA URBANA E ASPECTOS SÓCIO-ECONÔMICOS

O município de Manaus apresenta uma densidade populacional de 144 habitantes/km² abrigando aproximadamente 50% da população do estado do Amazonas, sendo que menos de

1% da população do município vive na área rural, de acordo com os dados do censo demográfico de 2000. Hoje, o município apresenta um índice de mortalidade infantil de 23 mortes em cada mil nascidos vivos, segundo dados da PMM (2006), mas já alcançou valores que variavam de 70 a 100 por mil nascidos vivos, entre os anos de 1970 a 1974, como consequência da precariedade dos serviços de saúde na época.

Na área de Educação, Manaus em 2000 apresentou uma taxa de alfabetização de 94%, atingindo hoje a marca de 213 matrículas para cada mil habitantes. Em relação aos indicadores ambientais, a cidade de Manaus, em 2000, tinha somente 75% da sua população servida pela rede de abastecimento de água, não diferindo muito, da marca de 70% em 1983. Em relação a coleta de lixo, aproximadamente 10% da população não possui esse serviço, fazendo uso de outras formas de deposição dos resíduos. Em torno de 95% da população não possui redes de esgoto, fazendo uso de fossas sépticas e negras, além de sumidouros para a destinação final das águas servidas.

Atualmente, todo o resíduo sólido urbano coletado é destinado para disposição em um terreno localizado no km 19 da rodovia AM-010. Seu funcionamento é típico de um aterro controlado, tendo como característica o recobrimento dos resíduos por uma camada de solo.

No que se refere ao setor produtivo, a agricultura e a pecuária não têm grande significado econômico, sendo que a maioria dos produtos consumidos são importados de outros estados. No setor industrial, o distrito industrial de Manaus fornece em torno de 50.000 empregos diretos, mas não consegue absorver toda a oferta de mão-de-obra que cresce continuamente.

Com relação ao transporte rodoviário, a malha viária disponível para interligação entre municípios e outros estados é pequena quando comparada aos estados da região sudeste. De uma forma geral, o transporte fluvial pode ser considerado o principal meio de comunicação entre os municípios, apresentando um intenso tráfego tanto de passageiros quanto de carga. O transporte aéreo é o principal meio de transporte utilizado entre estados.

Segundo Bento (1998), a mancha urbana de Manaus evoluiu no período de 1982 a 1995 em 191,94%, alcançando os 43.000 ha, sendo em torno de 1840% maior que a levantada em 1965, dois anos antes da instalação da Zona Franca de Manaus, que era 2.209 há . Na Figura 4.4 encontra-se mostrado o aspecto da evolução urbana até 1990.

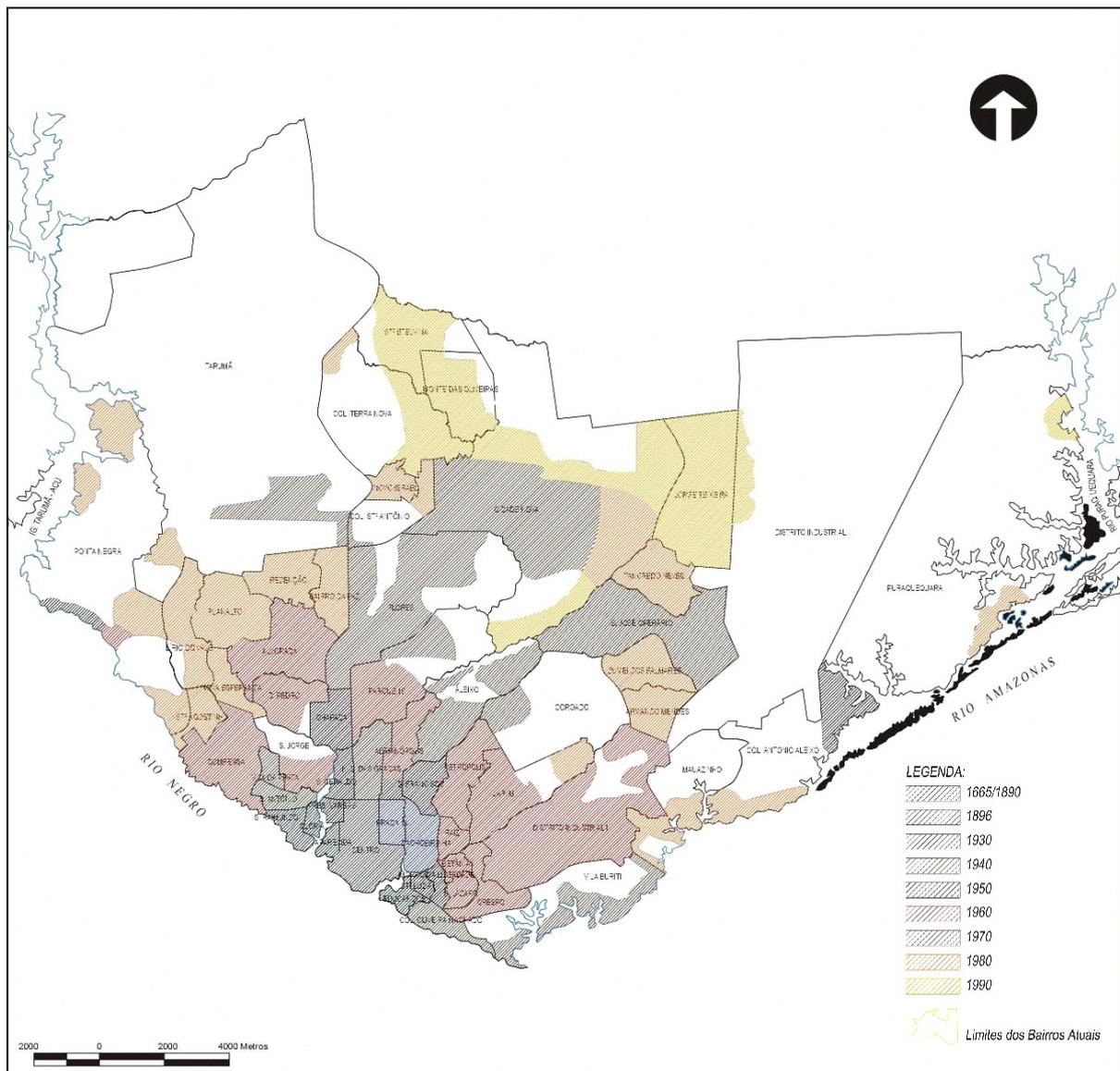


Figura 4.4 – Evolução urbana de Manaus para o período de 1685 a 1990.

A intensa expansão urbana em um período curto de tempo permitiu a ocupação do espaço territorial sem o planejamento adequado, ocorrendo a invasão das encostas e dos vales pelas construções de madeira (palafitas) em sua maioria, enquanto que os interflúvios são ocupados por construções de alvenaria.

Em resumo, tem-se que o desenvolvimento urbano de Manaus está diretamente relacionado com a implantação da Zona Franca, pois esta propiciou o aumento das atividades comerciais e industriais. Com isso possibilitou a absorção da mão de obra assalariada advinda do interior do estado e de outras regiões do país, tendo como resultado uma modificação acentuada dos seus padrões econômicos, sociais e de infra-estrutura urbana.

4.3 – ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

4.3.1 – CLIMA

Os mecanismos climáticos atuam no sentido de integrar os diferentes níveis de estruturação do meio físico, sendo que a sazonalidade das chuvas, a duração das estações secas e chuvosas, além do índice pluviométrico são os principais fatores modificadores do relevo local. Segundo Lima (1999), mantendo-se constante os demais fatores, é possível associar o alto índice pluviométrico da região como o principal contribuinte na formação dos processos erosivos.

Quanto à posição, a cidade de Manaus encontra-se na faixa de domínio tropical, característico de grande parte do Brasil, sendo marcada por duas estações que podem ser diferenciadas quanto ao nível de precipitação. Assim sendo, segundo a classificação de Köppen, essa região se insere no grupo A (clima tropical chuvoso), sendo identificados dois tipos climáticos: Af, sempre úmido com temperatura e precipitação com pouca variação anual; Amw', quente e úmido, o qual se caracteriza por apresentar uma estação seca de curta duração.

De acordo com Sioli (1991), Manaus encontra-se compreendida entre as isoietas de 2.000 e 2.200 mm anuais de precipitação. No entanto, por estar contida dentro do contexto amazônico, é marcada por chuvas abundantes, mas não distribuídas uniformemente (Figura 4.5). Segundo o projeto BRASIL-MME (1978) a precipitação anual mínima já registrada foi de 1.355 mm em 1911 e a precipitação máxima atingida correspondeu a 2.839 mm no ano de 1968. Na Figura 4.6a encontram-se os valores de precipitações médias anuais referentes à Manaus.

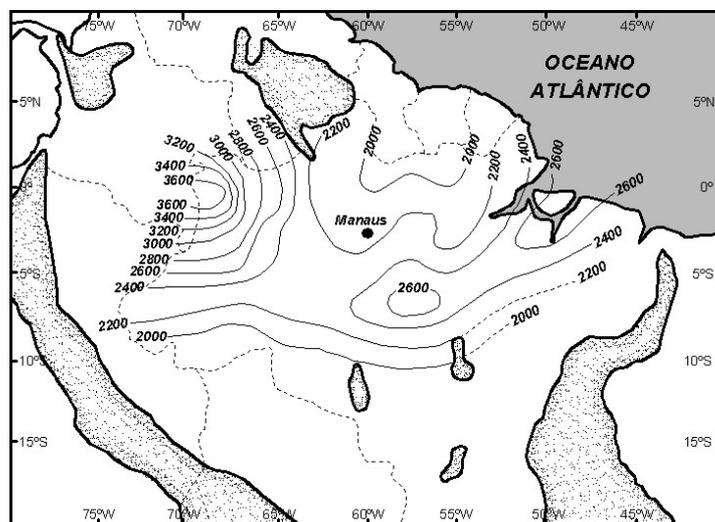


Figura 4.5 – Mapa mostrando Manaus entre as isoietas de 2.000 e 2.200 mm (Sioli, 1991).

Os meses de dezembro a maio são marcados pela maior intensidade das chuvas, enquanto que no resto dos meses as chuvas são menos frequentes (Figura 4.6b). Segundo Wagley (1977), durante a estação seca, as precipitações ocorrem sob a forma de tempestades rápidas e violentas, que duram em geral de meia a duas horas.

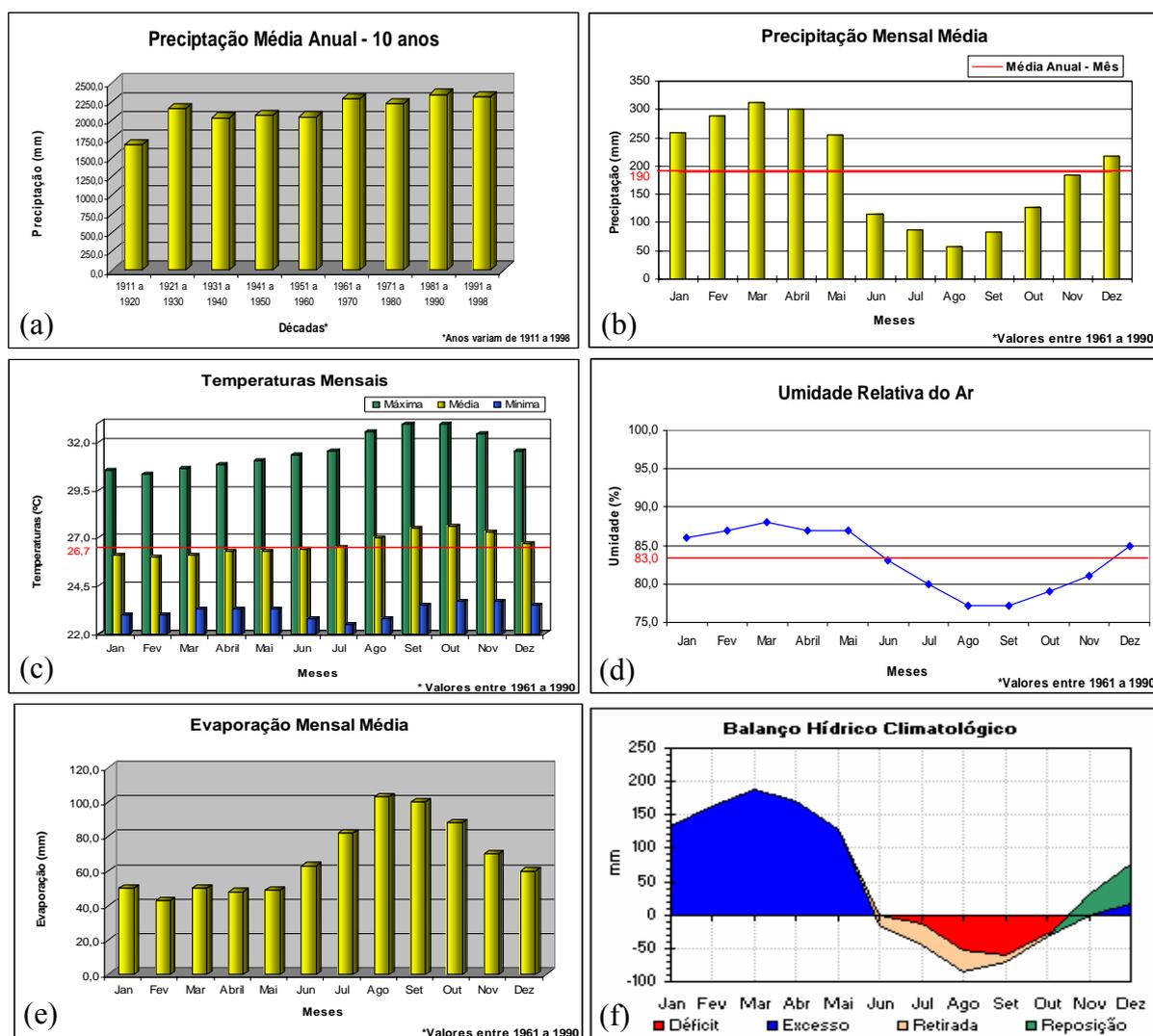


Figura 4.6 – a) Precipitações médias anuais para períodos de 10 anos; b) Precipitações médias para o período de um ano; c) Temperaturas máximas, médias e mínimas para o período de um ano; d) Umidade relativa do ar para o período de um ano; e) Evaporação média para o período de um ano; f) Balanço hídrico anual médio para o período entre 1961 a 1990 (INMET, 2006).

Normalmente, a temperatura média registrada na cidade de Manaus é superior a 26°C, sendo os meses de agosto e setembro os mais quentes e com menores índices de nebulosidade (Figura 4.6c). Esse período também corresponde aos menores índices de umidade relativa do ar, porém a média anual fica em torno de 83% (Figura 4.6d). A evaporação também é

acentuada nesse período, tendo normalmente uma relação inversa com a precipitação (Figura 4.6e).

Em relação ao comportamento das drenagens, em função da precipitação, observa-se que a partir do mês de outubro o nível de água nos cursos d'água volta a se recuperar atingindo o nível normal até o fim do ano. O período de “cheia”, como assim é conhecido, corresponde aos meses entre janeiro e maio, sendo caracterizado pelo aumento excessivo do nível d'água, atingindo amplitudes superiores a 10m em relação a época de estiagem (Figura 4.6f).

4.3.2 – VEGETAÇÃO

De uma forma geral, a área de estudo é coberta pela floresta densa tropical, sendo caracterizada por grandes árvores com troncos altos e retilíneos. Nos interflúvios tabulares a vegetação é exuberante e constitui a mata de terra firme. Entre as espécies arbóreas características, citam-se a castanheira, a maçaranduba, a sucupira, entre outras (Lima, 1999).

Ao longo das drenagens prevalece o tipo de vegetação conhecido como mata de várzea. Esse tipo de vegetação está sujeito a alagamentos constantes, apresentando-se em menor porte, com pequenas concentrações de matas densas e altas. Entre as principais espécies pode-se citar a seringueira. Outro tipo florestal, também encontrado na região, é a campinarana ou também conhecida por “caatinga do Rio Negro”, caracterizada pela presença de árvores mais baixas, de troncos finos e espaçados, ocorrendo em áreas arenosas bastante lixiviadas.

4.3.3 – HIDROGRAFIA

Manaus está situada na bacia hidrográfica do rio Amazonas, na margem esquerda do rio Negro, próxima a confluência com aquele rio. O sistema fluvial da região caracteriza-se por ser extenso e de grande volume o que permite a navegabilidade ao longo de todo ano, sendo esse um fator importante, visto que o transporte fluvial é o único meio de comunicação entre alguns municípios.

O rio Negro é o principal afluente do Amazonas, sendo também o rio que contorna a cidade. Percorre por regiões com densa cobertura vegetal e com relevo pouco movimentado, minimizando os processos erosivos. Possui um percentual de infiltração maior do que o

escoamento superficial, resultando em solos pouco férteis devido ao carreamento das substâncias solúveis durante a percolação da água no seu interior (Bento, 1998).

Morfologicamente, o rio Negro apresenta uma tendência natural para a formação de ilhas de forma oval e riniforme, resultado da baixa velocidade em razão da extensa seção transversal em qual esse rio se desenvolve favorecendo a deposição do pouco material em suspensão formando as zonas de sedimentação (Figura 4.7). Este processo condiciona a formação de um labirinto de ilhas alongadas como é o caso do Arquipélago de Anavilhanas e do Mariuá (Sioli, 1991).

Inúmeros são os rios que banham o município de Manaus, com destaque para as bacias formadas pelos rios Tarumã-Açu (1.380 km²) e Cuieiras (3.347 km²). Na área urbana, os vales são considerados afogados, com superfícies que variam de 25 a 66 km² (Igarapé do Mindu). Todos eles desembocam no rio Negro, com uma oscilação em torno de 10 metros entre o período de cheia e o de estiagem.

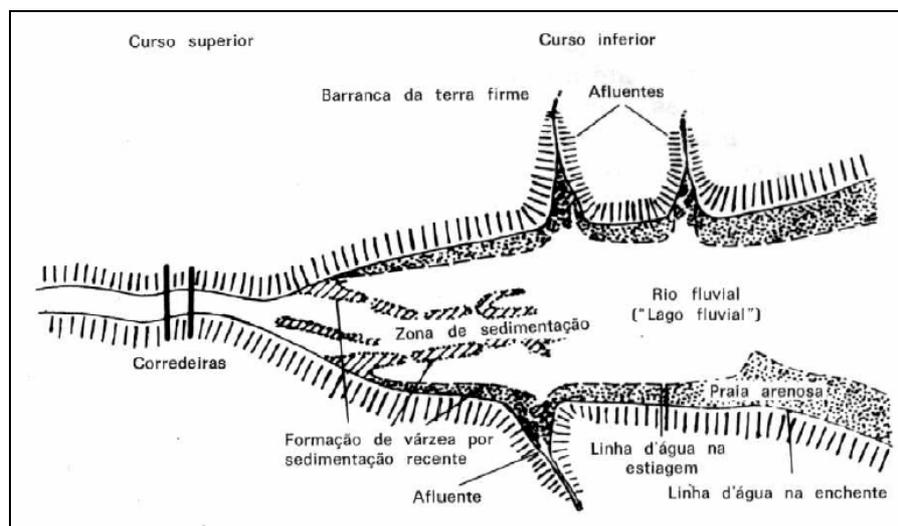


Figura 4.7 – Esquema da morfologia do leito fluvial do rio Negro (Sioli, 1991).

4.4 – CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS

4.4.1 – INTRODUÇÃO

Segundo Bento (1998), a Bacia Sedimentar do Amazonas se desenvolveu na forma de sinéclise intracontinental, a partir de processos atuantes na Plataforma Amazônica relacionados à formação do supercontinente Gondwana, no decorrer da Era Paleozóica. A

mesma ocupa uma área de aproximadamente 500.000 km², limitando-se ao norte com o cráton das Guianas, ao sul com o cráton Brasil Central, a leste com o arco de Gurupá e a oeste com a Bacia do Solimões por meio do arco de Purus.

Dentro do aspecto geomorfológico, a Bacia Sedimentar do Amazonas tem seu relevo caracterizado por planícies e baixos planaltos. As planícies ocorrem, principalmente, na forma de planícies de inundação e terraços aluvionares, ao longo do baixo e médio curso dos rios Solimões e Amazonas e afluentes. Os planaltos apresentam topografia suave, com altitudes inferiores a 200m, talhados por formas de relevo dissecadas em amplos interflúvios tabulares e colinas.

Nos planaltos, os materiais inconsolidados são representados por solos lateríticos de textura argilosa, argilo-arenosa ou areno-argilosa e arenosa, altamente intemperizados e com média a alta resistência à compressão. Nas planícies os sedimentos são recentes e imaturos de textura argilo-siltosa, silte-arenosa e argilosa.

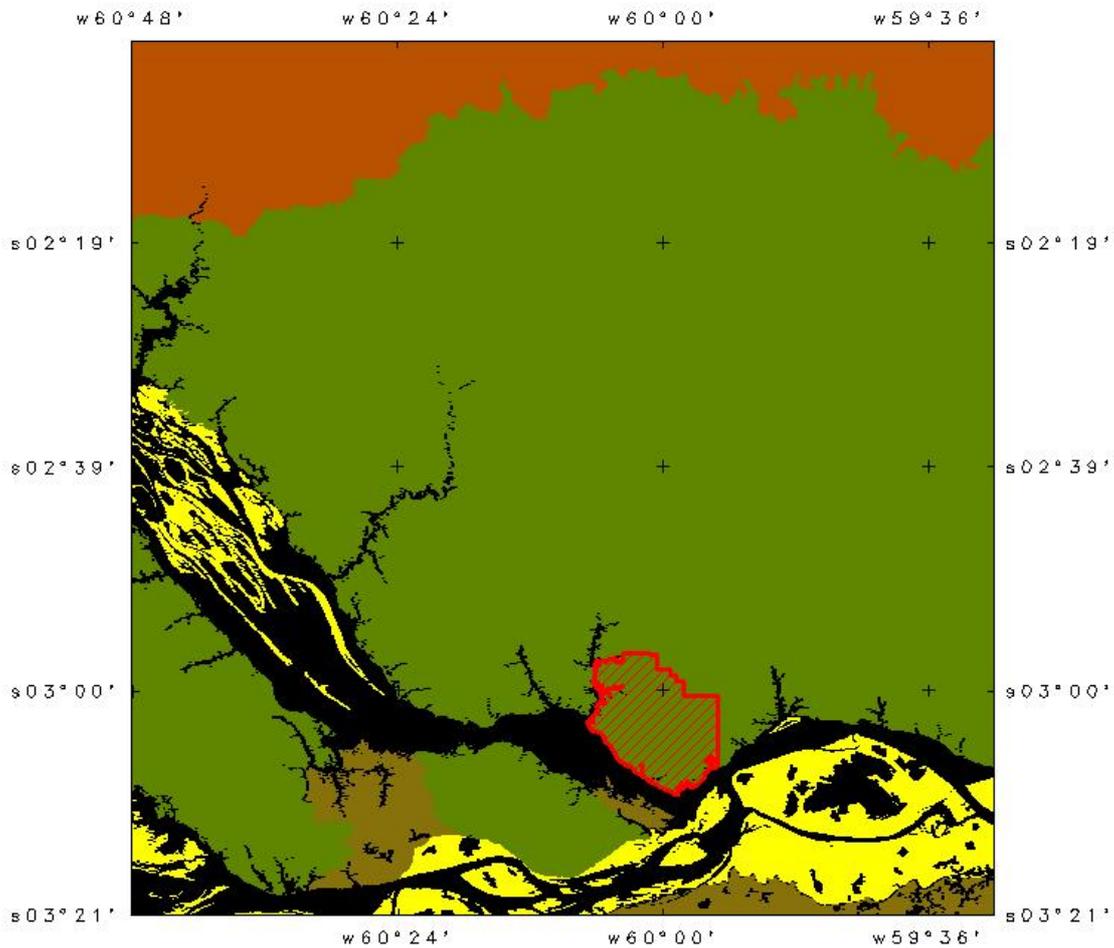
4.4.2 – GEOLOGIA

4.4.2.1 – ESTRATIGRAFIA

O município de Manaus encontra-se inserido na Bacia Sedimentar do Amazonas, a qual é constituída principalmente por rochas pelíticas paleozóicas e, secundariamente, por sedimentos mais recentes, do Cretáceo Superior e Terciário. As unidades geológicas que compõem o município são os aluviões e as Formações Solimões, Alter do Chão e Nhamundá (Figura 4.9).

Os aluviões são constituídos de areais, siltes e argilas inconsolidados e de deposição recente. A Formação Solimões é constituída de argilitos vermelhos mosqueados, siltíticos e raramente consolidados, de origem flúvio-lacustre. A Formação Alter do Chão é constituída por sedimentos fluviais de coloração avermelhada e fracamente consolidados, incluindo essencialmente argilitos, arenitos feldspáticos/cauliníticos, quartzo-arenitos e conglomerados. A Formação Nhamundá é constituída por quartzo-arenitos com intercalações de folhetos, predominantemente brancos com granulometria fina a muito fina (BRASIL-MME, 1978).

UNIDADES GEOLÓGICAS



LEGENDA

-  **Área de Trabalho**
-  **Rios e Lagos**
-  **Formação Nhamundá**
-  **Formação Alter do Chão**
-  **Formação Solimões**
-  **Aluviões**

PROJEÇÃO: GAUSS-TM

ESCALA 1:1.000.000

0 30.0 60.0 km

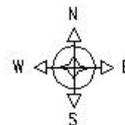


Figura 4.8 – Mapa de Unidades geológicas com a localização da área de trabalho (modificado BRASIL-MME, 1978).

A área de trabalho está situada sobre os sedimentos da Formação Alter do Chão. O Arenito Manaus, como é conhecido regionalmente, é o principal representante aflorante dessa formação na região, consistindo em um arenito quartzoso silificado com cimentação silicosa ou ferruginosa, apresentando cores vermelhas ou roxas e algumas partes brancas, ocorrendo na forma de extratos com até 15 metros de espessura (Figura 4.10). Segundo Mori (1980), a formação desse arenito ocorre quando a sílica solubilizada pelo fenômeno da laterização percola através dos materiais subjacentes, encontrando a zona de influência das águas ácidas do Rio Negro onde ocorre sua precipitação, cimentando os grãos de areia no seu entorno.

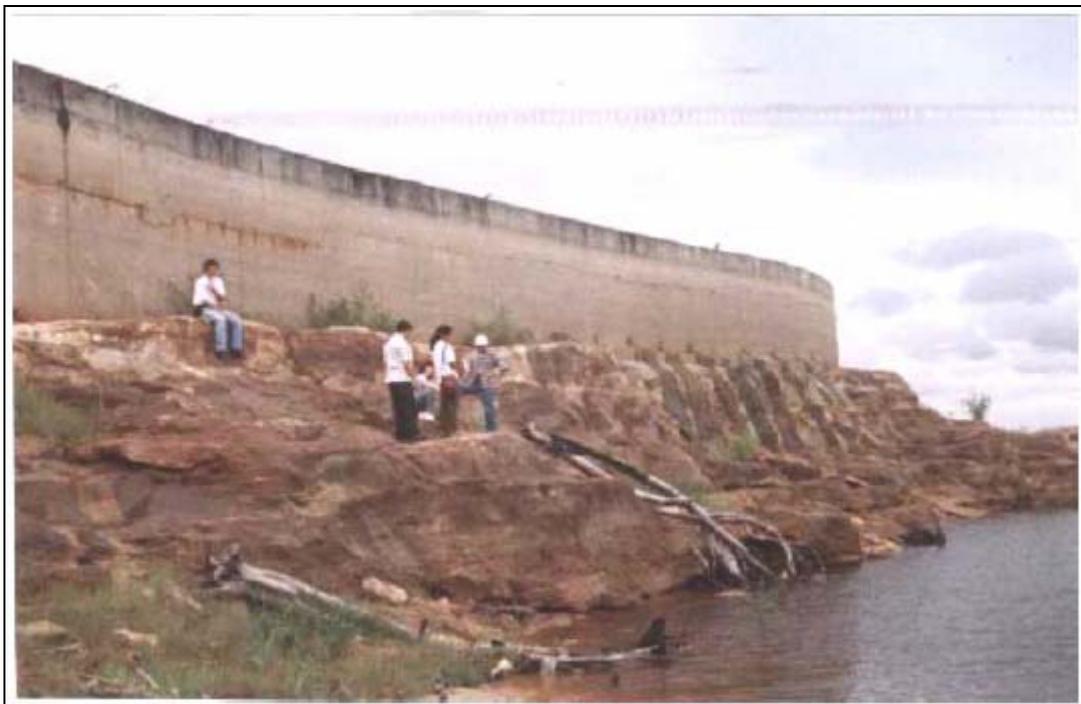


Figura 4.9 – Exposição do Arenito Manaus da Formação Alter do Chão (Bento, 1998).

4.4.2.2 – GEOLOGIA ESTRUTURAL

Diversos trabalhos vêm demonstrando que o arranjo estrutural de Manaus foi afetado por movimentos tectônicos recentes que se estenderam desde o final do Terciário e durante todo o Quaternário (Sternberg, 1950; Franzinelli e Igreja, 1990; Costa et al., 1994; Fernandes Filho, 1996). Esses autores indicam a existência de falhamentos, representados principalmente por falhas normais, reversas e de rejeito direcional, e dobras, que afetam tanto a Formação Alter

do Chão quanto os perfis lateríticos desenvolvidos sobrejacentes, revelando um regime de movimentação neotectônica que controla inclusive a rede de drenagem atual (Figura 4.11).



Figura 4.10 – Falhamento normal na Formação Alter do Chão (Prado, 2004).

Com relação à etapa neotectônica, Sternberg (1950), demonstrou a existência de um condicionamento da padronagem dos vales e dos traçados dos rios da planície Amazônica em relação aos lineamentos de direções predominantes NE-SW e NW-SE. Segundo Carvalho et al. (2003), as informações geológico-estruturais extraídas dos produtos de sensores remotos, tanto do ponto de vista qualitativo quanto quantitativo, demonstram que a região de Manaus constitui um bloco estrutural arquitetado a partir da interação de falhas nas direções N-S, NW-SE e NE-SW, as quais controlam os cursos dos igarapés Tarumã-Açu, Puraquequara, Leão, Mariano e Rio Negro.

Igreja e Franzinelli (1990) defendem um modelo neotectônico em que a região teria sido afetada por movimentos tectônicos recentes com amplitude regional, representados por falhas normais, inversas (NW-SE e NE-SW) e direcionais, destrais e sinistrais (E-W e NW-SE) e dobras, sendo que essas estruturas resultaram em um conjunto de hemigrabens basculados para nordeste. De acordo com os autores este modelo é consistente com várias feições hidrográficas e geomorfológicas, principalmente no baixo curso do Rio Negro.

Em relação aos produtos do intemperismo e da neotectônica na região, Fernandes Filho (1996) relata a ocorrência de perfis de natureza laterítica dos tipos imaturos autóctones e alóctones desenvolvidos sobre os sedimentos da Formação Alter do Chão. O primeiro tipo é completo, sendo marcado pela presença de uma crosta ferruginosa, enquanto que o segundo é marcado pela presença da linha de pedra.

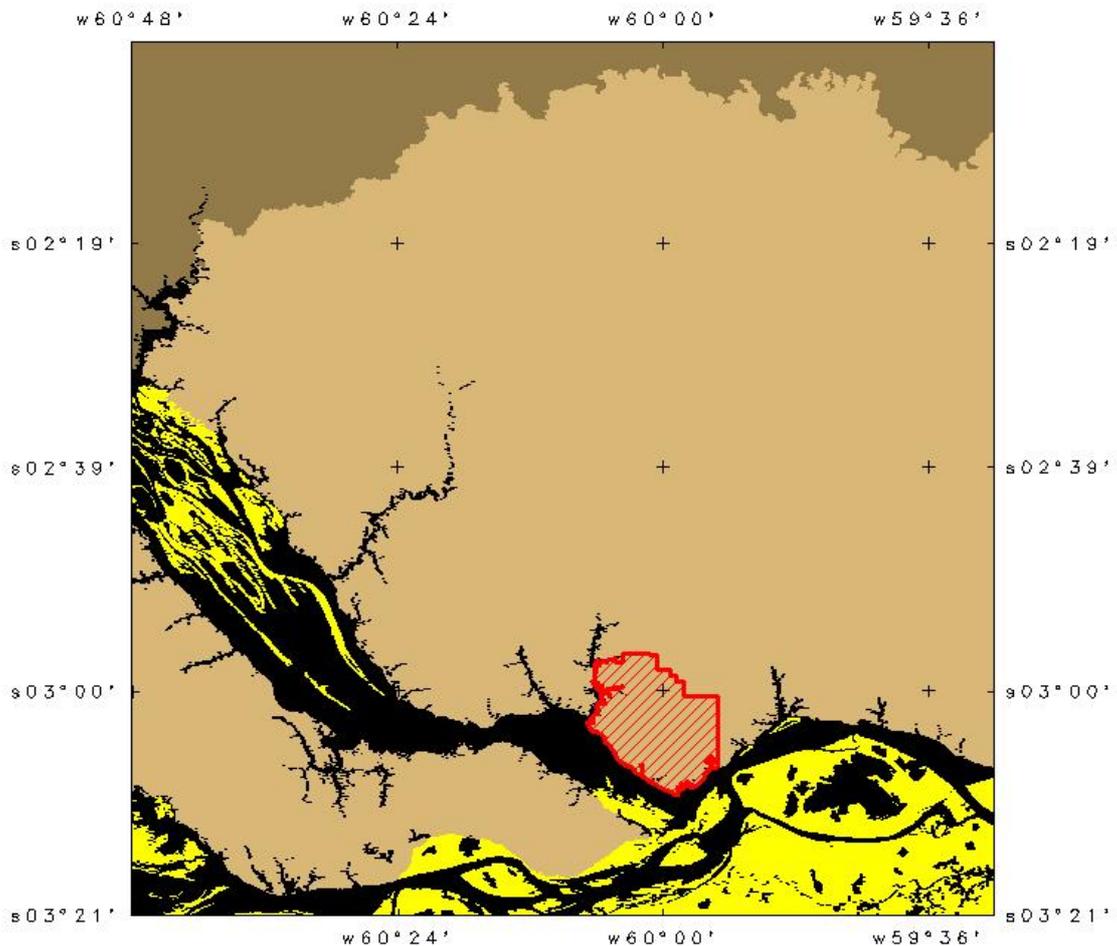
4.4.3 – GEOMORFOLOGIA

O município de Manaus engloba três domínios morfoestruturais, denominados: Planície Amazônica, Planalto da Bacia Sedimentar do Amazonas e Planalto Dissecado Rio Trombetas-Negro (Figura 4.12). Dentre eles, esse último é onde está inserida a área de trabalho, caracterizado pela existência de vales amplos, interflúvios tabulares e colinas de relevo moderadamente ondulado desenvolvidos sobre a Formação Alter do Chão (Prado, 2004).

O relevo desse planalto reflete a intensa atuação dos processos erosivos, resultando em uma grande faixa de dissecação em interflúvios com encostas ravinadas intercalados em uma numerosa rede de drenagem com intensidade fraca de aprofundamento. Esses interflúvios possuem extensões que variam de 1 a 9 km, com altitudes entre 40 e 160m sempre acima do nível das cheias, sendo conhecidos regionalmente por terras firmes. Segundo Diniz et al. (2001), o relevo situado às margens dos rios é marcado por alinhamentos de falésias fluviais de 20 a 50m, com reverso suave e aplainado para o interior e com uma ruptura de declive brusca em relação à estreita faixa de praias arenosas de estiagem do Rio Negro. Esse relevo é conhecido regionalmente por terras baixas, das quais fazem parte as restingas, os terraços e as planícies de inundação, sendo periodicamente afetados pelas cheias dos rios.

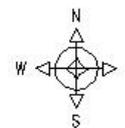
De uma forma geral, dentro do contexto geomorfológico, a cidade de Manaus é privilegiada pelo relevo planificado, favorável à ocupação humana. A formação das falésias com desníveis que podem alcançar 15m no limite com a unidade morfoestrutural Planície Amazônica, também favoreceu a cidade em relação ao transporte fluvial, sendo este o principal meio de transporte utilizado na região.

UNIDADES MORFOESTRUTURAIS



LEGENDA

-  **Planalto Sedimentar do Amazonas**
-  **Planalto Dissecado Rio Trombetas-Negro**
-  **Planície Amazônica**
-  **Rios e Lagos**
-  **Área de Trabalho**



PROJEÇÃO: GAUSS-TM

ESCALA 1:1.000.000

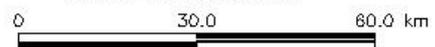


Figura 4.11 – Mapa das unidades morfoestruturais com a localização da área de trabalho (modificado BRASIL-MME, 1978).

4.4.4 – MATERIAL INCONSOLIDADO

Segundo BRASIL-MME (1978), a região é constituída de latossolos amarelos álicos, com horizonte “A” moderado e textura argilosa, areno-argilosa ou argila-arenosa e arenosa. Em sua maior parte são ferralíticos com litologias correspondentes aos arenitos, siltitos e sedimentos argilo-arenosos. Esses solos apresentam o horizonte “B” latossólico bem intemperizado, normalmente composto por óxidos de ferro e alumínio, sendo a fração de argila de baixa atividade, constituída principalmente por caulinita bem cristalizada.

Segundo Fernandes Filho et al. (1997), citados por Frota & Gitirana (1998), a região de Manaus apresenta perfis de natureza laterítica dos tipos imaturos autóctones e alóctones desenvolvidos sobre os sedimentos da Formação Alter do Chão. O perfil do tipo autóctone é completo, sendo estruturado, da base para o topo, segundo os horizontes transicional, argiloso, ferruginoso, esferolítico e solo (latossolo) (Figura 4.13). O perfil alóctone apresenta-se truncado, na altura do horizonte transicional ou argiloso, com a formação da linha de pedra. Os minerais que frequentemente constituem esses solos são a caulinita, hematita, goethita, quartzo, gibbsita, anatásio e rutilo.

Mori (1980), com base em levantamentos geotécnicos voltados a implantação do aeroporto internacional, dividiu o perfil de solo em quatro camadas, com características distintas:

- 1º Camada – relacionada à cobertura dos platôs, podendo chegar a espessuras de até 22m, sendo constituída principalmente por argilas pouco siltosas, amarelas, de alta plasticidade e consistência média a rija;
- 2º Camada – pode chegar a espessuras de até 11m, sendo constituída de argilas siltosas, pouco arenosas, amarela e vermelha de consistência rija a dura;
- 3º Camada – constituída principalmente por argilas silto-arenosas, vermelha e amarela, e consistência rija;
- 4º Camada – camada mais profunda, mas pode ser encontrada em afloramentos nos fundo dos vales. São constituídas principalmente por areias argilosas, de cor variegada, compactas a muito compactas.



Figura 4.12 – Perfil típico dos platôs na Formação Alter do Chão (Prado, 2004).

Lima (1999) estudou diversas erosões distribuídas na cidade de Manaus, encontrando similaridades nas propriedades e características geotécnicas ao longo do perfil ou em cotas semelhantes. Propôs então um perfil típico único para os solos da área, caracterizado pela predominância do solo argiloso no topo passando para uma matriz arenosa, conforme se aproxima da base. Desta forma, também conseguiu relacionar a existência do comportamento laterítico com a profundidade, verificando que a sua ocorrência normalmente esta associada aos solos mais superficiais.

5 – METODOLOGIA UTILIZADA

A concepção do mapeamento geotécnico deve estar apoiada em metodologias capazes de auxiliar os profissionais na sua execução, possibilitando a adaptação das mesmas de acordo com as características da área mapeada e dos materiais disponíveis. Desta forma, é de suma importância que a escolha da metodologia a ser utilizada na região Amazônica passe por uma análise cuidadosa, considerando as características peculiares dessa região tais como a grandeza das áreas a serem mapeadas, a escassez de informações básicas e as dificuldades em se obtê-las.

De acordo com o exposto, o escopo desse trabalho é o zoneamento geotécnico da área urbana de Manaus, abrangendo aproximadamente 94% desta, que está estimada em 377 km². Para isso, fez-se uso das técnicas de análise integrada de terreno com base nas metodologias PUCE e OXFORD-MEXE. Este tipo de análise permite a elaboração de um documento cartográfico único onde os elementos ambientais são analisados integralmente, acarretando em uma redução de custos em consequência da diminuição dos trabalhos de campo e ensaios de laboratório.

Assim sendo, neste capítulo apresentam-se os materiais e métodos empregados na execução do trabalho divididos em quatro itens principais: coleta de informações preexistentes; classificação do terreno, tendo como base a fotointerpretação de produtos de sensoriamento remoto; caracterização geotécnica, realizada a partir de amostras obtidas em trabalhos de campo possibilitando a execução de ensaios de laboratório; mapeamento geotécnico final, consistindo numa etapa de compilação das informações adquiridas até aqui, resultando na elaboração de documentos cartográficos voltados ao planejamento urbano e ambiental, tais como mapa de uso e cobertura da terra, mapa de unidades geotécnicas, mapa para a exploração de materiais de construção e mapa para a disposição de resíduos.

5.1 – COLETA DE INFORMAÇÕES PRÉ-EXISTENTES

Esta etapa consistiu no levantamento preliminar junto aos órgãos públicos municipais, estaduais e federais, empresas privadas de atividades afins, bem como universidades, visando à coleta de informações oriundas de trabalhos já realizados ou em realização dentro da área de estudo. Tais informações compõem o material bibliográfico, no caso de relatórios técnicos, e os produtos cartográficos, no caso de mapas e produtos de sensoriamento remoto.

A incorporação dessas informações no escopo do trabalho foi realizada em função da possibilidade do seu aproveitamento na elaboração do banco de dados geográfico e do seu conseqüente aproveitamento nas análises de caracterização dos perfis de alteração e compartimentação geotécnica do terreno. Seu uso foi condicionado a assegurar a boa qualidade do mapa final, levando-se em conta a sua procedência e precisão em relação à escala de trabalho, bem como a referência cartográfica pela qual a mesma foi obtida.

A utilização dos relatórios técnicos de sondagens e de poços tubulares profundos foi condicionada à existência de informações suficientes sobre a sua localização exata em base cartográfica digital, de tal forma que não houvesse prejuízo maior que o suportado pela escala adotada no produto final. Isto posto, tornou-se impossível a utilização de alguns desses relatórios, devido principalmente à escassez ou à divergência da informação e/ou dos critérios para a sua obtenção, fato esse que sugere a inexistência de padrões junto ao seu executante. Os principais produtos cartográficos obtidos durante esta etapa se encontram listados na Tabela 5.1.

De uma forma geral, a utilização das informações coletadas seguiu as recomendações feitas por Aguiar (1997), onde este autor sugere que os documentos sejam utilizados em função da data de elaboração e do grau de confiança na sua origem.

Dentro desta etapa também estão inclusos os trabalhos referentes à correção geométrica e registro das imagens de satélite, além da digitalização dos limites, topografia e drenagens referentes à área de trabalho.

Tabela 5.1 – Principais documentos utilizados para o desenvolvimento da pesquisa.

Produtos e Documentos Utilizados	Características	Escala	Origem / Fonte	Formato / Mídia
Mapa geológico		1 : 1.000.000	IBGE / RADAMBRASIL	Digital / CD
Mapa geomorfológico		1 : 1.000.000	IBGE / RADAMBRASIL	Digital / CD
Mapa de vegetação de parte da área de estudo		1 : 1.000.000	IBGE / RADAMBRASIL	Digital / CD
Mapa cartográfico da área de estudo		1 : 10.000	SEMEF / PMM	Digital / CD
Imagens Quickbirds da área de estudo (2003)	Imagens correspondente ao visível, fusionadas com a imagem pancromática. Resolução espacial de 0,61m	-	IMPLURB / PMM	Digital / CD
Imagem Cbers da área de estudo (2004)	Imagens pancromática, e correspondentes a região do azul, verde, vermelho e infravermelho próximo. Resolução espacial 20m	-	INPE	Digital / CD
Relatórios técnicos de furos de sondagens	167 relatórios de sondagens espalhados dentro da área de trabalho	-	CONSULGEO FUNDAÇÕES LTDA.	Analógico / Papel
Relatórios técnicos de poços tubulares profundos	41 relatórios referentes a execução de poços tubulares profundos	-	CPRM – AM / CONSULGEO FUNDAÇÕES LTDA.	Analógico / Papel
Relatórios técnicos de ensaios de laboratório	22 amostras referentes a execução de perfis de amostragens	-	Geotecnia – UnB (Amostras faziam parte da pesquisa de Prado (2004))	Digital / CD

5.2 – CLASSIFICAÇÃO DO TERRENO

5.2.1 – MAPAS BÁSICOS

Consistiu na elaboração da carta imagem da área de estudo, do MDE, do mapa hipsométrico, do mapa de declividade e do mapa de curvatura do terreno. Esta etapa foi realizada a partir de informações obtidas da base cartográfica na escala 1:10.000, com curvas de nível equidistantes em 5m. Teve como objetivo fornecer o suporte adequado à fotointerpretação das imagens digitais, permitindo uma melhor definição dos contatos entre os *landforms*.

5.2.1.1 – CARTA IMAGEM DA ÁREA DE ESTUDO

Foi elaborada a partir da correção geométrica e do registro das imagens do satélite Quickbird, obtida em 17 de outubro de 2003 e superposição no software Spring 4.0 das principais drenagens, principais avenidas e rodovias, que ligam a cidade de Manaus a outros municípios do Estado, sobre a composição colorida 1(R), 2(G), 3(B) (Figura 5.1).

Esta carta proporciona uma visão integrada dos componentes da paisagem, tais como relevo e vegetação, além de permitir a observação de possíveis padrões relacionados à ocupação.

5.2.1.2 – MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO

Neste trabalho, a área de estudo foi mapeada integralmente na escala 1:25.000 segundo os dados altimétricos. Para isso foram interpoladas as curvas de nível eqüidistantes em 5m, constantes da base cartográfica na escala 1:10.000, gerando o TIN (*Triangular Irregular Network*) e posteriormente a grade retangular. A partir da grade gerada foi efetuada a classificação em faixas (fatiamento) para valores acima de 25m e intervalos com amplitude de 20m, obtendo o mapa hipsométrico.

O mapa hipsométrico proporciona uma visão geral do arcabouço geomorfológico da região, permitindo o estudo mais detalhado da relação entre a rede hidrográfica local e os padrões de relevo.

5.2.1.3 – MAPA DE DECLIVIDADE

O mapa de declividade da região foi obtido a partir da classificação em faixas (fatiamento) dos gradientes de declividades obtidos segundo a Equação 5.1, aplicada aos dados altimétricos do modelo de elevação do terreno. Os intervalos utilizados para a elaboração do mapa tiveram como objetivo o realce das pequenas declividades, visto que área de trabalho é relativamente plana: 0 a 2%; 2 a 5%, 5 a 10%, 10 a 20%; e > 20%.

$$\tan D = \sqrt{\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2} \quad (5.1)$$

Onde z é a altitude e x e y são as coordenadas axiais

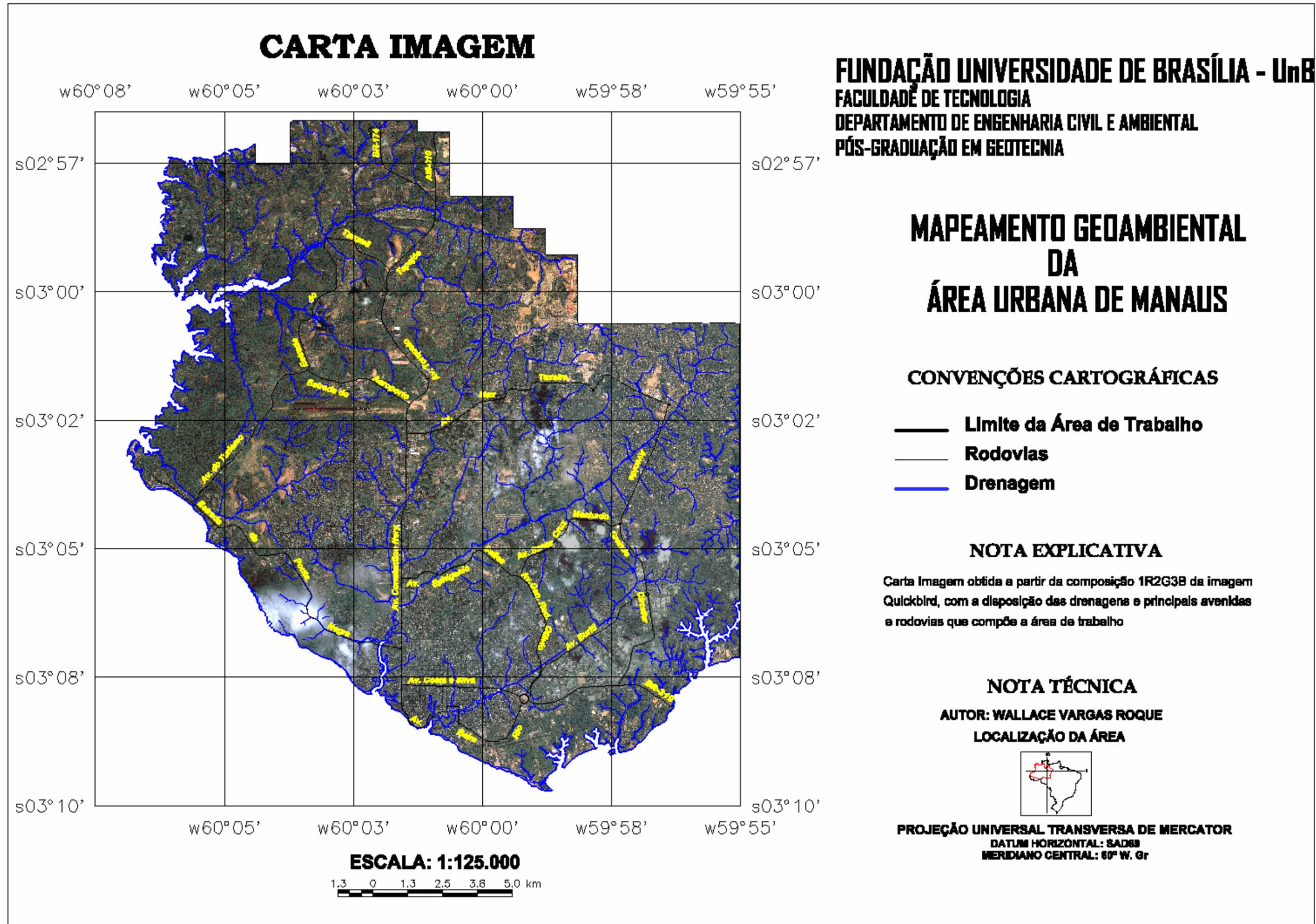


Figura 5.1 – Carta imagem.

Os dados de declividade foram utilizados para a obtenção dos dados de curvatura do terreno, a partir da qual foi possível obter as quebras de relevo, discriminando o seu posicionamento e o grupo as quais pertencem. A partir desse mapa também foi possível estabelecer, em conjunto com a caracterização das unidades geotécnicas, as áreas mais favoráveis ao surgimento de processos erosivos.

5.2.1.4 – MAPA DE DOCUMENTAÇÃO

O Mapa de Documentação (Figura 5.2) é um documento cartográfico importante em um mapeamento geotécnico, pois este permite a visualização da densidade e da distribuição dos pontos amostrados, auxiliando o direcionamento dos trabalhos para áreas rarefeitas.

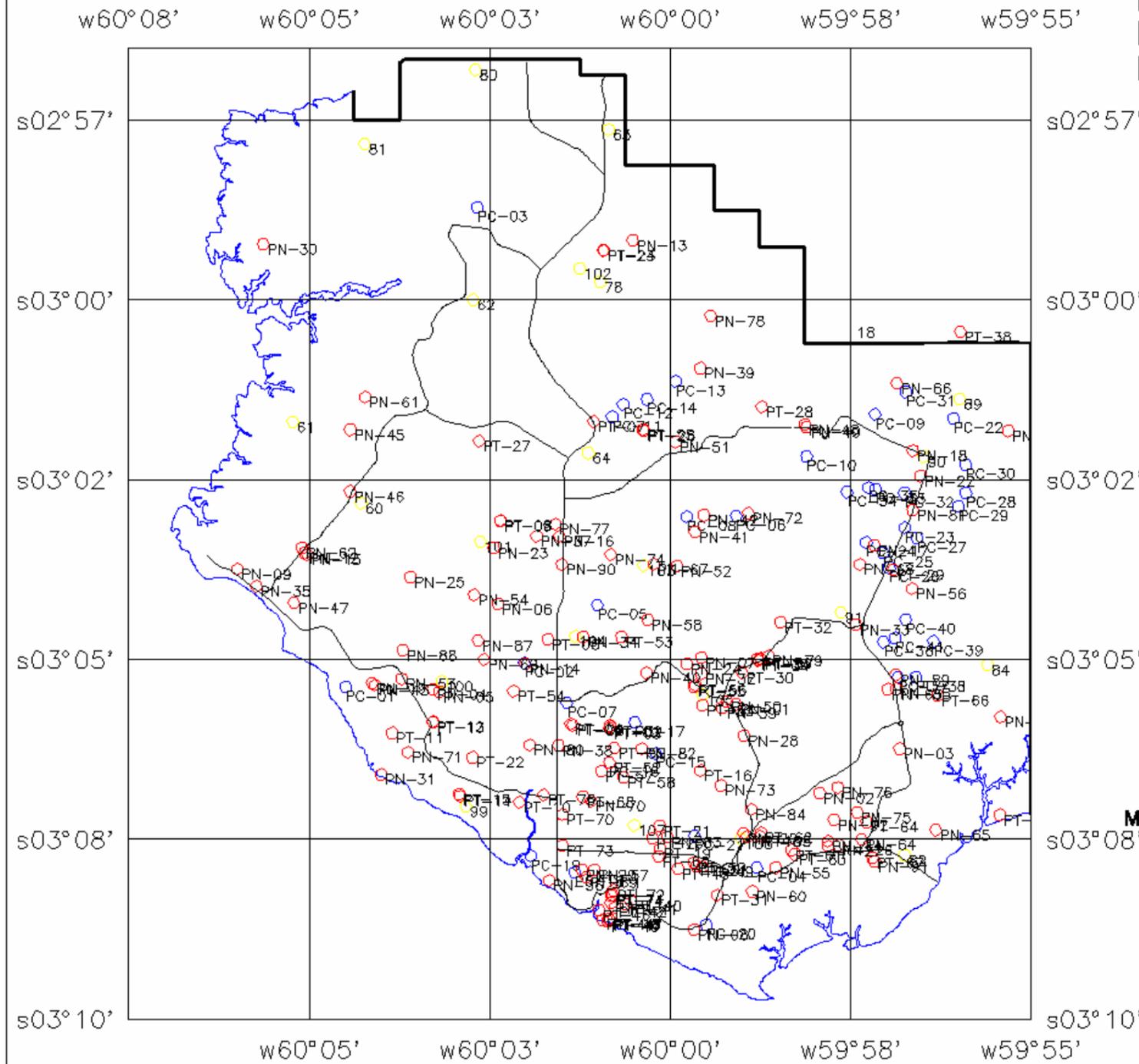
Consiste em um mapa da área de estudo onde são apresentados todos os pontos de informações qualitativas e quantitativas utilizadas para a elaboração das demais cartas, bem como a natureza e a condição da sua obtenção. Os pontos são devidamente identificados por meio de nomenclaturas alfanuméricas e cores, sendo que essa última, para este trabalho, está ligada à condição de sua obtenção. Também são incluídos os traçados das principais avenidas e rodovias que cortam a cidade, procurando assim, fornecer um maior número de atributos para a localização da informação no espaço.

O mapa apresenta um total de 232 pontos, sendo 167 relatórios de furos de sondagens, 41 relatórios de poços tubulares profundos e 24 pontos amostrados. A densidade de informações ficou em torno de 6 pontos a cada 10 km², sendo superior ao proposto por Zuquette (1993) para terrenos sedimentares.

5.2.2 – DETERMINAÇÃO DOS *LANDFORMS*

Consistiu na interpretação das imagens do satélite Quickbird para a obtenção de áreas consideradas homologas com base na sua morfologia. A configuração da imagem multispectral (3 bandas no visível, 1 no infravermelho e 1 pancromática) correspondente à área de trabalho é composta por 58 cenas, com resolução espacial de 0,61m, as quais precisaram ser corrigidas geometricamente a fim de se evitar distorções em relação à base cartográfica existente. Na Figura 5.3 pode-se ver uma parte da área de trabalho na escala 1:10.000 com as curvas de nível e as drenagens.

MAPA DE DOCUMENTAÇÃO



FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UnB
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOTECNIA

MAPEAMENTO GEODAMBIENTAL DA ÁREA URBANA DE MANAUS

ORIGEM DOS DADOS

- Amostras
- Sondagens
- Poços

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Limite da Área de Trabalho
- Rodovias
- Drenagem

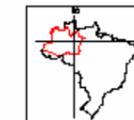
NOTA EXPLICATIVA

Mapa de Documentação obtido a partir da locação dos pontos amostrados segundo a origem da informação: relatórios de sondagens, relatórios de poços tubulares profundos e relatórios de ensaios com amostras de campo.

NOTA TÉCNICA

AUTOR: WALLACE VARGAS ROQUE

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA



PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR
DATUM HORIZONTAL: SAD69
MERIDIANO CENTRAL: 60° W. Gr

Figura 5.2 – Mapa de documentação.

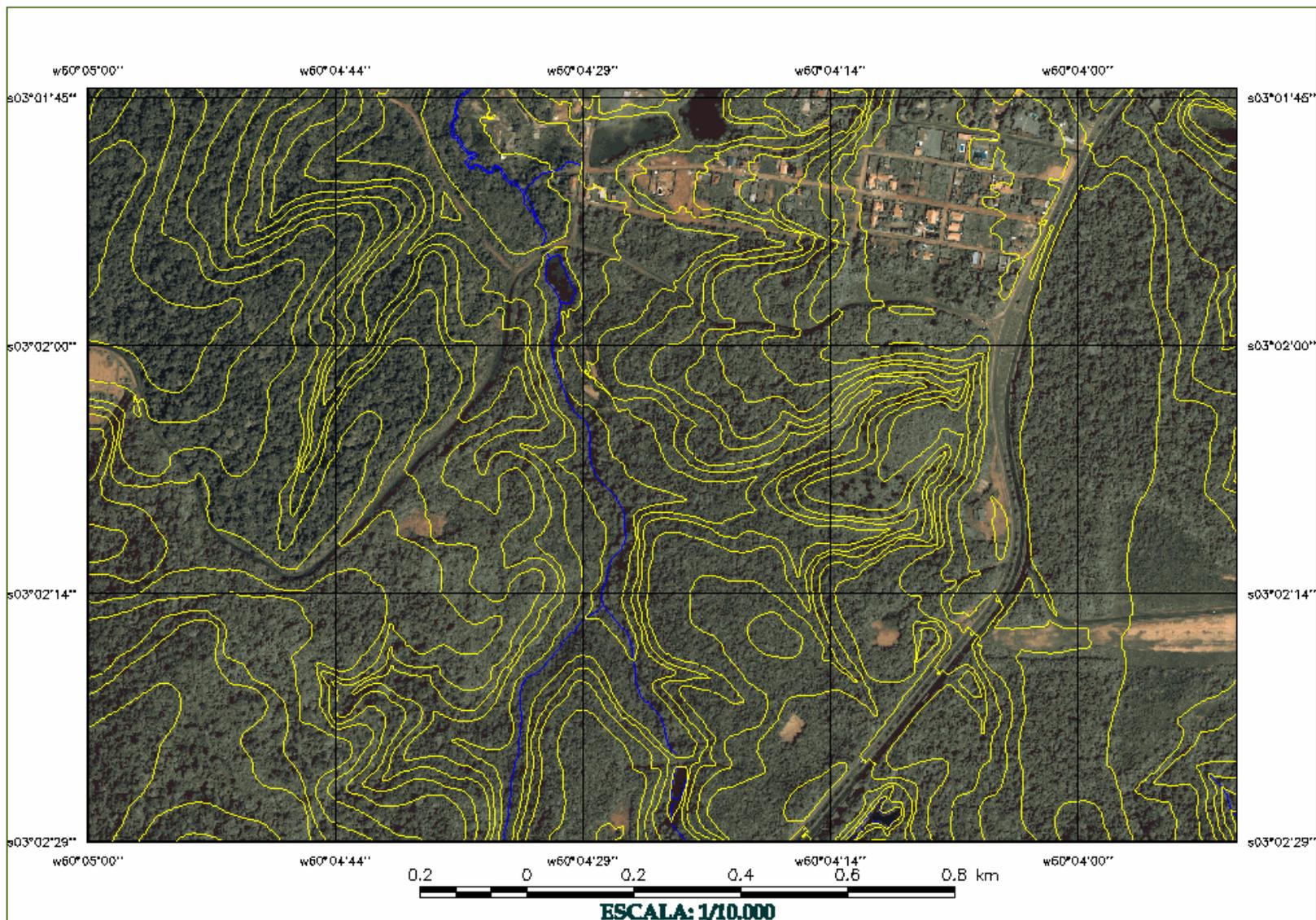


Figura 5.3 – Imagem referente a condição utilizada para a fotointerpretação, mostrando as curvas de nível a cada 5m e as drenagens.

A fotointerpretação teve como finalidade a identificação e delimitação das formas de relevo que compunham a paisagem correspondente à área de trabalho, tendo como base a análise dos elementos texturais das imagens e o reconhecimento dos padrões de drenagem, vegetação e topografia. Assim, identificados os elementos texturais e as organizações que definem os níveis hierárquicos e suas respectivas compartimentações, traçam-se os seus limites com base na análise do tipo, da densidade, da anisotropia e da assimetria.

De uma forma geral, as unidades foram definidas de acordo com a forma e posição topográfica, a frequência e organização das drenagens, a inclinação das vertentes e a amplitude do relevo.

5.3 – CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA

Com a classificação dos compartimentos do terreno terminada, inicia-se a caracterização destas áreas em função das propriedades e características geotécnicas, com destaque para as de interesse aos objetivos dessa pesquisa. Assim sendo, iniciou-se a caracterização dos materiais inconsolidados por meio de ensaios laboratoriais, análise de relatórios de investigação geotécnica e interpretação dos dados obtidos de acordo com as características das unidades do terreno.

Desta forma foi possível estabelecer previsões para os comportamentos hidráulico e mecânico dos materiais inconsolidados, além de proporcionar o conhecimento acerca das formas de ocorrência e a distribuição espacial.

5.3.1 – ENSAIOS GEOTÉCNICOS

Nesta etapa foram realizados os ensaios de caracterização geotécnica em 22 amostras deformadas, sendo submetidas aos ensaios de caracterização da metodologia MCT, limites de consistência e granulômetro a laser.

Os próximos itens serão destinados à explicação sucinta dos procedimentos utilizados na coleta e preparação das amostras e na execução dos ensaios.

5.3.1.1 – COLETA E PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

As amostras utilizadas neste trabalho foram obtidas durante a etapa de verificação de campo realizada para a pesquisa de Prado (2004). O material ensaiado foi obtido, por esse autor, a partir de furos de amostragens com coleta de material em intervalos de profundidade que variaram de 0,5 a 1,5m. Esses materiais foram acondicionados em sacos plásticos, devidamente lacrados e identificados, além de mantidos em locais protegidos das águas das chuvas e dos raios solares.

Para o desenvolvimento desta pesquisa foram utilizadas 22 amostras escolhidas de acordo com a sua localização, ou seja, a escolha foi condicionada a sua posição no interior da área de interesse. Nesta etapa houve uma maior preocupação na caracterização do solo superficial, visto que a análise dos relatórios de sondagens e poços tubulares profundos permitiu a verificação completa dos perfis de solo, tendo a sua importância alinhada à verificação da distribuição espacial do material inconsolidado.

O material utilizado foi homogeneizado e seco ao ar, sendo utilizada a recomendação da NBR 6457 (ABNT, 1986), referente à preparação das amostras de solo para a execução de ensaios de compactação e caracterização.

5.3.1.2 – CARACTERIZAÇÃO EXPEDITA

Consistiu na execução dos ensaios propostos por Nogami e Villibor (1995) para a caracterização expedita de solos tropicais. Essa se baseia na análise do comportamento hidromecânico por meio de ensaios padrões que visam a obtenção de atributos relacionados às medidas de contração, penetração, expansão e resistência. A execução dos ensaios é realizada a partir da moldagem de três pastilhas com 20mm de diâmetro e 5mm de altura, de três bolinhas com aproximadamente 3cm de diâmetro e dois bastonetes de 10cm de comprimento e 3mm de diâmetro. Abaixo estão descritas as formas de obtenção dos atributos:

- Contração (Ct): referente à redução diametral da pastilha, medida em mm, quando seca ao ar na posição vertical por 24 horas;
- Penetração: é aquela verificada por um cilindro de ponta chata com 10g de massa e ϕ 1,3mm, expressa em mm, quando aplicada verticalmente sobre a superfície da pastilha após a reabsorção de água por 2h efetuada sob condições padronizadas.

- Resistência: associada à capacidade de esmagamento das bolinhas por meio da pressão dos dedos, após a secagem de 24 horas;
- Expansão: é aquela representada pelo aumento qualitativo do diâmetro da pastilha verificado após a reabsorção de água por 2 horas;
- Plasticidade: relacionada à capacidade de moldagem e flexibilização dos bastonetes;

A classificação do material é realizada a partir do cruzamento entre os valores do parâmetro c' obtido segundo a Equação 5.2 ou 5.3 e da penetração, com o auxílio da carta de classificação (Figura 5.4).

$$c' = \frac{(\log_{10} Ct + 1)}{0,904}, \text{ para } 0,1 \leq Ct \leq 0,5\text{mm} \quad (5.2)$$

$$c' = \frac{(\log_{10} Ct + 0,7)}{0,5}, \text{ para } Ct > 0,5\text{mm} \quad (5.3)$$

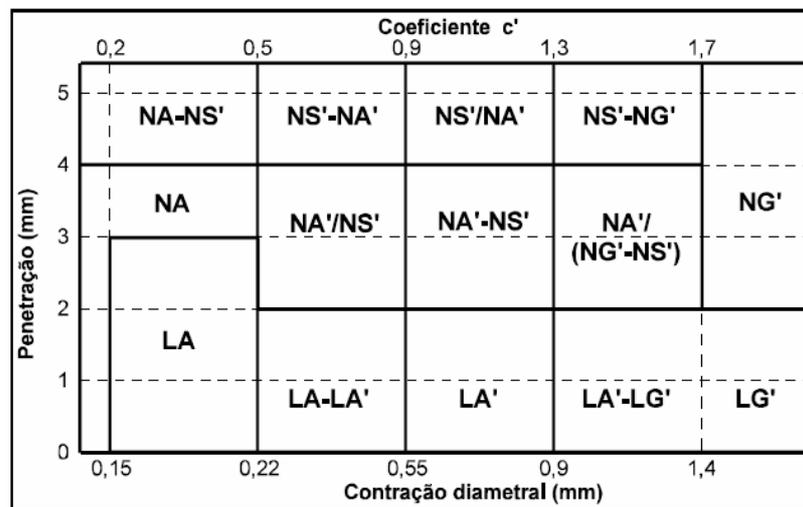


Figura 5.4 – Carta de classificação utilizada na descrição dos solos pela metodologia MCT (Nogami e Villibor, 1995).

5.3.1.3 – DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA

O procedimento para a análise granulométrica adotado é o recomendado pela NBR 7181 (ABNT, 1984a). Basicamente consiste num roteiro para a determinação das frações granulométricas do solo realizado por meio do peneiramento do material segundo uma

seqüência padrão de peneiras. De acordo com o procedimento adotado no laboratório de geotecnica da UnB, o material retido na #40 é analisado via peneiramento mecânico na série de peneiras definida pela NBR 7181, e o material passante é destinado à análise no granulômetro a laser. Nesse equipamento são obtidas as curvas granulométricas que depois são associadas à curva obtida da análise do material mais granular.

5.3.1.4 – LIMITES DE CONSISTÊNCIA

O procedimento adotado para a execução dos ensaios de limites de consistência é o descrito nas NBR 6459 (ABNT, 1984b) referente à obtenção do limite de liquidez, e NBR 7180 (ABNT, 1984c) referente à obtenção do limite de plasticidade. Sucintamente, pode-se dizer que o limite de liquidez é adotado como sendo a umidade necessária para se obter a junção ao longo de 10mm das paredes formadas pelo rasgo no solo aos 25 golpes no aparelho de Casagrande. Já o limite de plasticidade corresponde a menor umidade necessária à formação de bastonetes com 10cm de comprimento e 3mm de diâmetro sobre uma superfície plana e horizontal.

5.3.2 – ANÁLISE GEOTÉCNICA DAS SONDAGENS

Esta etapa consistiu na análise geotécnica de 167 relatórios de sondagens executadas de acordo com a NBR 6484 (ABNT, 2001) pela empresa Consulgeo Fundações LTDA. Este tipo de ensaio fornece uma caracterização visual e táctil do perfil de solo perfurado, além do parâmetro de resistência N_{spt} (Standart Penetration Test). O uso destas informações, dentro do escopo do trabalho, em conjunto com a compartimentação do terreno, permitiu a análise quantitativa quando vista em relação ao todo, e uma análise qualitativa quando observada como parte de uma mesma unidade de terreno. Dentro da análise quantitativa foram ainda estudados 41 relatórios de poços tubulares profundos com o objetivo de se obter um maior número de informações referentes à profundidade do lençol freático e a descrição do substrato rochoso.

A utilização destas informações esteve condicionada à adoção de inúmeros procedimentos voltados a sua padronização, permitindo uma análise coerente em relação a sua distribuição espacial. Na Figura 5.5 encontra-se representado um fluxograma resumo desta etapa, onde são mostrados todos os procedimentos utilizados e as suas relações.

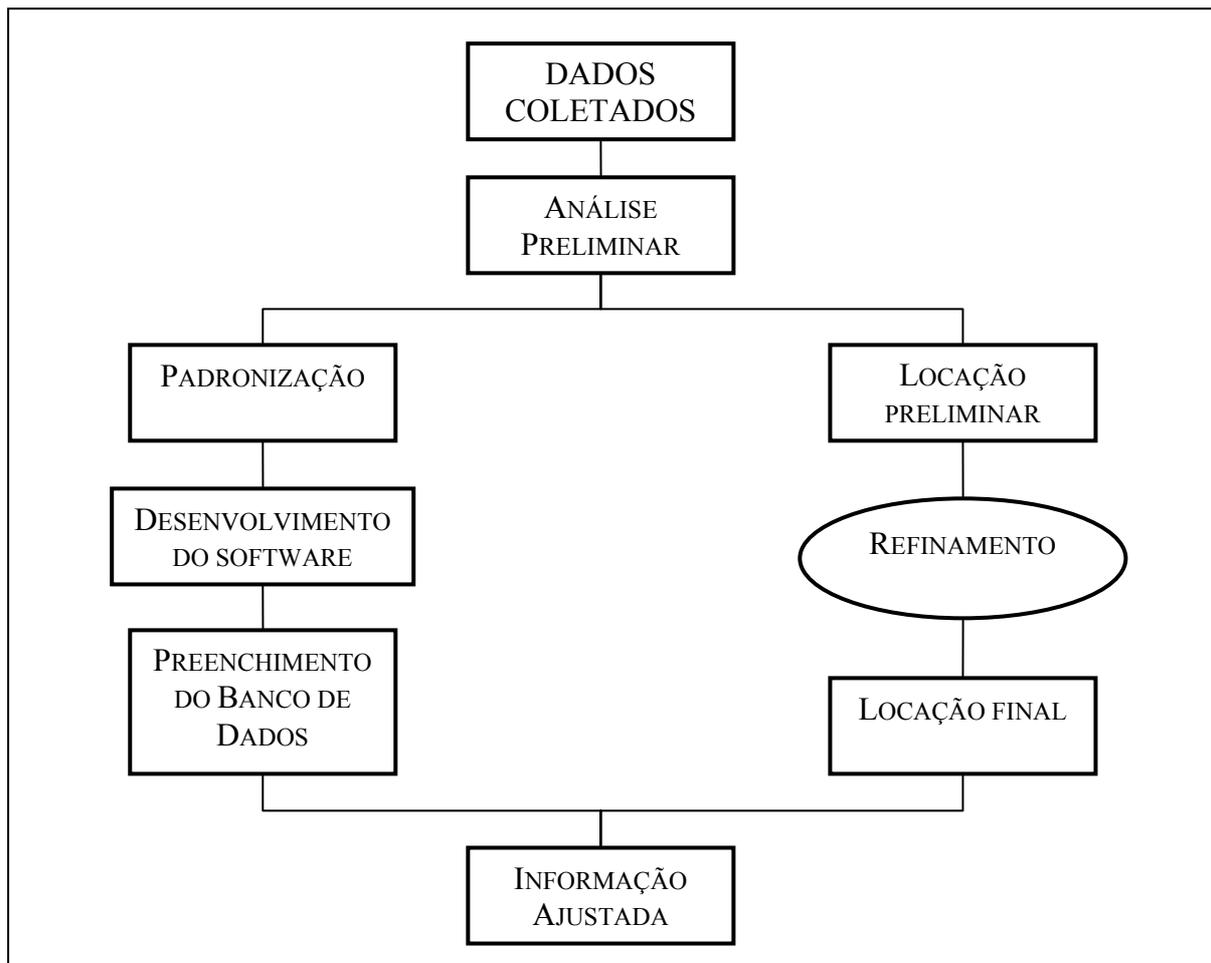


Figura 5.5 – Fluxograma mostrando os procedimentos e suas relações.

O trabalho correspondente a cada procedimento está descrito abaixo:

- ✦ **Análise preliminar:** é a primeira etapa de todo o processo, correspondendo à observação do estado dos dados. Teve como objetivo principal a verificação de um possível padrão existente, obtendo referências quanto às características dos solos e os limites para os valores de SPT;
- ✦ **Padronização:** etapa em que foram estabelecidos os novos critérios a serem adotados com base nos resultados da análise preliminar. A criação de um padrão teve como objetivo principal ajustar todos os relatórios dentro de um mesmo formato, no que diz respeito à caracterização do material e aos limites adotados de SPT. Na Tabela 5.2 encontram-se descritos os valores padrões de textura, cor, origem e consistência, com a nomenclatura e o valor índice. Vale ressaltar que os intervalos adotados para N_{spt} são os sugeridos pela antiga NBR 6484 (ABNT, 2001).

Tabela 5.2 – Tabela com os valores padrões utilizados na pesquisa

TEXTURA		
Tipo	Nomenclatura	Índice
Argila	C	1
Argila Siltosa	Cm	2
Argila Arenosa	Cs	3
Silte	M	4
Silte Argiloso	Mc	5
Silte Arenoso	Ms	6
Areia	S	7
Areia Siltosa	Sm	8
Areia Argilosa	Sc	9
Pedregulho	G	10
Arenito Argiloso	Ar	11
COR		
Tipo	Índice e Nomenclatura	
Amarelo	1	
Amarelo Escuro	2	
Amarelo-vermelho	3	
Amarelo-cinza	4	
Amarelo-branco	5	
Vermelho	6	
Vermelho Escuro	7	
Vermelho-amarelo	8	
Vermelho-cinza	9	
Vermelho-branco	10	
Branco	11	
Branco-vermelho	12	
Branco-amarelo	13	
Branco-cinza	14	
Cinza	15	
Cinza Escuro	16	
Cinza-amarelo	17	
Cinza-vermelho	18	
Cinza-branco	19	
Rosado	20	
Preto	21	

Continua...

Continuação.

ORIGEM		
Tipo	Nomenclatura	Índice
Orgânico	O	1
Residual	Re	2
Retrabalhado	Rt	3
Aluvial	Av	4
Aterro	At	6
COMPACIDADE E CONSISTÊNCIA		
	Tipo	Intervalos de SPT (últimos 30cm)
<i>COMPACIDADE</i>	Fofa	0 - 4
	Pouco Compacta	5 - 8
	Medianamente Compacta	9 - 18
	Compacta	19 - 40
	Muito Compacta	> 40
<i>CONSISTÊNCIA</i>	Muito Mole	0 - 2
	Mole	3 - 5
	Média	6 - 10
	Rija	11 - 19
	Muito Rija	20 - 40
	Dura	> 40

- ✚ **Desenvolvimento de software:** consistiu na criação de um software com interface amigável (Figura 5.6a), desenvolvido em linguagem Pascal (Borland Delphi). Buscou-se com esse, os recursos necessários à inserção dos dados obtidos a partir dos relatórios de sondagens e poços tubulares profundos (Figura 5.6b), de tal forma que possibilitasse futuras atualizações (Figura 5.6c) e permitisse a exportação dos dados a um banco de dados geográfico (Figura 5.6d).
- ✚ **Locação preliminar:** concomitantemente com a padronização, foi realizada uma locação preliminar das sondagens em relação à base cartográfica existente. A execução desse procedimento teve caráter eliminatório, pois a incorporação de um relatório de sondagem ou poço tubular profundo estava condicionada ao nível mínimo de informação para a sua localização;
- ✚ **Refinamento e locação final:** consistiu no levantamento de informações complementares daqueles relatórios que não puderam ser incluídos na etapa anterior, e que pudessem fornecer atributos mínimos para a sua localização. A obtenção destas informações permitia a incorporação do relatório, sendo a sua localização efetuada ou em alguns casos ajustada;

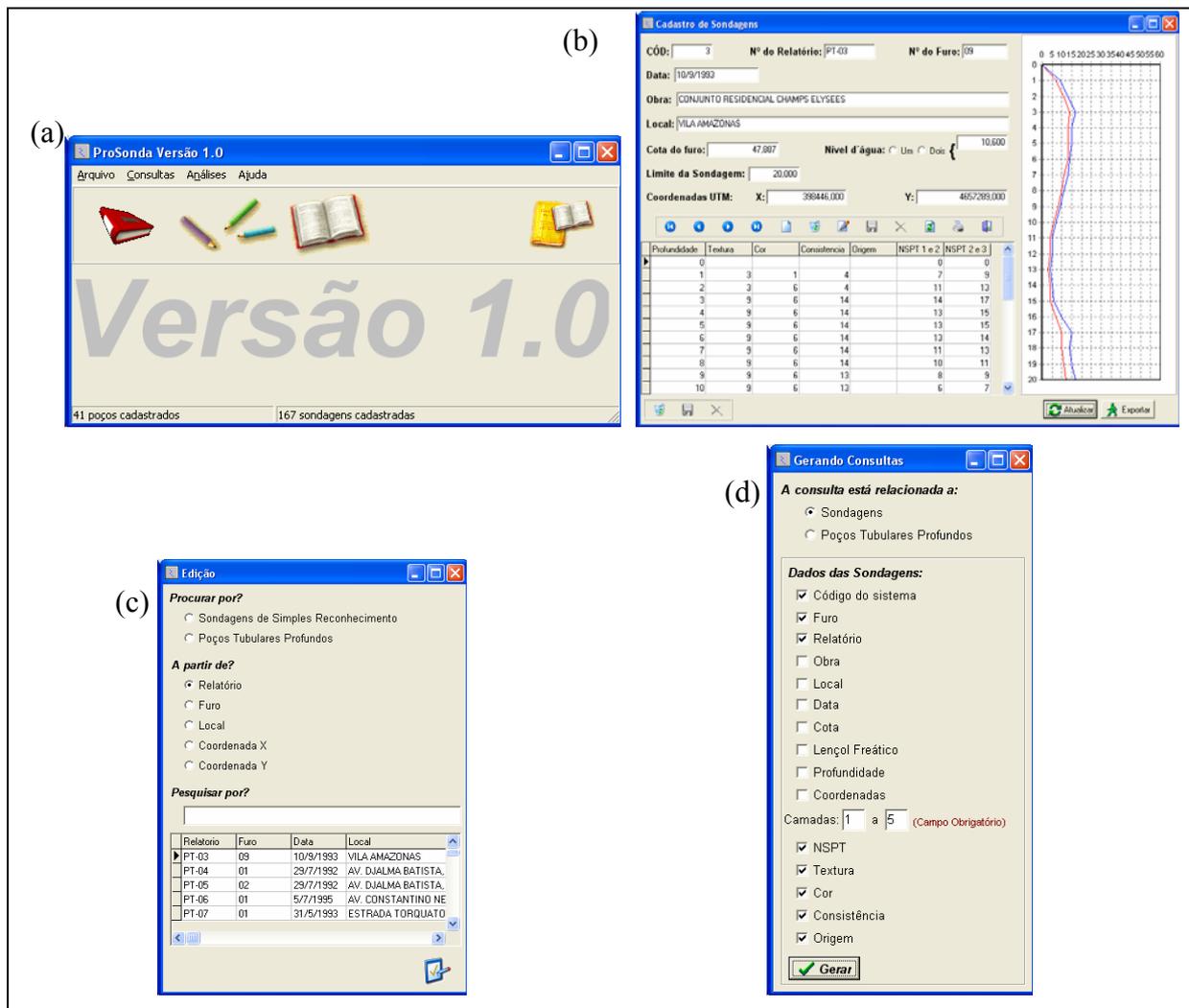


Figura 5.6 – (a) Tela principal do software; (b) Tela para cadastro dos relatórios de sondagens; (c) Tela de pesquisa por relatórios já cadastrados para edição; (d) Tela para a exportação dos dados.

✚ **Preenchimento do banco de dados:** envolveu os trabalhos de digitalização dos dados, adequados ao padrão estabelecido, que em conjunto com a localização final dos pontos amostrados, resultou no conjunto de informações ajustadas, possibilitando o desenvolvimento da análise geotécnica coerente dos relatórios de sondagens e poços tubulares.

5.4 – MAPEAMENTO GEOTÉCNICO FINAL

O procedimento adotado nesta pesquisa para a realização do mapeamento geotécnico consistiu na caracterização, avaliação e classificação geotécnica das unidades do terreno obtidas pela fotointerpretação dos produtos de sensoriamento remoto, com base na

geomorfologia e de acordo com as propriedades geotécnicas determinadas na etapa de caracterização. As etapas executadas no desenvolvimento do trabalho estão descritas a seguir e representadas esquematicamente na Figura 5.7.

A primeira etapa envolveu os trabalhos de fotointerpretação das imagens Quickbirds, em ambiente SIG, onde esse proporcionou uma maior rapidez na sua execução, além de permitir o maior controle da compartimentação do terreno. De forma geral, consistiu na identificação das formas de relevo, de acordo com os elementos estruturais, principalmente a intensidade de drenagem, topografia, declividade e curvatura do terreno. Desta forma, foi possível classificar as diversas unidades de terreno de acordo com o padrão de relevo dominante, resultando no mapa de unidades de terreno.

Nesta primeira etapa também foram realizados os primeiros trabalhos com os relatórios de sondagens e poços tubulares profundos, visando a sua adequação à pesquisa. Para isso foram estabelecidos determinados padrões para a descrição dos perfis geotécnicos e atributos de resistência, os quais por fim tornaram possível a análise geotécnica.

Posteriormente, foram realizados os trabalhos referentes à caracterização geotécnica, envolvendo os ensaios geotécnicos e a análise dos perfis geotécnicos. Vale ressaltar que o desenvolvimento desta análise é limitado às unidades de terreno, ou seja, os relatórios de sondagens, poços tubulares profundos e ensaios de laboratório são separados de acordo com a sua posição dentro das unidades, sendo cada conjunto analisado individualmente. Ao final desta etapa teve-se como resultado o mapa de unidades de terreno caracterizado geotecnicamente, com precisão condizente com a escala 1:25.000.

A etapa seguinte consistiu na obtenção do mapa de cobertura e uso do solo por meio do processamento e da interpretação visual da imagem de satélite, a partir do qual foi possível a identificação dos diversos usos e coberturas, estabelecidos de acordo com o interesse da pesquisa.

E por fim está a elaboração dos mapas específicos, que para esta pesquisa são: carta de áreas potenciais para a disposição de resíduos e carta orientativa para a exploração de materiais de construção. Estes foram obtidos a partir do cruzamento dos planos de informação

desenvolvidos nesta pesquisa, de acordo com o grau de relevância em relação ao fim desejado.

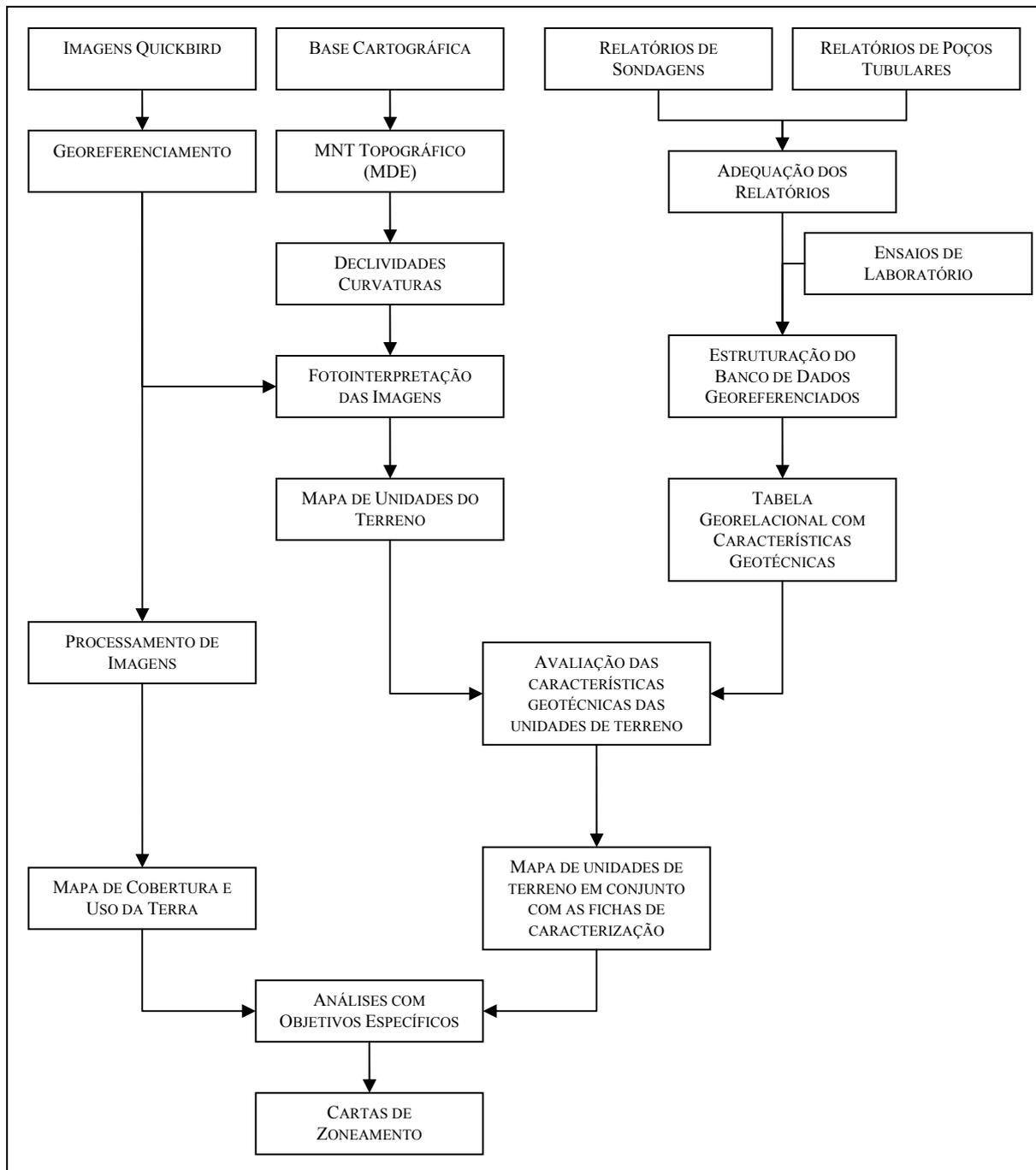


Figura 5.7 – Fluxograma da pesquisa.

Nos próximos itens estão descritos os procedimentos para a obtenção do mapa de cobertura e uso do solo, mapa de unidades geotécnicas e das cartas de zoneamento.

5.4.1 – MAPA DE COBERTURA E USO DO SOLO

O mapa de cobertura e uso do solo foi elaborado a partir do processamento das imagens Quickbird e interpretação visual da mesma, realizados em ambiente SIG no *software* Spring versão 4.0 e na composição colorida R (banda 1), G(banda 2), B (banda 3).

A elaboração deste mapa teve como princípio não só a identificação das classes usuais, mas também procurou incorporar as de interesse para a pesquisa e para a cartografia regional. Desta forma foram descritas as seguintes classes temáticas: floresta ombrófila densa, floresta ombrófila aberta, várzea, campo limpo, campo sujo, campo úmido, capoeira, ocupação periurbana, ocupação urbana, loteamentos recentes, sede rural, agricultura, solo exposto e rios.

5.4.2 – CARACTERIZAÇÃO DAS UNIDADES DE TERRENO

A caracterização das unidades foi realizada por meio do cruzamento do mapa de *landforms* com as informações obtidas na análise dos relatórios de sondagens, poços tubulares profundos e ensaios de laboratório. Desta forma foi possível relacionar as formas de relevo com os horizontes do solo, estudando as diversas adequabilidades à atividade antrópica e riscos naturais e induzidos para cada unidade definida.

Assim sendo, o mapa de unidades de terreno tem como objetivo delimitar, caracterizar e restringir a área de trabalho de acordo com as características do meio físico e com a favorabilidade às diversas atividades a que pode ser submetida. Portanto, o principal resultado se traduz no mapa de unidades na escala 1:25.000, delimitadas de acordo com o grau de homogeneidade geotécnica e com suas informações descritas em fichas desenvolvidas com base na proposta da metodologia PUCE.

O desenvolvimento das fichas teve como objetivo proporcionar ao usuário do mapa de unidades de terreno uma completa descrição das características de uma determinada unidade, onde pudessem ser encontradas informações referentes às formas de relevo, comportamento geotécnico, descrição do perfil típico, tendência dos valores de N_{spt} , bem como uma avaliação quanto à suscetibilidade a riscos geológicos, sua adequabilidade ao uso em obras de engenharia e sua aptidão para a exploração de materiais de construção.

Nos próximos itens serão descritas as principais formas de obtenção e as considerações para o estabelecimento de cada um dos atributos disponíveis nas fichas.

5.4.2.1 – FORMAS DE RELEVO

Nestes campos estão descritos os dados referentes à caracterização geomorfológica da unidade geotécnica, com informações sobre o tipo de forma predominante, sua expressão em área, a amplitude de relevo e a declividade. Essas informações foram adquiridas a partir da análise combinada das unidades de terreno com o MDE e o mapa de declividade, sendo um resultado direto do procedimento de fotointerpretação.

Com intuito de fornecer o maior número de informações necessárias ao usuário do mapa, para a visualização da forma de relevo incorporada em cada unidade, são disponibilizadas figuras esquemáticas do perfil típico e das áreas de ocorrência dentro da região de trabalho.

5.4.2.2 – MATERIAL INCONSOLIDADO

Neste campo encontram-se informações relacionadas às características dos materiais inconsolidados. As informações aqui disponibilizadas foram obtidas a partir da análise dos relatórios de sondagens, poços tubulares profundos e ensaios de laboratório, sendo representadas por meio de horizontes divididos de acordo com a textura, espessura e comportamento geotécnico.

5.4.2.3 – PERFIL TÍPICO DE N_{spt}

Nesta parte existe uma representação gráfica da tendência do N_{spt} ao longo da profundidade, obtida a partir da análise dos perfis de sondagem distribuídos dentro de uma mesma unidade. Os valores de N_{spt} representativos dos horizontes foram obtidos por análise estatística com descarte, em função do número de amostras do conjunto analisado, para o maior e menor valor desse conjunto, eliminando, desta forma, valores discrepantes existentes no mesmo.

5.4.2.4 – AVALIAÇÃO DO TERRENO

O conteúdo das fichas também incorpora uma avaliação generalizada do terreno em função da susceptibilidade de uma determinada unidade aos riscos geológicos, da adequabilidade para a implantação de obras de engenharia e o potencial para a exploração de recursos naturais. De uma forma geral, o procedimento metodológico utilizado para a avaliação das unidades geotécnicas consistiu em uma análise ponderada dos atributos utilizados em uma determinada avaliação (Equação 5.4). Vale ressaltar que esse procedimento é indicativo e que em alguns casos fez-se necessário o uso de uma análise subjetiva.

$$X = \sum_{z=1}^n (i \times P) ; \quad i \in \mathfrak{R} \mid 0 \leq i \leq 1,0 \text{ e } \sum P = 1,0 \quad (5.4)$$

Onde:

- X é o valor correspondente a um grau de favorabilidade em uma determinada avaliação.
- i é o índice dado a cada intervalo dos atributos de acordo com o potencial mais favorável à condição que está sendo analisada;
- P é o peso atribuído ao atributo analisado de acordo com o nível de importância para a avaliação em questão;
- n é o número de atributos analisados em uma determinada avaliação.

Desta forma, são obtidos valores de X que podem ser associados ao grau de favorabilidade para uma avaliação desejada. Nesta pesquisa foram utilizados os intervalos de valores de X de acordo com o descrito na Tabela 5.3.

Tabela 5.3 – Relação entre as classes de susceptibilidade/adequabilidade/favorabilidade e os valores de X

Grau	Valores de X
Não Susceptível	< 0,25
Pouco Susceptível	0,25 a 0,50
Susceptível	0,50 a 0,75
Muito Susceptível	0,75 a 1,00

Assim sendo, o grau de favorabilidade à ocorrência de processos erosivos foi obtido por meio da relação entre textura, consistência/compacidade, espessura do material inconsolidado e declividade. Para a susceptibilidade à inundação foi considerada a relação entre textura, altitude da forma de relevo, nível do lençol freático e declividade e para os movimentos de massa foram considerados os aspectos relacionados à textura, consistência/compacidade, amplitude de relevo e declividade (Tabela 5.4).

Tabela 5.4 – Relação entre os atributos para a determinação da susceptibilidade aos processos erosivos, à inundação e aos movimentos de massa.

ATRIBUTOS	CLASSES	ÍNDICE DAS CLASSES			PESO DOS ATRIBUTOS		
		(a)	(b)	(c)	(a)	(b)	(c)
Textura dos materiais inconsolidados	Areia	0,70	0,00	0,60	0,30	0,15	0,30
	Areia-argilosa	0,50	0,30	0,30			
	Areia-argilosa c/ pedregulhos	0,40	0,20	0,50			
	Argila laterizada	0,30	0,20	0,50			
	Argila	0,00	1,00	0,60			
	Argila-arenosa	0,30	0,80	0,20			
	Argila-siltosa	0,50	0,60	0,40			
	Pedregulho-arenoso	0,30	0,20	0,50			
	Pedregulho-siltoso	0,45	0,35	0,70			
Consistência / Compacidade	Fofa/mole ou inferior	1,00	-	1,00	0,30	-	0,20
	Fofa/mole a média	0,75	-	0,75			
	Média	0,50	-	0,50			
	Média a compacta/rija	0,25	-	0,25			
	Compacta/rija ou superior	0,00	-	0,00			
Espessura do material inconsolidado do horizonte mais superficial	< 5m	1,00	-	-	0,20	-	-
	5 a 10m	0,75	-	-			
	10 a 15m	0,50	-	-			
	15 a 20m	0,25	-	-			
	> 20m	0,00	-	-			
Altitude	< 25m	-	1,00	-	-	0,30	-
	25 a 40m	-	0,75	-			
	40 a 80m	-	0,50	-			
	80 a 100m	-	0,25	-			
	> 100m	-	0,00	-			
Amplitude do relevo	< 5m	-	-	0,00	-	-	0,20
	5 a 10m	-	-	0,25			
	10 a 15m	-	-	0,50			
	15 a 20m	-	-	0,75			
	> 20m	-	-	1,00			

Continua...

Continuação.

ATRIBUTOS	CLASSES	ÍNDICE DAS CLASSES			PESO DOS ATRIBUTOS		
		(a)	(b)	(c)	(a)	(b)	(c)
Nível do lençol freático	< 5m	-	1,00	-	-	0,25	-
	5 a 10m	-	0,50	-			
	10 a 15m	-	0,25	-			
	15 a 20m	-	0,00	-			
	> 20m	-	0,00	-			
Declividade	< 2%	0,00	1,00	0,00	0,20	0,30	0,30
	2 a 5%	0,25	0,75	0,25			
	5 a 10%	0,50	0,50	0,50			
	10 a 20%	0,75	0,00	0,75			
	> 20%	1,00	0,00	1,00			

(a) – Índice das classes e pesos dos atributos para o estudo da suscetibilidade aos processos erosivos / (b) – Índice de classes e pesos dos atributos para o estudo da suscetibilidade à inundação / (c) – Índice de classes e pesos dos atributos para o estudo da suscetibilidade aos movimentos de massa.

Outra avaliação realizada nas unidades relaciona-se ao potencial de adequação das mesmas às obras de engenharia como loteamentos, traçado de estradas e locais para disposição de resíduos. Para essas análises foram utilizadas as características referentes à textura predominante, consistência/compacidade, espessura do material inconsolidado, amplitude de relevo, altitude, profundidade do lençol freático e declividade. Os índices estabelecidos para as classes e os pesos dos atributos podem ser vistos na Tabela 5.5.

Tabela 5.5 - Relação entre os atributos para a análise do potencial para loteamentos, estradas e disposição de resíduos.

ATRIBUTOS	CLASSES	ÍNDICE DAS CLASSES			PESO DOS ATRIBUTOS		
		(a)	(b)	(c)	(a)	(b)	(c)
Textura dos materiais inconsolidados	Areia	0,80	0,60	0,30	0,20	0,30	0,25
	Areia-argilosa	1,00	0,50	0,40			
	Areia-argilosa c/ pedregulhos	0,70	0,80	0,30			
	Argila laterizada	0,40	0,80	0,20			
	Argila	0,40	0,40	0,40			
	Argila-arenosa	0,60	0,60	1,00			
	Argila-siltosa	0,20	0,20	0,80			
	Pedregulho-arenoso	0,40	1,00	0,20			
	Pedregulho-siltoso	0,30	0,70	0,25			
Consistência / Compacidade	Fofa/mole ou inferior	0,00	0,00	0,00	0,15	0,25	0,10
	Fofa/mole a média	0,25	0,25	0,25			
	Média	0,50	0,50	0,50			
	Média a compacta/rija	0,75	0,75	0,75			
	Compacta/rija ou superior	1,00	1,00	1,00			

ATRIBUTOS	CLASSES	ÍNDICE DAS CLASSES			PESO DOS ATRIBUTOS		
		(a)	(b)	(c)	(a)	(b)	(c)
Espessura do material inconsolidado	< 5m	0,00	0,00	0,00	0,10	0,15	0,25
	5 a 10m	0,25	0,25	0,25			
	10 a 15m	0,50	0,50	0,50			
	15 a 20m	0,75	0,75	0,75			
	> 20m	1,00	1,00	1,00			
Altitude	< 25m	0,00	-	-	0,10	-	-
	25 a 40m	0,25	-	-			
	40 a 80m	0,75	-	-			
	80 a 100m	1,00	-	-			
	> 100m	1,00	-	-			
Amplitude do relevo	< 5m	1,00	-	-	0,10	-	-
	5 a 10m	0,75	-	-			
	10 a 15m	0,50	-	-			
	15 a 20m	0,25	-	-			
	> 20m	0,00	-	-			
Nível do lençol freático	< 5m	0,00	0,00	0,00	0,15	0,15	0,20
	5 a 10m	0,25	0,25	0,25			
	10 a 15m	0,50	0,50	0,50			
	15 a 20m	1,00	0,75	0,75			
	> 20m	0,80	1,00	1,00			
Declividade	< 2%	0,80	0,80	0,80	0,20	0,15	0,20
	2 a 5%	1,00	1,00	1,00			
	5 a 10%	0,50	0,50	0,50			
	10 a 20%	0,25	0,25	0,25			
	> 20%	0,00	0,00	0,00			

(a) – Índice das classes e pesos dos atributos para o estudo de adequabilidade a loteamentos / (b) – Índice de classes e pesos dos atributos para o estudo de adequabilidade para a implantação de estradas / (c) – Índice de classes e pesos dos atributos para o estudo da adequabilidade a disposição de resíduos.

A análise de potencialidade para a exploração de recursos naturais ficou limitada ao reconhecimento de jazidas para materiais como argila, areia e seixo ou brita. Essa informação foi obtida a partir do cruzamento entre os dados de textura, espessura dos materiais inconsolidados e declividade (Tabela 5.6).

Além das análises supracitadas, ainda são encontradas informações referentes à profundidade do lençol freático e do impenetrável, obtidas a partir da análise dos relatórios de sondagens e poços tubulares profundos. Também está disponível a caracterização pedológica do solo superficial de acordo com a classificação MCT e SUCS, oriundas dos ensaios de caracterização.

Tabela 5.6 - Relação entre os atributos para a obtenção do potencial a exploração de argila, areia e cascalho

ATRIBUTOS	CLASSES	ÍNDICE DAS CLASSES			PESO DOS ATRIBUTOS		
		(a)	(b)	(c)	(a)	(b)	(c)
Textura dos materiais inconsolidados	Areia	0,00	1,00	0,00	0,40	0,40	0,50
	Areia-argilosa	0,00	0,60	0,00			
	Areia-argilosa c/ pedregulhos	0,00	0,50	0,30			
	Argila laterizada	0,10	0,00	0,50			
	Argila	1,00	0,00	0,00			
	Argila-arenosa	0,60	0,00	0,00			
	Argila-siltosa	0,60	0,00	0,00			
	Pedregulho-arenoso	0,00	0,10	1,00			
	Pedregulho-siltoso	0,00	0,00	0,70			
Consistência / Compacidade	Fofa/mole ou inferior	0,00	0,00	-	0,15	0,15	-
	Fofa/mole a média	0,25	0,25	-			
	Média	0,50	0,50	-			
	Média a compacta/rija	0,75	0,75	-			
	Compacta/rija ou superior	1,00	1,00	-			
Espessura do material inconsolidado	< 5m	0,00	0,00	0,00	0,30	0,30	0,35
	5 a 10m	0,25	0,25	0,25			
	10 a 15m	0,50	0,50	0,50			
	15 a 20m	0,75	0,75	0,75			
	> 20m	1,00	1,00	1,00			
Declividade	< 2%	1,00	1,00	1,00	0,15	0,15	0,15
	2 a 5%	0,75	0,75	0,75			
	5 a 10%	0,50	0,50	0,50			
	10 a 20%	0,25	0,25	0,25			
	> 20%	0,00	0,00	0,00			

(a) – Índice das classes e pesos dos atributos para a exploração de argila / (b) – Índice de classes e pesos dos atributos para a exploração de areia / (c) – Índice de classes e pesos dos atributos para a exploração de cascalho.

5.4.3 – CARTA DE ÁREAS POTENCIAIS PARA DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS

A disponibilidade de cartas de áreas potenciais para a disposição de resíduos subsidia estudos mais detalhados para a localização de locais apropriados ao descarte do lixo urbano, proporcionando uma redução significativa dos recursos humanos, financeiros e de tempo. Este tipo de carta incorpora os atributos do meio físico, os aspectos previstos na legislação e os aspectos relativos a custos, constituindo uma ferramenta indispensável à gestão urbana e ambiental no que diz respeito ao sistema de coleta e destinação dos resíduos.

Neste trabalho, a carta de áreas potenciais para a disposição de resíduos foi obtida a partir do cruzamento, por meio de um algoritmo de sobreposição indexada, das seguintes informações: o potencial das unidades geotécnicas, a cobertura e uso da terra, distância da rede de drenagem, distância das áreas urbanas e distância das principais rodovias. As informações referentes às distâncias as redes de drenagens, áreas urbanas e rodovias são oriundas de mapas de distância (*buffers*), levando-se em conta a proteção do meio ambiente e os aspectos econômicos, sendo que esses estão diretamente relacionados com o aumento dos trechos percorridos entre a coleta e a disposição dos resíduos. Foram estabelecidas três classes variando de acordo com o nível de restrição dos atributos, obtendo as áreas de acordo com o potencial para a disposição de um determinado tipo de resíduo (perigosos, não-inertes e inertes). A Tabela 5.7 apresenta os atributos bem como os seus respectivos pesos utilizados na composição da carta.

Tabela 5.7 – Atributos utilizados para a elaboração da carta de áreas potenciais para a disposição de resíduos

Atributos	Classes	Índice das Classes			Peso dos Atributos
		CLASSE 1	CLASSE 2	CLASSE 3	
Potencial das Unidades	Unidade I – “P _{PS} ”	0,40	0,60	1,00	0,25
	Unidade II – “P _{LW} ”	0,40	0,59	0,80	
	Unidade III – “P _{BW} ”	0,25	0,49	0,70	
	Unidade IV – “S _P ”	0,25	0,48	0,70	
	Unidade V – “T _A ”	0,20	0,45	0,60	
	Unidade VI – “H _{CX} ”	0,20	0,45	0,60	
	Unidade VII – “H _P ”	0,10	0,34	0,50	
	Unidade VIII – “H _{CV} ”	0,00	0,20	0,30	
	Unidade IX – “H _{CX} B _{CV} ”	0,20	0,46	0,60	
	Unidade X – “H _P T _{CX} ”	0,20	0,38	0,60	
	Unidade XI – “H _{CV} B _{CX} ”	0,10	0,38	0,40	
	Unidade XII – “H _{DR} ”	0,00	0,00	0,00	
	Unidade XIII – “P _{FL} ”	0,00	0,00	0,00	
	Unidade XIV – “D _{VA} ”	0,00	0,00	0,00	
Distância às áreas urbanas	< 1000m	0,00	0,00	0,00	0,15
	1000 a 2000m	0,00	0,20	0,50	
	2000 a 3000m	0,20	0,40	1,00	
	3000 a 5000m	0,50	0,80	0,20	
	> 5000m	1,00	1,00	0,00	
Distância as principais rodovias	< 1000m	1,00	1,00	1,00	0,15
	1000 a 2500m	0,80	0,80	0,80	
	2500 a 5000m	0,40	0,40	0,40	
	5000 a 10000m	0,20	0,20	0,20	
	> 10000m	0,00	0,00	0,00	

Atributos	Classes	Índice das Classes			Peso dos Atributos
		CLASSE 1	CLASSE 2	CLASSE 3	
Distância à rede de drenagem	< 200m	0,00	0,00	0,00	0,15
	200 a 400m	0,00	0,20	0,20	
	400 a 800m	0,20	0,40	0,40	
	800 a 1000m	0,50	0,80	0,80	
	> 1000m	1,00	1,00	1,00	
Cobertura e Uso da Terra	Floresta ombrófila densa	0,00	0,10	0,10	0,25
	Floresta ombrófila aberta	0,00	0,20	0,20	
	Mata de várzea	0,00	0,00	0,00	
	Campo limpo	0,70	0,70	0,80	
	Campo sujo	0,80	0,80	1,00	
	Campo alagadiço	0,00	0,10	0,10	
	Capoeira	0,40	0,50	0,70	
	Ocupação urbana	0,00	0,00	0,00	
	Ocupação periurbana	0,00	0,00	0,00	
	Loteamentos recentes	0,00	0,00	0,00	
	Sede rural	0,00	0,20	0,20	
	Agricultura	0,30	0,50	0,50	
	Solo exposto	0,80	0,80	1,00	
	Rios	0,00	0,00	0,00	

5.4.4 – CARTA ORIENTATIVA PARA A EXPLORAÇÃO DE RECURSOS NATURAIS

A carta orientativa para a exploração de recursos naturais visa contribuir ao uso sustentável dos recursos naturais da região. Sua disponibilidade reduz o custo e o tempo de trabalho em estudos mais detalhados, pois orienta as investigações de campo minimizando a mobilização de equipamentos e pessoal. Como para a análise citada anteriormente, esta carta sintetiza as informações referentes ao meio físico com os aspectos previstos na legislação, constituindo uma ferramenta indispensável à gestão dos recursos naturais disponíveis na região. Esta carta foi obtida a partir da análise pela técnica de sobreposição indexada de informações referentes ao potencial das unidades geotécnicas, a cobertura e uso da terra, distância da rede de drenagem, distância das áreas urbanas e distância das principais rodovias. A Tabela 5.8 apresenta os atributos e os respectivos pesos utilizados na composição da carta.

Tabela 5.8 - Atributos utilizados na elaboração da carta orientativa para a exploração de recursos naturais

Atributos	Classes	Índice das Classes			Peso dos Atributos
		Argila	Areia	Cascalho	
Distância à rede de drenagem	< 100m	0,00	0,00	0,00	0,15
	100 a 400m	0,20	0,20	0,20	
	400 a 800m	0,40	0,40	0,40	
	800 a 1000m	0,80	0,80	0,80	
	> 1000m	1,00	1,00	1,00	
Distância às áreas urbanas	< 1000m	0,00	0,00	0,00	0,15
	1000 a 2000m	0,20	0,20	0,20	
	2000 a 3000m	0,60	0,60	0,60	
	3000 a 5000m	1,00	1,00	1,00	
	> 5000m	0,60	0,60	0,60	
Distância as principais rodovias	< 1000m	1,00	1,00	1,00	0,15
	1000 a 2500m	0,80	0,80	0,80	
	2500 a 5000m	0,40	0,40	0,40	
	5000 a 10000m	0,20	0,20	0,20	
	> 10000m	0,00	0,00	0,00	
Potencial das Unidades	Unidade I – “P _{PS} ”	0,74	0,15	0,40	0,30
	Unidade II – “P _{LW} ”	0,70	0,11	0,36	
	Unidade III – “P _{BW} ”	0,43	0,43	0,00	
	Unidade IV – “S _P ”	0,59	0,08	0,33	
	Unidade V – “T _A ”	0,50	0,54	0,15	
	Unidade VI – “H _{CX} ”	0,49	0,08	0,24	
	Unidade VII – “H _P ”	0,63	0,04	0,29	
	Unidade VIII – “H _{CV} ”	0,48	0,08	0,25	
	Unidade IX – “H _{CX} B _{CV} ”	0,43	0,43	0,04	
	Unidade X – “H _P T _{CX} ”	0,55	0,04	0,29	
	Unidade XI – “H _{CV} B _{CX} ”	0,51	0,19	0,29	
	Unidade XII – “H _{DR} ”	0,32	0,35	0,33	
	Unidade XIII – “P _{FL} ”	0,47	0,47	0,20	
	Unidade XIV – “D _{VA} ”	0,47	0,47	0,40	
Cobertura e Uso da Terra	Floresta Ombrófila Densa	0,00	0,00	0,00	0,25
	Floresta Ombrófila Aberta	0,20	0,20	0,20	
	Mata de Várzea	0,00	0,00	0,00	
	Campo	0,50	0,50	0,50	
	Campo Sujo	0,60	0,60	0,60	
	Campo Alagadiço	0,10	0,10	0,10	
	Copoeira	0,50	0,50	0,50	
	Ocupação Urbana	0,00	0,00	0,00	
	Ocupação PeriUrbana	0,00	0,00	0,00	
	Loteamentos Recentes	0,00	0,00	0,00	
	Sede Rural	0,20	0,20	0,20	
	Agricultura	0,30	0,30	0,30	
	Solo Exposto	0,80	0,80	0,80	
Rios	0,00	0,00	0,00		

6 – ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo são detalhados os resultados obtidos de acordo com a metodologia proposta. Inicialmente são discutidos o modelo digital de elevação e o mapa de declividade, os quais fazem parte dos documentos cartográficos básicos necessários ao emprego da metodologia proposta. Em seguida é analisado o mapa de uso e cobertura do solo, sendo avaliadas as tendências da ocupação urbana desenvolvida na área. Posteriormente são analisados os resultados obtidos com a carta geotécnica, compreendendo a caracterização das unidades geotécnicas identificadas na área de trabalho. Por fim são discutidos os resultados obtidos com as cartas específicas para a disposição de resíduos e orientação para a exploração de materiais de construção.

6.1 – MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO (MDE)

A análise das curvas hipsométricas NW-SE, SW-NE, N-S e E-W (Figuras 6.1 e 6.2), traçadas sobre o MDE, evidenciam a existência das falésias ao longo das margens do Rio Negro, resultado do basculamento do terreno no sentido NE, resultando no soerguimento da região SW (Figura 6.3). De uma forma geral o relevo da área de trabalho possui uma altitude média variando entre 50 a 70m, sendo que a nordeste encontra-se os interflúvios tabulares mais altos com altitudes em torno de 100m. O caminhamento NW-SE é marcado pela presença de grandes vales, visto que as principais drenagens da região estão no sentido NE-SW. Desta forma o sentido SW-NE é marcado, na sua maior parte, por uma superfície com baixa amplitude altimétrica sendo influenciado apenas pelos pequenos vales correspondentes as drenagens secundárias.

O mapa hipsométrico (Figura 6.4) fornece uma boa visão do arcabouço geomorfológico da área de trabalho, compreendendo em interflúvios tabulares, intensamente dissecados, com extensões máximas em torno de 7500m e altitudes variando de 70 a 105m, além de vales amplos e alargados de fundo plano. Com relação à divisão interna da área, pode-se dizer que

as regiões mais elevadas são aquelas que estão a nordeste do bairro da Cidade Nova e a norte do bairro Jorge Teixeira.

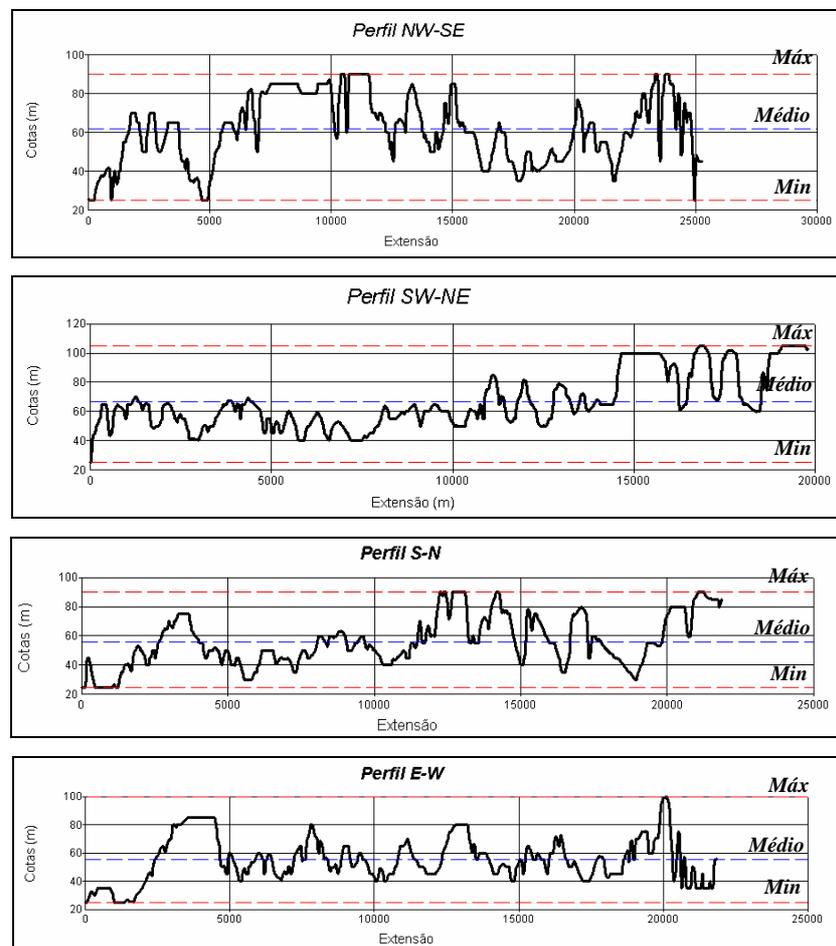


Figura 6.1 – Gráficos correspondentes aos perfis do terreno no sentido NW-SE, SW-NE, S-N e E-W da área.

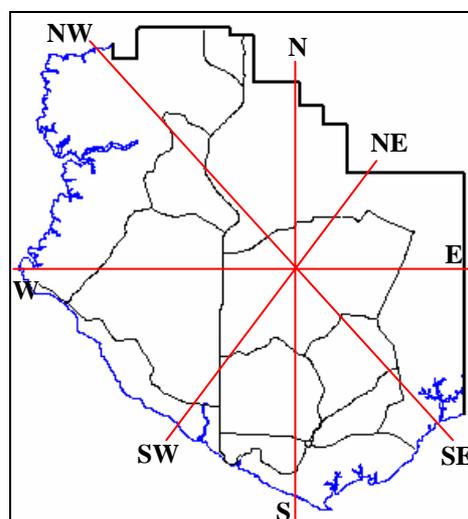


Figura 6.2 – Configuração dos perfis.

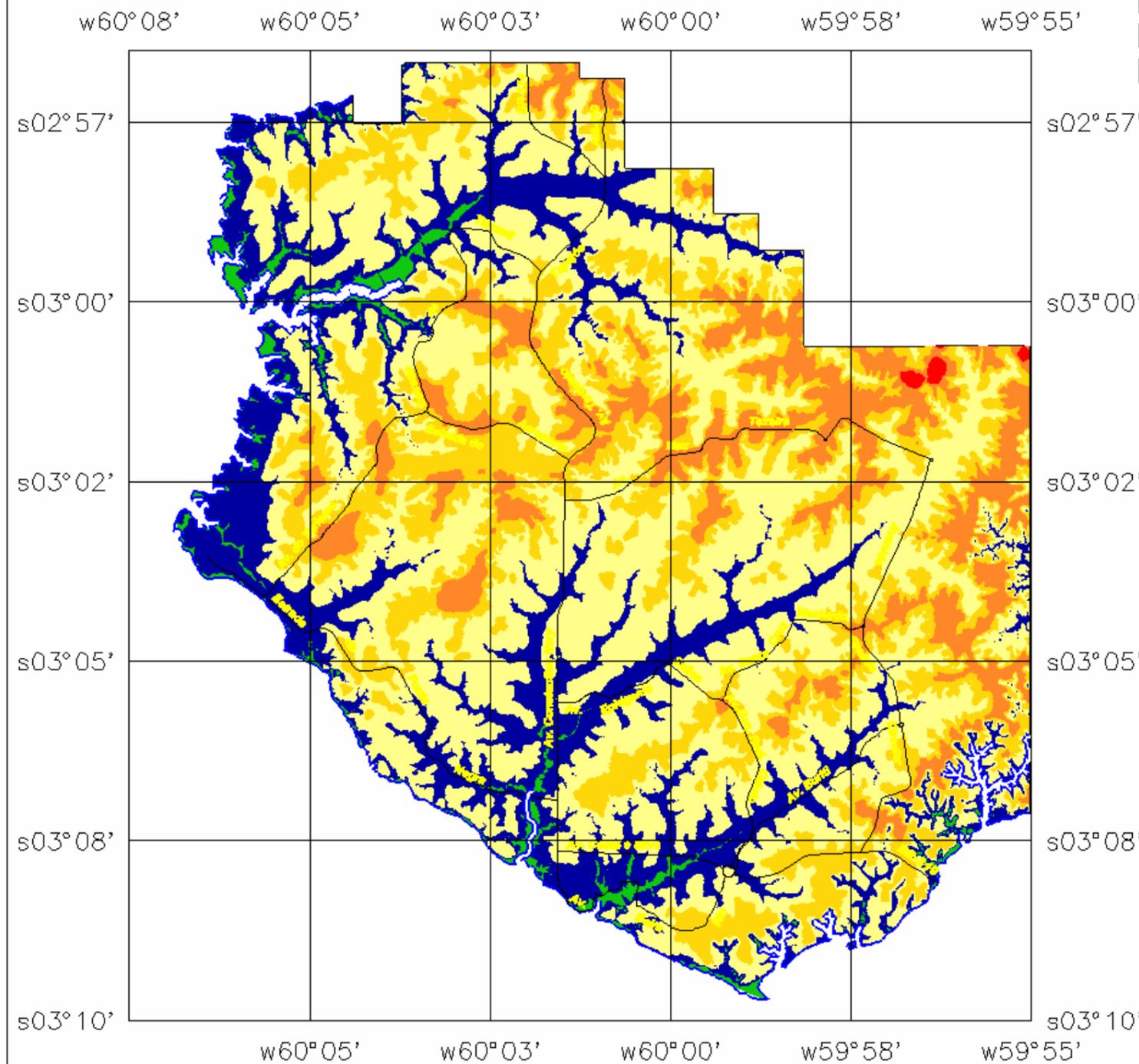


Figura 6.3 – Foto da área próxima ao porto de São Raimundo onde pode ser observada a formação das falésias.

Ainda segundo esse mapa tem-se que 3,1% da área de trabalho é composta por áreas com altitudes iguais ou menores que 25 metros, correspondendo às áreas de contato com o Rio Negro e os principais igarapés que cortam a área. Aproximadamente 18,1% é referente às áreas com altitudes entre 25 e 40m, correspondendo principalmente as áreas formadas pelas planícies de inundação e fundos de vale. Cerca de 44,7% da área está inserida no intervalo entre 40 e 60m, englobando em grande parte as altitudes médias da região. Em torno de 23,5% se encontra entre as altitudes de 60 a 80m, correspondendo às regiões de encosta. Outros 10,4% encontram-se entre os limites de 80 a 100m e apenas 0,2% apresentam altitudes superiores à 100m, correspondendo ao topo dos interflúvios tabulares.

Para a obtenção do mapa de declividade foram determinados intervalos que variam de 0 a 2%, 2 a 5%, 5 a 10%, 10 a 20% e >20% (Figura 6.5). Em geral a área de trabalho é plana a levemente ondulada, com declividades que variam de 0 a 10% em sua maior parte. A declividade predominante é de 0 a 2% cobrindo 28,3% da área mapeada, seguida pela classe 5 a 10% correspondendo a 24,3% da área, 10 a 20% cobrindo 20,1% da área, 2 a 5% correspondendo a 14,6% da área e por fim as declividades >20% compõem os 12,7% restantes. As áreas com maiores declividades se situam a sudeste da região, correspondendo aos bairros Vila Buriti, Mauzinho, Colônia Antônio Aleixo.

MAPA HIPSOMÉTRICO



FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UnB
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOTECNIA

MAPEAMENTO GEOAMBIENTAL DA ÁREA URBANA DE MANAUS

CLASSES HIPSOMÉTRICAS

-  < 25m
-  25 a 40m
-  40 a 60m
-  60 a 80m
-  80 a 100m
-  > 100m

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

-  Limite da Área de Trabalho
-  Rodovias
-  Drenagem

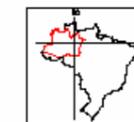
NOTA EXPLICATIVA

Mapa de Declividade obtido a partir do modelo digital do terreno resultante da aplicação do interpolador de grade triangular às curvas de níveis eqüidistantes em 5m, constantes da base cartográfica do município

NOTA TÉCNICA

AUTOR: WALLACE VARGAS ROQUE

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA



PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR
DATUM HORIZONTAL: SADA9
MERIDIANO CENTRAL: 60° W. Gr

ESCALA: 1:125.000

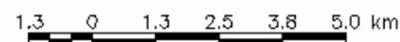
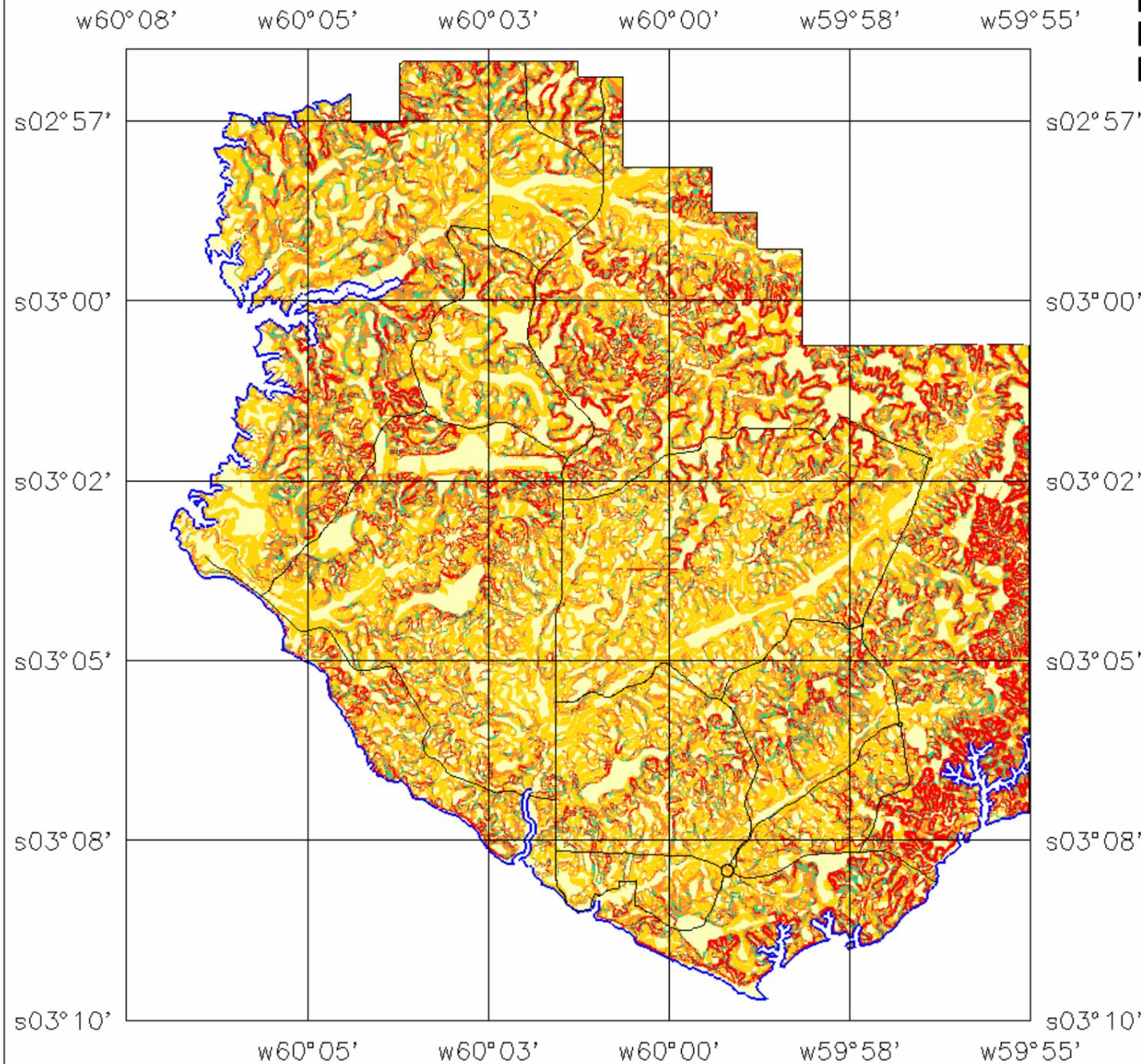
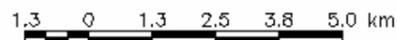


Figura 6.4 – Mapa hipsométrico.

MAPA DE DECLIVIDADE



ESCALA: 1:125.000



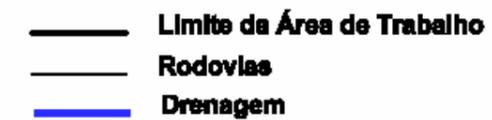
FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UnB
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOTECNIA

MAPEAMENTO GEOAMBIENTAL DA ÁREA URBANA DE MANAUS

CLASSES DE DECLIVIDADE



CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS



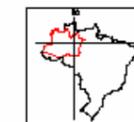
NOTA EXPLICATIVA

Mapa de Declividade obtido a partir do modelo digital do terreno resultante da aplicação do gradiente de declividade às curvas de níveis equidistantes em 5m, constantes da base cartográfica do município

NOTA TÉCNICA

AUTOR: WALLACE VARGAS ROQUE

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA



PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR
DATUM HORIZONTAL: SADA9
MERIDIANO CENTRAL: 60° W. Gr

Figura 6.5 – Mapa de declividade.

Em geral, a sazonalidade das chuvas e o alto índice pluviométrico são os principais fatores modificadores do relevo local. A retirada da vegetação natural, descarga inadequada do material proveniente dos sistemas de drenagens são outros fatores preponderantes a formação das grandes erosões na região (Figura 6.6).



Figura 6.6 – Erosão típica da região ocasionada pela alto índice pluviométrico e alteração da vegetação natural.

6.2 – COBERTURA E USO DA TERRA

O mapa de uso e cobertura da terra além de ser uma importante fonte de informação ao planejamento urbano e ambiental da região, subsidiou nesta pesquisa a elaboração das cartas específicas de áreas para a disposição de resíduos e de orientação para exploração de materiais de construção, a partir do momento em que possibilitou a inclusão dos limites ambientais nessas análises.

Desta forma, a área de trabalho foi totalmente mapeada na escala 1:25.000, a partir da interpretação visual das imagens Quickbird, realizada por meio do processo de segmentação com base no método de crescimento de regiões com parâmetros de similaridade igual a 15 e de área mínima igual a 25 *pixels*, aplicado a imagem CBERS-2 com resolução de 20m (Figura 6.7).



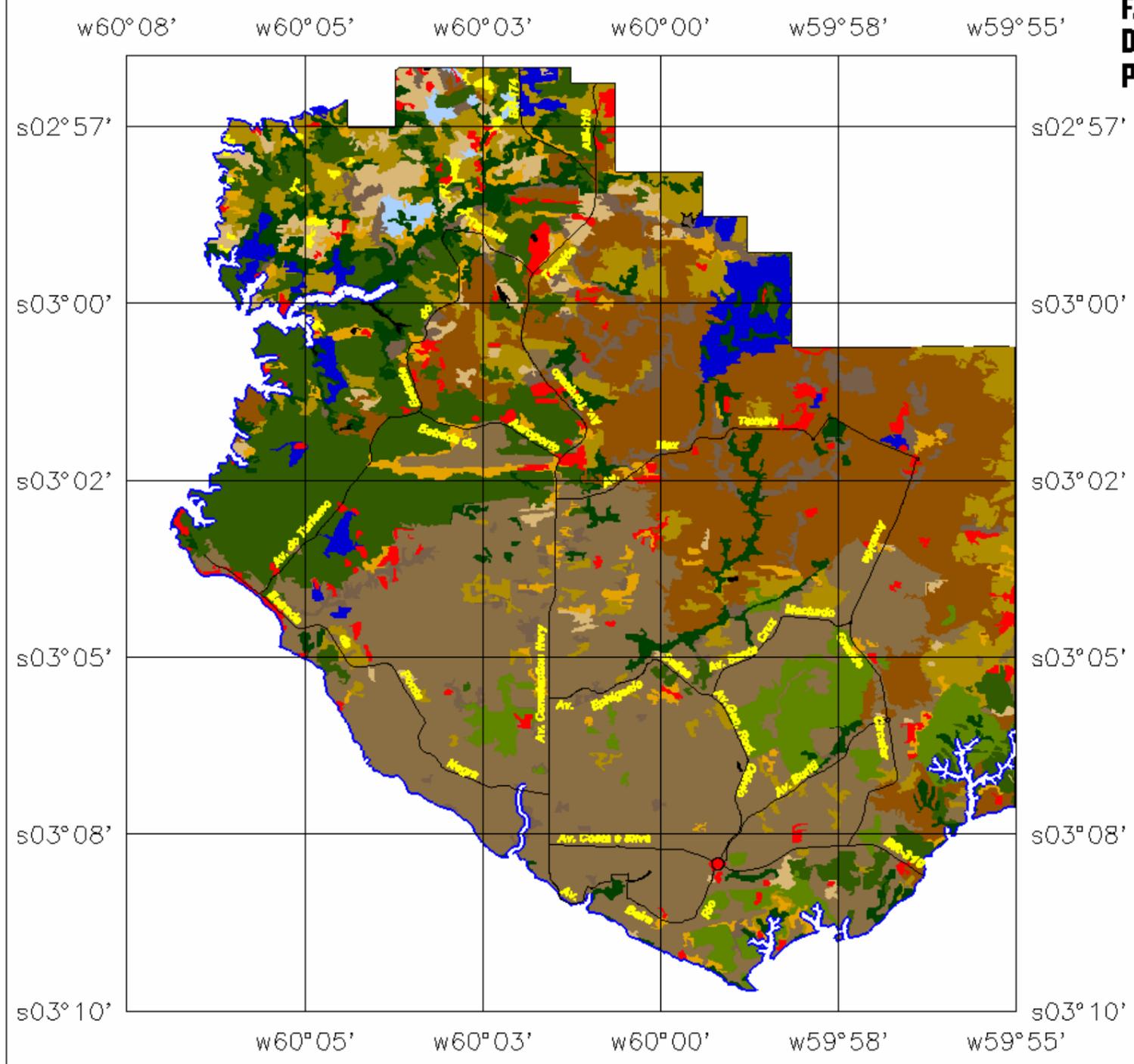
Figura 6.7 – Segmentação da imagem Quickbird com valores de similaridade igual a 15 e área mínima igual 25.

Os resultados obtidos com as classificações automáticas não foram satisfatórios, apresentando conflitos entre as classes identificadas, sendo que, avalia-se a dificuldade na discriminação das classes temáticas a heterogeneidade das feições mapeadas. Desta forma, procedeu-se à interpretação visual da imagem, mesmo diante da subjetividade implícita a esse procedimento.

No mapeamento elaborado no presente trabalho (Figura 6.8), identificou-se as seguintes classes de cobertura e uso da terra: floresta ombrófila densa, floresta ombrófila aberta, capoeira (vegetação secundária), mata de várzea, campo sujo, campo limpo, campo úmido, agricultura, sede rural, solo exposto, loteamentos recentes, ocupação urbana e ocupação periurbana.

A classe floresta ombrófila densa representa as áreas cobertas por formação vegetal com predomínios de árvores de médio a grande porte, pouco espaçadas e sempre verdes, ocupando uma área de 53,48 km², equivalentes a 15,10% da área de estudo. Essa é a vegetação típica da região, mas que hoje vem sendo alterada pelos efeitos da ocupação urbana, tendo a Reserva Ducke como sua principal unidade de conservação na região. Pode-se observar na Figura 6.9a uma foto representativa desta classe temática e na Figura 6.9b uma amostra retirada da imagem quickbird, onde fica evidenciada a forma irregular, a cor verde médio escuro e a textura rugosa.

MAPA DE USO E COBERTURA DO SOLO



FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UnB
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOTECNIA

MAPEAMENTO GEOAMBIENTAL DA ÁREA URBANA DE MANAUS

UNIDADES ENCONTRADAS

- | | |
|----------------------|---------------------------|
| Várzea | Campo Úmido |
| Loteamentos Recentes | Campo Sujo |
| Solo Exposto | Campo Limpo |
| Ocupação PeriUrbana | Capoeira |
| Ocupação Urbana | Floresta Ombrófila Aberta |
| Sede Rural | Floresta Ombrófila Densa |
| Agricultura | Rios |

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Limite da Área de Trabalho
- Rodovias
- Drenagem

NOTA EXPLICATIVA

Mapa de Uso e Cobertura do Solo criado a partir da interpretação visual aplicada as imagens Quickbirds, realizada com base na segmentação obtida com o Interpolador do tipo vizinho mais próximo.

NOTA TÉCNICA

AUTOR: WALLACE VARGAS ROQUE

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA



PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR
DATUM HORIZONTAL: SAD69
MERIDIANO CENTRAL: 60° W. Gr

ESCALA: 1:125.000

Figura 6.8 – Mapa de uso e cobertura do solo.



Figura 6.9 – a) Foto ilustrativa da unidade (<http://www.ambientebrasil.com.br>); b) Amostra retirada da imagem quickbird referente a classe temática floresta ombrófila densa.

A classe floresta ombrófila aberta corresponde às áreas com cobertura vegetal constituída por árvores de médio a grande porte espaçadas, sendo que na área em que ocupam encontram-se normalmente cercadas por áreas urbanas. Tais áreas ocupam 15,93 km², cerca de 4,50% da área de trabalho. Observa-se na Figura 6.10 uma amostra dessa classe temática retirada da imagem quickbird, onde pode ser vista sua forma irregular, a cor verde clara e a textura rugosa a lisa.



Figura 6.10 – Amostra retirada da imagem quickbird representativa da classe temática floresta ombrófila aberta.

A mata de várzea corresponde às áreas cobertas por formação vegetal que acompanha os córregos e os igarapés da área de estudo, sendo sujeitas às oscilações entre os períodos chuvosos e secos, permanecendo inundadas nas cheias. Essas áreas ocupam 21,35 km², aproximadamente 6,02% da área de estudo, sendo apresentadas na imagem quickbird com formas irregulares, cor verde escuro a clara e textura muito rugosa, conforme o apresentado na Figura 6.11.



Figura 6.11 – Amostra representativa da classe temática mata de várzea.

A classe capoeira representa as áreas com cobertura vegetais secundárias, em suas diversas fases. Encontram-se distribuídas ao longo de toda a área de estudo, ocupando uma área de 32,77 km², correspondendo a 9,24%. Na Figura 6.12 é apresentada uma amostra obtida na imagem quickbird, onde se observa a sua forma irregular, a cor verde médio e rugosidade média a alta.

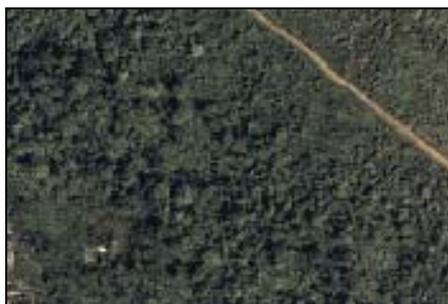


Figura 6.12 – Amostra representativa da classe temática capoeira, obtida na imagem quickbird.

As classes campo sujo, campo limpo e campo úmido correspondem, de uma forma geral, às áreas com cobertura vegetal rasteira e com raras árvores, sendo diferenciados pelo estado em que se encontram, ocupando 10,15 km², 10,30 km² e 14,93 km², respectivamente. Correspondem a um total de 9,98% da área de estudo e normalmente estão próximas das áreas rurais ou de ocupação periurbana. A classe campo limpo é relacionada às áreas com vegetação rasteira intensa e com a presença de árvores muito espaçadas, utilizadas normalmente como pastagens. A classe campo sujo envolve as áreas com variações entre cobertura vegetal e solo exposto, e a classe campo úmido as áreas de campo sujeitas a alagamentos periódicos.

Na Figura 6.13a, 6.13b e 6.13c podem ser vistas as amostras referentes às classes campo sujo, campo úmido e campo limpo, respectivamente.



Figura 6.13 – a) campo limpo, forma irregular, cor verde a marrom e textura lisa; b) campo úmido, forma irregular a arredondada, cor verde médio a escuro e textura lisa a pouco rugosa; c) campo sujo, forma irregular, cor verde claro e textura lisa a pouco rugosa.

As classes agricultura e sede rural estão relacionadas às áreas de cultivo, correspondendo a 1,56 km² aproximadamente 0,44% da área de estudo (Figura 6.14a e 6.14b).



Figura 6.14 – a) amostra representativa da classe agricultura; b) amostra relativa a classe sede rural.

As classes ocupação urbana consolidada e ocupação periurbana estão relacionadas às áreas cobertas predominante de edificações e malha viária, sendo diferenciada pelo tipo e densidade de ocupação observada de acordo com a infra-estrutura urbana, tais como a existência de ruas pavimentadas, pouca presença de solo exposto, entre outros. Ocupam 106,54 km² e 67,10 km², respectivamente, um total de 49,01% da área de estudo. Na Figura 6.15a tem-se uma foto representativa da área urbana e nas Figuras 6.15b e 6.15c estão as amostras dessas classes obtidas na imagem quickbird.



Figura 6.15 – a) Aspecto representado na classe temática ocupação urbana; b) amostra representativa da classe temática ocupação urbana; c) amostra representativa da classe temática ocupação periurbana.

A classe solo exposto está relacionada às áreas desprovidas de cobertura vegetal para a atividade mineira ou para a instalação de loteamentos futuros. Ocupa uma área de 9,38 km² correspondendo a 2,65% da área de estudo. Na Figura 6.16a tem-se a área oblíqua representativa do solo exposto e na Figura 6.16b está a amostra dessa classe obtida na imagem quickbird.

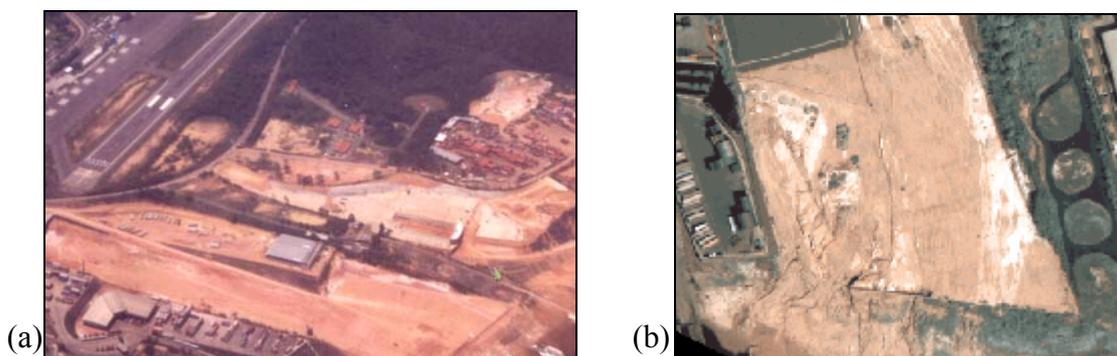


Figura 6.16 – a) Foto representativa da classe solo exposto; b) amostra representativa da classe solo exposto.

A classe loteamentos recentes é caracterizada pela alternância entre solo exposto e ocupação urbana, com áreas de entorno sem nenhum tipo de cobertura vegetal. Ocupam 8,54 km², correspondendo a 2,41% da área de estudo. Grande parte dessa classe representa o bairro Nova Cidade, voltado à construção de casas populares e ainda em fase final de conclusão. Na Figura 6.17a tem-se a foto representativa da classe e na Figura 6.17b a amostra obtida na imagem quickbird.

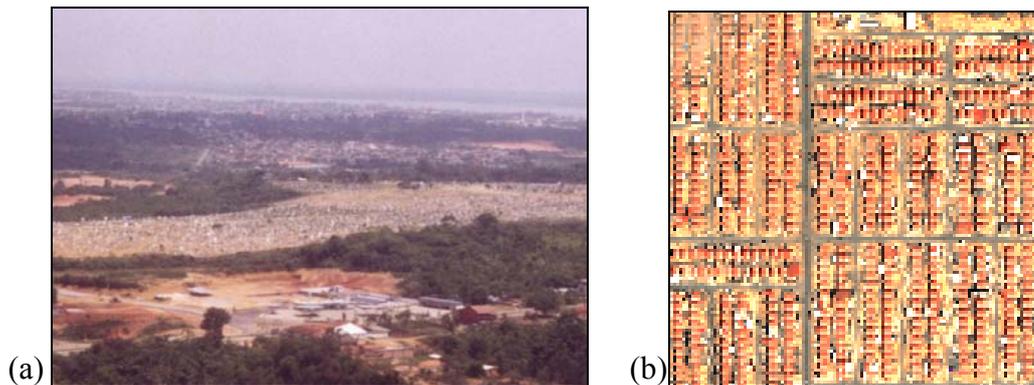


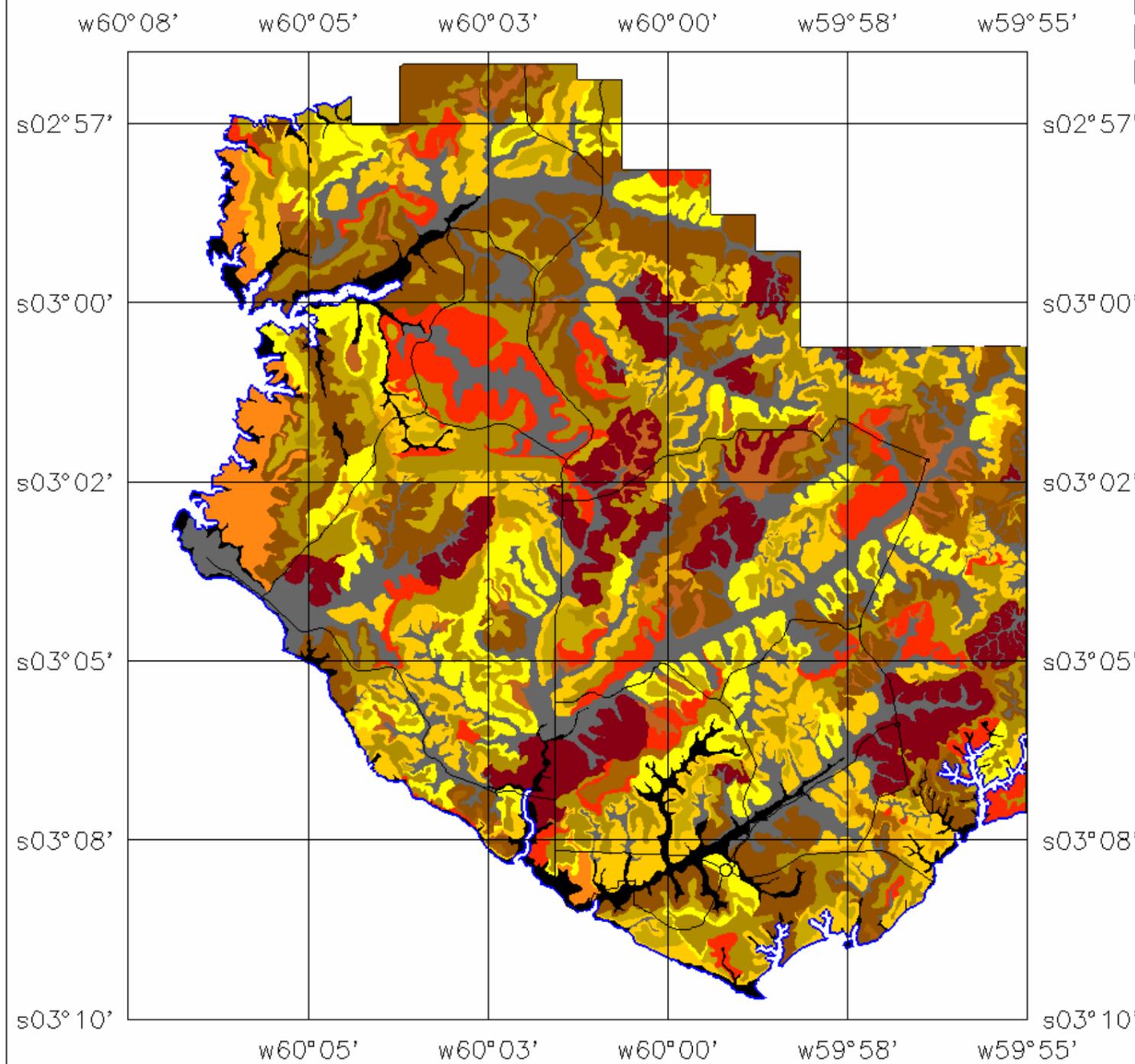
Figura 6.17 – a) Foto representativa da classe loteamento recente; b) amostra da classe obtida nas imagens quickbird.

Por fim, tem-se a classe rios e lagos correspondendo às áreas ocupadas pelos cursos d'água distribuídos em toda a área de trabalho, assim como lagos encontrados próximos as áreas de atividades mineiras.

6.3 – CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DAS UNIDADES DE TERRENO

O conhecimento geológico-geotécnico de uma região tem como objetivo subsidiar a implementação de obras civis, proporcionando uma redução nos custos da investigação geotécnica e uma otimização no prazo final de execução da mesma. Neste sentido, o mapa de unidades de terreno apresenta unidades síntese de características de formas de relevo, solos e comportamento geotécnico potencial comum, sendo a área de estudo totalmente mapeada na escala 1:25.000 a partir do emprego da metodologia proposta por este trabalho, resultando na obtenção de 14 classes geotécnicas individualizadas de acordo com a forma de relevo predominante e o grau de homogeneidade geotécnica. Como resultado tem-se o mapa de unidades do terreno (Figura 6.18) em conjunto com as tabelas utilizadas para a caracterização das unidades (Apêndice A). Na Tabela 6.1 encontra-se as informações referentes a densidade de dados por unidade geotécnica encontrada.

MAPA DE UNIDADES GEOTÉCNICAS



ESCALA: 1:125.000
 1,3 0 1,3 2,5 3,8 5,0 km

FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UnB
 FACULDADE DE TECNOLOGIA
 DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
 PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOTECNIA

MAPEAMENTO GEOAMBIENTAL DA ÁREA URBANA DE MANAUS

UNIDADES GEOTÉCNICAS

Pps	Hcv
Plw	HcxBcv
Pfr	HpTcx
Sp	HcvBcx
Ta	Hdr
Hcx	Pfl
Hp	Dva

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

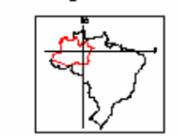
- Limite da Área de Trabalho
- Rodovias
- Drenagem

NOTA EXPLICATIVA

Carta Geotécnica obtida a partir da fotointerpretação das Imagens Quickbird, buscando a identificação dos landforms e tendo como base o Modelo Numérico de Terreno, o Mapa de Declividades e as curvaturas do terreno.

NOTA TÉCNICA

AUTOR: WALLACE VARGAS ROQUE
LOCALIZAÇÃO DA ÁREA



PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR
 DATUM HORIZONTAL: SAD69
 MERIDIANO CENTRAL: 60° W. Gr

Figura 6.18 – Mapa de unidades do terreno.

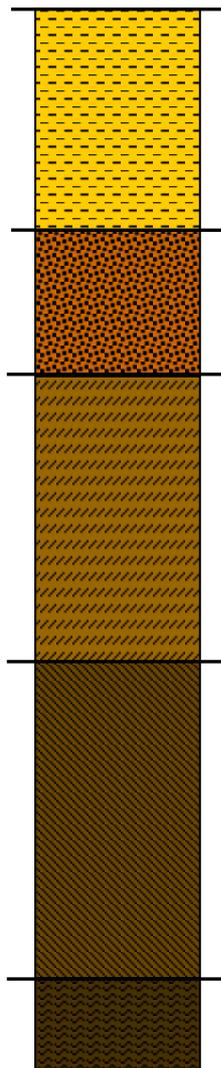
A compartimentação das unidades de terreno estabeleceu as seguintes classes:

1. Unidade Pps – Platô com superfície plana (*Plateau plain surface*)
2. Unidade Plw – Platô com superfície levemente ondulada (*Plateau surface lightly wavy*)
3. Unidade Pfr – Fragmento de platô (*Plateau fragment*)
4. Unidade Sp – Superfície de ligação entre platôs (*Surface between plateaus*)
5. Unidade Ta – Terraço aluvionar (*Alluvial terrace*)
6. Unidade Hcx – Encosta Convexa (*Convex hillside*)
7. Unidade Hp – Encosta Plana (*Plain hillside*)
8. Unidade Hcv – Encosta Côncava (*Concave hillside*)
9. Unidade HcxBcv – Encosta convexa com base côncava (*Convex hillside with concave base*)
10. Unidade HpTcx – Encosta plana com topo convexo (*Convex hillside with plain base*)
11. Unidade HcvBcx – Encosta côncava com base convexa (*Concave hillside with convex base*)
12. Unidade Hdr – Cabeceira de drenagem (*Drainage head*)
13. Unidade Pfl – Planície de Inundação (*Flood plain*)
14. Unidade Dva – Fundo de vale (*Deep valley*)

De uma forma geral, os perfis geotécnicos caracterizados nas unidades foram divididos em horizonte de solo superficial, crosta, horizonte argiloso, horizonte transicional e impenetrável (Figura 6.19).

Tabela 6.1– Densidade dos dados, na forma de relatórios de sondagens por unidade geotécnica

Unidades Geotécnicas	Número de Relatórios de Sondagens	Área da Unidade (km ²)	Densidade dos Dados (km ² /sondagem)
Pps (<i>Platô com superfície plana</i>)	08	5,45	0,68
Plw (<i>Platô com superfície levemente ondulada</i>)	19	50,63	2,66
Pfr (<i>Fragmento de platô</i>)	07	17,86	2,54
Sp (<i>Superfície de ligação entre platôs</i>)	04	3,47	0,85
Ta (<i>Terraço aluvionar</i>)	04	7,93	1,98
Hcx (<i>Encosta convexa</i>)	26	47,18	1,81
Hp (<i>Encosta plana</i>)	15	29,82	1,99
Hcv (<i>Encosta côncava</i>)	06	22,56	3,76
HcxBcv (<i>Encosta convexa e base côncava</i>)	05	22,36	4,47
HpTcx (<i>Encosta plana com topo convexo</i>)	08	36,74	4,59
HcvBcx (<i>Encosta côncava com base convexa</i>)	20	27,95	1,39
Hdr (<i>Cabeceiras de drenagens</i>)	06	9,41	1,56
Pfl (<i>Planície de inundação</i>)	25	56,41	2,25
Dva (<i>Fundo de vale</i>)	14	16,25	1,16
TOTAL	167	354,02	2,12



SOLO SUPERFICIAL

Horizonte constituído predominantemente por argilas lateríticas, com coloração amarela a vermelha, com consistência de mole a rija e espessura variando entre 5 e 15 metros.

CROSTA

Crosta ferruginosa constituída por argila laterizada, apresentando contato abrupto com os horizontes adjacentes, com espessuras que variam de 0,5 a 2,0 metros.

ARGILOSO

Horizonte formado por argilas arenosas, de coloração vermelha a amarela, com consistências indo de muito mole a rija e espessuras que podem chegar a 15 metros.

TRANSICIONAL

Horizonte formado por areias argilosas de coloração vermelha a branca, com compactidade variando de fofa a compacta e espessuras variando entre 2 e 20 metros.

IMPENETRÁVEL

Horizonte formado por um arenito argiloso de coloração vermelha e impenetrável pela sondagem à percussão.

Observação:

- Qualquer horizonte de solo pode ocorrer como solo superficial, como quando ocorre a exposição do horizonte impenetrável sem o horizonte pedológico evoluído, principalmente em encostas íngremes e próximos às drenagens, estando exposto naturalmente em superfície, condicionado por sua posição no relevo (topo, encosta e vale) e pela unidade de terreno a que pertence.
- Considerou-se solo como todo o material inconsolidado que forma o perfil.

Figura 6.19 – Classificação adotada na análise do perfil geotécnico.

Em sua grande maioria, a caracterização do material inconsolidado de superfície resultou na classificação segundo a metodologia MCT no grupo LG', composto pelas argilas lateríticas e argilas arenosas lateríticas, e pela SUCS no grupo CH composto pelas argilas plásticas (Tabela 6.2). De acordo com Lima (1999), esses solos em geral são compostos por caulinita sendo o mineral argílico predominante e, em alguns casos, pelo quartzo nas áreas onde há a exposição dos horizontes mais profundos, sendo que, de uma forma geral, a porcentagem de argila presente no solo tende a diminuir em relação à profundidade.

Tabela 6.2 – Classificação obtida para os materiais inconsolidados de superfície.

Unidade Geotécnica	Metodologia MCT	Metodologia SUCS
Pps	LG ²	CH
Plw	LG ²	CH
Pfr	NG ²	CH
Sp	LG ²	CH
Ta	NG ²	CH
Hcx	LG ²	CH
Hp	LG ²	CH
Hcv	LG ²	CH
HcxBcv	NG ²	CH
HcxBp	LG ²	CH
HcvBcx	LG ²	CH
Hdr	NA ²	CL
Pfl	LA ²	CL
Dva	LA ²	CL

NA² – areias siltsosas e areias argilosas não-lateríticas / NG² – argilas, argilas siltsosas e argilas arenosas não-lateríticas / LA² – areias argilosas lateríticas / LG² – argilas lateríticas e argilas lateríticas arenosas / CL – argila pouco plástica / CH – argila muito plástica.

6.3.1 – UNIDADE DE TERRENO Pps (Platô com superfície plana)

Esta unidade é representada pelas áreas formadas pelos platôs de topo aplainados, correspondendo a 5,45 km² aproximadamente 1,54% da área total de estudo, englobando as regiões com cotas superiores a 80 metros e declividades predominantemente na classe de 0 a 2%. As áreas mais expressivas desta unidade estão localizadas a leste da área estudada. Normalmente, apresentam-se na forma de espigões ou morros testemunhos inseridos entre os interflúvios tabulares, delimitados por encostas íngremes.

A análise dos relatórios de sondagens resultou na delimitação de 3 horizontes de solo correspondendo ao solo superficial, crosta e argiloso, não sendo verificados a existência dos dois últimos (transicional e impenetrável) devido a escassez de informações em grandes profundidades. Com base nos horizontes identificados, foi realizada a análise estatística dos Nspt obtendo o perfil geotécnico com valores típicos de SPT (Figura 6.20).

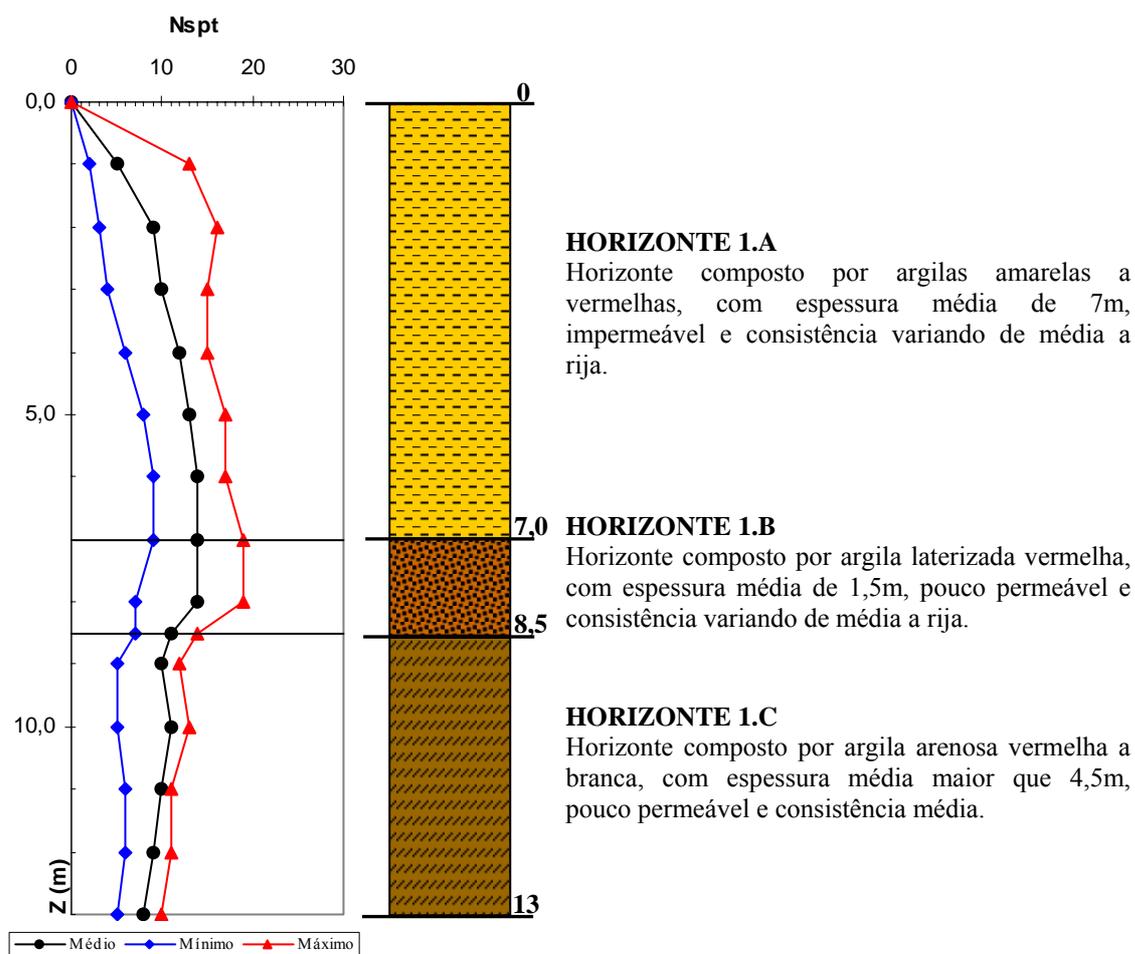


Figura 6.20 – Caracterização do perfil geotécnico da unidade de terreno Pps.

A partir da caracterização da unidade foi possível traçar o seu comportamento em relação à suscetibilidade aos riscos geológicos e a adequabilidade das áreas contidas nestas unidades para os diversos usos de interesse a engenharia, resultando na Tabela 6.3.

Tabela 6.3 – Tabela com os resultados de adequabilidade da unidade Pps.

Riscos Geológicos	Erosão	Não Susceptível	0,23
	Inundação	Susceptível	0,50
	Movimentos de Massa	Não Susceptível	0,23
Adequabilidade para uso na engenharia	Loteamento	Média	0,70
	Estradas	Média	0,62
	Disposição de Resíduos	Média	0,60
Exploração dos Recursos Naturais	Argila	Favorável	0,74
	Areia	Não Favorável	0,15
	Cascalho	Pouco Favorável	0,40

De uma forma geral, a unidade é susceptível à inundação, fato esse condicionado pela baixa drenabilidade por escoamento superficial, pela baixa amplitude de relevo e pela superfície plana que caracteriza o mesmo. Quanto a sua adequabilidade para uso na engenharia, a unidade apresenta-se favorável   implantação de estradas, loteamento e disposição de resíduos, graças ao grau de consistência da camada superficial e a grande profundidade em que se encontra o lençol freático. A unidade também apresenta condições favoráveis à exploração do material argiloso, condicionada pela presença da argila como camada superficial, o que reduz substancialmente o custo de exploração.

6.3.2 – UNIDADE DE TERRENO Plw (Platô com superfície levemente ondulada)

A feição geomorfológica dominante na unidade são os platôs com topo levemente ondulado (Figura 6.18), correspondendo a 50,63 km², aproximadamente 14,3 % da área de trabalho. De uma forma geral, estas áreas estão inseridas entre as cotas 60 e 80 metros e apresentam declividades que variam de 2 a 5%. Esta unidade encontra-se distribuída em toda a área de estudo representando os interflúvios tabulares com comprimentos que podem chegar aos 5000 metros. A análise dos relatórios de sondagem resultou na delimitação de 5 horizontes de solo, caracterizando um perfil geotécnico completo de acordo com o perfil típico adotado. Desta forma e a partir da análise estatística dos Nspt obteve-se a tendência do comportamento do mesmo (Figura 6.21).

A análise geotécnica das informações contidas na tabela de caracterização da unidade possibilitou o estudo da sua adequabilidade para as obras de engenharia (loteamento e estradas) e para a disposição de resíduos, e da sua suscetibilidade aos riscos geológicos, tais como erosão, inundação e movimentos de massa (Tabela 6.4). Isto posto, conclui-se então que a unidade está pouco sujeita à inundação, ainda que condicionada pelo caráter impermeável proporcionada pelo solo superficial; alto potencial   implantação de obras civis, principalmente devido à baixa erodibilidade do solo superficial e pelo grau de consistência do solo no seu estado natural. Também   favorável a exploração de material argiloso graças à disponibilidade desse material na camada mais superficial da unidade.

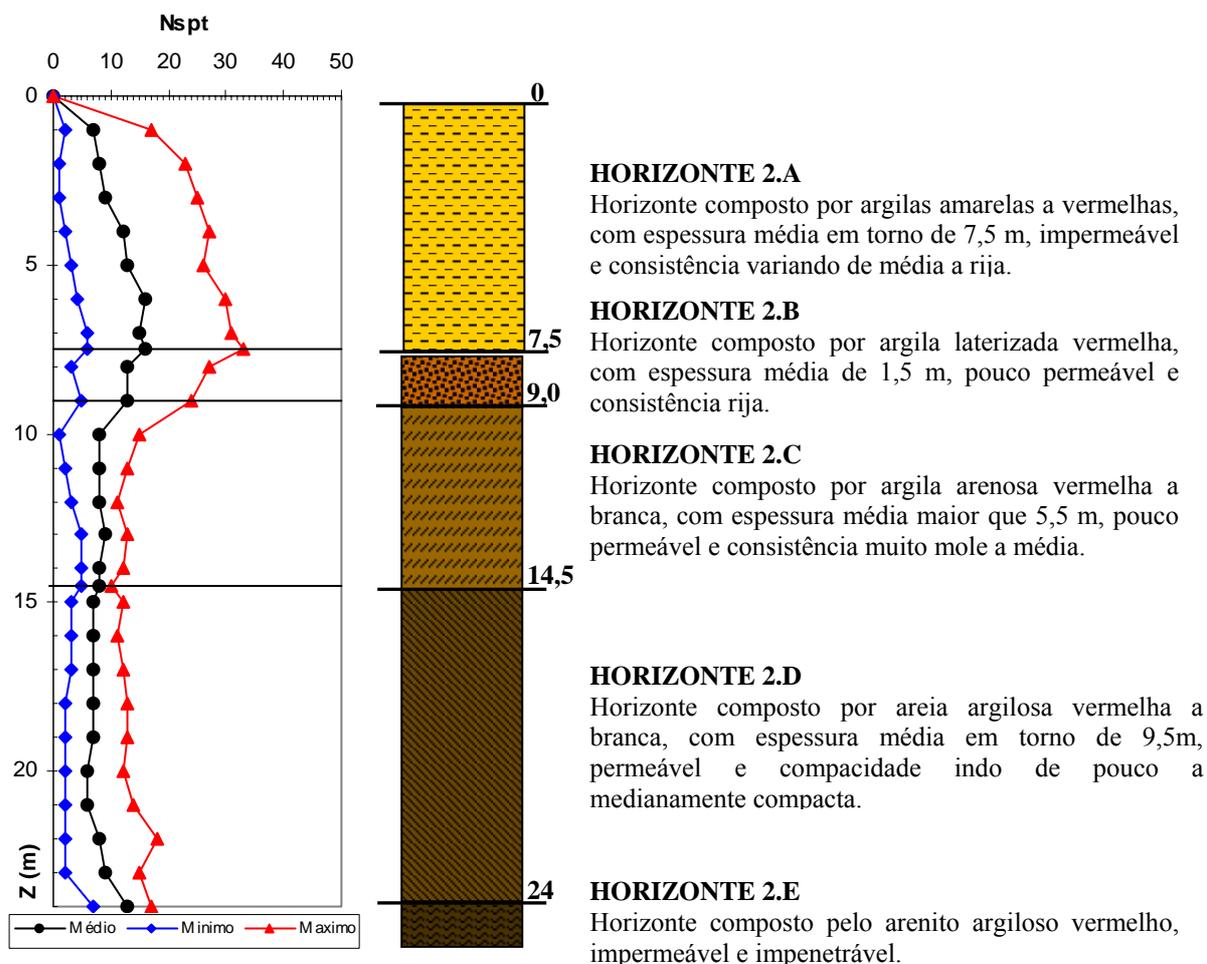


Figura 6.21 - Caracterização do perfil geotécnico da unidade de terreno Plw.

Tabela 6.4 – Tabela com os resultados de adequabilidade da unidade Plw

Riscos Geológicos	Erosão	Pouco Suscept.	0,28
	Inundação	Pouco Suscept.	0,40
	Movimentos de Massa	Pouco Suscept.	0,41
Adequabilidade para uso na engenharia	Loteamento	Média	0,72
	Estradas	Média	0,61
	Disposição de Resíduos	Média	0,59
Exploração dos Recursos Naturais	Argila	Favorável	0,70
	Areia	Não Favorável	0,11
	Cascalho	Pouco Favorável	0,36

6.3.3 – UNIDADE DE TERRENO Pfr (Fragmento de platô)

O relevo desta unidade é composto por pequenos fragmentos de platôs, localizados isoladamente ao longo das encostas se configurando em uma porção mais rebaixada dos platôs, correspondendo a 17,80 km², aproximadamente 5,02 % da área de estudo. Em sua grande maioria está distribuído na faixa hipsométrica que vai de 40 a 60 metros, e apresenta declividade do seu topo variando entre 5 e 10%, que o caracteriza com uma superfície levemente ondulada a ondulada. A análise do perfil geotécnico representado nas sondagens permitiu a delimitação de 3 horizontes de solo correspondente ao argiloso, transicional e impenetrável, não havendo representações dos horizontes superficial e crosta, principalmente devido a sua posição no relevo (Figura 6.22). Em alguns locais contidos nesta unidade, ocorre o afloramento do horizonte transicional devido principalmente à variação da amplitude de relevo, como é o caso na avenida Constantino Nery.

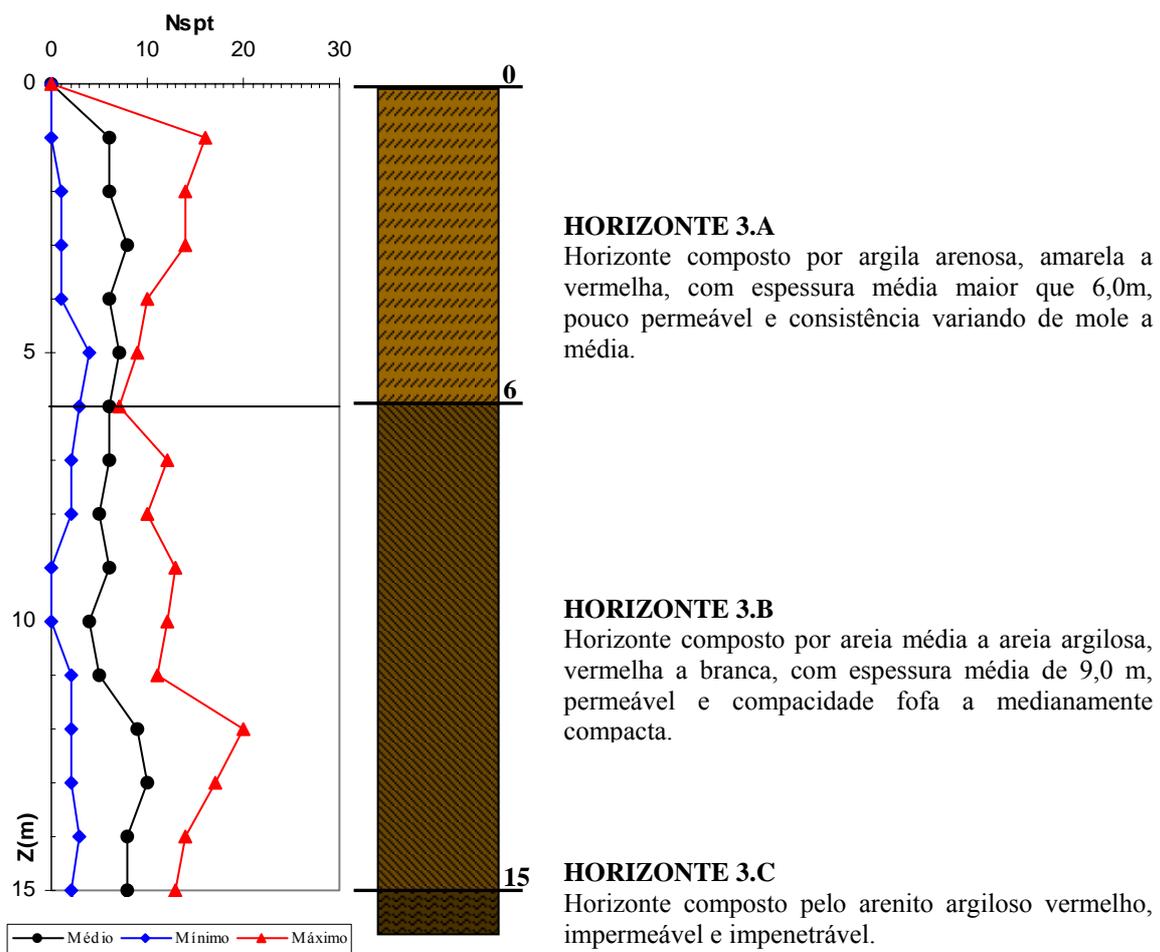


Figura 6.22 – Caracterização do perfil geotécnico da unidade de terreno Pfr.

Em relação à suscetibilidade aos riscos geológicos, a unidade mostra-se suscetível em relação à erosão dos solos, principalmente devido à textura e a fraca consistência do material inconsolidado de superfície. Desta forma, apresenta um baixo potencial para uso na engenharia e para a exploração de recursos naturais. Estas informações encontram-se condensadas na Tabela 6.5.

Tabela 6.5 – Tabela com os resultados de adequabilidade da unidade Pfr

Riscos Geológicos	Erosão	Susceptível	0,57
	Inundação	Pouco Suscept.	0,43
	Movimentos de Massa	Pouco Suscept.	0,46
Adequabilidade para uso na engenharia	Loteamento	Má	0,45
	Estradas	Má	0,39
	Disposição de Resíduos	Má	0,49
Exploração dos Recursos Naturais	Argila	Pouco Favorável	0,43
	Areia	Pouco Favorável	0,43
	Cascalho	Não Favorável	0,08

6.3.4 – UNIDADE DE TERRENO Sp (Superfície de ligação entre platôs)

Esta unidade representa as áreas correspondentes às superfícies rebaixadas caracterizadas pela irregularidade de seu topo, que fazem a ligação entre os platôs e correspondem a 3,4 km² da área de estudo, menos de 1% da área total de trabalho. Em sua grande maioria configuram-se na faixa hipsométrica entre os 40 e 80 metros, com declividades variando entre 5 a 10%. Foram identificados cinco horizontes de solo de acordo com o perfil típico adotado, ou seja, o horizonte de solo superficial, crosta, argiloso, transicional e impenetrável (Figura 6.23). A análise estatística dos relatórios de sondagens em conjunto com a análise geotécnica dos atributos disponibilizados na tabela de caracterização da unidade, permitiu estabelecer as condições geotécnicas da mesma para o uso na engenharia, conforme o descrito na Tabela 6.6.

De acordo com a Tabela 6.4 a unidade apresenta-se pouco susceptível aos riscos geológicos e, portanto se mostra favorável à implantação de loteamentos e estradas, devido principalmente a grande profundidade do lençol freático o que reduz substancialmente o risco ambiental.

Apresenta potencial para a exploração de material argiloso para a utilização como material de construção (cerâmica), graças à disponibilidade desse material no horizonte superficial.

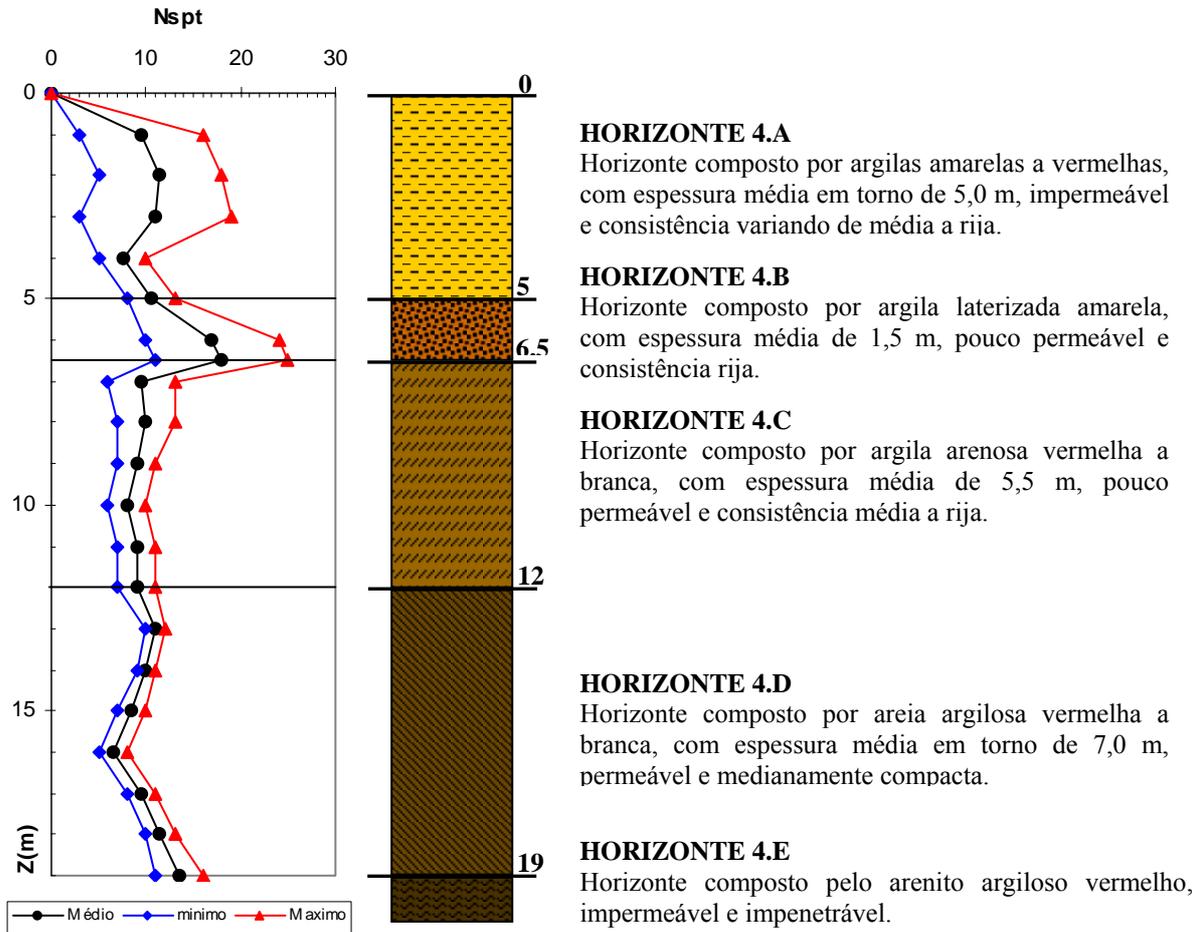


Figura 6.23 - Caracterização do perfil geotécnico da unidade de terreno Sp.

Tabela 6.6 – Tabela com os resultados de adequabilidade da unidade Sp

Riscos Geológicos	Erosão	Pouco Suscept.	0,38
	Inundação	Pouco Suscept.	0,40
	Movimentos de Massa	Pouco Suscept.	0,47
Adequabilidade para uso na engenharia	Loteamento	Média	0,51
	Estradas	Média	0,53
	Disposição de Resíduos	Má	0,48
Exploração dos Recursos Naturais	Argila	Favorável	0,59
	Areia	Não Favorável	0,08
	Cascalho	Pouco Favorável	0,33

6.3.5 – UNIDADE DE TERRENO Ta (Terraço aluvionar)

Esta unidade é constituída por terraços aluvionares resultado do basculamento da região para nordeste, formando uma região em nível mais alto do que a planície inundaçãõ atual. Ocupa aproximadamente 7,9 km², cerca de 2,2% da área total de trabalho, sendo caracterizada pela superfície plana com declividades menores que 2% e baixas amplitudes de relevo, variando de 5 a 10 metros. Em sua grande maioria, encontra-se em cotas intermediárias entre 25 a 40 metros. As análises geotécnica e estatística realizadas com bases nos dados dos relatórios de sondagem permitiu definir três horizontes de solo correspondentes às últimas camadas, sendo eles o argiloso, o transicional e o impenetrável. Ainda sim, foi possível estabelecer uma tendência para o andamento do Nspt em relação à profundidade, de acordo com o demonstrado na Figura 6.24.

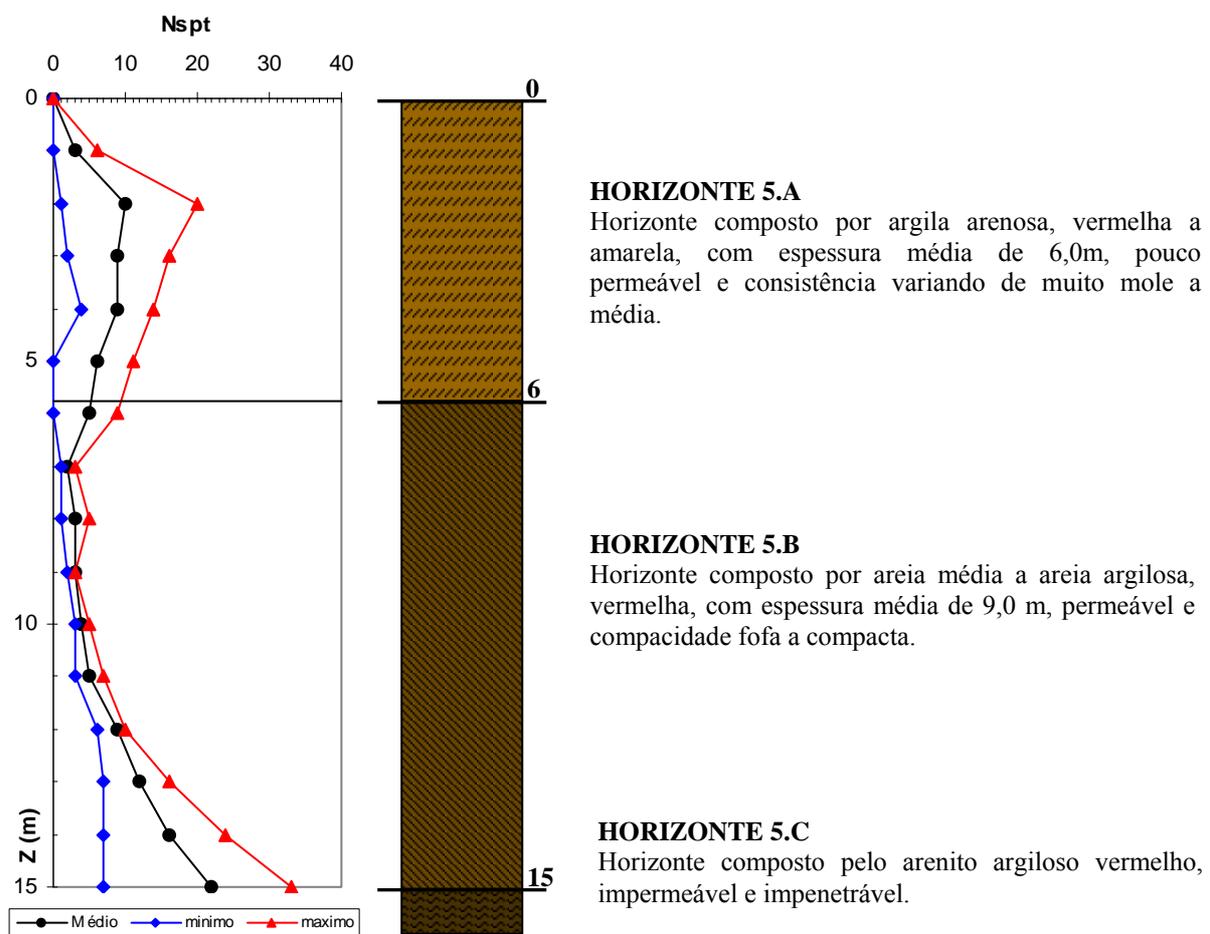


Figura 6.24 - Caracterização do perfil geotécnico da unidade de terreno Ta.

Caracteriza-se pela alta suscetibilidade a inundações, devido principalmente a condição plana de sua superfície e pela baixa altitude em relação aos cursos de drenagem. Não é adequada a implantação de loteamentos, estradas e a disposição de resíduos, principalmente pela baixa consistência do material inconsolidado e pela proximidade do lençol freático da superfície. Tem potencial para a exploração de material argiloso e arenoso, sendo que esse último fica condicionado as áreas onde há exposição desse material (Tabela 6.7).

Tabela 6.7 – Tabela com os resultados de adequabilidade da unidade Ta

Riscos Geológicos	Erosão	Pouco Suscept.	0,47
	Inundação	Muito Suscept.	0,83
	Movimentos de Massa	Pouco Suscept.	0,26
Adequabilidade para uso na engenharia	Loteamento	Má	0,48
	Estradas	Má	0,44
	Disposição de Resíduos	Má	0,45
Exploração dos Recursos Naturais	Argila	Favorável	0,50
	Areia	Favorável	0,54
	Cascalho	Não Favorável	0,15

6.3.6 – UNIDADE DE TERRENO Hcx (Encosta convexa)

As feições geomorfológicas predominantes nesta unidade são as encostas convexas, que de uma forma geral, tendem a perder maiores volumes de solo durante a ação dos processos erosivos. Ocupa 44,5 km², correspondendo a 12,55% da área de estudo e caracteriza-se pela elevada amplitude de relevo variando entre 20 a 40 metros e pela alta declividade, que pode atingir valores maiores que 20% próximo a base destas encostas. Em sua grande maioria configuram-se na faixa hipsométrica entre os 40 e 80 metros.

A análise geotécnica dos relatórios de sondagem resultou na caracterização dos cinco horizontes de solo: solo superficial, crosta, argiloso, transicional e impenetrável (Figura 6.25). Vale ressaltar que em regiões de cotas menores existe a maior probabilidade da exposição do horizonte argiloso, devido principalmente a erosão dos horizontes mais superficiais. A análise estatística realizada com os Nspt referentes às camadas de solo deu origem ao perfil típico de SPT da unidade. A partir desse perfil pode-se observar que ao longo do horizonte 6.A

ocorrem incrementos positivos do Nspt em relação a profundidade. Nos horizontes 6.C e 6.D são verificadas poucas variações nos valores de SPT, sendo que neste último são vistos os incrementos positivos mais substanciais entre essas duas camadas.

A unidade apresenta baixa erodibilidade dos solos, principalmente devido à elevada consistência da camada superficial. Apresenta baixo potencial para uso na engenharia, condição estabelecida pela declividade acentuada desta encosta. Apresenta restrições em relação à exploração de recursos naturais devido ao elevado custo de sua exploração, condicionado pela declividade acentuada, somando-se a pequena espessura do material inconsolidado (Tabela 6.8).

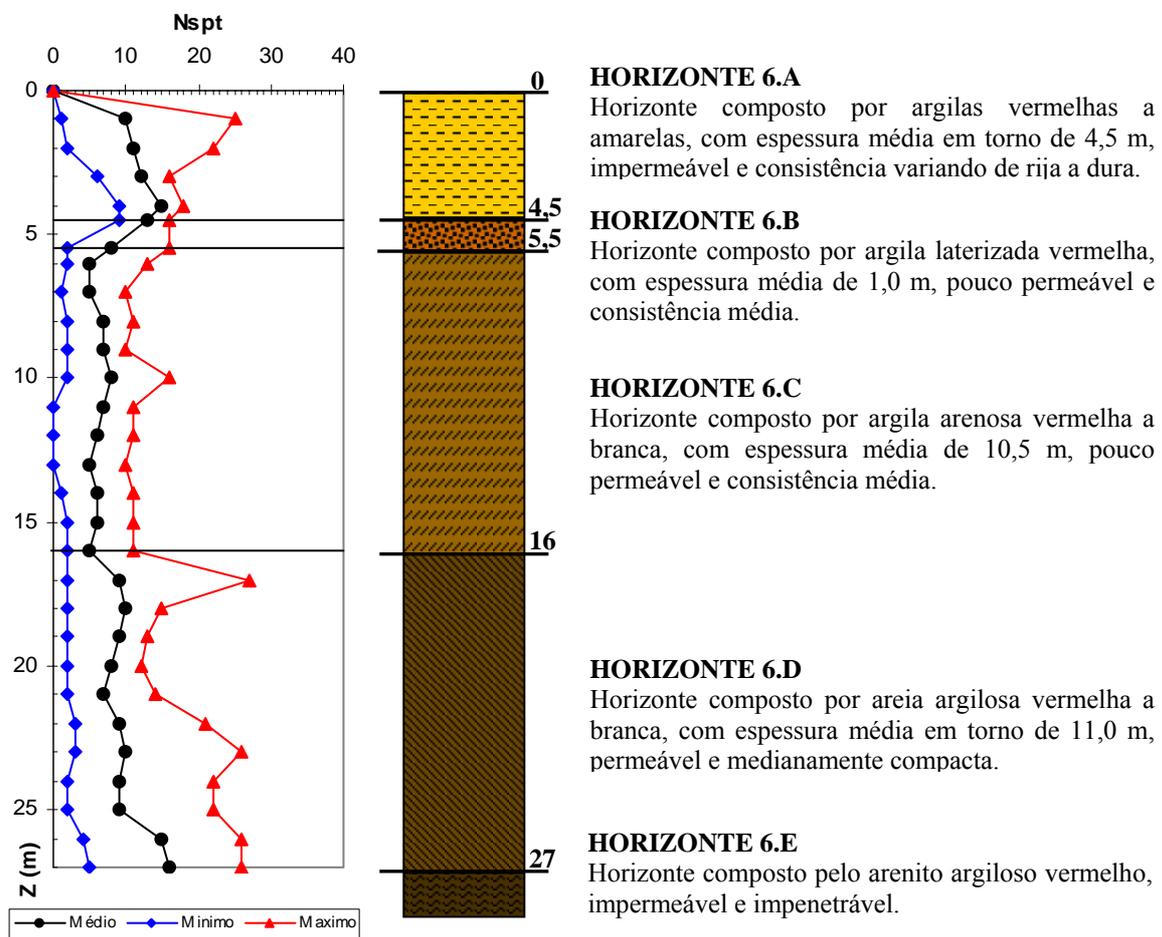


Figura 6.25 - Caracterização do perfil geotécnico da unidade de terreno Hcx.

Tabela 6.8 – Tabela com os resultados de adequabilidade da unidade Hcx

Riscos Geológicos	Erosão	Pouco Suscept.	0,48
	Inundação	Não Susceptível	0,23
	Movimentos de Massa	Susceptível	0,62
Adequabilidade para uso na engenharia	Loteamento	Má	0,39
	Estradas	Má	0,38
	Disposição de Resíduos	Má	0,45
Exploração dos Recursos Naturais	Argila	Pouco Favorável	0,49
	Areia	Não Favorável	0,08
	Cascalho	Não Favorável	0,24

6.3.7 – UNIDADE DE TERRENO Hp (Encosta plana)

É constituída por encostas planas formadas a partir de processos atuantes nos solos argilosos, constituintes dos horizontes de solo superficial e argiloso. Ocupa cerca de 28,54 km², aproximadamente 8% da área de trabalho, sendo caracterizada por declividades variando entre 10 a 20% e amplitude de relevo variando entre 20 e 40 metros, dentro da faixa hipsométrica de 40 a 80 metros. A análise geotécnica dos relatórios de sondagem e estatística dos Nspt referentes aos horizontes resultou na caracterização do perfil geotécnico e na elaboração da curva de tendência de Nspt em relação à profundidade, conforme mostra a Figura 6.26. A curva apresenta substanciais crescimentos de Nspt até a cota -3,0m, a partir da qual revelam-se pequenas variações desse atributo nesta camada. Ao longo dos horizontes argiloso e transicional são observadas pequenas variações no valor de Nspt.

Esta unidade é pouco influenciada pela erodibilidade dos solos e pela inundação, mas está sujeita aos movimentos de massa principalmente devido a amplitude de relevo e a declividade. Apresenta baixa potencialidade para a implantação de loteamentos e estradas, além de inadequadas à disposição de resíduos, devido a fatores como o alto nível freático e a possibilidade de inundação. Em locais onde há a exposição do material argiloso e com condições ambientais favoráveis é possível a exploração desse recurso, sem custos dispendiosos (Tabela 6.9).

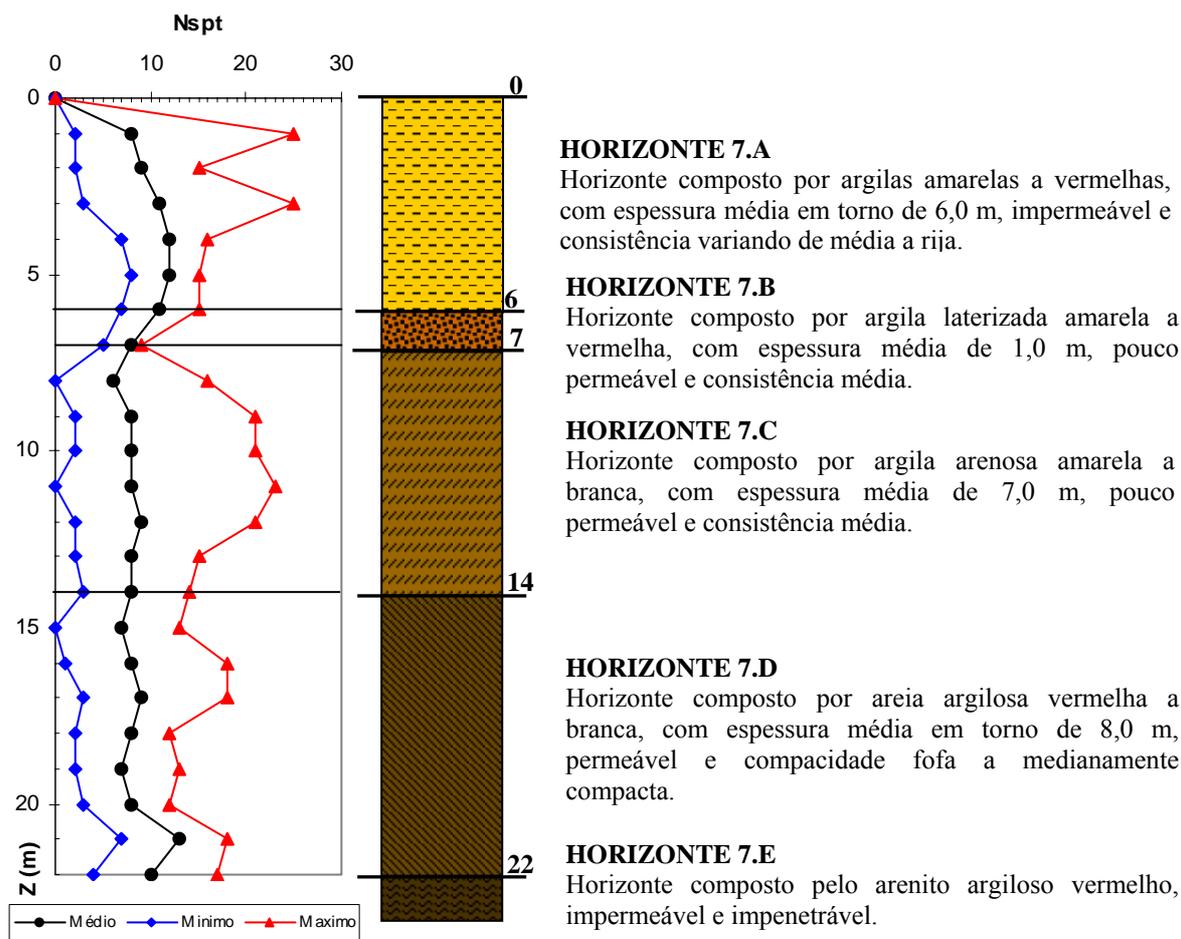


Figura 6.26 - Caracterização do perfil geotécnico da unidade de terreno Hp.

Tabela 6.9 – Tabela com os resultados de adequabilidade da unidade Hp

Riscos Geológicos	Erosão	Pouco Suscept.	0,38
	Inundação	Pouco Suscept.	0,25
	Movimentos de Massa	Susceptível	0,55
Adequabilidade para uso na engenharia	Loteamento	Má	0,43
	Estradas	Má	0,42
	Disposição de Resíduos	Má	0,34
Exploração dos Recursos Naturais	Argila	Favorável	0,63
	Areia	Não Favorável	0,04
	Cascalho	Pouco Favorável	0,29

6.3.8 – UNIDADE DE TERRENO Hcv (Encosta côncava)

Esta unidade é representada pelas encostas côncavas ocupando aproximadamente 22,56 km², cerca de 6,3% da área de estudo, apresentando-se em variadas cotas, com valores entre 25 e 80 metros, tendo como características gerais a elevada amplitude de relevo, variando entre 20 e 40m e acentuadas declividades, com valores maiores que 20%. A análise dos relatórios de sondagem permitiu a verificação de três horizontes de solo na unidade, não sendo encontrado referências do horizonte transicional e impenetrável (Figura 6.27). A curva de tendência elaborada a partir da análise estatística permitiu verificar um aumento substancial no valor do Nspt ao longo do horizonte 8.B, proporcionado pelo processo de laterização da argila. A partir da cota -6m essa curva apresenta relativa constância nos valores de Nspt, atingindo os menores índices para esse atributo na transição para o horizonte mais profundo.

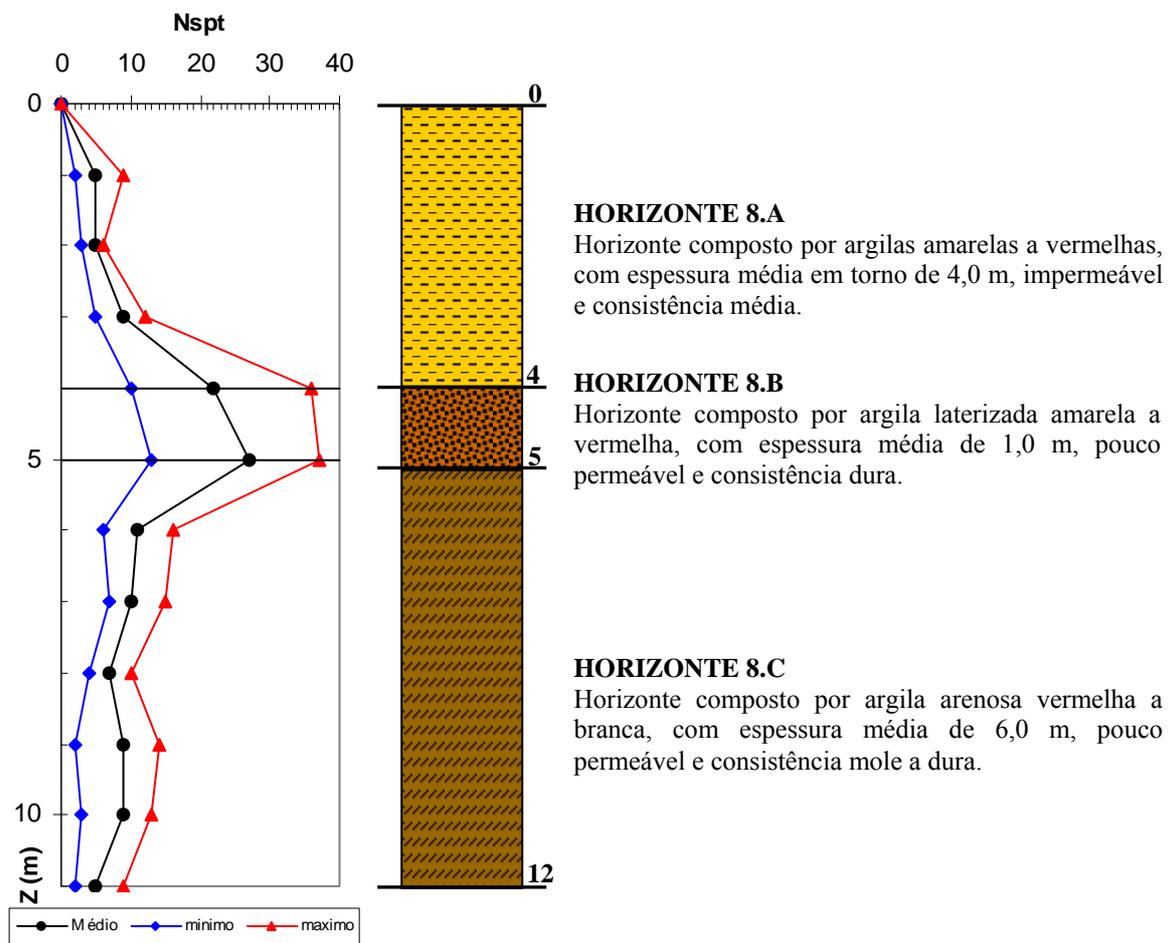


Figura 6.27 - Caracterização do perfil geotécnico da unidade de terreno Hcv.

Na Tabela 6.10 estão sintetizadas as principais características relacionadas à avaliação do terreno. De acordo com esta tabela, a unidade é susceptível à erosão e aos movimentos de

massa devido principalmente à alta declividade de sua superfície e elevada amplitude de relevo, sendo que, desta forma, se configura com baixo potencial para as obras de engenharia e para a disposição de resíduos. Devido à pequena espessura do horizonte de argila, apresenta-se pouco favorável à exploração desse material.

Tabela 6.10 – Tabela com os resultados de adequabilidade da unidade Hcv

Riscos Geológicos	Erosão	Susceptível	0,55
	Inundação	Não Susceptível	0,25
	Movimentos de Massa	Susceptível	0,72
Adequabilidade para uso na engenharia	Loteamento	Má	0,29
	Estradas	Má	0,28
	Disposição de Resíduos	Não Adequada	0,20
Exploração dos Recursos Naturais	Argila	Pouco Favorável	0,48
	Areia	Não Favorável	0,08
	Cascalho	Pouco Favorável	0,25

6.3.9 – UNIDADE DE TERRENO HcxBcv (Encosta convexa com base côncava)

Esta unidade é representada pelas encostas convexas e suas porções média e alta com base côncava, sendo que essa forma é originada devido à transição entre materiais com características diferentes. Ocupam cerca de 22,36 km², aproximadamente 6,31% da área de estudo, apresentando-se normalmente entre as cotas 40 e 60 metros, tendo como características gerais à amplitude de relevo variando entre 15 e 20m e o relevo acidentado com valores de declividade variando entre 10 e 20%. A partir da análise dos relatórios de sondagem foi possível caracterizar os horizontes geotécnicos da unidade, sendo identificados três camadas: horizonte argiloso, horizonte transicional e impenetrável (Figura 6.28). Nesta unidade os horizontes mais superficiais não ocorrem, provavelmente devido a atuação dos processos erosivos sobre essas camadas em consequência da sua posição no relevo. O perfil típico de SPT obtido por análise estatística das sondagens realizadas dentro desta unidade, apresentou uma tendência quase linear de crescimento do valor N_{spt} de acordo com a profundidade.

De uma forma geral, a unidade é suscetível aos processos erosivos e aos movimentos de massa principalmente devido aos altos valores de declividade e amplitude de relevo, e pelos

mesmos motivos não é adequada para implantação de obras civis. A exploração dos recursos naturais não é recomendada, devido às peculiaridades do relevo e pela inexistência de um material mais adequado para utilização como material de construção. Na Tabela 6.11 encontra-se sintetizada a avaliação do terreno da unidade.

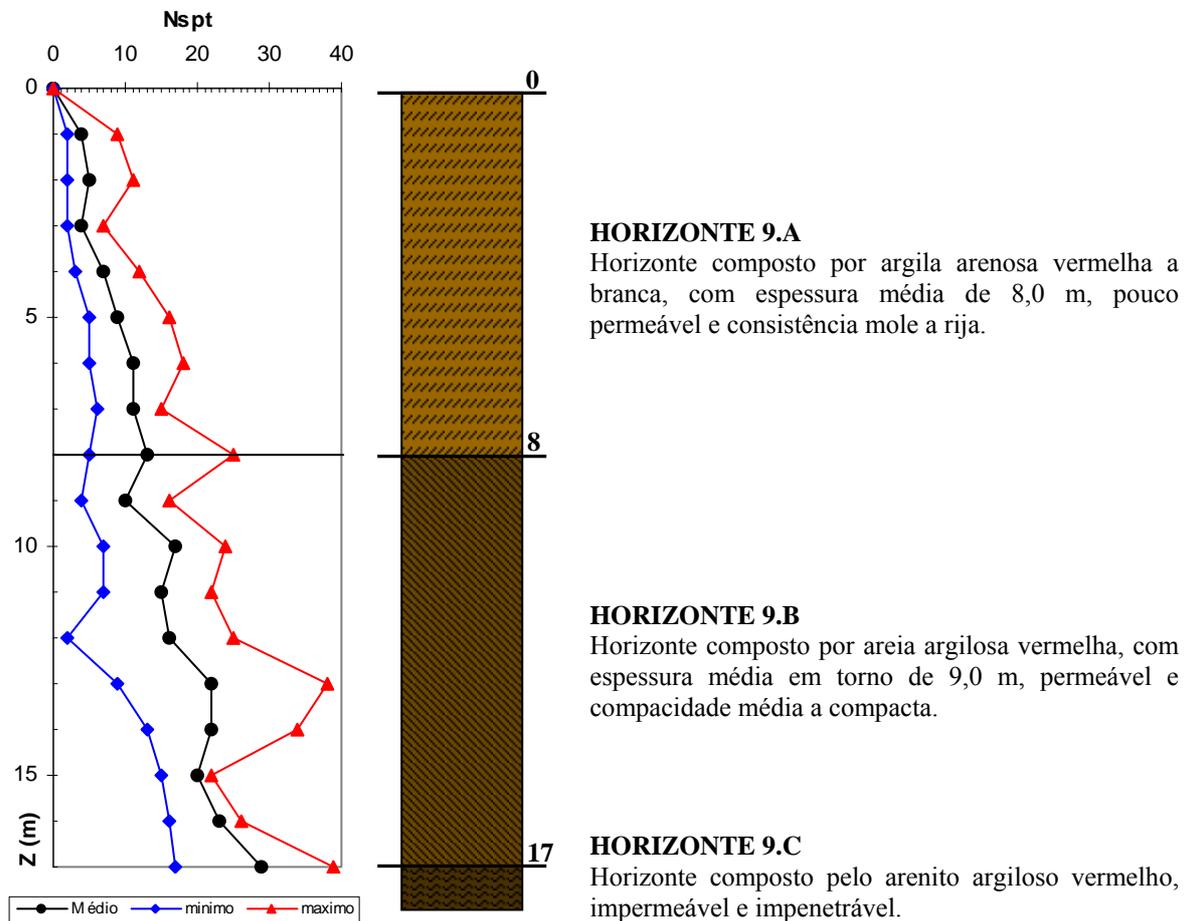


Figura 6.28 - Caracterização do perfil geotécnico da unidade de terreno HcxBcv.

Tabela 6.11 – Tabela com os resultados de adequabilidade da unidade HcxBcv

Riscos Geológicos	Erosão	Susceptível	0,54
	Inundação	Não Susceptível	0,23
	Movimentos de Massa	Susceptível	0,54
Adequabilidade para uso na engenharia	Loteamento	Má	0,43
	Estradas	Má	0,42
	Disposição de Resíduos	Má	0,46
Exploração dos Recursos Naturais	Argila	Pouco Favorável	0,43
	Areia	Pouco Favorável	0,43
	Cascalho	Não Favorável	0,04

6.3.10 – UNIDADE DE TERRENO HpTcx (Encosta plana com topo convexo)

É constituída pelas encostas planas de topo convexo, ocupando aproximadamente 35,83 km² cerca de 10,1% da área total de trabalho. De uma forma geral a unidade pode ser caracterizada pela moderada amplitude de relevo, variando entre 15 e 20 metros e com valores de declividades variando entre 10 e 20%. Em sua grande maioria apresenta-se entre as faixas hipsométricas de 40 a 80 metros.

A análise dos relatórios de sondagem permitiu a caracterização dos cinco horizontes de solo, mas vale ressaltar que em algumas áreas de ocorrência observa-se a exposição do horizonte argiloso devido a sua posição no relevo (Figura 6.29). O perfil típico de SPT apresenta nos primeiros metros consistências variando de média a rija, atingindo discretas reduções entre os horizontes crosta e argiloso e alcançando pequenos incrementos positivos no horizonte transicional.

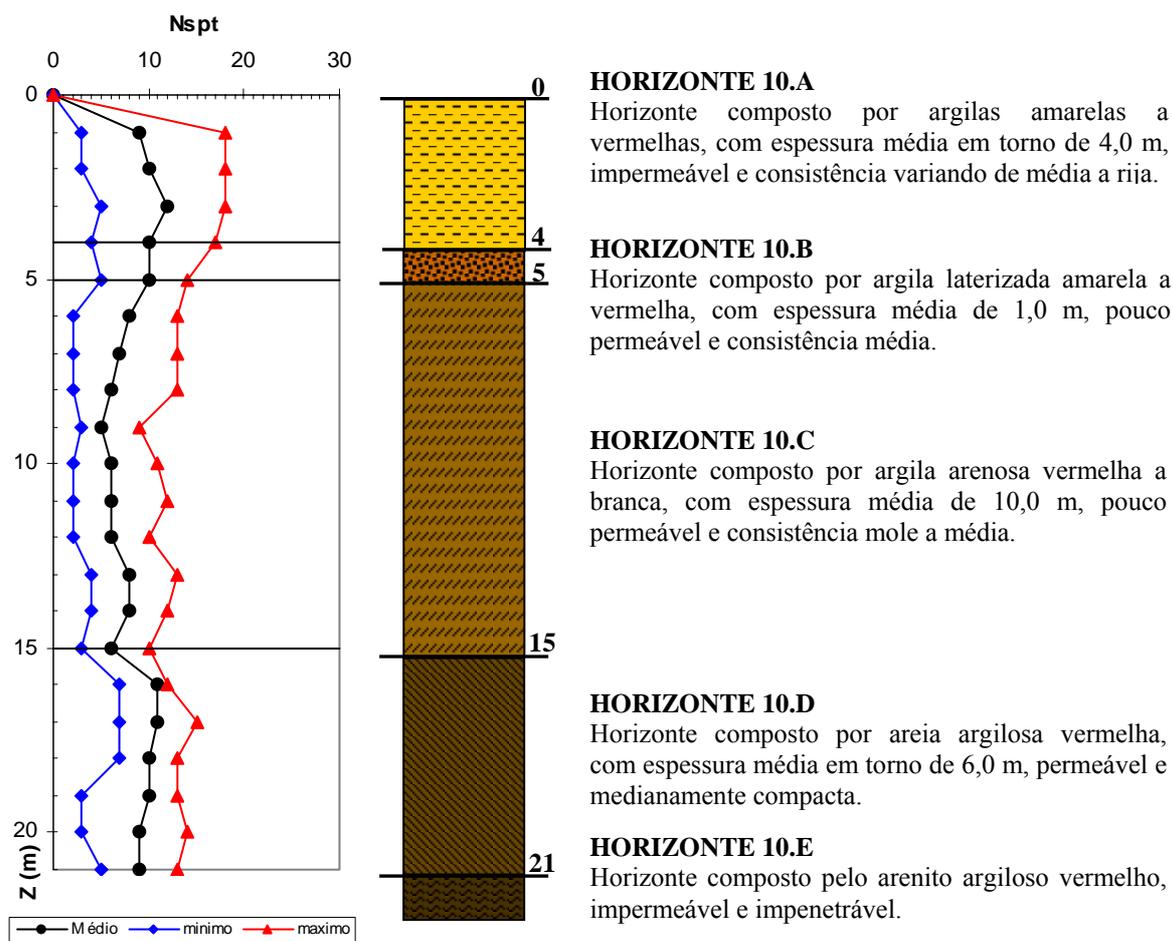


Figura 6.29 - Caracterização do perfil geotécnico da unidade de terreno HpTcx.

De acordo com a avaliação do terreno da unidade, essa se caracteriza como pouco susceptível a erosão e aos movimentos de massa, fato este condicionado pela pequena espessura do material inconsolidado de superfície e pelos altos índices de declividade. Apresenta-se favorável à implantação de loteamentos e pouco favorável a estradas e a disposição de resíduos, consequência dos fatores anteriormente citados (Tabela 6.12).

Tabela 6.12 – Tabela com os resultados de adequabilidade da unidade HpTcx

Riscos Geológicos	Erosão	Pouco Suscept.	0,43
	Inundação	Não Susceptível	0,20
	Movimentos de Massa	Susceptível	0,55
Adequabilidade para uso na engenharia	Loteamento	Média	0,52
	Estradas	Má	0,46
	Disposição de Resíduos	Má	0,38
Exploração dos Recursos Naturais	Argila	Favorável	0,55
	Areia	Não Favorável	0,04
	Cascalho	Pouco Favorável	0,29

6.3.11 – UNIDADE DE TERRENO HcvBcx (Encosta côncava com base convexa)

Formada por encostas de topo côncavo e base convexa com altimetria variando entre 40 a 80 metros, ocupando cerca de 27,95 km² aproximadamente 7,89% da área de trabalho, se concentrando principalmente na região central da área de estudo. Caracteriza-se pela amplitude de relevo elevada, variando entre 20 e 40 metros e por declividades moderadas com valores entre 10 e 20%. A unidade teve os cinco horizontes de solo caracterizados de acordo com textura, grau de consistência ou compacidade e cor. A análise do perfil típico de SPT revela o acréscimo de resistência ao longo do horizonte 11.B, reflexo da laterização da argila, que ao atingir o horizonte argiloso é marcado pela constância no valor de N_{spt}. Ao longo do horizonte transicional se observa pequenos incrementos nos valores de N_{spt} até a cota -15m e pequenas reduções entre as cotas -19 e 23m (Figura 6.30).

A unidade apresenta-se susceptível aos movimentos de massa, devido principalmente a grande amplitude de relevo e as grandes declividades. Susceptível a formação de erosões, fato este condicionado pela pequena espessura do material inconsolidado de superfície e pelos

altos índices de declividade, sendo que desta forma se mostra pouco favorável à instalação de obras civis. Favorável a exploração de recursos naturais, sendo a argila e o cascalho os materiais mais representativos (Tabela 6.13).

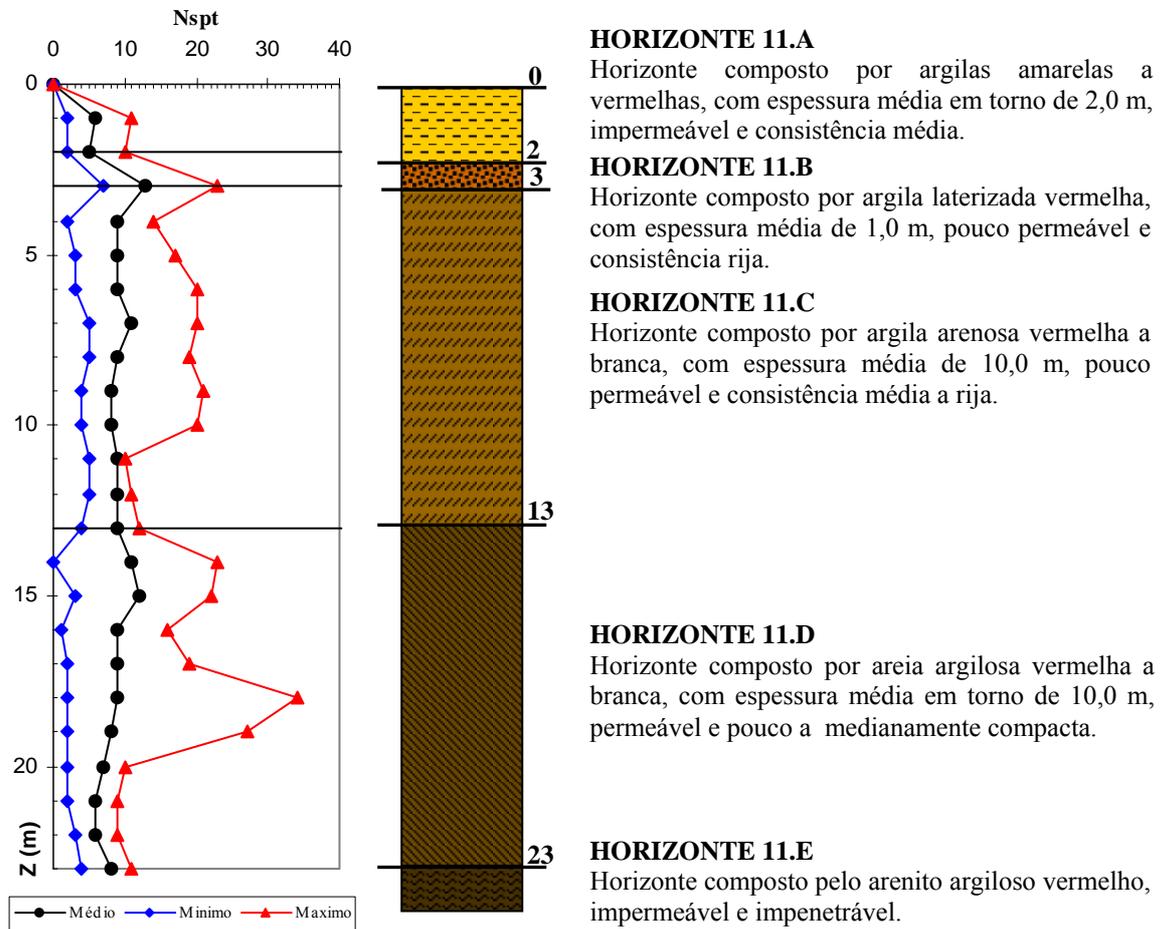


Figura 6.30 - Caracterização do perfil geotécnico da unidade de terreno HcvBcx.

Tabela 6.13 – Tabela com os resultados de adequabilidade da unidade HcvBcx

Riscos Geológicos	Erosão	Susceptível	0,50
	Inundação	Não Susceptível	0,23
	Movimentos de Massa	Susceptível	0,65
Adequabilidade para uso na engenharia	Loteamento	Má	0,38
	Estradas	Má	0,36
	Disposição de Resíduos	Má	0,30
Exploração dos Recursos Naturais	Argila	Favorável	0,51
	Areia	Não Favorável	0,19
	Cascalho	Pouco Favorável	0,29

6.3.12 – UNIDADE DE TERRENO Hdr (Cabeceiras de drenagens e anfiteatros)

Unidade composta pelas cabeceiras de drenagens e anfiteatros caracterizadas por serem áreas muito favoráveis à instalação de processos erosivos, por se tratarem de setores que naturalmente apresentam elevados gradientes hidráulicos subterrâneos e superficiais, onde se enquadram solos que permitam um escoamento subsuperficial. Ocupam cerca de 9,41 km², aproximadamente 2,65% da área de estudo, situando-se principalmente entre as cotas hipsométricas de 25 a 40 metros. Apresenta moderada amplitude de relevo com valores variando entre 15 e 20 metros e declividades entre 5 e 10%. A análise dos relatórios de sondagem resultou na caracterização de 3 horizontes de solos, sendo eles o horizonte argiloso, transicional e impenetrável (Figura 6.31). O perfil típico de SPT reflete a baixa consistência desses solos, principalmente no que se refere ao horizonte argiloso apresentando perdas substanciais com a presença do lençol freático. No horizonte transicional observa-se incrementos positivos no N_{spt}, com relativa queda nos 4,0 metros sobrejacentes ao horizonte impenetrável.

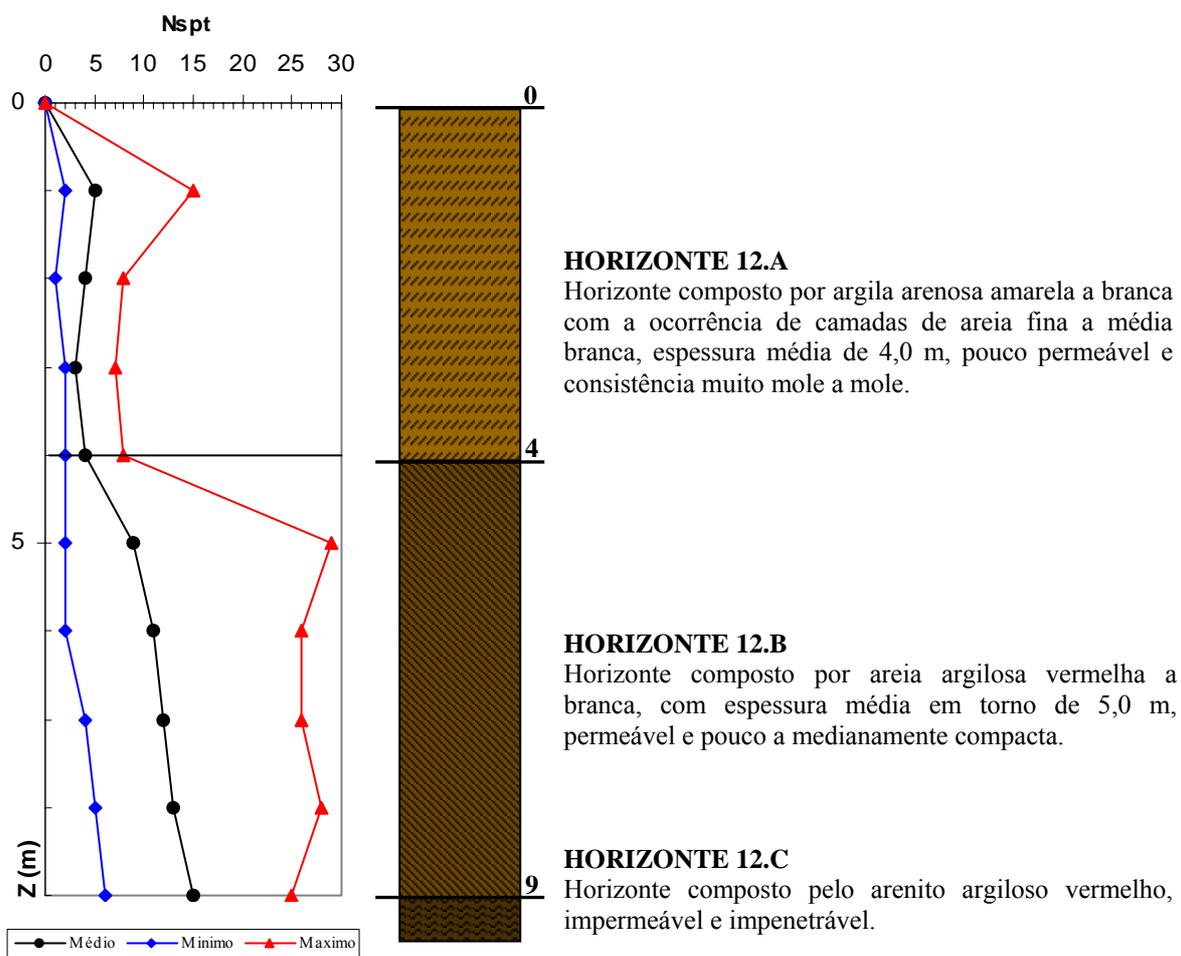


Figura 6.31 - Caracterização do perfil geotécnico da unidade de terreno Hdr.

Esta unidade ainda apresenta como característica a susceptibilidade à erosão, a inundação e aos movimentos de massa, principalmente ao escorregamento, sendo estas condições condicionadas pela baixa consistência e espessura da camada superficial. Além desses fatores, o elevado nível freático reflete na sua condição desfavorável a implantação de obras civis e instalação de áreas para a disposição de resíduos. Existe a possibilidade de exploração de material arenoso e de cascalho nos locais onde estes se encontram expostos (Tabela 6.14).

Tabela 6.14 – Tabela com os resultados de adequabilidade da unidade Hdr

Riscos Geológicos	Erosão	Susceptível	0,69
	Inundação	Susceptível	0,58
	Movimentos de Massa	Susceptível	0,56
Adequabilidade para uso na engenharia	Loteamento	Má	0,27
	Estradas	Má	0,26
	Disposição de Resíduos	Não Adequada	-
Exploração dos Recursos Naturais	Argila	Pouco Favorável	0,32
	Areia	Pouco Favorável	0,35
	Cascalho	Pouco Favorável	0,33

A caracterização do solo superficial resultou na classificação desse material no grupo NA' para a metodologia MCT, sendo composto pelas areias argilosas e siltosas não lateríticas, e no grupo CL para a metodologia SUCS e referente às argilas pouco plásticas.

6.3.13 – UNIDADE DE TERRENO Pfl (Planície de inundação)

Esta unidade representa as planícies de inundação, compreendendo as áreas sujeitas a inundações nos períodos de ocorrência de grandes cheias. Ocupam cerca de 56,41 km², aproximadamente 15,93% da área total de trabalho, sendo que sua extensão em área reflete a elevada densidade de drenagem da região. Está inserida na faixa hipsométrica de 25 a 40 metros e, de uma forma geral, é caracterizada pelo relevo levemente ondulado, com declividades variando entre 2 e 5% e pela discreta amplitude de relevo, variando entre 10 e 15 metros. A análise dos relatórios de sondagens possibilitou a caracterização das 3 últimas camadas de solo, sendo que para o horizonte argiloso se observou a ocorrência de camadas intermediárias de material predominantemente arenoso (Figura 6.32). O perfil típico de SPT apresenta no horizonte 13.A um crescimento linear do valor do N_{spt} em relação a

profundidade, sendo que já no horizonte transicional os valores de N_{spt} são muito variáveis, com substancial elevação próximo do horizonte impenetrável.

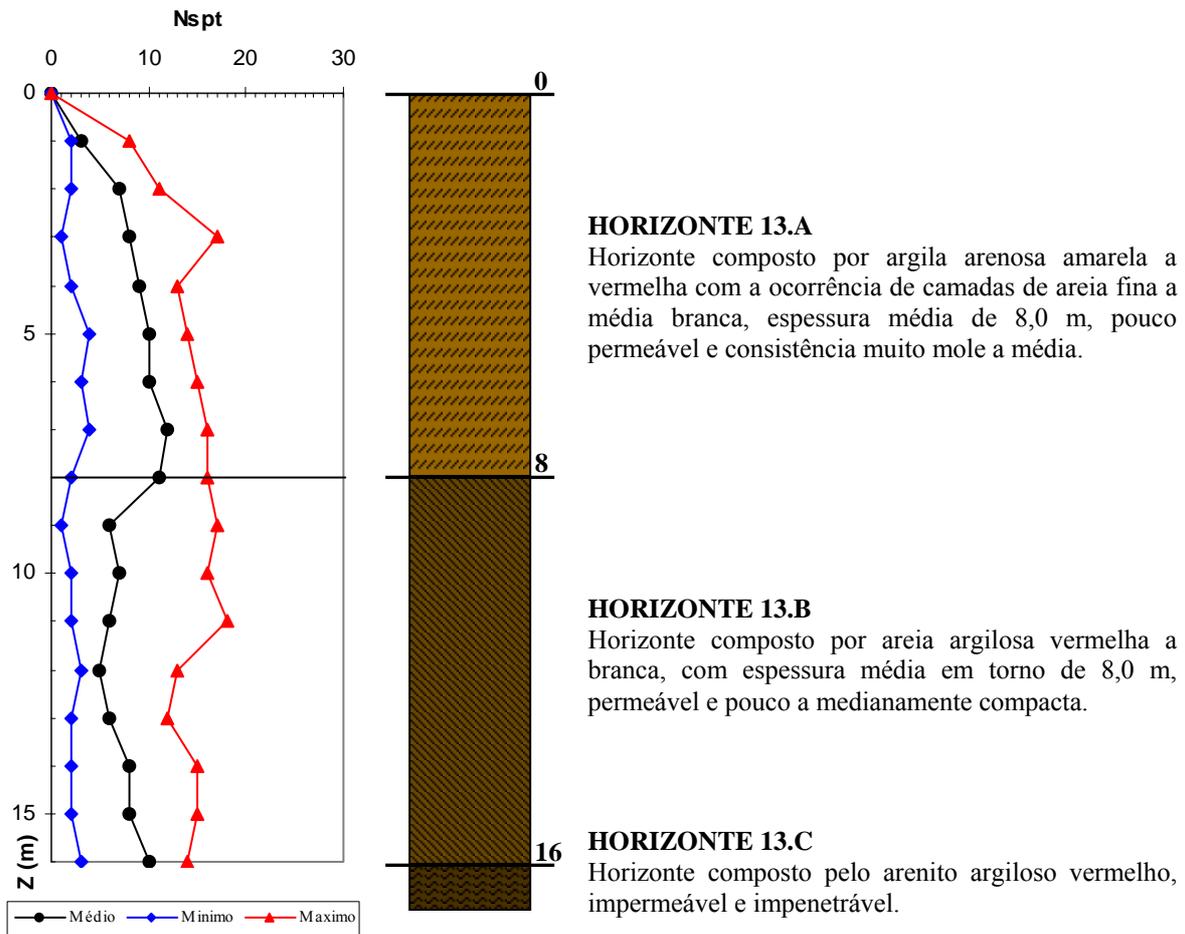


Figura 6.32 - Caracterização do perfil geotécnico da unidade de terreno Pfl.

A caracterização do solo superficial resultou na sua classificação no grupo LA' (areias argilosas lateríticas) pela metodologia MCT, e no grupo CL (argilas pouco plásticas) de acordo com a metodologia SUCS.

A unidade apresenta-se susceptível à erosão e a inundação, visto a proximidade dos cursos d'água e o elevado nível freático. Devido aos fatores anteriores, essa é pouco favorável ao estabelecimento de loteamentos, implantação de rodovias e disposição de resíduos. A exploração de recursos naturais como argila e areia deve ser evitada, principalmente devido às restrições ambientais (Tabela 6.15).

Tabela 6.15 – Tabela com os resultados de adequabilidade da unidade Pfl

Riscos Geológicos	Erosão	Susceptível	0,52
	Inundação	Susceptível	0,68
	Movimentos de Massa	Pouco Suscept.	0,39
Adequabilidade para uso na engenharia	Loteamento	Má	0,46
	Estradas	Má	0,43
	Disposição de Resíduos	Não Adequada	-
Exploração dos Recursos Naturais	Argila	Pouco Favorável	0,47
	Areia	Pouco Favorável	0,47
	Cascalho	Não Favorável	0,20

6.3.14 – UNIDADE DE TERRENO Dva (Fundo de vale)

É representada pelos fundos de vale, sendo influenciada pelo regime hidrológico, ou seja, permanecem inundadas no período de cheia sendo novamente exibida na vazante. Corresponde a 16,25 km² aproximadamente 4,6% da área de estudo e em sua grande maioria encontra-se em cotas menores ou iguais a 25 metros, sendo caracterizada pelo relevo plano com declividades menores que 2% e de baixa amplitude (valores menores que 5 metros).

A análise dos relatórios de sondagem resultou na caracterização de 3 horizontes de solo, correspondentes as 3 últimas camadas do perfil típico adotado nesta pesquisa (Figura 6.33), da mesma forma como na unidade Pfl. O perfil típico de SPT, obtido a partir da análise estatística dos valores de N_{spt} para cada camada, apresenta no horizonte 14.A uma constância nos valores de N_{spt}. No horizonte 14.B apresentam-se incrementos positivos ao longo da profundidade, com pequena redução nas proximidades do horizonte impenetrável.

A unidade apresentou-se pouco susceptível a erosão e não susceptível aos movimentos de massa, mas altamente favorável à inundação graças aos aspectos geomorfológicos desta unidade. Da mesma forma não é considerada favorável para a implantação das obras civis e a implantação de áreas para a disposição de resíduos. A exploração dos recursos naturais para uso como materiais de construção pode ser realizada desde que seja levado em conta o fator econômico e ambiental (Tabela 6.16).

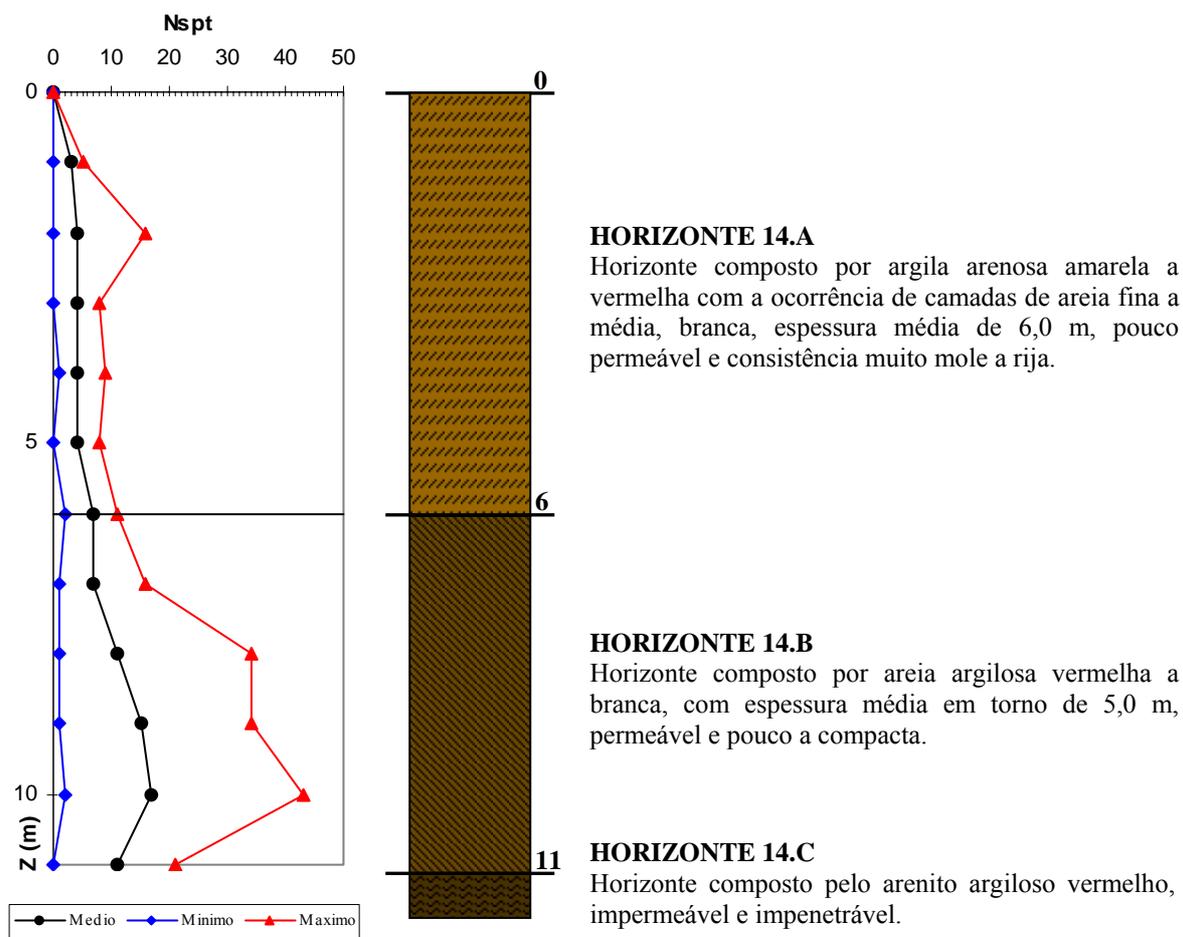


Figura 6.33 - Caracterização do perfil geotécnico da unidade de terreno Dva.

Como na unidade Pfl, a caracterização do solo superficial obteve como resultado a classificação do material no grupo LA' (areias argilosas lateríticas) pela a metodologia MCT e no grupo CL (argilas pouco plásticas) pela a metodologia SUCS.

Tabela 6.16 – Tabela com os resultados de adequabilidade da unidade Dva

Riscos Geológicos	Erosão	Pouco Suscept.	0,47
	Inundação	Muito Suscept.	0,98
	Movimentos de Massa	Não Susceptível	0,21
Adequabilidade para uso na engenharia	Loteamento	Má	0,48
	Estradas	Má	0,47
	Disposição de Resíduos	Não Adequada	-
Exploração dos Recursos Naturais	Argila	Pouco Favorável	0,47
	Areia	Pouco Favorável	0,47
	Cascalho	Pouco Favorável	0,40

6.4 – CARTA DE ÁREAS POTENCIAIS PARA A DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS

A carta de áreas potenciais a disposição de resíduos (Figura 6.34) hierarquiza as áreas que podem ser utilizadas para este fim, em função das características geotécnicas e ambientais. Essas áreas são indicativas e se configuram como opções para estudos mais detalhados dentro de um processo de discussão para a escolha de áreas para a disposição de resíduos.

Dentro deste contexto, foram selecionadas as áreas de acordo com o potencial a disposição de resíduos segundo a classificação adotada pela NBR-10004 (ABNT, 1987). A classe 1 é composta pelas áreas indicadas a destinação final a todos os tipos de resíduos; a classe 2 é a indicada a disposição de resíduos não-inertes, como o lixo doméstico, e inertes, como os entulhos de construção; a classe 3 é indicada aos resíduos inertes. Vale destacar que, em virtude de o estudo aqui apresentado ter sido desenvolvido na área urbana de Manaus, grande parte da região foi considerada não favorável à disposição de qualquer tipo de resíduo.

Com base na Tabela 5.13 foi criada uma rotina na linguagem LEGAL (Apêndice B), de tal forma que foram gerados três mapas referentes às classes, adotando-se para os mapas ponderados os valores maiores ou iguais a 0,5 como favoráveis. A partir de então foi realizado o mosaico desses mapas obtendo a carta de zoneamento específico. Vale ressaltar que a classe “não favoráveis a nenhum tipo de resíduo” corresponde às áreas não classificadas em nenhum dos mapas gerados. A Tabela 6.17 apresenta a quantificação das áreas potenciais a disposição de resíduos obtidas na área de estudo.

Tabela 6.17 – Quantificação das áreas obtidas por classes de resíduos

CLASSES	ÁREAS km²	% DA ÁREA DE ESTUDO
Classe 1	1,92	0,54
Classe 2	2,11	0,59
Classe 3	9,50	3,31
Não favoráveis a nenhum tipo de resíduo	189,70	53,60
Área Urbana Densa	150,77	41,96
TOTAL	354,00	100,00

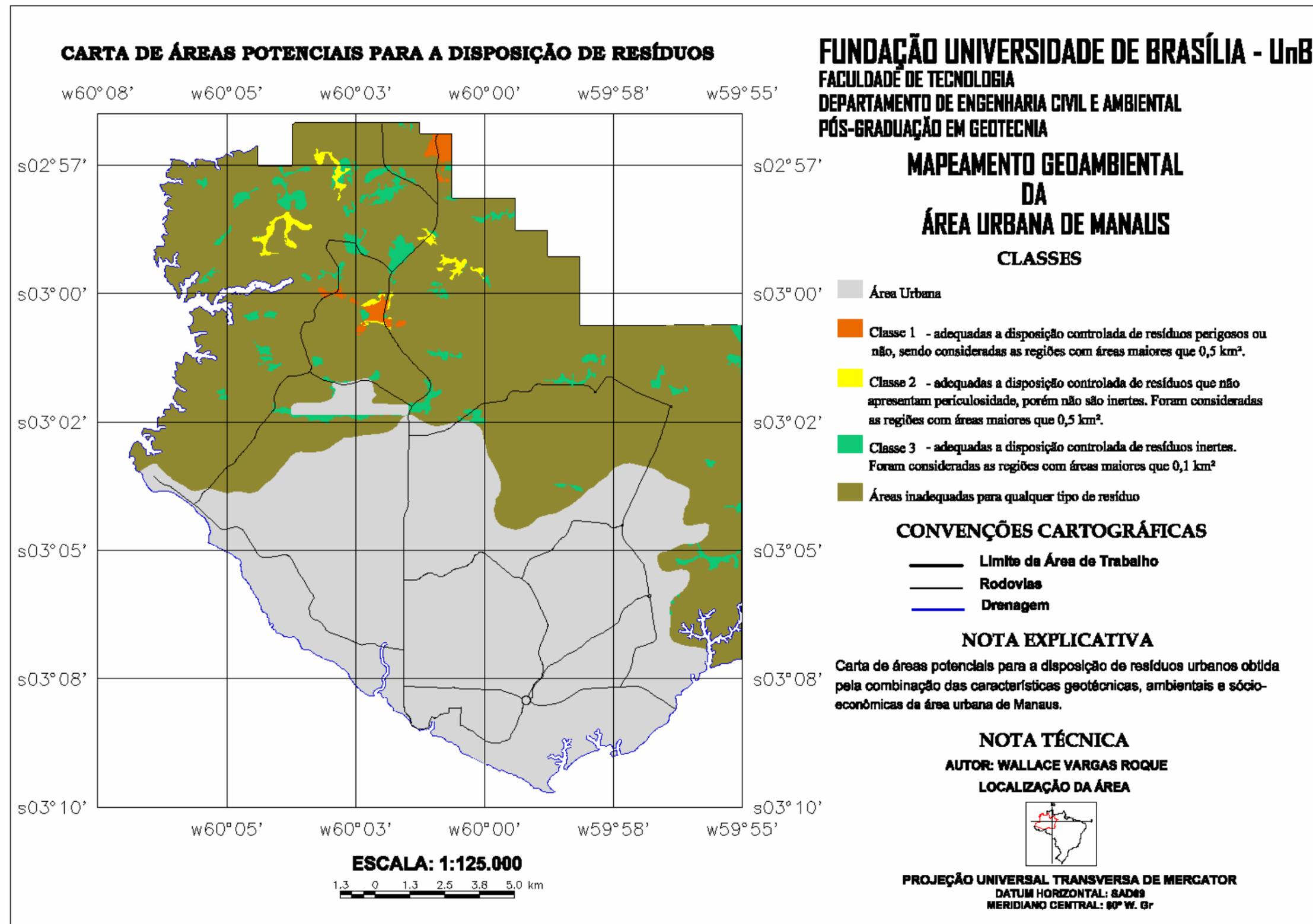


Figura 6.34 – Carta de áreas potenciais para a disposição de resíduos.

6.5 – CARTA ORIENTATIVA PARA A EXPLORAÇÃO DE RECURSOS NATURAIS

A carta orientativa para a exploração de recursos naturais aqui apresentada (Figura 6.35) indica possíveis reservas de recursos naturais utilizados como material de construção, a partir das características das unidades geotécnicas e dos limites ambientais e econômicos restritivos a sua exploração. Dentro desse contexto, foram obtidas as áreas favoráveis à exploração de recursos naturais, como a argila, areia e cascalho.

Da mesma forma que a carta de áreas potenciais para a disposição de resíduos, esta carta foi obtida pela elaboração de uma rotina na linguagem LEGAL (Apêndice B), com base na Tabela 5.14, para posterior execução no programa Spring. Desta forma foram obtidos três mapas ponderados referentes aos materiais de construção pesquisados, sendo que valores acima de 0,5 foram considerados favoráveis à exploração, sendo que a carta final foi obtida pelo mosaico desses mapas parciais.

De uma forma geral, o material argiloso disponível encontra-se distribuído ao longo de toda a área de estudo, sendo o principal constituinte do solo da região. As reservas de areia e cascalho são principalmente observados próximos às drenagens onde o horizonte transicional e impenetrável encontram-se expostos. O material arenoso nessas áreas também pode ser encontrado intercalado com o horizonte argiloso. Como na carta de áreas potenciais para a disposição de resíduos, grande parte da região foi classificada como não favorável a qualquer tipo de exploração por o estudo ter sido desenvolvido em área urbana. Na Tabela 6.18 apresenta a quantificação das áreas obtidas de acordo com o tipo de material a ser explorado.

Tabela 6.18 – Quantificação das áreas obtidas por material a ser explorado

CLASSES	ÁREAS km²	% DA ÁREA DE ESTUDO
Argila	33,51	9,48
Areia	10,00	2,82
Cascalho	6,37	1,80
Não favoráveis à exploração	153,51	43,36
Área Urbana Densa	150,61	42,54
TOTAL	354,00	100,00

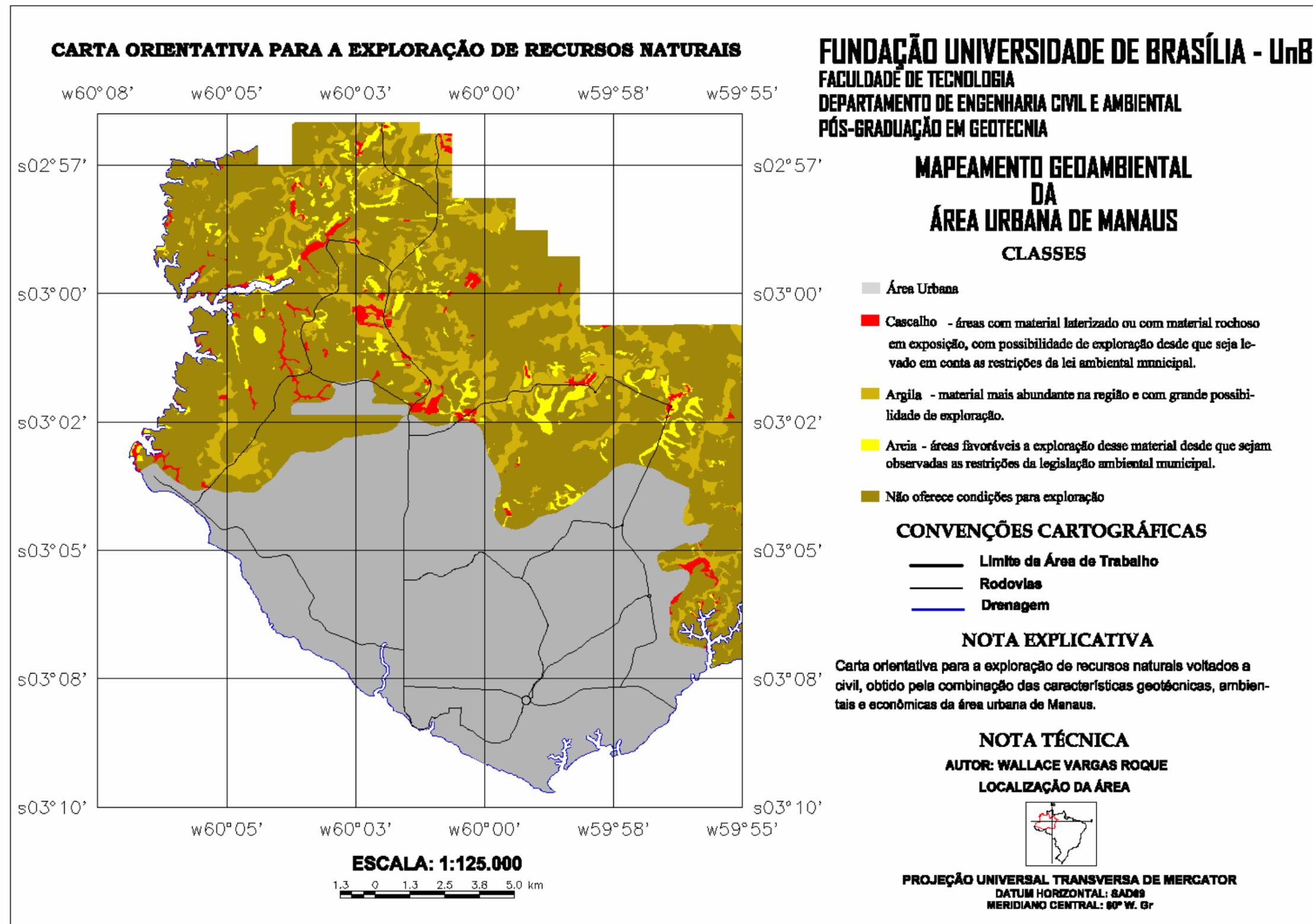


Figura 6.35 – Carta orientativa para a exploração de recursos naturais.

7 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

7.1 – CONCLUSÕES

- Quanto aos aspectos metodológicos gerais:

- De uma forma geral, observa-se que o uso de metodologias que possibilitem a visão integrada dos diversos atributos do meio físico frente ao uso e à ocupação é mais adequado aos trabalhos de mapeamento geotécnico desenvolvidos em áreas que apresentem múltiplas características geológico-geotécnicas, sendo que estas devem ser aplicáveis aos solos residuais tropicais e passíveis de sistematização.
- Observa-se a importância da metodologia a ser utilizada apresentar a compartimentação com base na identificação dos *landforms*, pois esses representam áreas consideradas geotecnicamente homogêneas, o que se traduz em comportamentos geotécnicos potenciais comuns.
- A metodologia utilizada para o mapeamento geotécnico deve considerar a análise de relatórios de ensaios de campo desenvolvidos no dia a dia da construção civil, visto que esse tipo de análise reduz custos e possibilita caracterização do perfil típico de alteração e de sua variação ao longo do relevo, assim como a caracterização da evolução genética do material inconsolidado e dos processos de alteração.
- A utilização de dados de sensoriamento remoto de alta resolução espacial, como é o caso das imagens Quickbird, só é justificado para mapeamentos de grande escala e desenvolvidos preferencialmente em áreas urbanas, pois essas possibilitam a identificação em detalhe das características da área mapeada e do uso e ocupação que ali se desenvolve.
- O ambiente de sistemas de informações geográficas têm se mostrado imprescindível ao mapeamento geotécnico, principalmente devido a sua capacidade de tratar um grande volume de dados e possibilitar, em conjunto com sistema gerenciador de banco de dados, o armazenamento coerente, a recuperação e a atualização desses dados.

- Ainda, deve-se procurar interagir os diversos segmentos da sociedade de forma a possibilitar a troca de informações e a capacitação de profissionais, procurando universalizar as vantagens na adoção dos princípios básicos de cartografia na execução dos diversos trabalhos de campo e de laboratório, realçando a importância dessas informações ao planejamento regional sendo que, desta forma, o principal beneficiado é a própria sociedade.

- Quanto à metodologia utilizada:

- Com relação aos relatórios técnicos de ensaios de campo conseguidos, observa-se a falta de uma política voltada ao uso dos princípios básicos de cartografia por parte dos executores, o que poderia ter agilizado o desenvolvimento da pesquisa caso ocorresse.
- As informações pré-existentes utilizadas nesta pesquisa encontram-se disponíveis e são de fácil aquisição, graças à relação de cooperação existente entre os órgãos públicos do município e as instituições de pesquisa.
- Os recursos oferecidos pelo *software* SPRING versão 4.2 apresentaram desempenhos satisfatórios durante a correção das imagens e na elaboração dos documentos cartográficos.
- Com base na experiência de outros trabalhos desenvolvidos na área e na escala proposta para o desenvolvimento desta pesquisa, pareceu coerente a utilização de uma metodologia baseada na análise integrada procedendo a compartimentação do terreno segundo a identificação dos *landforms*.
- A consideração do plano de informação de cobertura e uso do solo implica na aceitação de mudanças na configuração das cartas de uso específico de acordo com o tempo.
- A metodologia utilizada para a obtenção das unidades de terreno, no que diz respeito ao perfil típico de solo, mostrou-se bastante satisfatória quando confrontada com resultados obtidos em outras pesquisas.
- Para a área de estudo, como já visto no trabalho de Lima (1999), observa-se a existência de perfil de solo comum, sendo a variabilidade de ocorrência dos horizontes condicionados apenas pela sua posição no relevo.

- Quanto aos documentos cartográficos obtidos:

- A elaboração do mapa de documentação é de fundamental importância no processo de mapeamento geotécnico, pois permite uma avaliação da densidade de informações e auxilia no planejamento das etapas seguintes do trabalho.
- O MDE e o mapa de declividade foram de fundamental importância para o desenvolvimento da pesquisa, pois além de subsidiarem a elaboração da fotointerpretação, revelaram-se importantes na avaliação das unidades para fins geotécnicos.
- O mapa hipsométrico permitiu a caracterização preliminar das áreas de planalto, onde os perfis lateríticos apresentam-se bem desenvolvidos, e das áreas de planície onde o perfil laterítico encontra-se imaturo.
- O mapa de cobertura e uso do solo propiciou uma visão detalhada da área de estudo em 2003. Sua atualização periódica pode constituir uma importante ferramenta para a gestão urbana e regional.
- A carta geotécnica da área urbana de Manaus é o principal documento cartográfico desta pesquisa, sendo elaborada com vistas à avaliação do terreno quanto aos riscos geológicos, adequabilidade a implantação de obras civis e potencial de exploração de recursos naturais. As informações fornecidas por essa carta em conjunto com as fichas de caracterização da unidade servem de instrumento ao usuário no que se refere a um atributo específico.
- A carta de áreas para a disposição de resíduos reflete o grau de urbanização que vem se desenvolvendo na região, sendo que na atualidade pouco se resta para uso como destinação final de resíduos.
- A carta orientativa para a exploração de materiais de construção ressalta a existência de grandes áreas que podem ser utilizadas para a exploração de material argiloso a ser utilizado na construção civil, visto que este é o principal constituinte dos perfis de solo que se desenvolvem na região. Em compensação reflete a escassez de outros materiais como a areia e principalmente o cascalho, com a ocorrência sujeita a áreas onde há a exposição dos horizontes mais profundos de solo.
- Os documentos cartográficos resultantes deste trabalho são de finalidade orientativa, não devendo substituir a investigação local.

7.2 – RECOMENDAÇÕES

- Criação de um sistema de coleta, uniformização e armazenamento de informações de interesse geotécnico produzidas no município, com o apoio das instituições públicas e privadas com atividades afins, de modo a reduzir os esforços e o tempo na aquisição para a elaboração dos documentos cartográficos.
- Proceder a atualização anual do mapa de cobertura e uso do solo, de modo a possibilitar a o monitoramento e a fiscalização das atividades humanas que se desenvolvendo na região.
- Sempre que possível constituir uma equipe multidisciplinar para a elaboração das cartas de zoneamento geotécnico específico, com a inclusão de profissionais dos diversos ramos da sociedade (instituições públicas, instituições de pesquisa e empresas privadas).
- Elaborar, a partir das informações da carta geotécnica, cartas de zoneamento específico, como a de susceptibilidade a erosão.
- Estender os estudos de áreas de disposição de resíduos e de áreas potenciais para a exploração de materiais de construção a todo o município, onde influência da presença da urbanização não seja tão grande.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT (2001). Norma Técnica NBR 6484. Solo - Sondagens de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio. Associação Brasília de Normas Técnicas, ABNT, Rio de Janeiro, R.J. 17p.

ABNT (1984a). Norma Técnica NBR 7181. Método de Ensaio: Análise Granulométrica. Associação Brasília de Normas Técnicas, ABNT, Rio de Janeiro, R.J. 13p.

ABNT (1984b). Norma Técnica NBR 6459. Método de Ensaio: Solo – Determinação do Limite de Liquidez. Associação Brasília de Normas Técnicas, ABNT, Rio de Janeiro, R.J. 6p.

ABNT (1984c). Norma Técnica NBR 7180. Método de Ensaio: Solo – Determinação do Limite de Plasticidade. Associação Brasília de Normas Técnicas, ABNT, Rio de Janeiro, R.J. 3p.

ABNT (1986). Norma Técnica NBR 6457. Amostras de Solo: Preparação para Ensaio de Compactação e Ensaio de Caracterização. Associação Brasília de Normas Técnicas, ABNT, Rio de Janeiro, R.J.

Aguiar, R.L. 1997. Zoneamento geotécnico geral do Distrito Federal: procedimentos metodológicos e sua inserção na gestão ambiental. Tese (Doutorado) EESC/USP. São Carlos. 2 v.

ANP (2006). Carta Estratigráfica da Bacia do Amazonas. www.brasil-rounds.gov.br/ce_amazonas.pdf (30/01/2006).

ASTM (1989a). Standard Test Method for Classification of Soils for Engineering Purposes. Annual Book of ASTM Standards. v.04.08. pg. 288-297.

ASTM (1989b). Standard Practice for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes. Annual Book of ASTM Standards. v.04.08. pg. 401-406.

Belcher, D. J. (1942). The Use of Soil Maps in Highway Engineering. American Road Scholl. Purdue University, Proceedings, [s.l.], Engineering Bulletin, 26: 64.

Belcher, D. J. (1943). The Engineering Significance of Soil Patterns. Annual Meeting of Highway Research Board, Proceedings, [s.l.].

Bento, A. H. (1998). Mapeamento Geotécnico da Área Urbana de Manaus. Dissertação de Mestrado. Centro de Ciências do Ambiente / Universidade do Amazonas. Manaus, AM., 2v, 179p.

Bourne, R. (1931). Regional Survey and its Relation to Stocktaking of Agricultural and Forest Resources of the British Empire. Ox. For. Mem., 13.

BRASIL-MME (1978). Projeto RADAMBRASIL: Folhas SA-20 e SA-21. MME, Brasília, DF, vols 10 e 18.

Brink, A. B.; Mabbutt, J.A., Webster, R. & Beckett, P.H.T. (1966). Report of the Working Group on Land Classification and Data Storage. Military Experimental Establishment Report, nº 940, Hampshire, UK, 97p.

Câmara, G. & Medeiros, J. S. (1998). Princípios Básicos em Geoprocessamento. Sistemas de Informações Geográficas – Aplicações em Agricultura, Assad, E. D. & Sano, E. E. (eds.), EMBRAPA, Brasília, DF, pp. 3-11.

Câmara, G. 1995. Modelos, linguagens e arquiteturas para bancos de dados geográficos. Tese (Doutorado). INPE, São José dos Campos.

Carvalho, A. S.; Souza, V. S.; Fernandes Filho, L. A & Nogueira, A. C. R. (2003). A Geologia da Região de Manaus. VIII Simpósio de Geologia da Amazônia, SBG, Manaus, AM, 5p.

Costa, M. O., Paulon, N., Diniz, N. C. (1994). Obtenção do mapa de erosão efetiva nas bacias dos rios Tietê e Pinheiros com utilização de informações digitais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37., Camboriú, 1994,. **Anais...** Camboriú: SBG.

Dearman, W.R. (1991). Engineering Geological Mapping. British Library Cataloguing Publication Data. Butterworth & Heinemann, London.

Diniz, N. C. (1998). Automação da Cartografia Geotécnica: Uma Ferramenta de Estudo e Projetos para Avaliação Ambiental. Tese de Doutorado – Escola Politécnica – USP, São Paulo, SP, 2v, 297p.

Diniz, N. C.; Bitar, O. Y.; Frota, C.A.; Bento, A.H.; Silva Filho, E.G.; Souza, M.M.; Carvalho, F.P.; Bandeira, M. I. V. B.; Salles, E.R.; Costa, M.O. & Oliveira, M.A. (2001). Carta Geotécnica de Manaus como Resultado de Parceria Institucional. 4º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica, ABGE, Brasília, DF, CD-ROM.

Fernandes Filho, et al. (1995). Bacia de Manaus: Uma Estrutura Pull-Apart do Quaternário. In: V Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos. Gramado. Anais...SBG, Gramado. p.425-426.

Fernandes Filho, L. A. (1996). Geologia, mineralogia, geoquímica dos lateritos de Manaus – Amazonas. Tese de Mestrado, CG-UFGA, Belém, 96p.

Fookes, P.G. (2004). Tropical Residual Soils (In Spanish). 1. ed. Medellín: Hombre Nuevo Editores. 235p.

Franzinelli, E., Rossi, A. (1996). Contribuição ao estudo petrográfico e geoquímico do Arenito Manaus. In: V Simpósio de Geologia da Amazônia, Belém. Boletim de Resumos Expandidos e Guia de Excursões. Belém, SBG. p. 209-211.

Frota, C. A da, Barros, E. T., D’Avila, M. S. (1987). Caracterização Geotécnica da Região Urbana de Manaus-Cidade Nova. ICE-Informação Ciência e Educação. Manaus, n. 2. p.15-17, jan. 1987.

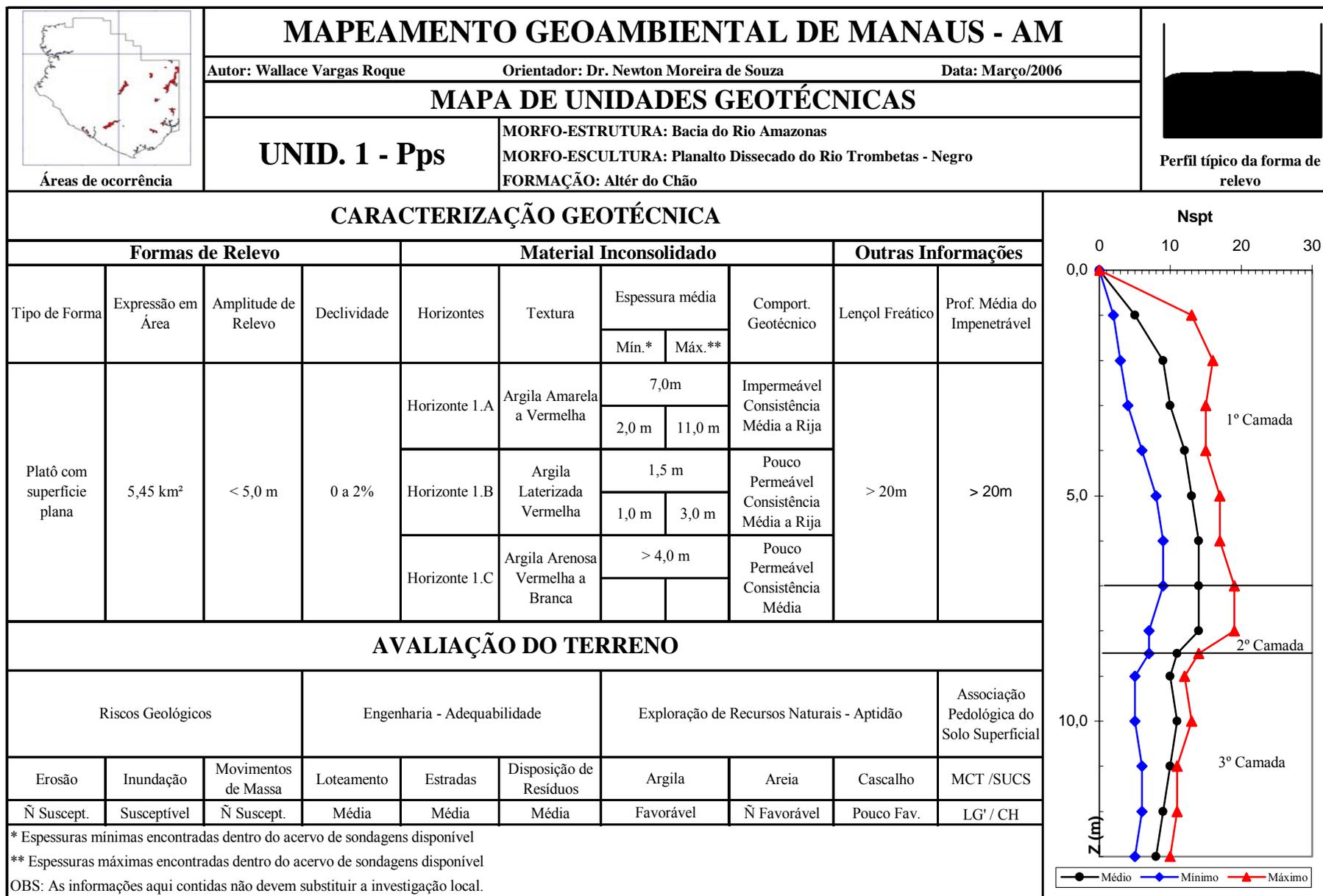
Frota, C. A da, Girtirana Junior, G. F. N. (1998). Estudo Geotécnico de um Perfil Característico do Subsolo da Região de Manaus - AM. XI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. Brasília, n. 1. p.515-520, nov. 1998.

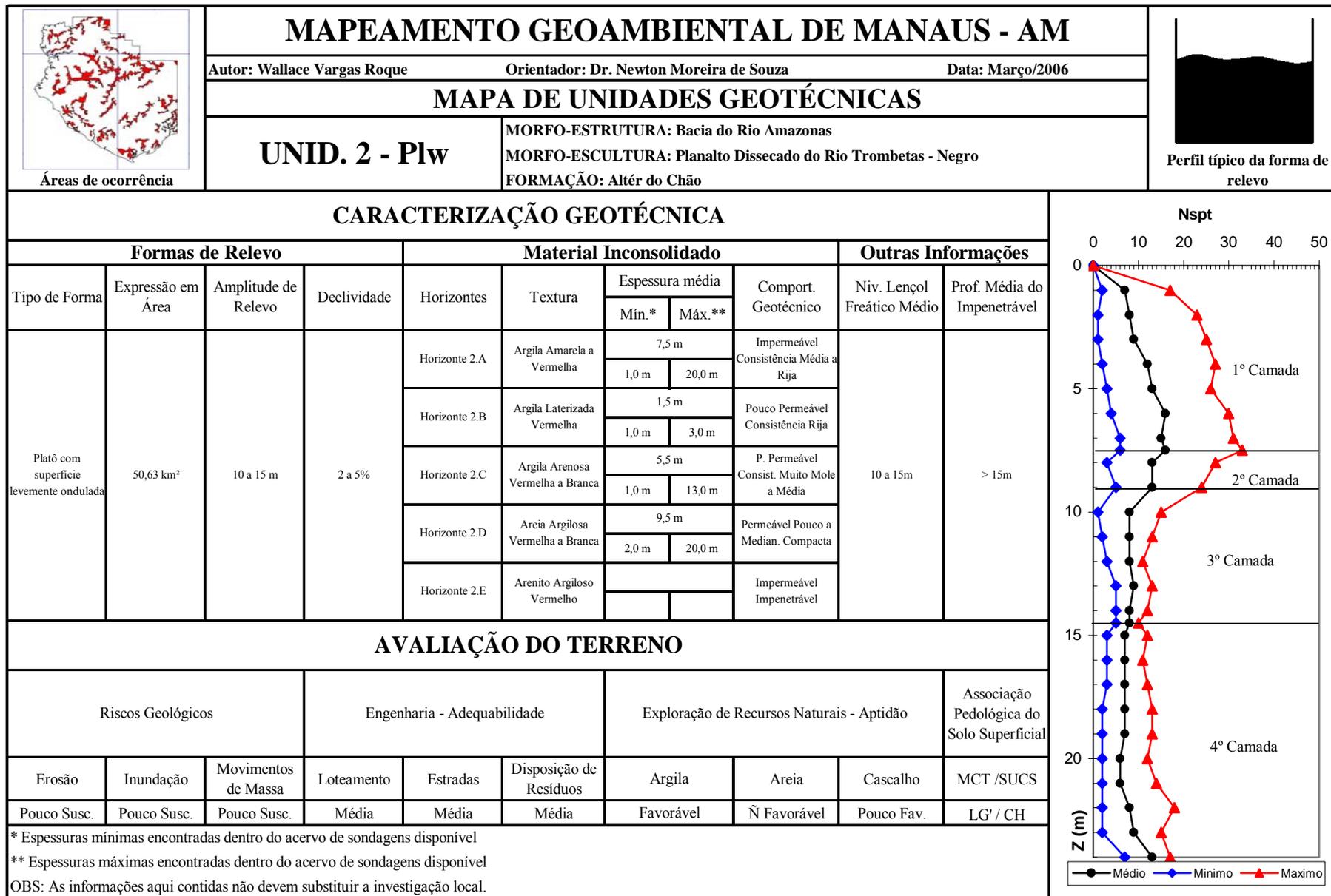
- Geological Society (1990). Tropical Residual Soils. Quarterly Journal of Engineering Geology, v.23, n.1.
- Grant, K. (1970). Terrain Evaluation: A logical extension of engineering geology. In: International Congress of the International Association of Engineering Geologists, IAEG, Paris, France, Proceedings, 2: 971-980.
- IAEG (1976). Guide pour la préparation des cartes géotechniques. Les presses de l'Unesco. Paris. 79 p.
- IBGE (2005). Dados populacionais do Brasil. www.ibge.gov.br. (26/01/2006).
- Igreja, H. L. S. da, Franzinelli, E. (1987). Neotectônica: O linramento Rio Negro, um exemplo na região. ICE-Informação Ciência e Educação. Manaus. n. 4. p. 17-18, jul/set 1987
- Igreja, H.L.S. e Franzinelli, E. (1990). Estudos Neotectônicos na Região do Baixo Rio Negro, Centro-Norte do Estado do Amazonas. Anais do XXXVI Congr. Bras. Geol., Natal, SBG, v.5, p. 2099-2109.
- IMPLAN. (1996). Legislação Urbanística: atualização da lei n. 1214//75-Plano de Desenvolvimento Local Integrado-PDLI. Manaus. 129p.
- INMET (2006). Dados climáticos de Manaus/AM. www.inmet.gov.br. (26/01/2006).
- Lima, M.C. (1999). Contribuição ao Estudo do Processo Evolutivo de Boçorocas na Área Urbana de Manaus. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília. Brasília, DF, 150p.
- Lucas, Y. (1989). Systèmes Pédologiques em Amazonie Brésilienne. Equilibre Desequilibre et Transformations. Thesi Sci, Université de Poitiers, Paris, France, 157p.
- Lucas, Y., Boulet, R., Chauvel, A., Veillon, L. (1987). Systèmes sols ferrallitiques-podzols en région amazonienne. In: Righi D., Chauvel A. (eds) Podzols et podzolisation. AFES-INRA, Paris, pp 53-56.
- Maia, M. do S.V. (2003). Zoneamento Geotécnico do Sítio Urbano do Município de Rio Branco/AC e Seus Arredores, Para Fins de Planejamento com Ênfase à Expansão Urbana, Através do Sensoriamento Remoto. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, SP, 116p.
- Matula, M. (1969). Regional Engineering Geology of Czechoslovak Carpathians. Publishing House of Slovak Academy of Sciences. Slovak Academy of Sciences, Bratislava.
- Mori, R. T. (1980). Aspectos Geotécnicos do Projeto e Construção do Aeroporto Internacional de Manaus. Simpósio sobre as Características Geológico-Geotécnicas da Região Amazônica, ABGE, Brasília, DF, pp. 79-96.
- Nogami, J.S.; Villibor, D.F. (1995). Pavimentação de Baixo Custo com Solos Lateríticos. São Paulo, Villibor. 213p.

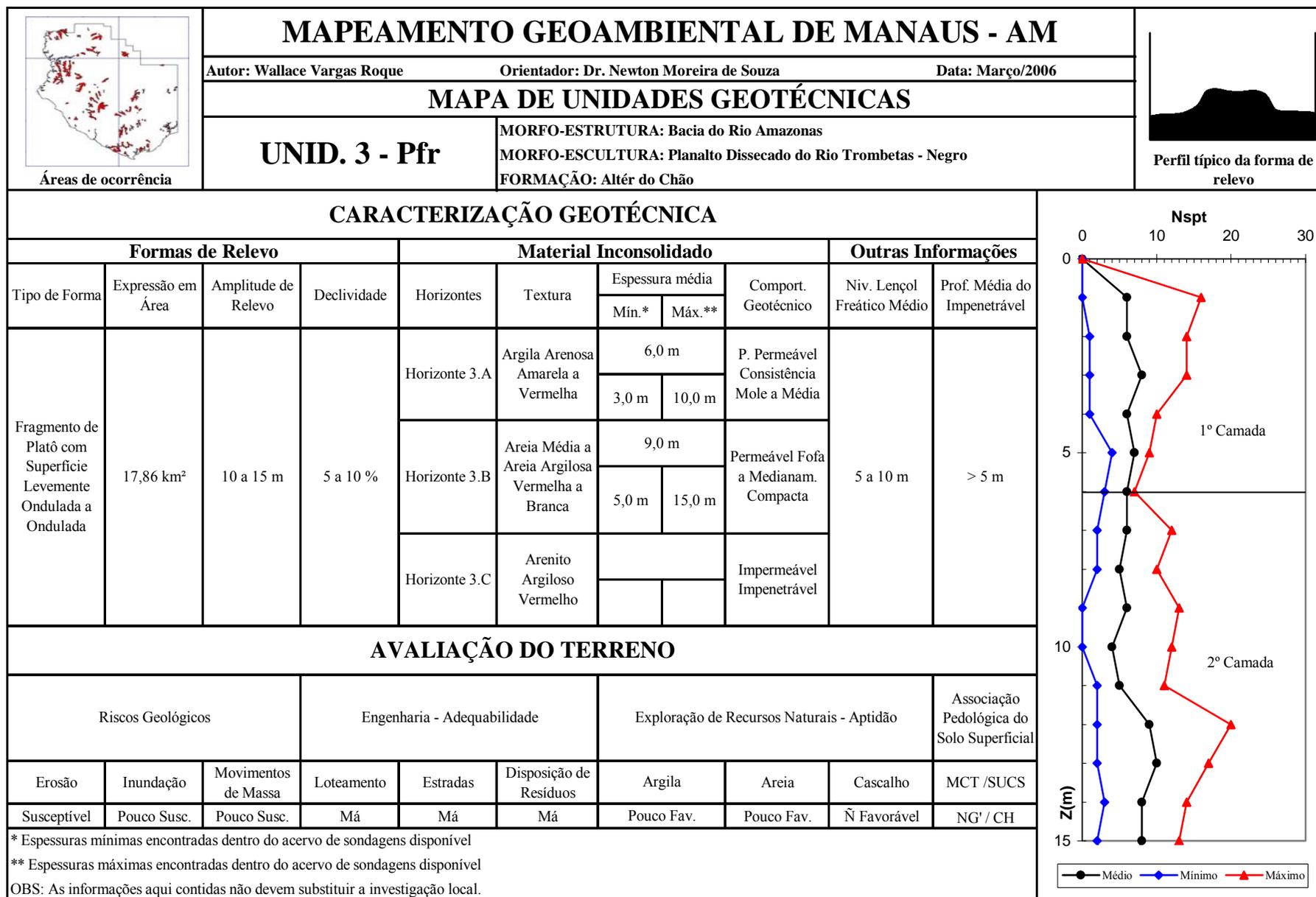
- Oliveira, M. J. R.; Fraga, L.M.; Leal, P.C. & Nava, D.B. (1995). Feições estruturais Meso-Cenozóicas em um perfil na região do Tarumã, Manaus (AM). In: V Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos. Boletim. Belém, SBG. p. 435-437.
- Pejon, O.J. (1992). Mapeamento geotécnico da Folha de Piracicaba, SP, escala 1:100.000: estudo de aspectos metodológicos, de caracterização e de apresentação dos atributos. Tese (Doutorado) EESC/USP, São Carlos. 2v.
- PMM (2006). Dados sócio-econômicos de Manaus/AM. www.manaus.am.gov.br. (26/01/2006).
- Prado, I.D.M. (2004). Sistemática de Investigação e de Caracterização dos Materiais Inconsolidados para Mapeamento Geotécnico na Região Amazônica: Estudo de Caso na Região de Manaus. Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, DF, 168p.
- Sausen, T.M. & Moraes Novo, E.M.L. (1982). Metodologia de Interpretação de Dados de Sensoriamento Remoto e Aplicações em Geomorfologia. INPE, Brasília, DF, 44p.
- Silva, R. (2002). Bancos de Dados Geográficos: Uma Análise da Arquitetura Dual (Spring) e Integrada (Oracle Spatial). Dissertação de Mestrado. USP, São Paulo, SP, 137p.
- Sioli, H. (1991). Amazônia. Fundamentos da Ecologia da maior Região de Florestas Tropicais. 3. ed. Traduzido por Johann Becker. Rio de Janeiro: Vozes. Tradução de: Amazonien. Grundlagen der Ökologie des grössten tropischen Waldlandes.
- Souza, N.C.D.C.de. (1992). Mapeamento geotécnico regional da Folha de Aguaí: com base na compartimentação por formas de relevo e perfis típicos de alteração. Dissertação (Mestrado) EESC/USP, São Carlos. 2v.
- Sternberg, H. O'R. (1950). Vales tectônicos na planície Amazônica? Rev. Brás. de Geogr., 4:3-26.
- Vargas, M. (1985). The concept of tropical soils. In: International Conference on Geomechanics in Tropical Lateritic and Saprolitic Soils, 1, 1985, Brasília. Proceedings... Brasília: ABMS. v.3, p. 101-134.
- Vedovello, R. (1993). Zoneamento Geotécnico, por Sensoriamento Remoto, Para Estudos de Planejamento do Meio Físico – Aplicação em Expansão Urbana. Dissertação de Mestrado. INPE. São José dos Campos, SP, 90p.
- Verstappen. H. Th. (1977). Remote Sensing in Geomorphology. Amsterdam, Elsevier Scientific, 1977.
- Wagley, C. (1977). Uma comunidade amazônica: estudo do homem nos trópicos. 2. ed. São Paulo: Nacional. pg. 21-77.
- Zuquette, L.V. (1987). Análise Crítica da Cartografia Geotécnica e Proposta Metodológico para as condições brasileiras. Tese de Doutorado, EESC/USP, São Carlos, SP. 3 vols, 673 p.

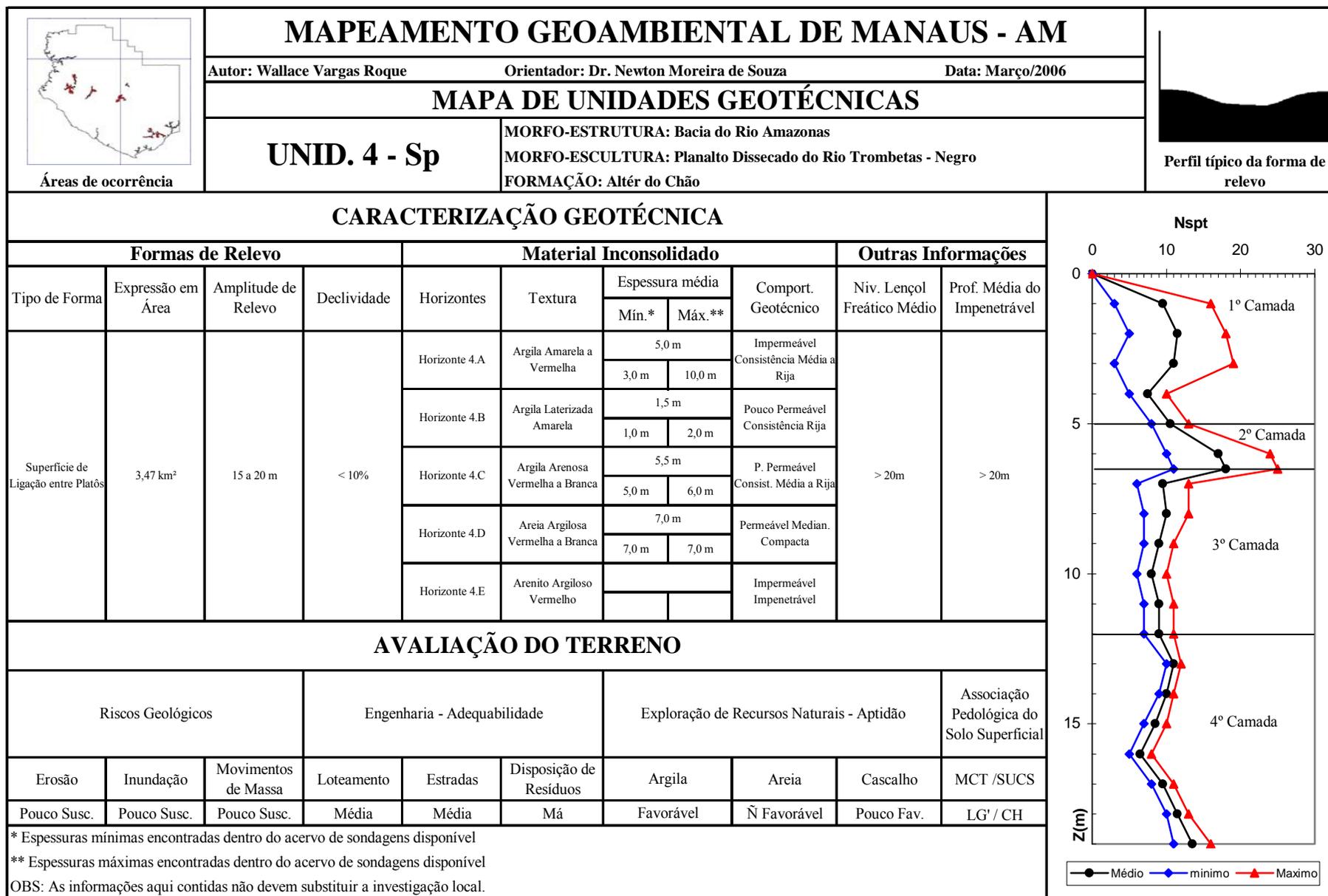
Zuquette, L.V. (1993). Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação de meio-físico: fundamentos e guia para elaboração. São Carlos.3V. Tese (Livre Docência). EESC/USP, São Carlos, SP, 388p.

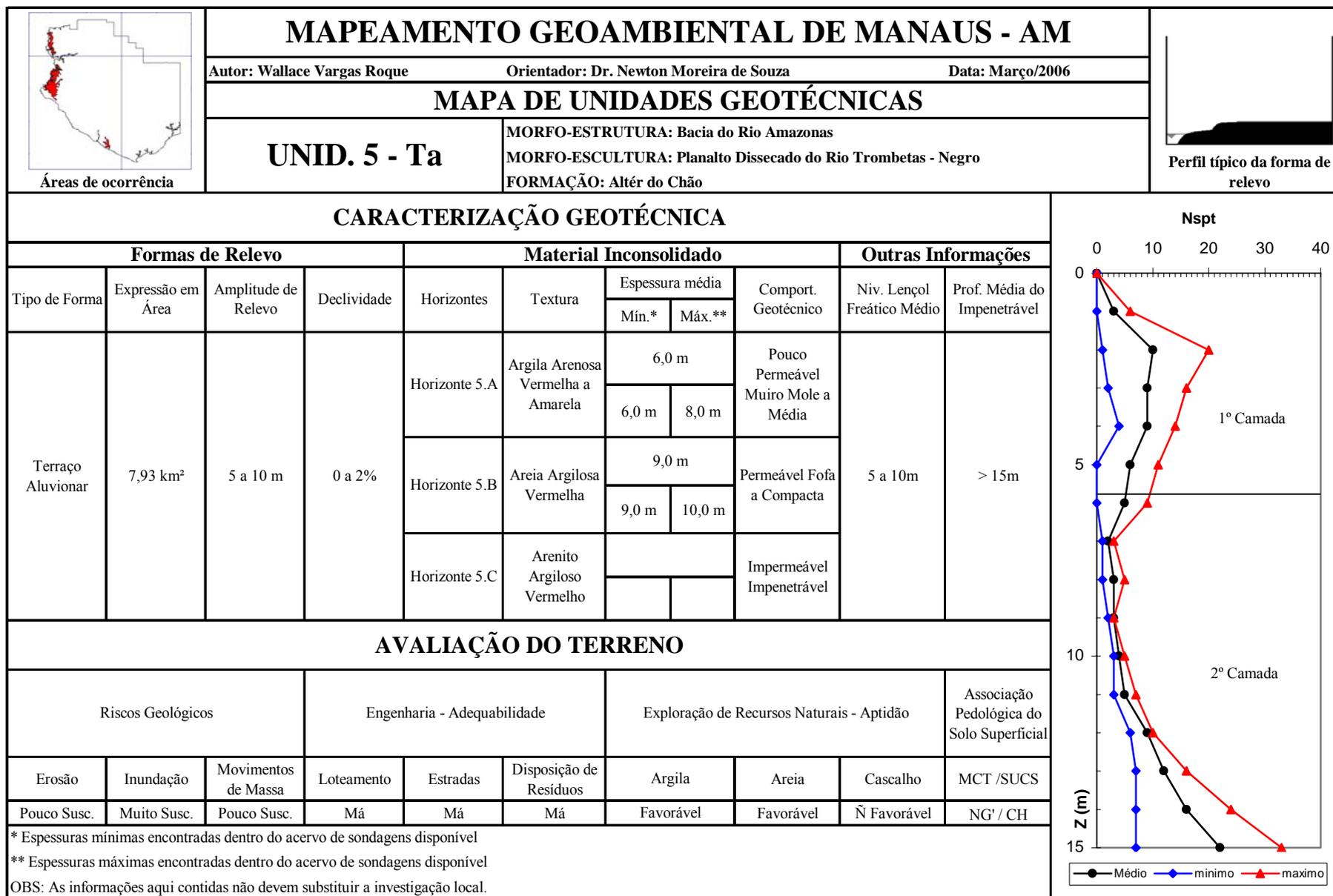
APÊNDICE A
- TABELAS DE CARACTERIZAÇÃO DAS UNIDADES –
- GEOTÉCNICAS DA ÁREA URBANA DE MANAUS -

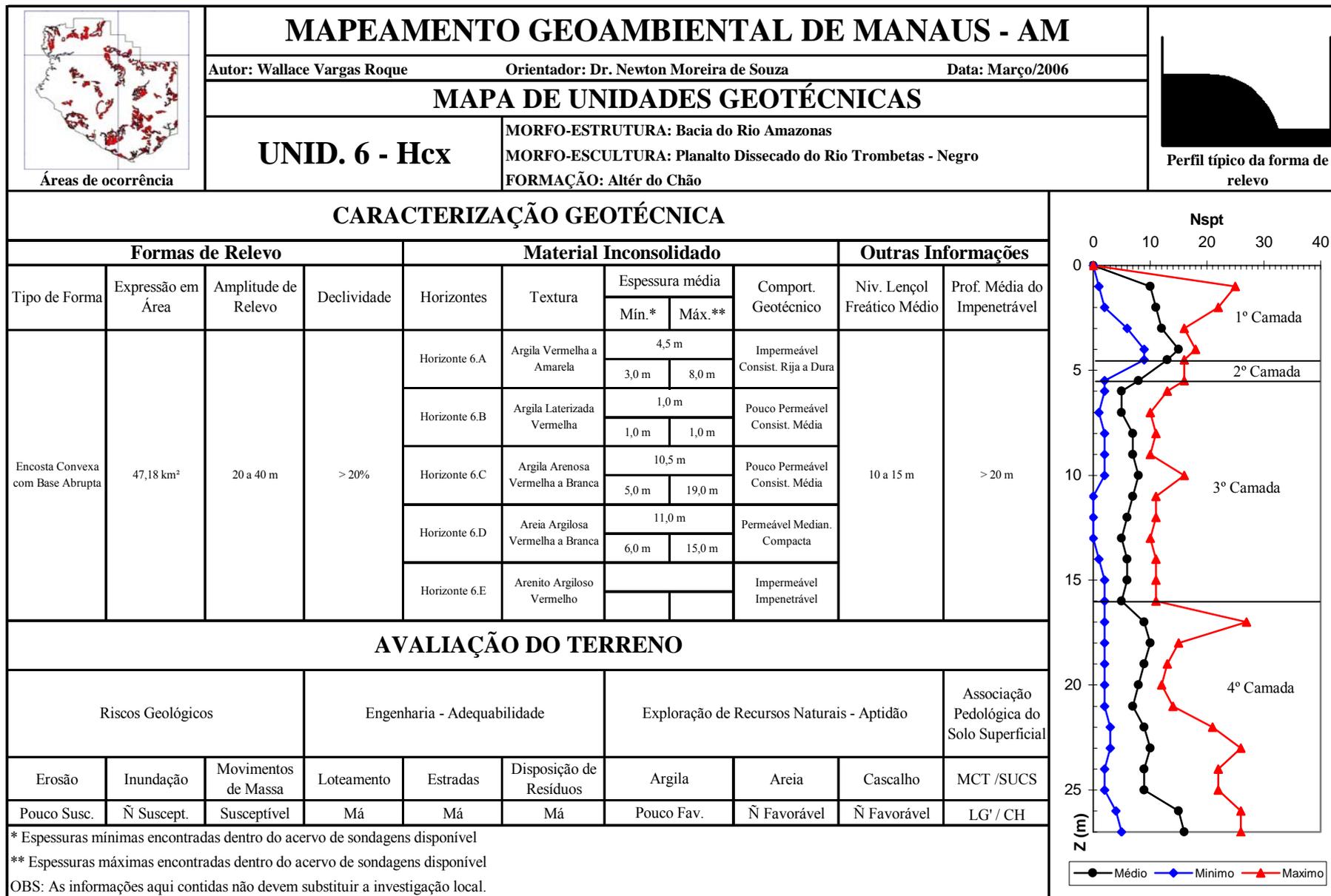


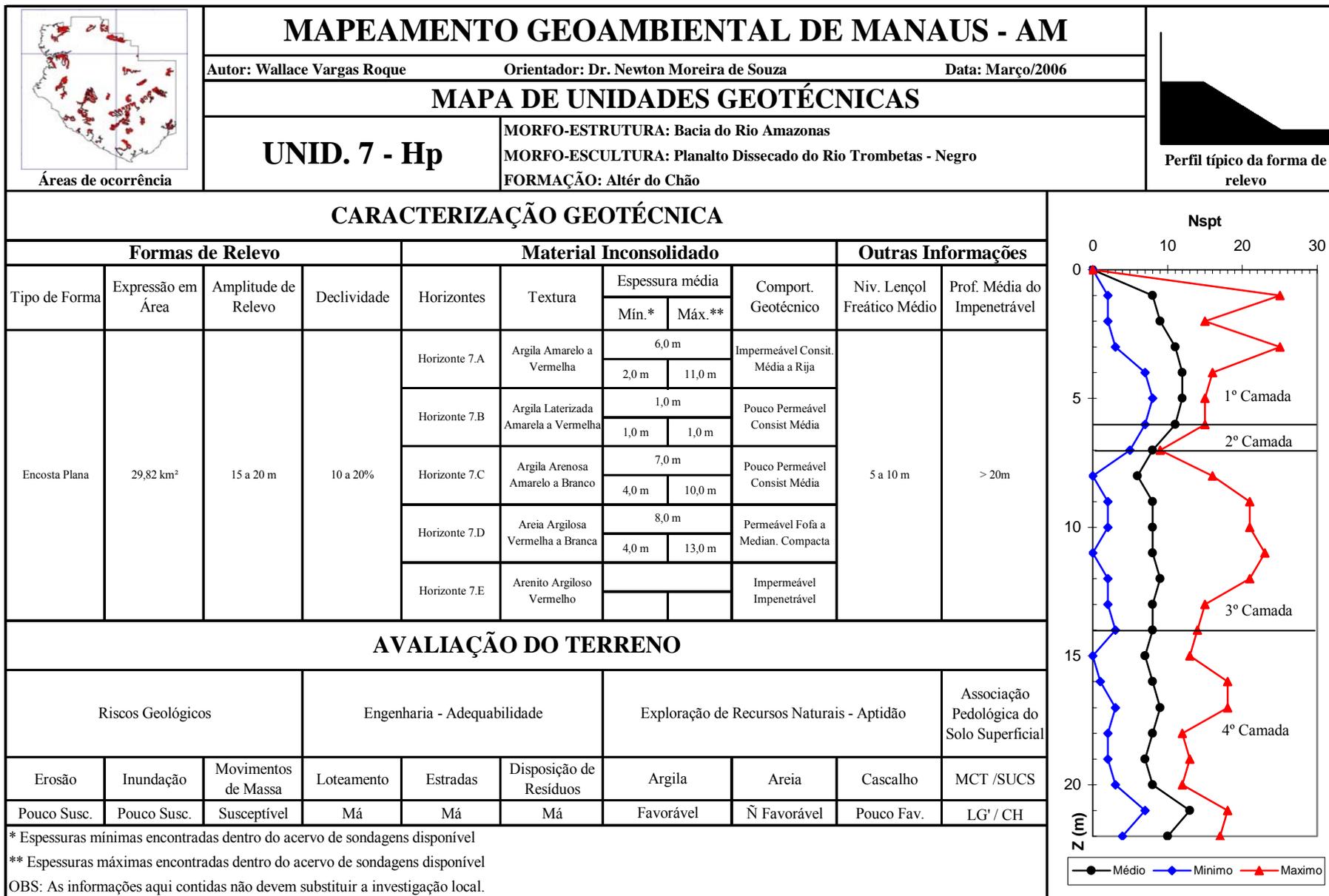


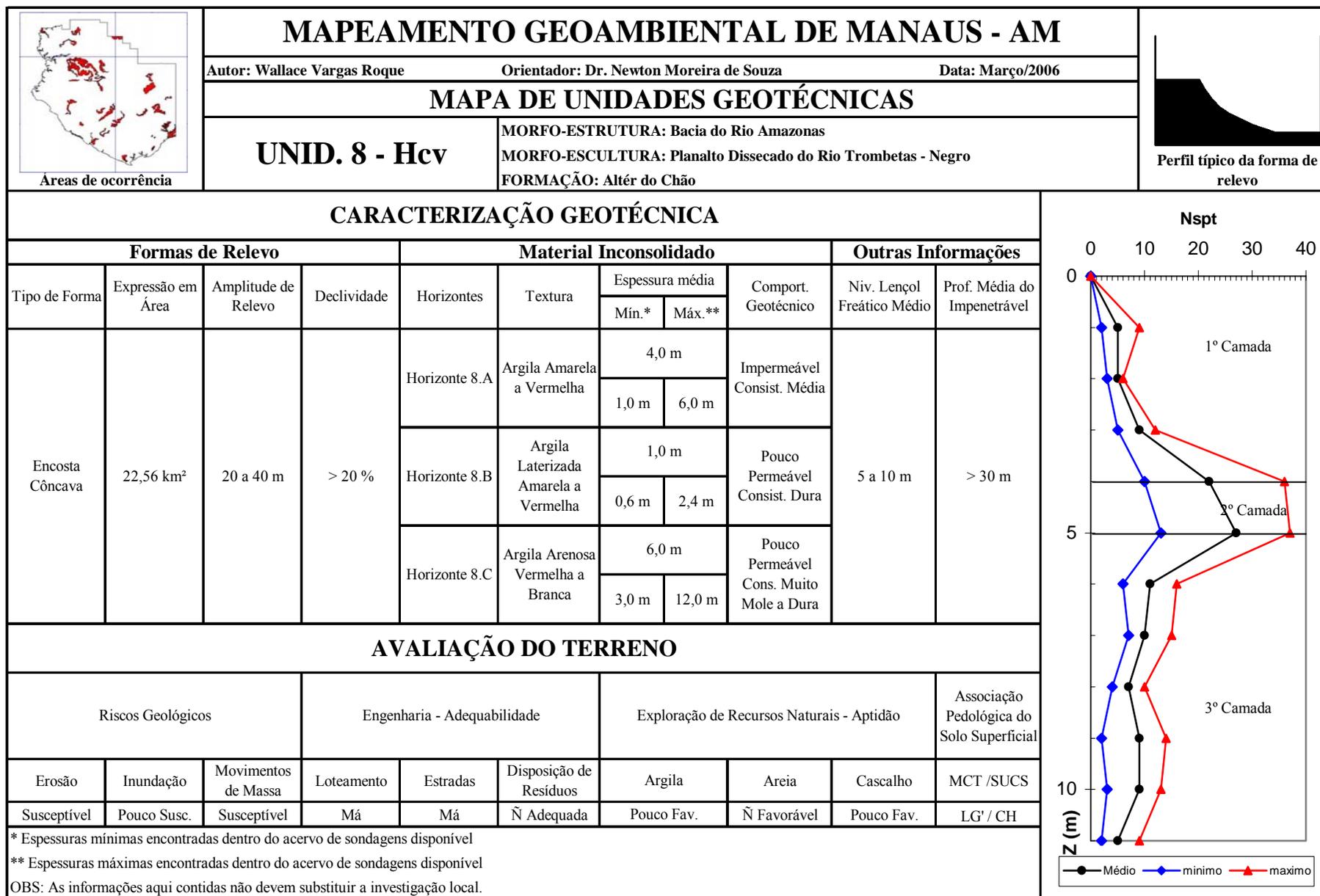


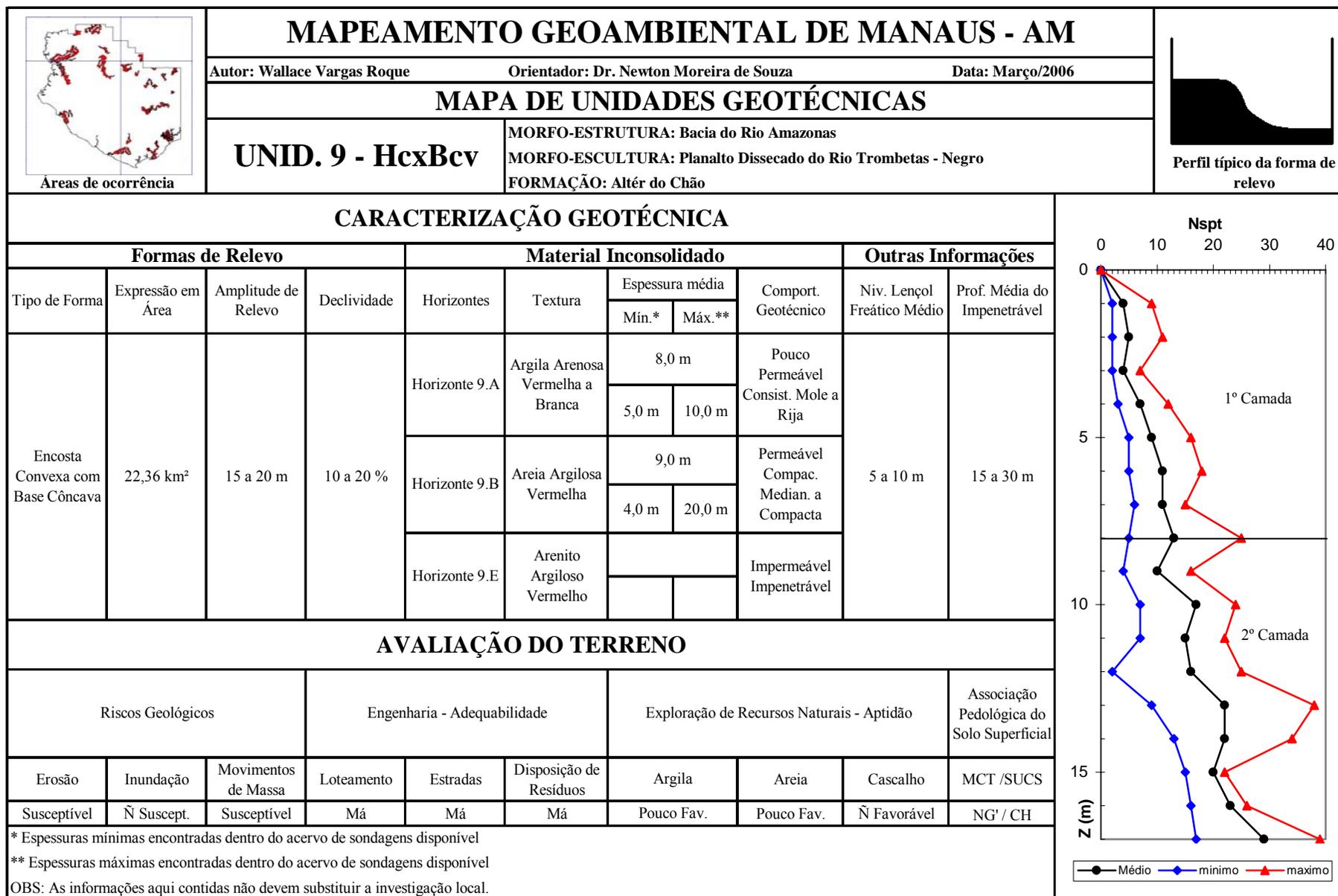


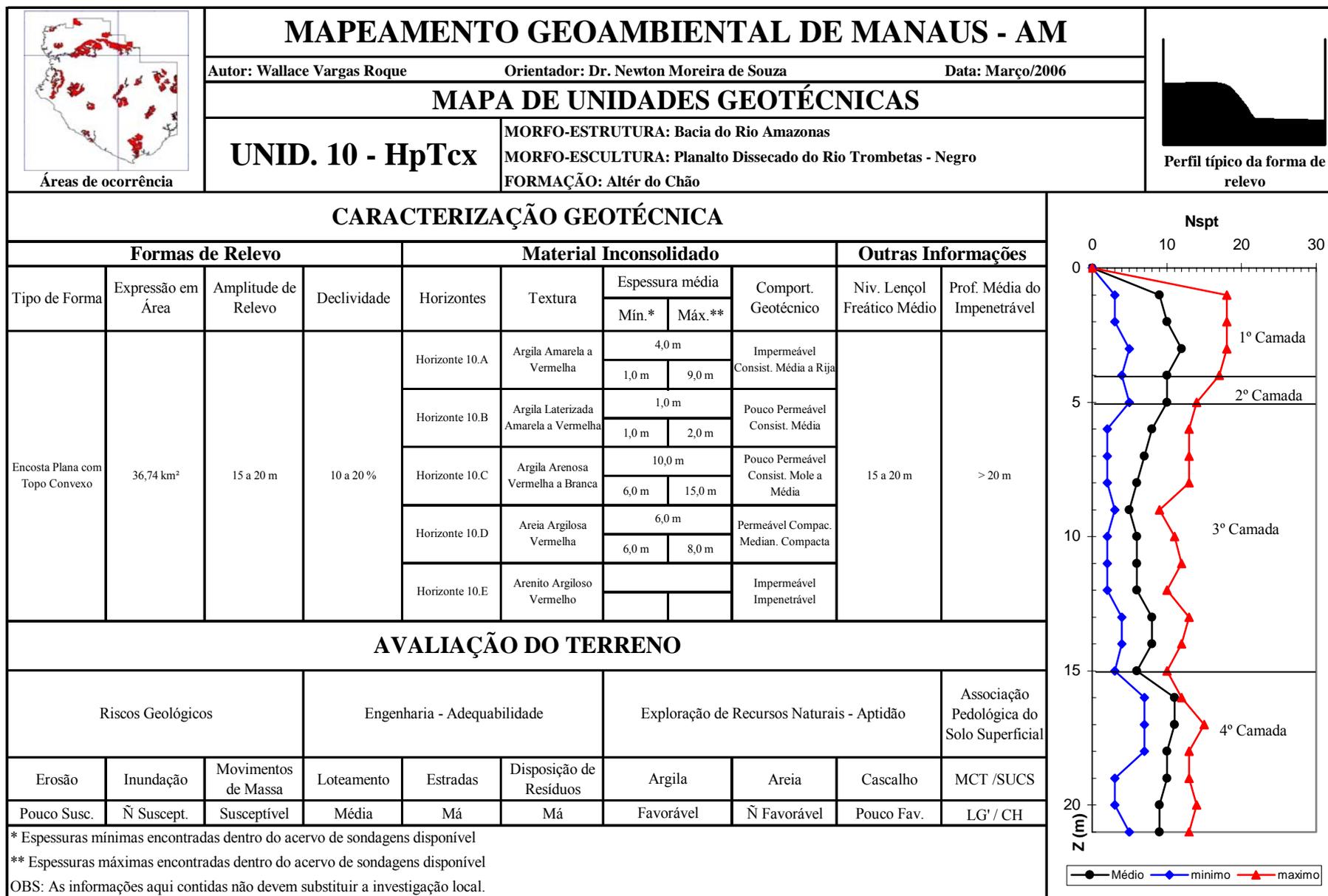


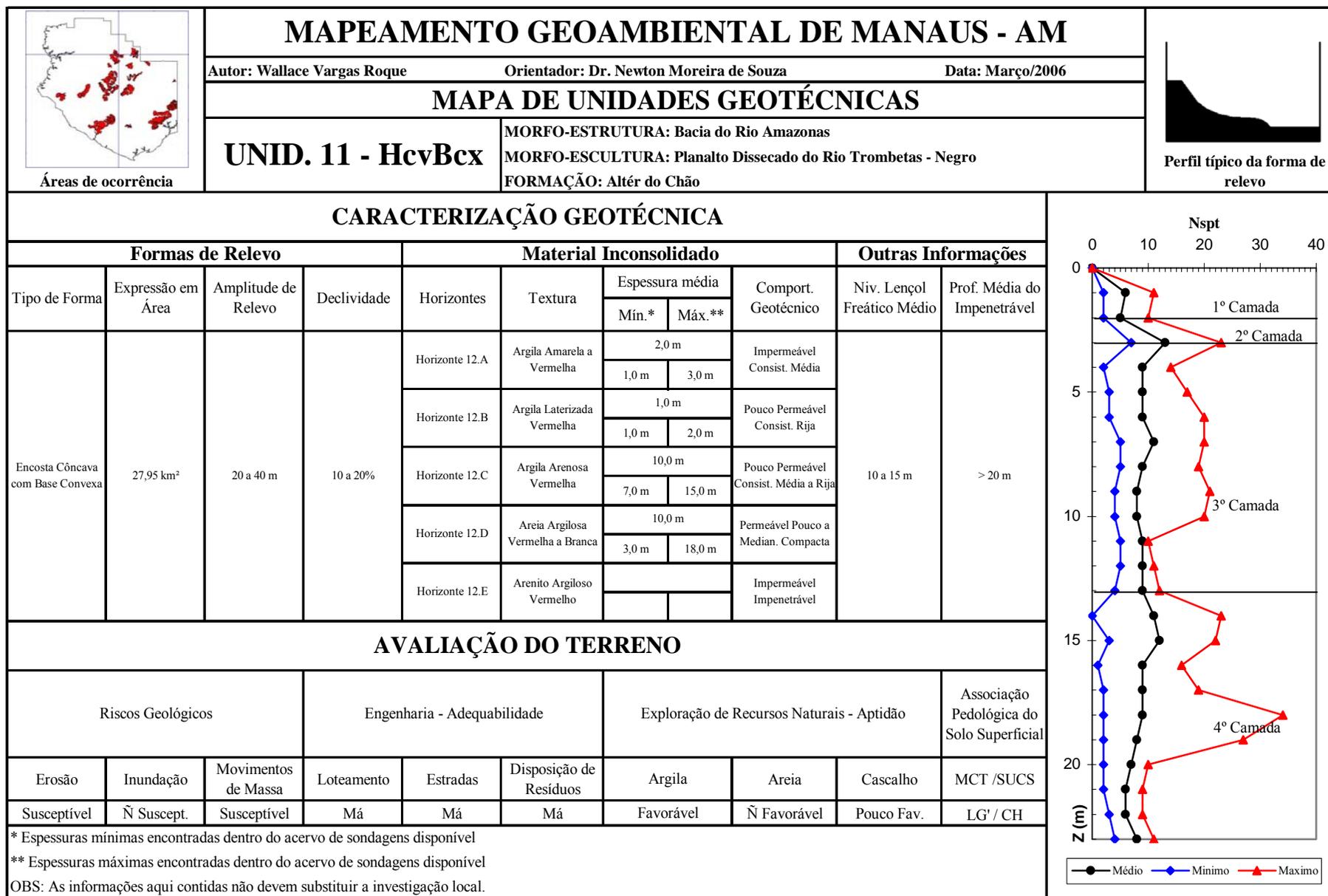


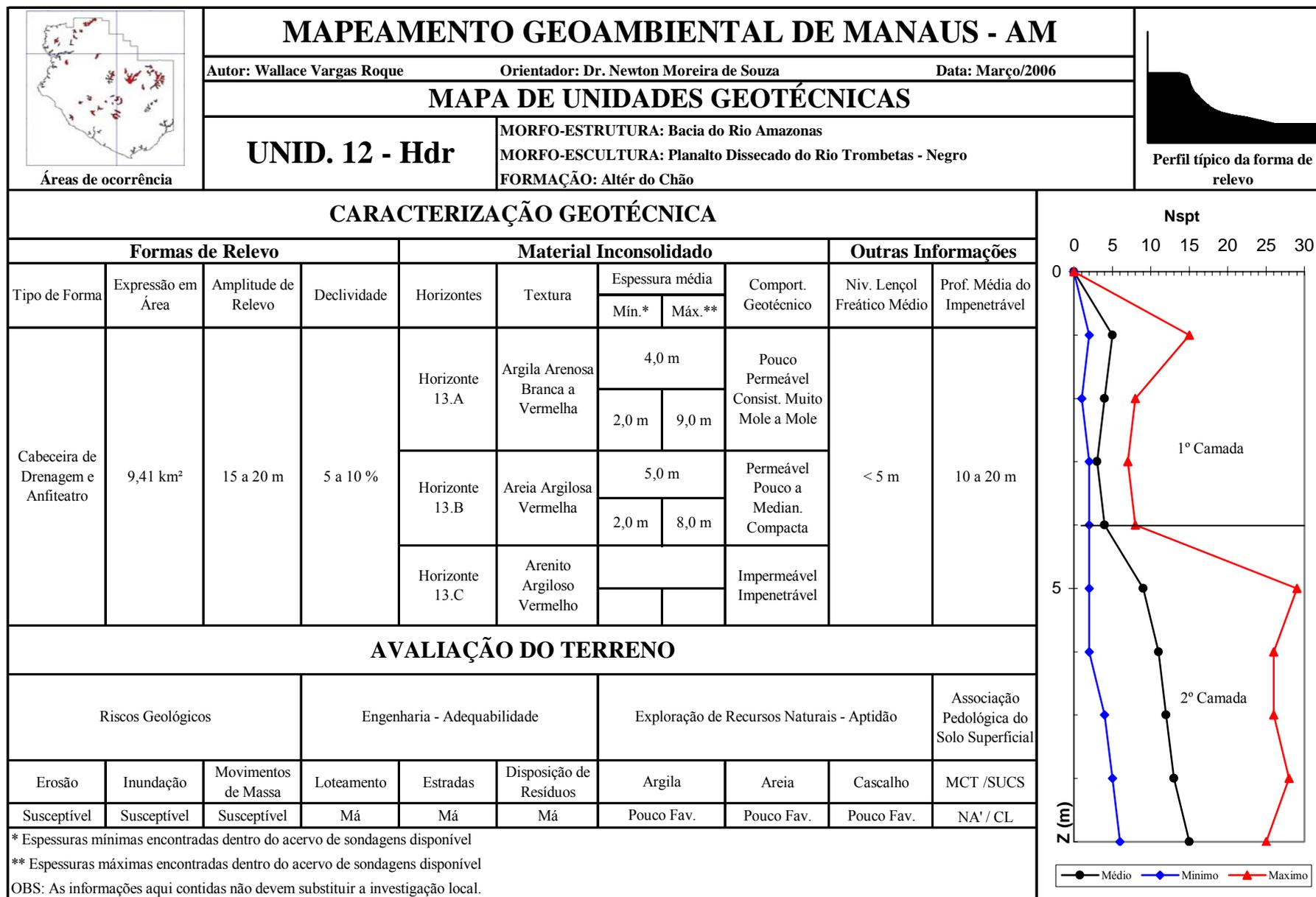


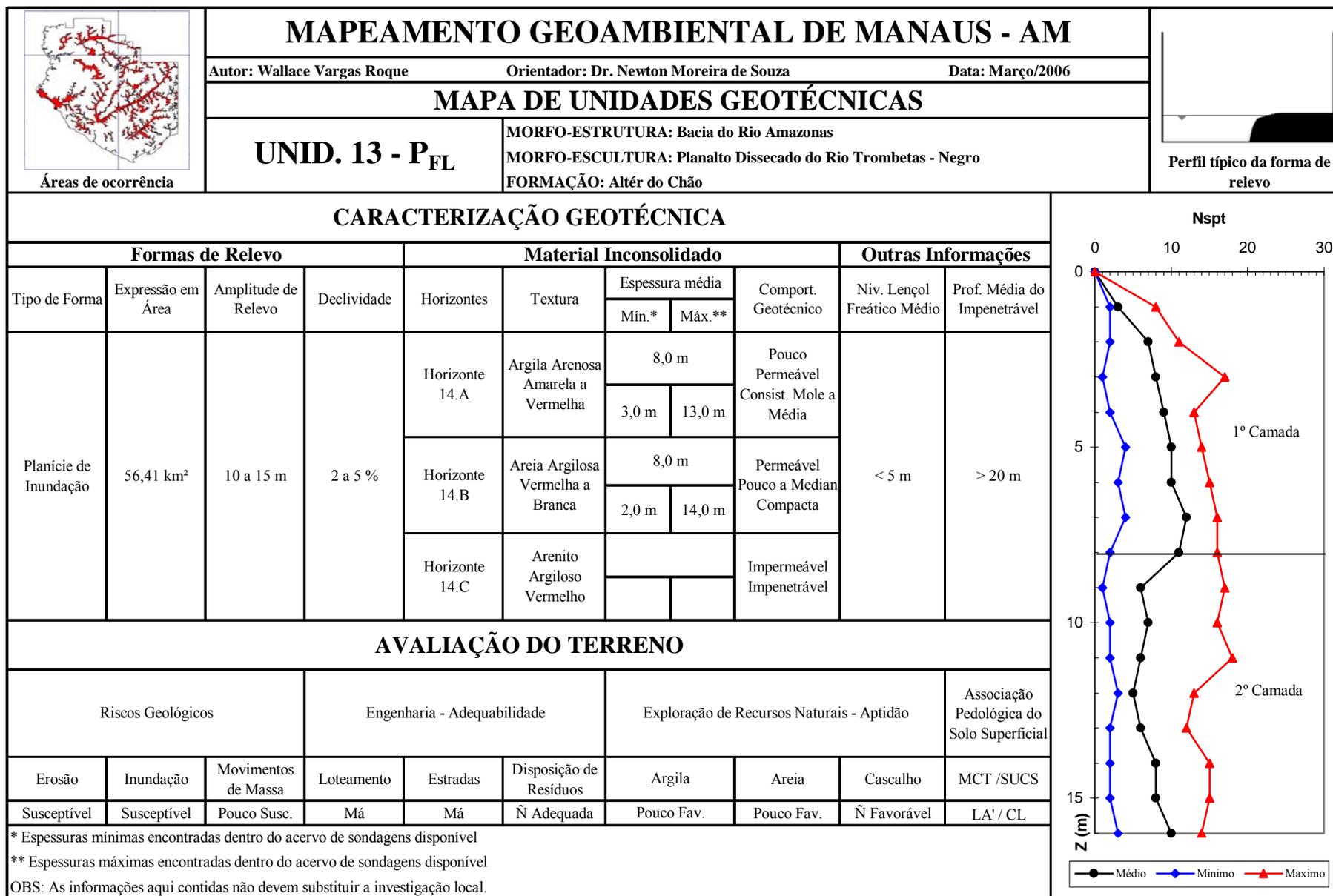


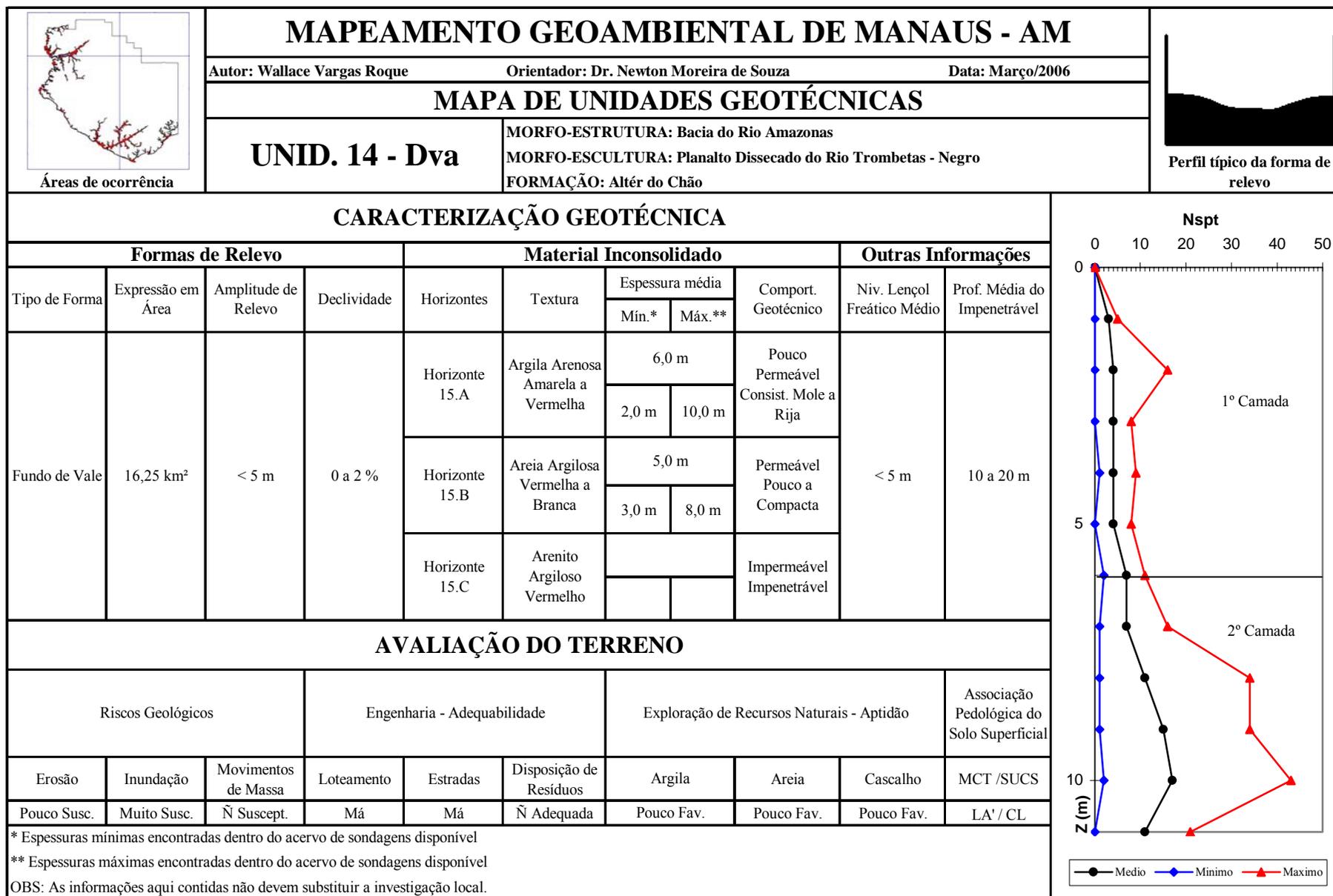












APÊNDICE B
- LISTAGENS DOS PROGRAMAS ELABORADOS EM LEGAL –

**// Programa em Legal para gerar a carta para áreas favoráveis a disposição de resíduos
- CLASSE 1.**

**{
// DECLARAÇÃO DAS VARIÁVEIS**

//Temáticos

Tematico Geotecnico ("Interpretação");
Tematico UsoSolo ("UsoSolo");
Tematico DistDrenagem ("Dist_drenagem");
Tematico DistRodovias ("Dist_rodovias");
Tematico DistUrbana ("Dist_urbana");
Tematico ResiduosTema ("Disp_Residuos_classes");

//Numéricos

Numerico GeotPonde ("Mapas_Ponderados");
Numerico UsosoloPonde ("Mapas_Ponderados");
Numerico DrenagemPonde ("Mapas_Ponderados");
Numerico RodoviasPonde ("Mapas_Ponderados");
Numerico UrbanoPonde ("Mapas_Ponderados");
Numerico Residuos ("Mapas_Ponderados");

//Tabelas de Ponderação

Tabela TabGeot (Ponderacao);
Tabela TabUsosolo (Ponderacao);
Tabela TabDrenagem (Ponderacao);
Tabela TabRodovias (Ponderacao);
Tabela TabUrbana (Ponderacao);
Tabela TabResiduos (Fatiamento);

// DEFINIÇÃO DA TABELA DE PESOS

//Carta Geotécnica

TabGeot = Novo (CategoriaIni = "Interpretação",
 "Pps" : 0.80,
 "Plw" : 1.00,
 "Pfr" : 0.00,
 "Sp" : 0.40,
 "Ta" : 0.00,
 "Hcx" : 0.30,
 "Hp" : 0.20,
 "Hcv" : 0.00,
 "HcxBcv" : 0.00,
 "HcxBp" : 0.20,
 "HcvBcx" : 0.10,
 "Hdr" : 0.00,

```
"Pfl" : 0.00,  
"Dva" : 0.00);
```

```
//Uso do Solo
```

```
TabUsosolo = Novo (CategoriaIni = "UsoSolo",  
"Agricultura" : 0.30,  
"CampoLimpo" : 0.70,  
"CampoSujo" : 0.80,  
"CampoUmido" : 0.00,  
"Capoeira" : 0.40,  
"LoteamRecente" : 0.00,  
"OcupPeriUrbana" : 0.00,  
"OcupUrbana" : 0.00,  
"Ombrof_Aberta" : 0.00,  
"Ombrof_Densa" : 0.00,  
"SedeRural" : 0.00,  
"SoloExposto" : 0.80,  
"Varzea" : 0.00,  
"Rios" : 0.00);
```

```
//Distancia_Drenagens
```

```
TabDrenagem = Novo (CategoriaIni = "Dist_drenagem",  
"< 100 m" : 0.00,  
"100 a 400 m" : 0.00,  
"400 a 800 m" : 0.20,  
"800 a 1000m" : 0.50,  
"> 1000m" : 1.00);
```

```
//Distancia_Rodovias
```

```
TabRodovias = Novo (CategoriaIni = "Dist_rodovias",  
"< 1 km" : 1.00,  
"1 a 2,5 km" : 0.80,  
"2,5 a 5 km" : 0.40,  
"5 a 10 km" : 0.20,  
"> 10 km" : 0.00);
```

```
//Distancia areas urbanas
```

```
TabUrbana = Novo (CategoriaIni = "Dist_urbana",  
"< 1 km" : 0.00,  
"1 a 2 km" : 0.00,  
"2 a 3 km" : 0.20,  
"3 a 5 km" : 0.50,  
"> 5 km" : 1.00);
```

```
//Tabela para fatias do mapa temático
```

```
TabResiduos = Novo (CategoriaFim = "Disp_Residuos_classes",  
    [0.5,1.00] : "Classe1");
```

// INSTANCIACÃO

```
Geotecnico = Recuperere (Nome = "Interp_classes_5m");  
UsoSolo = Recuperere (Nome = "Uso do Solo_5m");  
DistDrenagem = Recuperere (Nome = "Dist_Drenagem_5m");  
DistRodovias = Recuperere (Nome = "Dist_Rodovias_5m");  
DistUrbana = Recuperere (Nome = "Dist_Urbana_5m");
```

```
GeotPonde = Novo (Nome = "Geotecnico_Ponderado1", ResX = 5, ResY = 5, Min = 0, Max  
= 1 );  
UsosoloPonde = Novo (Nome = "UsoSolo_Ponderado1", ResX = 5, ResY = 5, Min = 0, Max  
= 1 );  
DrenagemPonde = Novo (Nome = "DistDrenagem_Ponderado1", ResX = 5, ResY = 5, Min =  
0, Max = 1 );  
RodoviasPonde = Novo (Nome = "DistRodovias_Ponderado1", ResX = 5, ResY = 5, Min = 0,  
Max = 1 );  
UrbanoPonde = Novo (Nome = "DistUrbana_Ponderado1", ResX = 5, ResY = 5, Min = 0,  
Max = 1 );  
Residuos = Novo (Nome = "DispResiduos_Ponderado1", ResX = 5, ResY = 5, Min = 0, Max  
= 1 );  
ResiduosTema = Novo (Nome = "Disp_Residuos_classe1", ResX = 5, ResY = 5, Escala =  
25000);
```

// OPERAÇÃO DE PONDERAÇÃO

```
GeotPonde = Pondere (Geotecnico, TabGeot);  
UsosoloPonde = Pondere (UsoSolo, TabUsosolo);  
DrenagemPonde = Pondere (DistDrenagem, TabDrenagem);  
RodoviasPonde = Pondere (DistRodovias, TabRodovias);  
UrbanoPonde = Pondere (DistUrbana, TabUrbana);
```

// ELABORAÇÃO DO MAPA DE RESÍDUOS

```
Residuos = 0.25*GeotPonde + 0.25*UsosoloPonde + 0.15*DrenagemPonde +  
0.15*RodoviasPonde + 0.2*UrbanoPonde;
```

// FATIAMENTO DO MAPA NUMERICO

```
ResiduosTema = Fatie (Residuos, TabResiduos);
```

```
}
```

**// Programa em Legal para gerar a carta para áreas favoráveis a disposição de resíduos
- CLASSE 2.**

**{
// DECLARAÇÃO DAS VARIÁVEIS**

//Temáticos

Tematico Geotecnico ("Interpretação");
Tematico UsoSolo ("UsoSolo");
Tematico DistDrenagem ("Dist_drenagem");
Tematico DistRodovias ("Dist_rodovias");
Tematico DistUrbana ("Dist_urbana");
Tematico ResiduosTema ("Disp_Residuos_classes");

//Numéricos

Numerico GeotPonde ("Mapas_Ponderados");
Numerico UsosoloPonde ("Mapas_Ponderados");
Numerico DrenagemPonde ("Mapas_Ponderados");
Numerico RodoviasPonde ("Mapas_Ponderados");
Numerico UrbanoPonde ("Mapas_Ponderados");
Numerico Residuos ("Mapas_Ponderados");

//Tabelas de Ponderação

Tabela TabGeot (Ponderacao);
Tabela TabUsosolo (Ponderacao);
Tabela TabDrenagem (Ponderacao);
Tabela TabRodovias (Ponderacao);
Tabela TabUrbana (Ponderacao);
Tabela TabResiduos (Fatiamento);

// DEFINIÇÃO DA TABELA DE PESOS

//Carta Geotécnica

TabGeot = Novo (CategoriaIni = "Interpretação",
 "Pps" : 0.80,
 "Plw" : 1.00,
 "Pfr" : 0.30,
 "Sp" : 0.60,
 "Ta" : 0.40,
 "Hcx" : 0.50,
 "Hp" : 0.40,
 "Hcv" : 0.20,
 "HcxBcv" : 0.20,
 "HcxBp" : 0.40,
 "HcvBcx" : 0.30,
 "Hdr" : 0.20,

```
"Pfl" : 0.10,  
"Dva" : 0.00);
```

```
//Uso do Solo
```

```
TabUsosolo = Novo (CategoriaIni = "UsoSolo",  
"Agricultura" : 0.50,  
"CampoLimpo" : 0.70,  
"CampoSujo" : 0.80,  
"CampoUmido" : 0.10,  
"Capoeira" : 0.50,  
"LoteamRecente" : 0.00,  
"OcupPeriUrbana" : 0.00,  
"OcupUrbana" : 0.00,  
"Ombrof_Aberta" : 0.20,  
"Ombrof_Densa" : 0.10,  
"SedeRural" : 0.20,  
"SoloExposto" : 0.8,  
"Varzea" : 0.00,  
"Rios" : 0.00);
```

```
//Distancia_Drenagens
```

```
TabDrenagem = Novo (CategoriaIni = "Dist_drenagem",  
"< 100 m" : 0.00,  
"100 a 400 m" : 0.20,  
"400 a 800 m" : 0.40,  
"800 a 1000m" : 0.80,  
"> 1000m" : 1.00);
```

```
//Distancia_Rodovias
```

```
TabRodovias = Novo (CategoriaIni = "Dist_rodovias",  
"< 1 km" : 1.00,  
"1 a 2,5 km" : 0.80,  
"2,5 a 5 km" : 0.40,  
"5 a 10 km" : 0.20,  
"> 10 km" : 0.00);
```

```
//Distancia areas urbanas
```

```
TabUrbana = Novo (CategoriaIni = "Dist_urbana",  
"< 1 km" : 0.00,  
"1 a 2 km" : 0.20,  
"2 a 3 km" : 0.40,  
"3 a 5 km" : 0.80,  
"> 5 km" : 1.00);
```

```
//Tabela para fatias do mapa temático
```

```
TabResiduos = Novo (CategoriaFim = "Disp_Residuos_classes",  
    [0.5,1.00] : "Classe2");
```

// INSTANCIACÃO

```
Geotecnico = Recuperere (Nome = "Interp_classes_5m");  
UsoSolo = Recuperere (Nome = "Uso do Solo_5m");  
DistDrenagem = Recuperere (Nome = "Dist_Drenagem_5m");  
DistRodovias = Recuperere (Nome = "Dist_Rodovias_5m");  
DistUrbana = Recuperere (Nome = "Dist_Urbana_5m");
```

```
GeotPonde = Novo (Nome = "Geotecnico_Ponderado2", ResX = 5, ResY = 5, Min = 0, Max  
= 1 );  
UsosoloPonde = Novo (Nome = "UsoSolo_Ponderado2", ResX = 5, ResY = 5, Min = 0, Max  
= 1 );  
DrenagemPonde = Novo (Nome = "DistDrenagem_Ponderado2", ResX = 5, ResY = 5, Min =  
0, Max = 1 );  
RodoviasPonde = Novo (Nome = "DistRodovias_Ponderado2", ResX = 5, ResY = 5, Min = 0,  
Max = 1 );  
UrbanoPonde = Novo (Nome = "DistUrbana_Ponderado2", ResX = 5, ResY = 5, Min = 0,  
Max = 1 );  
Residuos = Novo (Nome = "DispResiduos_Ponderado2", ResX = 5, ResY = 5, Min = 0, Max  
= 1 );  
ResiduosTema = Novo (Nome = "Disp_Residuos_classe2", ResX = 5, ResY = 5, Escala =  
25000);
```

// OPERAÇÃO DE PONDERAÇÃO

```
GeotPonde = Pondere (Geotecnico, TabGeot);  
UsosoloPonde = Pondere (UsoSolo, TabUsosolo);  
DrenagemPonde = Pondere (DistDrenagem, TabDrenagem);  
RodoviasPonde = Pondere (DistRodovias, TabRodovias);  
UrbanoPonde = Pondere (DistUrbana, TabUrbana);
```

// ELABORAÇÃO DO MAPA DE RESÍDUOS

```
Residuos = 0.25*GeotPonde + 0.25*UsosoloPonde + 0.15*DrenagemPonde +  
0.15*RodoviasPonde + 0.2*UrbanoPonde;
```

// FATIAMENTO DO MAPA NUMERICO

```
ResiduosTema = Fatie (Residuos, TabResiduos);
```

```
}
```

**// Programa em Legal para gerar a carta para áreas favoráveis a disposição de resíduos
- CLASSE 3.**

**{
// DECLARAÇÃO DAS VARIÁVEIS**

//Temáticos

Tematico Geotecnico ("Interpretação");
Tematico UsoSolo ("UsoSolo");
Tematico DistDrenagem ("Dist_drenagem");
Tematico DistRodovias ("Dist_rodovias");
Tematico DistUrbana ("Dist_urbana");
Tematico ResiduosTema ("Disp_Residuos_classes");

//Numéricos

Numerico GeotPonde ("Mapas_Ponderados");
Numerico UsosoloPonde ("Mapas_Ponderados");
Numerico DrenagemPonde ("Mapas_Ponderados");
Numerico RodoviasPonde ("Mapas_Ponderados");
Numerico UrbanoPonde ("Mapas_Ponderados");
Numerico Residuos ("Mapas_Ponderados");

//Tabelas de Ponderação

Tabela TabGeot (Ponderacao);
Tabela TabUsosolo (Ponderacao);
Tabela TabDrenagem (Ponderacao);
Tabela TabRodovias (Ponderacao);
Tabela TabUrbana (Ponderacao);
Tabela TabResiduos (Fatiamento);

// DEFINIÇÃO DA TABELA DE PESOS

//Carta Geotécnica

TabGeot = Novo (CategoriaIni = "Interpretação",
 "Pps" : 1.00,
 "Plw" : 1.00,
 "Pfr" : 0.60,
 "Sp" : 0.80,
 "Ta" : 0.50,
 "Hcx" : 0.50,
 "Hp" : 0.40,
 "Hcv" : 0.20,
 "HcxBcv" : 0.20,
 "HcxBp" : 0.40,
 "HcvBcx" : 0.30,
 "Hdr" : 0.20,

```
"Pfl" : 0.10,  
"Dva" : 0.00);
```

```
//Uso do Solo
```

```
TabUsosolo = Novo (CategoriaIni = "UsoSolo",  
"Agricultura" : 0.50,  
"CampoLimpo" : 0.80,  
"CampoSujo" : 1.00,  
"CampoUmido" : 0.10,  
"Capoeira" : 0.70,  
"LoteamRecente" : 0.00,  
"OcupPeriUrbana" : 0.00,  
"OcupUrbana" : 0.00,  
"Ombrof_Aberta" : 0.20,  
"Ombrof_Densa" : 0.10,  
"SedeRural" : 0.20,  
"SoloExposto" : 1.00,  
"Varzea" : 0.00,  
"Rios" : 0.00);
```

```
//Distancia_Drenagens
```

```
TabDrenagem = Novo (CategoriaIni = "Dist_drenagem",  
"< 100 m" : 0.00,  
"100 a 400 m" : 0.20,  
"400 a 800 m" : 0.40,  
"800 a 1000m" : 0.80,  
"> 1000m" : 1.00);
```

```
//Distancia_Rodovias
```

```
TabRodovias = Novo (CategoriaIni = "Dist_rodovias",  
"< 1 km" : 1.00,  
"1 a 2,5 km" : 0.80,  
"2,5 a 5 km" : 0.40,  
"5 a 10 km" : 0.20,  
"> 10 km" : 0.00);
```

```
//Distancia areas urbanas
```

```
TabUrbana = Novo (CategoriaIni = "Dist_urbana",  
"< 1 km" : 0.00,  
"1 a 2 km" : 0.50,  
"2 a 3 km" : 1.00,  
"3 a 5 km" : 0.20,  
"> 5 km" : 0.00);
```

```
//Tabela para fatias do mapa temático
```

```
TabResiduos = Novo (CategoriaFim = "Disp_Residuos_classes",  
    [0.5,1.00] : "Classe3");
```

// INSTANCIACÃO

```
Geotecnico = Recuperere (Nome = "Interp_classes_5m");  
UsoSolo = Recuperere (Nome = "Uso do Solo_5m");  
DistDrenagem = Recuperere (Nome = "Dist_Drenagem_5m");  
DistRodovias = Recuperere (Nome = "Dist_Rodovias_5m");  
DistUrbana = Recuperere (Nome = "Dist_Urbana_5m");
```

```
GeotPonde = Novo (Nome = "Geotecnico_Ponderado3", ResX = 5, ResY = 5, Min = 0, Max  
= 1 );  
UsosoloPonde = Novo (Nome = "UsoSolo_Ponderado3", ResX = 5, ResY = 5, Min = 0, Max  
= 1 );  
DrenagemPonde = Novo (Nome = "DistDrenagem_Ponderado3", ResX = 5, ResY = 5, Min =  
0, Max = 1 );  
RodoviasPonde = Novo (Nome = "DistRodovias_Ponderado3", ResX = 5, ResY = 5, Min = 0,  
Max = 1 );  
UrbanoPonde = Novo (Nome = "DistUrbana_Ponderado3", ResX = 5, ResY = 5, Min = 0,  
Max = 1 );  
Residuos = Novo (Nome = "DispResiduos_Ponderado3", ResX = 5, ResY = 5, Min = 0, Max  
= 1 );  
ResiduosTema = Novo (Nome = "Disp_Residuos_classe3", ResX = 5, ResY = 5, Escala =  
25000);
```

// OPERACÃO DE PONDERAÇÃO

```
GeotPonde = Pondere (Geotecnico, TabGeot);  
UsosoloPonde = Pondere (UsoSolo, TabUsosolo);  
DrenagemPonde = Pondere (DistDrenagem, TabDrenagem);  
RodoviasPonde = Pondere (DistRodovias, TabRodovias);  
UrbanoPonde = Pondere (DistUrbana, TabUrbana);
```

// ELABORAÇÃO DO MAPA DE RESÍDUOS

```
Residuos = 0.25*GeotPonde + 0.25*UsosoloPonde + 0.15*DrenagemPonde +  
0.15*RodoviasPonde + 0.2*UrbanoPonde;
```

// FATIAMENTO DO MAPA NUMERICO

```
ResiduosTema = Fatie (Residuos, TabResiduos);
```

```
}
```

// Programa em Legal para gerar a carta de áreas para a exploração de recursos naturais

{
// DECLARAÇÃO DAS VARIÁVEIS

//Temáticos

Tematico AreiaTema ("Mat_Construcao");
Tematico ArgilaTema ("Mat_Construcao");
Tematico CascalhoTema ("Mat_Construcao");
Tematico Geotecnico ("Interpretação");
Tematico UsoSolo ("UsoSolo");
Tematico DistDrenagem ("Dist_drenagem");
Tematico DistRodovias ("Dist_rodovias");
Tematico DistUrbana ("Dist_urbana");

//Numéricos

Numerico GeotAreiaPonde ("Mapas_Ponderados");
Numerico GeotArgilaPonde ("Mapas_Ponderados");
Numerico GeotCascalhoPonde ("Mapas_Ponderados");
Numerico UsosoloPonde ("Mapas_Ponderados");
Numerico DrenagemPonde ("Mapas_Ponderados");
Numerico RodoviasPonde ("Mapas_Ponderados");
Numerico UrbanoPonde ("Mapas_Ponderados");
Numerico ConstAreia ("Mapas_Ponderados");
Numerico ConstArgila ("Mapas_Ponderados");
Numerico ConstCascalho ("Mapas_Ponderados");

//Tabelas de Ponderação

Tabela TabAreia (Ponderacao);
Tabela TabArgila (Ponderacao);
Tabela TabCascalho (Ponderacao);
Tabela TabUsosolo (Ponderacao);
Tabela TabDrenagem (Ponderacao);
Tabela TabRodovias (Ponderacao);
Tabela TabUrbano (Ponderacao);
Tabela TabConstAreia (Fatiamento);
Tabela TabConstArgila (Fatiamento);
Tabela TabConstCascalho (Fatiamento);

// DEFINIÇÃO DA TABELA DE PESOS

//Carta Geotécnica

TabAreia = Novo (CategoriaIni = "Interpretação",
"Pps" : 0.00,
"Plw" : 0.00,

```
"Pfr" : 0.00,  
"Sp" : 0.00,  
"Ta" : 0.20,  
"Hcx" : 0.20,  
"Hp" : 0.00,  
"Hcv" : 0.00,  
"HcxBcv" : 0.00,  
"HcxBp" : 0.00,  
"HcvBcx" : 0.00,  
"Hdr" : 0.80,  
"Pfl" : 0.40,  
"Dva" : 1.00);
```

```
TabArgila = Novo (CategoriaIni = "Interpretação",
```

```
"Pps" : 0.80,  
"Plw" : 1.00,  
"Pfr" : 0.30,  
"Sp" : 0.50,  
"Ta" : 0.40,  
"Hcx" : 0.20,  
"Hp" : 0.40,  
"Hcv" : 0.20,  
"HcxBcv" : 0.20,  
"HcxBp" : 0.20,  
"HcvBcx" : 0.20,  
"Hdr" : 0.30,  
"Pfl" : 0.40,  
"Dva" : 0.30);
```

```
TabCascalho = Novo (CategoriaIni = "Interpretação",
```

```
"Pps" : 0.00,  
"Plw" : 0.00,  
"Pfr" : 0.00,  
"Sp" : 0.00,  
"Ta" : 0.00,  
"Hcx" : 0.00,  
"Hp" : 0.00,  
"Hcv" : 0.00,  
"HcxBcv" : 0.00,  
"HcxBp" : 0.00,  
"HcvBcx" : 0.40,  
"Hdr" : 0.40,  
"Pfl" : 0.00,  
"Dva" : 0.80);
```

```
//Uso do Solo
```

```
TabUsosolo = Novo (CategoriaIni = "UsoSolo",
```

```
"Agricultura" : 0.30,  
"CampoLimpo" : 0.50,
```

```
"CampoSujo" : 0.60,  
"CampoUmido" : 0.10,  
"Capoeira" : 0.50,  
"LoteamRecente" : 0.00,  
"OcupPeriUrbana" : 0.00,  
"OcupUrbana" : 0.00,  
"Ombrof_Aberta" : 0.20,  
"Ombrof_Densa" : 0.00,  
"SedeRural" : 0.20,  
"SoloExposto" : 0.80,  
"Varzea" : 0.00,  
"Rios" : 0.00);
```

```
//Distancia_Drenagens
```

```
TabDrenagem = Novo (CategoriaIni = "Dist_drenagem",  
"< 100 m" : 0.00,  
"100 a 400 m" : 0.20,  
"400 a 800 m" : 0.40,  
"800 a 1000m" : 0.80,  
"> 1000m" : 1.00);
```

```
//Distancia_Rodovias
```

```
TabRodovias = Novo (CategoriaIni = "Dist_rodovias",  
"< 1 km" : 0.00,  
"1 a 2,5 km" : 0.20,  
"2,5 a 5 km" : 0.60,  
"5 a 10 km" : 1.00,  
"> 10 km" : 0.60);
```

```
//Distancia areas urbanas
```

```
TabUrbano = Novo (CategoriaIni = "Dist_urbana",  
"< 1 km" : 1.00,  
"1 a 2 km" : 0.80,  
"2 a 3 km" : 0.40,  
"3 a 5 km" : 0.20,  
"> 5 km" : 0.00);
```

```
//Tabela para fatias do mapa temático
```

```
TabConstAreia = Novo (CategoriaFim = "Mat_Construcao",  
[0.50,1.00] : "Areia");
```

```
TabConstArgila = Novo (CategoriaFim = "Mat_Construcao",  
[0.50,1.00] : "Argila");
```

```
TabConstCascalho = Novo (CategoriaFim = "Mat_Construcao",  
[0.50,1.00] : "Cascalho");
```

// INSTANCIACÃO

Geotecnico = Recuperere (Nome = "Interp_classes_5m");
UsoSolo = Recuperere (Nome = "Uso do Solo_5m");
DistUrbana = Recuperere (Nome = "Dist_Urbana_5m");
DistDrenagem = Recuperere (Nome = "Dist_Drenagem_5m");
DistRodovias = Recuperere (Nome = "Dist_Rodovias_5m");

GeotAreiaPonde = Novo (Nome = "Geotec_Areia_Ponderado", ResX = 5, ResY = 5, Min = 0, Max = 1);
GeotArgilaPonde = Novo (Nome = "Geotec_Argila_Ponderado", ResX = 5, ResY = 5, Min = 0, Max = 1);
GeotCascalhoPonde = Novo (Nome = "Geotec_Cascalho_Ponderado", ResX = 5, ResY = 5, Min = 0, Max = 1);
UsosoloPonde = Novo (Nome = "UsoSolo_Const_Ponderado", ResX = 5, ResY = 5, Min = 0, Max = 1);
UrbanoPonde = Novo (Nome = "DistUrbana_Const_Ponderado", ResX = 5, ResY = 5, Min = 0, Max = 1);
DrenagemPonde = Novo (Nome = "DistDrenagem_Ponderado", ResX = 5, ResY = 5, Min = 0, Max = 1);
RodoviasPonde = Novo (Nome = "DistRodovias_Ponderado", ResX = 5, ResY = 5, Min = 0, Max = 1);

ConstAreia = Novo (Nome = "Areia_Ponderado", ResX = 5, ResY = 5, Min = 0, Max = 1);
ConstArgila = Novo (Nome = "Argila_Ponderado", ResX = 5, ResY = 5, Min = 0, Max = 1);
ConstCascalho = Novo (Nome = "Cascalho_Ponderado", ResX = 5, ResY = 5, Min = 0, Max = 1);

AreiaTema = Novo (Nome = "Areia_Construcao", ResX = 5, ResY = 5, Escala = 25000);
ArgilaTema = Novo (Nome = "Argila_Construcao", ResX = 5, ResY = 5, Escala = 25000);
CascalhoTema = Novo (Nome = "Cascalho_Construcao", ResX = 5, ResY = 5, Escala = 25000);

// OPERAÇÃO DE PONDERAÇÃO

GeotAreiaPonde = Pondere (Geotecnico, TabAreia);
GeotArgilaPonde = Pondere (Geotecnico, TabArgila);
GeotCascalhoPonde = Pondere (Geotecnico, TabCascalho);
UsosoloPonde = Pondere (UsoSolo, TabUsosolo);
UrbanoPonde = Pondere (DistUrbana, TabUrbano);
DrenagemPonde = Pondere (DistDrenagem, TabDrenagem);
RodoviasPonde = Pondere (DistRodovias, TabRodovias);

// ELABORAÇÃO DO CARTA PARA EXPLOÇÃO DE RECURSOS

ConstAreia = 0.30*GeotAreiaPonde + 0.25*UsosoloPonde + 0.15*DrenagemPonde + 0.15*RodoviasPonde + 0.15*UrbanoPonde;

```
ConstArgila= 0.30*GeotArgilaPonde + 0.25*UsosoloPonde + 0.15*DrenagemPonde +  
0.15*RodoviasPonde + 0.15*UrbanoPonde;  
ConstCascalho = 0.30*GeotCascalhoPonde + 0.25*UsosoloPonde + 0.15*DrenagemPonde +  
0.15*RodoviasPonde + 0.15*UrbanoPonde;
```

// FATIAMENTO DO MAPA NUMERICO

```
AreiaTema = Fatie (ConstAreia, TabConstAreia);  
ArgilaTema = Fatie (ConstArgila, TabConstArgila);  
CascalhoTema = Fatie (ConstCascalho, TabConstCascalho);  
  
}
```