

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA E ANÁLISE DA OCUPAÇÃO
URBANA DA SUB-BACIA DO EDUCANDOS, MANAUS - AMAZONAS

ANA ELISA LEAL

MANAUS – AM

2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA E ANÁLISE DA OCUPAÇÃO
URBANA DA SUB-BACIA DO EDUCANDOS, MANAUS - AMAZONAS

ANA ELISA LEAL

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Geociências da Universidade
Federal do Amazonas, como
requisito para obtenção do título de
mestre em Geociências.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alejandro Salazar

MANAUS – AM

2018

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

L435c Leal, Ana Elisa
Caracterização geomorfológica e análise da ocupação urbana da
Sub-bacia do Educandos, Manaus-Amazonas / Ana Elisa Leal.
2018
109 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Carlos Alejandro Salazar
Dissertação (Mestrado em Geociências - Geologia Ambiental) -
Universidade Federal do Amazonas.

1. sub-bacia do Educandos. 2. análise morfométrica. 3. controle
estrutural da rede de drenagem. 4. ocupação urbana. I. Salazar,
Carlos Alejandro II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

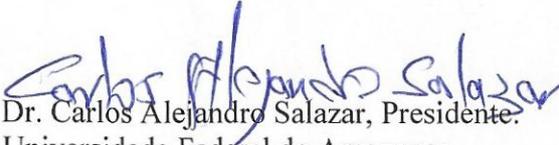
ANA ELISA LEAL

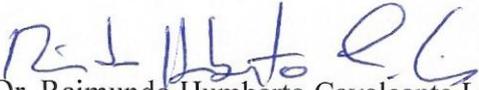
CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA E ANÁLISE DA OCUPAÇÃO
URBANA DA BACIA DO IGARAPÉ EDUCANDOS, MANAUS/AM

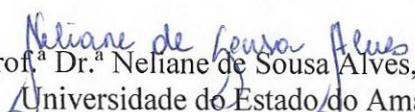
Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Geociências da
Universidade Federal do Amazonas,
como requisito parcial para obtenção do
Título de Mestre em Geociências, área de
concentração em Geociências.

Aprovado em 26 de março de 2018.

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. Carlos Alejandro Salazar, Presidente.
Universidade Federal do Amazonas


Prof. Dr. Raimundo Humberto Cavalcante Lima, Membro.
Universidade Federal do Amazonas


Prof.^a Dr.^a Neliane de Sousa Alves, Membro.
Universidade do Estado do Amazonas

RESUMO

No contexto geomorfológico, análises da rede de drenagem, de perfis de intemperismo, de processos morfodinâmicos, e interpretações sobre a evolução da paisagem, foram integradas para determinar as características da Sub-bacia do Educandos. Localizada na área urbana da cidade de Manaus (AM), esta sub-bacia é aqui objeto de estudo, visando explicar o comportamento de algumas variáveis naturais que governaram a evolução desta. Geformas de relevo ondulado, o desenvolvimento de perfil de intemperismo químico derivado da alteração de sedimentos e o padrão da rede de drenagem sub-retangular, constituem elementos diagnósticos que suportam tais interpretações. O perfil de intemperismo possui no máximo 8 metros de profundidade, constituído por horizontes de lixiviação compactos e resistentes à erosão, recoberto por perfil laterítico pouco evoluído, e para a base perfil de transição para sedimentos estratificados siliciclásticos (arenosos), não consolidados, susceptíveis à erosão concentrada. Parâmetros morfométricos da sub-bacia mostram assimetria, que seria reflexo da compartimentação desta em dois segmentos (alta bacia e baixa bacia), definido a partir do lineamento N60°W que a secciona. Alinhamentos morfológicos e da rede de drenagem sugerem que essa segmentação tem relação com falhamento e rotação de blocos, cujos efeitos locais controlaram a evolução da rede de drenagem. Estruturas de caráter regional, e estruturas conjugadas associadas a um sistema de cisalhamento transcorrente, governaram a disposição dos principais rios da região e da rede de drenagem subordinada. A introdução de fatores antrópicos profundamente modificadores dos processos morfodinâmicos naturais, resultaram de mudanças no uso do solo. A implantação de malha urbana envolvendo a aplicação de sistemas construtivos que não levaram em consideração a compreensão dessa dinâmica natural, nem as restrições intrínsecas a esta, se apontam como as principais causas modificadoras da paisagem natural.

Palavras-chave: Sub-bacia do Educandos, análise morfométrica, controle estrutural da rede de drenagem, ocupação urbana

ABSTRACT

In the geomorphological context, analyzes of the drainage network, weathering profiles, morphodynamic processes, and interpretations on landscape evolution were integrated to determine the characteristics of the Educandos Sub-basin. Located in the urban area of the city of Manaus (AM), this sub-basin is an object of study aimed at explaining the behavior of some natural variables that governed its evolution. Geoforms with wavy relief, the development of chemical weathering profile derived from sediment change and sub-rectangular drainage network pattern, are diagnostic elements that support such interpretations. The weathering profile has a maximum depth of 8 meters, consisting of compact and erosion-resistant leaching horizons, covering a poorly evolved lateritic profile and to the transition profile base for non-consolidated siliciclastic (sandy) stratified sediments susceptible to concentrated erosion. Morphometric parameters of the basin show asymmetry, which would reflect the compartmentalization in two segments (high basin and low basin), defined from the lineage N60°W which section it. Morphological and drainage network alignments suggest that this segmentation is related to faulting and rotation of blocks, whose local effects controlled the evolution of the drainage network. Structures of a regional character and conjugate structures associated with a transcurrent shear system governed the layout of the main rivers of the region and the subordinate drainage network. The introduction of deeply modifying anthropogenic factors from natural morphodynamic processes resulted from changes in soil use. The urban mesh implantation involving the application of constructive systems that did not take into account the understanding of this natural dynamics, nor the intrinsic restrictions to it, are indicated as the main modifying causes of the natural landscape.

Key words: Educandos Sub-basin, morphometric analysis, structural control of drainage network, urban occupation

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pela sua bondade, fidelidade e amor.

A UFAM, por me proporcionar à oportunidade de uma formação de nível superior.

Ao Programa de Pós-graduação em Geociências, por sempre buscar o melhor para os mestrandos.

A CAPES pela bolsa de estudos.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Carlos Alejandro Salazar, pela paciência, compreensão e sábias orientações ao longo da pesquisa.

A Profa. Dra. Marta Edith Velásquez David, pela ajuda com os mapas.

Aos professores do Programa de Pós Graduação em Geociências, por compartilharem seus conhecimentos com os alunos, sendo imprescindíveis na nossa formação.

Aos membros da banca, Prof. Dr. Carlos Alejandro Salazar, Prof. Dr. Raimundo Humberto Cavalcante Lima, e Profa. Dra. Neliane Sousa Alves, por aceitarem o convite e pelas contribuições essenciais ao trabalho.

Ao Senhor Antônio Marcos da secretaria da pós-graduação, pela ajuda com a parte burocrática ao longo do mestrado.

Ao Prof. Dr. Nilton de Souza Campelo por ceder o Laboratório de Pavimentação da Faculdade de Tecnologia (FT-UFAM) e ao Senhor Francisco Santana Oliveira (Zeca), pela grande ajuda com os ensaios de solo.

A minha mãe, que sempre esteve ao meu lado, incentivando meus estudos e sonhos, fazendo o que estava ao seu alcance para que eu conseguisse realizar meus objetivos.

Ao meu pai (*in memoriam*), por ser meu exemplo de bondade e ajuda ao próximo.

Ao meu namorado, pela ajuda e incentivo na conclusão de mais essa etapa.

Por fim, as minhas colegas de sala (Meigas), Katy Marilyn, Mônica Cortez, Vanessa Cunha, Elane Sampaio, Eliana Rocio, Pâmella Matos, Lillian Cardoso. Foi muito bom conviver com todas vocês. Obrigada pela ajuda, pelas conversas e pelos momentos que compartilhamos. Sentirei saudade!!!!

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1: Localização da área de estudo. A) Limites do Estado do Amazonas, destacando em amarelo o município de Manaus; B) Limite municipal de Manaus (linha amarela); C) Limites da Sub-bacia do Educandos (linha vermelha). Fonte: Google Earth (2016).....5
- Figura 2: Limites dos bairros (linha branca) pertencentes à Sub-bacia do Educandos em Manaus (AM), e em vermelho o limite da bacia. Fonte: Google Earth (2017)/SEMMAS. Figura organizada pela autora.....6
- Figura 3: Fotos aéreas de alguns dos bairros da Sub-bacia do Educandos. A) Centro; B) Educandos.....6
- Figura 3: Fotos aéreas de alguns dos bairros da Sub-bacia do Educandos. C) Cachoeirinha-Igarapé da Cachoeirinha; D) Centro-Igarapé Mestre Chico; E) Centro-Palácio Rio Negro e obras de aterramento do Igarapé de Manaus; F) Morro da Liberdade-Parque Residencial Jefferson Péres, e na parte superior, bairro Cachoeirinha; G) bairro Coroado-UFAM; H) Distrito Industrial- construção do Residencial Eliza Miranda. Fonte: Instituto Durango Duarte (2007). www.idd.org.br.....7
- Figura 4: Distribuição dos domínios geomorfológicos Planalto Dissecado Rio Trombetas-Rio Negro e Planície Amazônica (Modelo Digital de Elevação). Fonte: Sarges (2007) modificado de Nascimento *et al.*, (1976) e Costa *et al.*, 1978. A área de estudo está destacada pela linha branca. Modificado de Sarges (2007).....8
- Figura 5: Áreas protegidas da cidade de Manaus, com destaque para a localização da APA UFAM e RVS Saium-Castanheiras na Sub-bacia do Educandos (linha tracejada em vermelho). Fonte: Plano Diretor Urbano e Ambiental de Manaus. Modificado de SEMMAS (MANAUS, 2013).....10
- Figura 6: Planta da cidade de Manaós em 1852. Fonte: Paulo Pereira/blog Manaus de Antigamente.....13
- Figura 7: Bairro Coroado (1970). Fonte: Arquivo público municipal (Instituto Durango Duarte).....14
- Figura 8: Processo de ocupação da Sub-bacia do Educandos. Avenida Grande Circular (1989), próximo aos bairros Armando Mendes e Distrito Industrial I. Fonte: Paulo Pereira/blog Manaus de Antigamente.....14
- Figura 9: Variação da população da Cidade de Manaus entre os anos de 1872 e 2010. Fonte: IBGE (2017).....15
- Figura 10: A) Bairro Educandos (1958/1968). Fonte: Biblioteca Digital IBGE; B) Favelas no Igarapé do Educandos na década de 1990. Fonte: Paulo Pereira/blog Manaus de Antigamente.....15
- Figura 11: Distribuição da população na Sub-bacia do Educandos em Manaus. Fonte: Nogueira *et al.*, (2015).....16

Figura 12: Macrounidades urbanas da cidade de Manaus. Fonte: Cartilha do Plano Diretor de Manaus (Manaus, 2013).....	17
Figura 13: Áreas de Especial Interesse Social em Manaus, com destaque para a Sub-bacia do Educandos (tracejado em preto). Fonte: Plano Diretor Urbano e Ambiental de Manaus. Fonte: Modificado de SEMMAS (2013).....	20
Figura 14: Esquema representativo das etapas realizadas ao longo desta pesquisa.....	22
Quadro 1: Principais aplicações das bandas TM do satélite LANDSAT 5. Fonte: INPE (2011).....	23
Quadro 2: Feições e respectivas características de uso do solo na Sub-bacia do Educandos. Fonte: Landsat 5 (2011).....	23
Figura 15: Método para designar a ordem dos canais de uma bacia segundo Strahler (1957).....	24
Figura 16: Método usado para calcular a assimetria de uma bacia de drenagem (COX, 1994).....	25
Figura 17: Pontos de campo estudados na Sub-bacia do Educandos- Manaus (AM). Google Earth (2018).....	27
Figura 18: Materiais utilizados nas análises de liquidez, plasticidade e granulometria das amostras de solo (continua).....	28
Figura 18 (continuação): Materiais utilizados nas análises de liquidez, plasticidade e granulometria das amostras de solo.....	29
Figura 19: Escala granulométrica ABNT <i>apud</i> CAPUTO (1988).....	30
Figura 20: Etapas da análise granulométrica.....	31
Figura 21: Limites de Atterberg (Limite de Liquidez). Fonte: Modificado de ABNT (1984).....	32
Figura 22: Representação da ranhura na amostra de solo antes e depois do ensaio de liquidez (figura esquerda). Fonte: Caputo (1988). Aparelho de Casagrande com amostra de solo antes e depois da ranhura com cinzel (figura direita).....	33
Figura 23: Gráfico representando o Limite de Liquidez (LL). Modificado de Braja (2011).....	33
Figura 24: Limites de Atterberg (Limite de Plasticidade). Fonte: Modificado de ABNT (1984).....	34
Figura 25: A) Rolagem da massa de solo em uma placa de vidro para determinação do LP; B) Fissura na amostra de solo (destacado em vermelho); C) Cápsulas com cilindros das amostras analisadas.....	35

Figura 26: Bacias sedimentares da região setentrional da América do Sul, com destaque para a Bacia do Amazonas. Fonte: MATSUDA <i>et al.</i> , 2010.....	35
Figura 27: Carta Estratigráfica da Bacia do Amazonas. Fonte: MATSUDA <i>et al.</i> , 2010 adaptado de CUNHA <i>et al.</i> , 2007.....	36
Figura 28: Arcabouço estratigráfico com as principais unidades sedimentares e superfícies estratigráficas (paleossolos lateríticos S1, S2 e S3). * indica a idade obtida por DINO <i>et al.</i> , (2006) com base em palinomorfos do Mioceno Médio a Superior. Fonte: Abinader (2008).....	38
Figura 29: Perfil geológico simplificado de lateritos imaturos autóctones na Amazônia. Fonte: Modificado de Costa (1991).....	40
Figura 30: Modelo de cisalhamento transcorrente que controla o padrão de drenagem da região de Manaus. Fonte: SENA COSTA <i>et al.</i> , (1996).....	42
Figura 31: Pontos de campo na baixa e alta Sub-bacia do Educandos- Manaus (AM). Google Earth (2018).....	44
Figura 32: A) Visão geral do perfil laterítico; laterito no topo e na base saprólito avermelhado de laterito desmantelado; B e C) Detalhes do horizonte laterítico desmantelado e cavernoso, respectivamente.....	45
Figura 33: A) Visão geral do afloramento.....	46
Figura 33: B) erosão na parte superior do afloramento; C) intercalação de camadas de areia e argila D) projeção ciclográfica e polar diagrama hemisfério inferior mostrando a orientação dos estratos no afloramento.....	47
Figura 34: Limite de Liquidez das amostras do afloramento ED-02.....	48
Figura 35: Granulometria das amostras do afloramento ED-02.....	49
Figura 36: A) Visão geral do afloramento B) Fragmentos de rocha; C) Fraturas verticais no talude (destacadas pelas setas vermelhas)	50
Figura 37: Limite de Liquidez das amostras do afloramento ED-03.....	51
Figura 38: Granulometria das amostras do afloramento ED-03.....	51
Figura 39: A) Sondagem a trado; B) Amostra coletada.....	52
Figura 40: A) Visão geral do afloramento ED-05; B) Detalhe do afloramento; C) Nódulo de argila do horizonte B2.....	53
Figura 41: Limite de Liquidez das amostras do afloramento ED-05.....	54
Figura 42: Granulometria das amostras do afloramento ED-05.....	54
Figura 43: A) Visão geral do afloramento ED-06 (destacado em vermelho). Fonte: Google Earth (2017).....	55

Figura 43: B) afloramento ED-06, destacando o local onde a amostra foi coletada (retângulo vermelho).....	56
Figura 44: Limite de Liquidez da amostra ED-06.....	56
Figura 45: Granulometria das amostras do afloramento ED-06.....	57
Figura 46: A) Visão interna da voçoroca.....	57
Figura 46: B) Perfil de intemperismo.....	58
Figura 46: C) Estratificação na parte interna da voçoroca (areia e argila).....	58
Figura 46: D) Detalhe da estratificação; E) Grãos de quartzo e feldspato; F) nódulo de argila; G) erosão de uma parte da via.....	59
Figura 46: H) contenção de uma parte da voçoroca e recuperação da calçada e da via.....	60
Figura 47: Limite de Liquidez da amostra ED-07.....	60
Figura 48: Granulometria da amostra ED-07.....	61
Figura 49: Visão superior do afloramento ED-08. Fonte: Google Earth (2018).....	61
Figura 50: Visão geral do afloramento ED-08.....	62
Figura 51: A) Horizontes do talude; B) detalhe da intercalação de areia e argila que ocorre na parte inferior do perfil.....	62
Figura 52: A) Visão geral do talude estudado; B) Horizontes do perfil de intemperismo; C) Início de um processo erosivo (sulco), (destacado em vermelho) que poderá formar uma voçoroca, como já ocorre próximo a este ponto (ED-07).....	63
Figura 53: Localização do ponto ED-10 na Sub-bacia do Educandos, próximo ao Igarapé do Quarenta.....	63
Figura 54: Rede de drenagem da Sub-bacia do Educandos.....	65
Figura 55: Ordem dos canais da Sub-bacia do Educandos segundo a classificação de Strahler (1957).....	66
Figura 56: Fator de assimetria da bacia de drenagem (FABD) na Sub-bacia do Educandos.....	67
Figura 57: Fator de Simetria Topográfica Transversal (FSTT) na Sub-bacia do Educandos.....	69
Figura 58: Carta Topográfica da Sub-bacia do Educandos.....	71
Figura 59: Mapa geomorfológico da Sub-bacia do Educandos.....	72
Figura 60: Perfis topográficos (1 a 6) e longitudinal (canal principal) da Sub-bacia do Educandos.....	73

Figura 61: Segmentos lineares da rede de drenagem e quebras de relevo na Sub-bacia do Educandos e Sub-bacia do Mindú (parte superior da figura).....	74
Figura 62: Distribuição da chuva na cidade de Manaus no intervalo de 1962 a 2016. Registro da precipitação na estação INMET Manaus.....	75
Figura 63: Distribuição da chuva na cidade de Manaus no intervalo de 1962 a 2016 no período úmido (novembro a maio).....	76
Figura 64: Distribuição da chuva na cidade de Manaus no intervalo de 1962 a 2016 no período seco (junho a outubro).....	76
Figura 65: A) Representação de deslizamento rotacional; B) e C) deslizamento na via de acesso à reitoria da UFAM; D) gráfico de chuva acumulada em 24 horas (novembro/2016). Fonte: INMET (2016).....	78
Figura 66: A) Retificação do Igarapé do Quarenta, próximo ao Sistema Viário do Quarenta (viaduto do Japiim).....	79
Figura 66: B) Detalhe da retificação do Igarapé do Quarenta. Fonte: Google Earth (2018).....	80
Figura 67: Esquema representativo de corte e preenchimento de taludes. Figura elaborada pela autora.....	80
Figura 68: Construções em área inapropriada, próximo à voçoroca no afloramento ED-07 (Porto da Ceasa), primeira (A) e terceira etapa de campo (B).....	81
Figura 69: A) Área industrial da Sub-bacia do Educandos (destacado pela linha azul); B) detalhe de algumas das empresas do Distrito Industrial I.....	82
Figura 70: Vegetação na Sub-bacia do Educandos (destacado em branco).....	82
Figura 71: Mapa de uso do solo na Sub-bacia do Educandos.....	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Crescimento populacional da cidade de Manaus (1872-2010). Fonte: IBGE (2017).....	14
Tabela 2: Coordenadas geográficas dos pontos de campo na Sub-bacia do Educandos.....	26
Tabela 3: Número das peneiras (e aberturas) utilizadas na análise granulométrica. Fonte: ABNT (1986).....	31
Tabela 4: Índice de Plasticidade (IP). Fonte: Braja (2011).....	34
Tabela 5: LL, LP e IP das amostras do Afloramento ED-02.....	49
Tabela 6: LL, LP e IP das amostras do Afloramento ED-03.....	52
Tabela 7: LL, LP e IP das amostras do afloramento ED-05.....	55

Tabela 8: LL, LP e IP da amostra ED-06.....	56
Tabela 9: LL, LP e IP da amostra ED-07 (B1).....	60
Tabela 10: Valores de Da e Dd (em km) para o cálculo de FSTT em oito segmentos da Sub-bacia do Educandos.....	68

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas
 APA- Área de Proteção Ambiental
 ASTM- Sociedade Americana para Testes e Materiais
 cm- centímetro
 FABD- Fator de Simetria da Bacia de Drenagem
 FSTT- Fator de Simetria Topográfica Transversal
 g- grama
 ha- hectares
 IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
 IFAM- Instituto Federal do Amazonas
 IP- Índice de Plasticidade
 INPA- Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia
 INPE- Instituto de Pesquisas Espaciais
 LL- Limite de Liquidez
 LP- Limite de Plasticidade
 m- metro
 MDE- Modelo Digital de Elevação
 mg- miligrama
 mm- milímetro
 PROSAMIM- Programa Social e Ambiental dos Igarapés de Manaus
 PDUA- Plano Diretor Urbano e Ambiental
 RGB- red green blue
 RVS- Refúgio da Vida Silvestre
 SEMMAS- Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Sustentabilidade
 SRTM- Shuttle Radar Topography Mission
 SUFRAMA- Superintendência da Zona Franca de Manaus
 TM- Thematic Mapper
 UES- Unidades de Estruturação Urbana
 UFAM- Universidade Federal do Amazonas
 ULBRA- Universidade Luterana do Brasil

LISTA DE SÍMBOLOS

°C- graus Celsius
 %- porcentagem

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO.....	1
1.2. PROBLEMATIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA DO ESTUDO.....	3
1.3. OBJETIVOS.....	4
1.4. DELIMITAÇÃO DO ESTUDO.....	4
1.5. ASPECTOS FISIAGRÁFICOS.....	7
1.5.1. Relevo.....	7
1.5.2. Clima.....	9
1.5.3. Vegetação.....	10
1.5.4. Hidrografia.....	11
1.5.5. Solos.....	12

CAPÍTULO 2

2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	13
2.1. HISTÓRICO DE OCUPAÇÃO DO SOLO E DENSIDADE POPULACIONAL DO MUNICÍPIO DE MANAUS.....	13
2.2. NORMAS DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NO MUNICÍPIO DE MANAUS.....	17
2.2.1. Plano Diretor Urbano e Ambiental do Município de Manaus (PDUA).....	19
2.2.2. Bacia do Educandos como Área de Especial Interesse.....	19

CAPÍTULO 3

3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	22
3.1. PESQUISA E AQUISIÇÃO DE DADOS.....	22
3.2. ANÁLISE GEOMORFOLÓGICA.....	22
3.2.1. Ordem dos canais.....	23
3.2.2. Assimetria de bacia.....	24
3.3. ETAPA DE CAMPO.....	26
3.3.1. Sondagem a trado.....	27
3.4. ANÁLISES DAS AMOSTRAS.....	27
3.4.1. Ensaio mecânicos em solos - Procedimento analítico em laboratório.....	28
3.4.2. Análise granulométrica do solo e tamanho das partículas.....	29
3.4.3. Ensaio de peneiramento.....	30
3.5. PLASTICIDADE E ESTRUTURA DO SOLO.....	32
3.5.1. Limite de Liquidez (LL)	32

3.5.2. Limite de Plasticidade (LP)	33
--	----

CAPÍTULO 4

4. CONTEXTUALIZAÇÃO GEOLÓGICA.....	35
4.1. ESTRATIGRAFIA DA BACIA DO AMAZONAS.....	35
4.1.1. Sequência Cretáceo-Neógena.....	37
4.1.1.1. Formação Alter do Chão.....	37
4.1.1.2. Formação Novo Remanso.....	38
4.2. UNIDADES CENOZOICAS.....	39
4.2.1. Coberturas Neógenas e Quaternárias.....	39
4.2.2. Depósitos Quaternários aluviais.....	40
4.3. PERFIS LATERÍTICOS.....	40

CAPÍTULO 5

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	43
5.1. PERFIL DE INTEMPERISMO NA SUB-BACIA DO EDUCANDOS.....	43
5.1.1 PERFIL DE INTEMPERISMO NA SUB-BACIA DO EDUCANDOS (BAIXA BACIA).....	44
5.1.1.1. Afloramento ED-01.....	44
5.1.1.2. Afloramento ED-02.....	45
5.1.2. PERFIL DE INTEMPERISMO NA SUB-BACIA DO EDUCANDOS (ALTA BACIA)	49
5.1.2.1. Afloramento ED-03.....	49
5.1.2.2. Afloramento ED-04.....	52
5.1.2.3. Afloramento ED-05.....	53
5.1.2.4. Afloramento ED-06.....	55
5.1.2.5. Afloramento ED-07.....	57
5.1.2.6. Afloramento ED-08.....	61
5.1.2.7. Afloramento ED-09.....	62
5.1.2.8. Ponto ED-10.....	63
5.2. DRENAGEM DA SUB-BACIA DO EDUCANDOS.....	64
5.2.1. Ordem dos canais da Sub-bacia do Educandos.....	65
5.2.2. FABD e FSTT da Sub-bacia do Educandos.....	66
5.3. GEOMORFOLOGIA DA SUB-BACIA DO EDUCANDOS.....	70
5.4. LINEAMENTOS NA SUB-BACIA DO EDUCANDOS.....	74
5.5. PROCESSOS EROSIVOS.....	75
5.6. MORFODINÂMICA.....	77
5.7. USO DO SOLO NA SUB-BACIA DO EDUCANDOS.....	81

CAPÍTULO 6

6. CONCLUSÕES.....	84
REFERÊNCIAS.....	88

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

A cidade de Manaus exibe uma superfície topográfica marcada por colinas de topo plano que configuram, no geral, uma superfície tabular com cota média aproximada de 60 metros. As colinas são interrompidas por vales de fundo chato que atingem desníveis da ordem de 30 a 50 metros e cujo gradiente de suas encostas apresenta declividade média a forte, não raro superior a 30° (BENTO, 1998), configurando, deste modo, áreas de risco e com restrições à ocupação humana na zona urbana.

Diagnósticos de cunho fisiográfico apontam que os desníveis entre as terras altas e baixas, concomitantemente com o alto índice pluviométrico (normalmente nos meses de janeiro a junho), e ações antrópicas provocadas pelo uso indevido do espaço urbano, induzem a deslizamentos de terra corriqueiros em Manaus (CAMPELO *et al.*, 2009). O uso indiscriminado e inadequado do solo urbano, aliado a falta de infraestrutura de saneamento básico devido à dificuldade de fornecer estes serviços na mesma velocidade em que a ocupação se processa, são apontados como determinantes para o atual cenário de degradação de áreas com ocupação urbana não planejada, ocasionando também risco social à população que ali vive (EPIA, 2004).

A Sub-bacia do Educandos (ou Bacia do Educandos como também é denominada), que é objeto deste estudo, começou a ser ocupada como parte da área urbana da cidade de Manaus desde finais do século XIX, com desenvolvimento planejado de infraestrutura para fins residenciais e comerciais (BATISTA, 2013). A implantação da Zona Franca, em 1967, a qual teve início um novo ciclo econômico, incentivou ondas de fluxo migratório de pessoas do interior do Estado e de diferentes regiões do país, que ocuparam áreas urbanas periféricas sem planejamento urbano.

Algumas dessas ocupações ocorreram nos arredores do Distrito Industrial, ocupando a parte alta da Sub-bacia do Educandos. Dessa forma, ocorreu a perda do controle do crescimento urbanístico da cidade, potencializando a manifestação esporádica e em alguns casos, periódica, de vários problemas ambientais em Manaus (GEOMANAUS, 2002).

De acordo com o censo realizado no ano de 2010, a cidade de Manaus possuía um total populacional de 1.802.014 habitantes, e população estimada em 2.130.264 habitantes no ano de 2017, distribuídos em uma área de 11.401 km² (IBGE, 2017). Desse total, aproximadamente 99,5% da população reside no setor urbano, ocupando apenas 4% da extensão territorial municipal, demonstrando a elevada concentração demográfica. Essa concentração tem produzido profundas alterações na paisagem, em virtude das transformações na forma de uso e ocupação do solo urbano e na degradação ambiental (GONÇALVES *et al.*, 2014).

O acelerado processo de urbanização é um dos responsáveis por significativas alterações antropogênicas da paisagem natural. A compreensão e o monitoramento de tais alterações são fundamentais para o planejamento urbano, que visa o ordenamento do território e a contenção de impactos ambientais decorrente de novas ocupações. Um dos grandes problemas causados a partir do adensamento populacional em grandes áreas urbanas é a impermeabilização indiscriminada do solo e o surgimento de novos assentamentos em áreas ambientalmente impróprias, o que tem trazido graves consequências para a população. Para evitar tais problemas, as microbacias hidrográficas urbanas devem constituir o domínio físico de planejamento, e para tal, sua ocupação deve ser estudada (KUCK, 2010).

A compreensão e o monitoramento das mudanças na cobertura do solo ocasionadas pela urbanização são fundamentais para as atividades de planejamento urbano, administração dos serviços básicos de saneamento e infraestrutura, alocação da oferta de serviços, dentre outras medidas que buscam a minimização e mitigação dos impactos ocasionados (JAT *et al.*, 2008).

Pesquisas que visam diagnosticar e entender que fatores ambientais explicam a impactação negativa do urbanismo na cidade de Manaus, na sua maioria atribui um peso significativo a: a) práticas de ocupação urbana não planejada; b) ocupação urbana de áreas com restrições, geralmente associadas a declividades do terreno e de áreas susceptíveis a alagamentos sazonais; c) falta de infraestrutura sanitária básica adequada. Assim, tais diagnósticos apresentam um panorama realista de causalidades relevantes, geralmente abordadas considerando a intervenção antrópica como fator ativador, e caracterizadas por parâmetros principalmente avaliados qualitativamente.

Dessa forma, a análise geomorfológica visando à compreensão de fatores intrínsecos do entorno físico mediante parâmetros avaliados com ênfase quantitativa, permitem identificar variáveis naturais restritivas ou suscetíveis de serem modificadas

por mudanças de uso do solo como a ocupação urbana. Pesquisas com este tipo de enfoque, além de sua relevância científica, são a base para um bom planejamento urbanístico, um apropriado ordenamento territorial e o acertado desenho de medidas de recuperação ambiental de áreas degradadas.

1.2. PROBLEMATIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA DO ESTUDO

No município de Manaus (AM) destacam-se quatro sub-bacias hidrográficas urbanizadas, as quais são: sub-bacias do Tarumã e do Puraquequara, que estão parcialmente inseridas na malha urbana do município, e sub-bacias do São Raimundo e Educandos, que se encontram totalmente inseridas na malha urbana da cidade (NOGUEIRA *et al.*, 2015).

Historicamente vem se buscando a solução de problemas ambientais urbanos e se processando principalmente ações emergenciais e mitigadoras, porém sem resultados satisfatórios em longo prazo. Assim, o Governo do Estado do Amazonas, visando abordar a problemática existente de forma integrada, implantou o Programa Social e Ambiental dos Igarapés de Manaus (PROSAMIM), que tinha como objetivo a melhoria contínua da qualidade de vida da população diretamente afetada como um todo (EPIA, 2004).

O PROSAMIM foi criado no ano de 2003, para atender os principais igarapés da Sub-bacia do Educandos, uma demanda diagnosticada na época, de 36 mil habitantes, com áreas apresentando densidade de 115 moradores por hectare, residindo em condições de vulnerabilidade ao risco, agravada por inundações, nos períodos de cheia do Rio Negro (BATISTA, 2013).

O programa atuou na Sub-bacia do Educandos e seu entorno, envolvendo os igarapés Bittencourt, Manaus e Mestre Chico, sendo estruturado em três vertentes estratégicas de ações: 1) drenagem da bacia, com adequação do sistema de macro e microdrenagem; 2) saneamento básico, com melhoria nos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário; 3) urbanismo e habitação, com implantação de novas vias urbanas e equipamentos urbanísticos, melhoria na habitação e o reassentamento e realocação da população das áreas de risco (EPIA, 2004).

As alterações ambientais ocorrentes foram negligenciadas ou ignoradas por longo período, em diferentes instâncias, possibilitando a geração de impactos adversos que afetam a estabilidade social e ambiental da área em apreço, observada pela intensa degradação ambiental e pela precária qualidade de vida da população residente na área

das microbacias dos igarapés Bittencourt, Manaus e Mestre Chico e do seu entorno (EPIA, 2004).

Assim, a Sub-bacia do Educandos foi escolhida para este estudo devido sua abrangência na área urbana da cidade de Manaus, sua heterogeneidade de ocupação, e por possuir poucos estudos relacionados à questão geomorfológica, fatores tectônicos e modificação antrópica da paisagem.

1.3. OBJETIVOS

O objetivo geral consiste em realizar análise geomorfológica e morfodinâmica da Sub-bacia do Educandos em Manaus (AM). Inclui os seguintes objetivos específicos:

- a) Identificar as principais feições geomorfológicas da bacia, como unidades de relevo, tipos de perfis de intemperismo e de processos morfodinâmicos.
- b) Avaliar as propriedades físicas do perfil de intemperismo em locais com estabilidade crítica para identificar a susceptibilidade destes à erosão e entender que variáveis a influenciam.
- c) Analisar as características morfométricas da rede de drenagem e a ocupação urbana na área de estudo.

1.4. DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

A Sub-bacia do Educandos (Figura 1), é constituída por um polígono de orientação NE-SW que tem como limites as latitudes 03° 04' 00" S e 03° 09' 00" S e as longitudes 60° 01' 30" W e 59° 55' 30" W (EPIA, 2004).

Está localizada na parte sudeste da cidade de Manaus e corresponde a 10,22% do total do perímetro urbano. Da área de 46,64 km² desta sub-bacia, 20% compreende os bairros (Figuras 2 e 3) Adrianópolis, Armando Mendes, Betânia, Cachoeirinha, Centro, Colônia Oliveira Machado, Coroadó, Crespo, Educandos, Japiim, Mauazinho, Morro da Liberdade, Petrópolis, Praça 14 de Janeiro, Raiz, Santa Luzia, São Francisco, São Lázaro, Vila Buriti e Zumbi dos Palmares, e 80% compreende os bairros Distrito Industrial I e II, destinados pelo Governo do Estado do Amazonas, para a instalação do Polo Industrial de Manaus (BATISTA, 2013).

A Sub-bacia do Educandos apresenta três nascentes: uma na Reserva Ecológica Sauim-Castanheira (Distrito Industrial II), outra em propriedade da antiga Escola Agrotécnica Federal de Manaus (atual Instituto Federal do Amazonas-IFAM) no bairro Armando Mendes e a terceira em área degradada no bairro Zumbi dos Palmares, bairros

estes oriundos de invasões, densamente ocupados por uma população de baixa renda e com carência de serviços públicos e equipamentos urbanos (BATISTA, 2013).

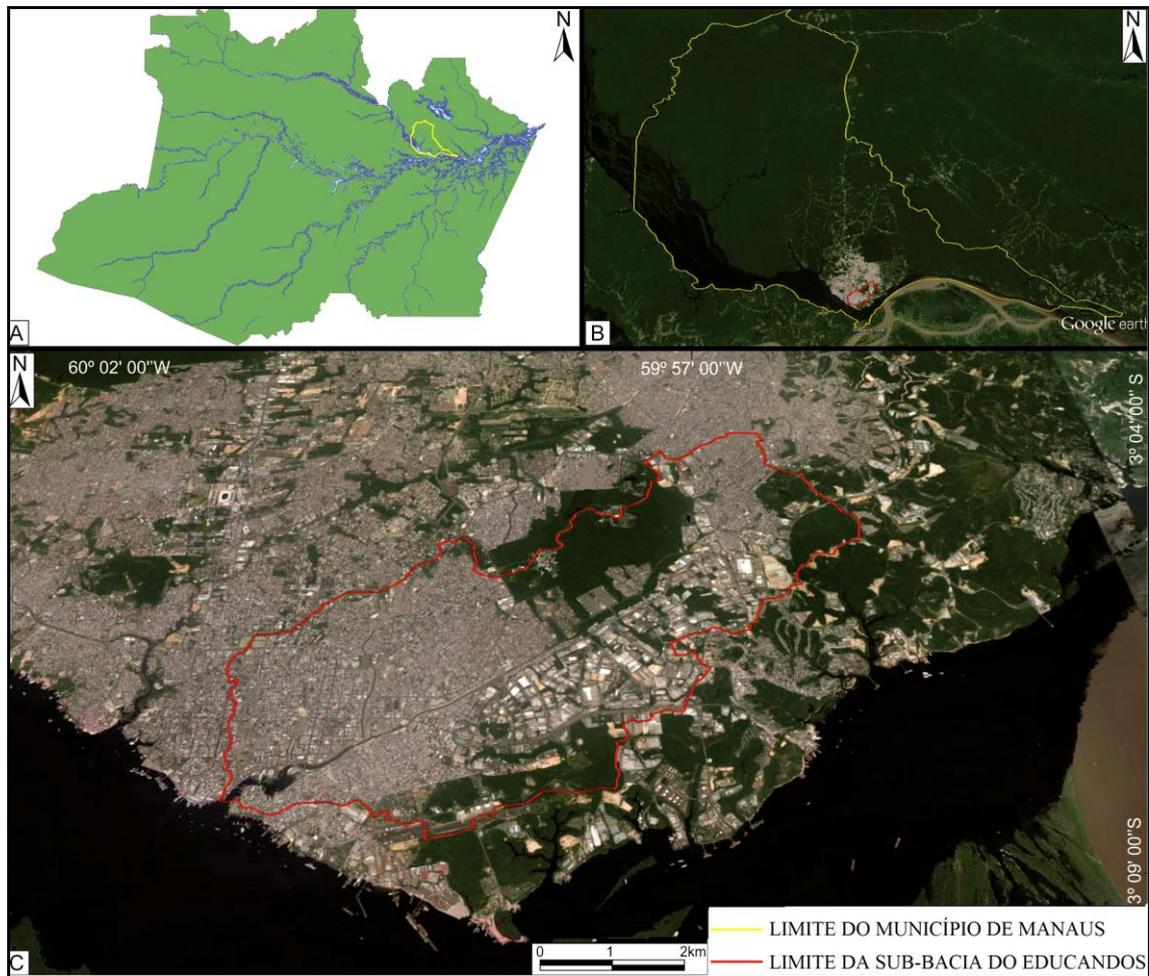


Figura 1: Localização da área de estudo. A) Limites do Estado do Amazonas, destacando em amarelo o município de Manaus; B) Limite municipal de Manaus (linha amarela); C) Limites da Sub-bacia do Educandos (linha vermelha). Fonte: Google Earth (2016)



- | | | | |
|-----------------------------|----------------------------|-------------------------|------------------------|
| 1- Adrianópolis | 7- Coroado | 13- Mauazinho | 19- São Francisco |
| 2- Armando Mendes | 8- Crespo | 14- Morro da Liberdade | 20- São Lázaro |
| 3- Betânia | 9- Distrito Industrial I | 15- Petrópolis | 21- Vila Buriti |
| 4- Cachoeirinha | 10- Distrito Industrial II | 16- Praça 14 de Janeiro | 22- Zumbi dos Palmares |
| 5- Centro | 11- Educandos | 17- Raiz | |
| 6- Colônia Oliveira Machado | 12- Japiim | 18- Santa Luzia | |

Figura 2: Limites dos bairros (linha branca) pertencentes à Sub-bacia do Educandos em Manaus (AM), e em vermelho o limite da bacia. Fonte: Google Earth (2017)/SEMMAS. Figura organizada pela autora



Figura 3: Fotos aéreas de alguns dos bairros da Sub-bacia do Educandos. A) Centro; B) Educandos

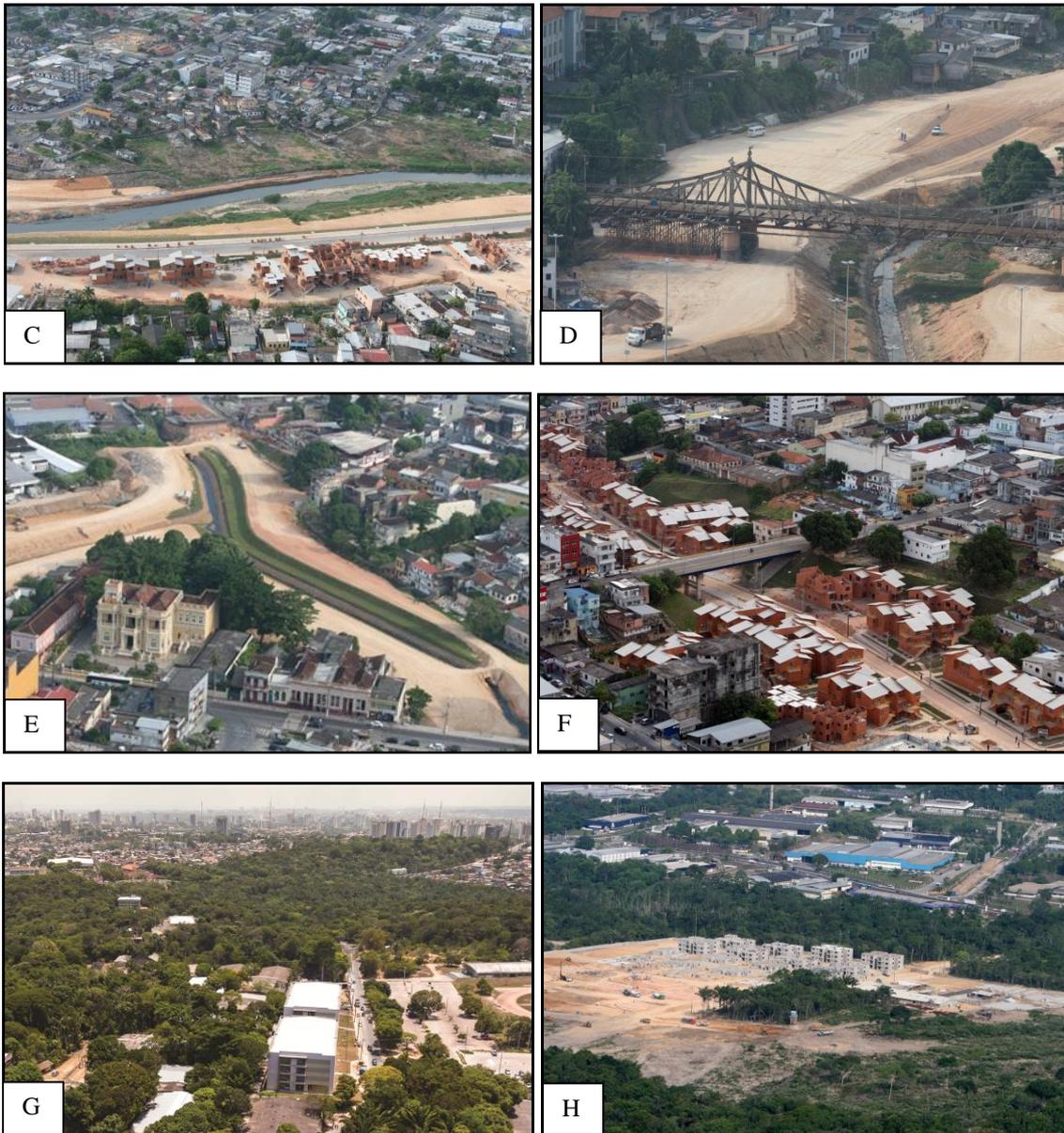


Figura 3: Fotos aéreas de alguns dos bairros da Sub-bacia do Educandos. C) Cachoeirinha-Igarapé da Cachoeirinha; D) Centro-Igarapé Mestre Chico; E) Centro-Palácio Rio Negro e obras de aterramento do Igarapé de Manaus; F) Morro da Liberdade-Parque Residencial Jefferson Péres, e na parte superior, bairro Cachoeirinha; G) bairro Coroado-UFAM; H) Distrito Industrial- construção do Residencial Eliza Miranda. Fonte: Instituto Durango Duarte (2007). www.idd.org.br

1.5. ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

1.5.1. Relevo

O relevo da região de Manaus é caracterizado por interflúvios tabulares com diferentes graus de dissecação, distribuídos sobre o domínio geomorfológico Planalto Dissecado Rio Trombetas-Rio Negro (Figura 4), com diminuição da altitude para sul (COSTA *et al.*, 1978, NASCIMENTO *et al.*, 1976).

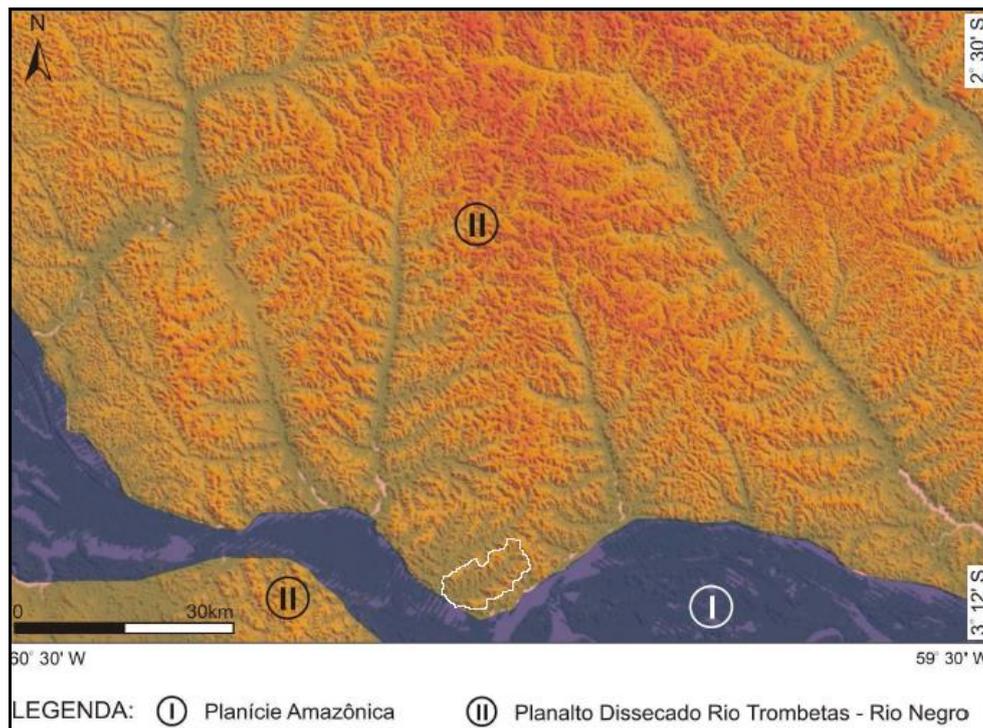


Figura 4: Distribuição dos domínios geomorfológicos Planalto Dissecado Rio Trombetas-Rio Negro e Planície Amazônica (Modelo Digital de Elevação). Fonte: Sarges (2007) modificado de Nascimento *et al.*, (1976) e Costa *et al.*, 1978. A área de estudo está destacada pela linha branca. Modificado de Sarges (2007)

Uma densa rede de drenagem, com padrão geral dendrítico e fluxo em direção aos rios Negro e Amazonas caracteriza esse domínio geomorfológico (SARGES, 2007). Tal domínio está representado por colinas pequenas e médias dissecadas, vales fechados e drenagens desenvolvidas em ampla superfície sobre a Formação Alter do Chão. Nessa superfície predominam colinas com cotas de 30 m a 100 m marcadas por fortes rebordos erosivos abruptos com vales estreitos em V e zonas de interflúvios estreitas e alongadas que separam as amplas bacias de drenagem assimétricas (SILVA, 2005).

As características morfológicas da região de Manaus são entendidas como resultado de um processo de incisão fluvial a partir de uma planície elevada. Essa incisão teria sido promovida pela atividade erosiva de grandes rios (Amazonas, Negro), e por efeitos regionais e locais da dinâmica tectônica vinculada a sistemas de cisalhamento transcorrente dextral, com falhamento conjugado subordinado do tipo distensivo NW-SE e compressivo orientado NE-SW (COSTA & HASUI, 1997).

Uma categorização morfológica na região de Manaus foi realizada em função de variações na altura do relevo, destacando três intervalos: 1) altimetria entre 25 e 50 metros, que abrange os terraços fluviais, erosivos e planícies de inundação; 2) altimetria entre 25 e 100 metros, constituído por interflúvios tabulares dissecados com topos

convexizados; 3) altimetria entre 50 e 160 metros, composta por interflúvios tabulares com topos planos e depressões (SARGES *et al.*, 2011).

Na Sub-bacia do Educandos, os platôs superiores possuem elevação da ordem de 80 metros. São observadas nas margens do Rio Negro feições do tipo falésia, com taludes íngremes, gerados por atividade tectônica regional (EPIA, 2004).

Os processos erosivos mais comuns reportados para a região são a ocorrência de voçorocas (VIEIRA, 2008) e de movimentos de massa frequentemente reportados nas zonas norte e leste da cidade de Manaus, onde a expansão urbana ocorre acelerada e sem planejamento. As formas do relevo se destacam por ter encostas curtas com formas côncavas de alta declividade. Dentre os fatores que participam na ativação de voçorocas, alguns autores destacam: declividade da encosta e perfil de intemperismo, encostas e área crítica de drenagem, controles litológicos e fatores geomorfológicos, mudanças relativas do uso da terra, variações sazonais climáticas (VALENTIN *et al.*, 2005). Algumas variáveis que dinamizam a erosão e promovem o avanço na cabeceira, envolvem escoamento superficial ou subsuperficial de águas concentradas, erosão de base por jato de queda de água em cascata e movimentos de massa.

1.5.2. Clima

O clima de Manaus está classificado como Equatorial Quente e Úmido, que corresponde a clima tropical praticamente sem inverno e com temperatura média para o mês mais frio superior a 18°C, ocorrendo chuvas durante todo o ano, com precipitação superior a 60 mm no mês mais seco (agosto). Não há grandes variações anuais de temperatura média (em torno de 5°C), definindo-se apenas duas estações ao ano: a estação chuvosa (novembro a maio) que apresenta temperaturas mais amenas, e a estação seca (junho a outubro), com temperaturas elevadas, atingindo cerca de 40°C no mês de setembro. A temperatura média anual é de 26,7°C, com médias para cada estação entre 23,3°C e 31,4°C, respectivamente, e a precipitação pluviométrica média anual é de 2.286 milímetros (GEOMANAUS, 2002).

O clima da cidade de Manaus apresentou algumas alterações, considerando-se o conjunto de ações que modificaram o meio e alargaram a mancha urbana, assim, a cidade destaca-se como um ponto onde a temperatura, a umidade e a precipitação tem valores distintos dos constantes nas isolinhas gerais para a região. Isso se deve ao processo de urbanização, que inclui: eliminação da cobertura vegetal, pavimentação de

A APA é uma área em geral extensa, com certo grau de ocupação humana, dotada de atributos abióticos, bióticos, estéticos ou culturais especiais para a qualidade de vida e o bem estar das populações humanas, com objetivo básico de proteger a diversidade biológica e disciplinar o processo de ocupação, assegurando a sustentabilidade do uso dos recursos naturais (BRASIL, 2000).

A APA UFAM foi criada pelo Decreto nº 1503 de 27/03/2012, está localizada na zona centro-sul da cidade de Manaus, abrange 759,15 ha e é formada pelos fragmentos florestais do INPA, UFAM, ULBRA, Parque Lagoa do Japiim e área verde do Conjunto Acariquara. A APA é cercada por diversos bairros, que têm ocupação datada da década de 70, provenientes, na sua maioria de ocupações desordenadas. Essas áreas desempenham papel fundamental na melhoria da qualidade ambiental do seu entorno, uma vez que esses bairros, originários de ocupações desordenadas, não previram áreas para desempenhar esta função (MANAUS, 2017).

Estas áreas servem de abrigo para diversas espécies da fauna e da flora locais. Uma questão importante com a criação desta APA foi de conferir *status* de área protegida para a área abrangida pela UFAM, uma vez que, mesmo apresentando uma área representativa de vegetação, não possuía proteção determinada em um instrumento legal. A RVS Sauim-Castanheiras ocupa uma área de 95 ha, localizada no Distrito Industrial II. Foi criada em 1982, como Reserva Ecológica, com objetivo de proteger as populações do Sauim-de-Manaus e de Castanhas-do-Brasil (MANAUS, 2017).

1.5.4. Hidrografia

A cidade de Manaus é cortada por densa e intrincada rede de canais (igarapés) na qual o Rio Negro destaca-se como o principal agente de drenagem (COSTA *et al.*, 1978), sendo estes fortemente controlados pela neotectônica (NAVA, 1999).

A Sub-bacia do Educandos constitui uma das principais redes de drenagens de Manaus. Seu igarapé principal recebe diferentes denominações conforme a localização, sendo nomeado de Armando Mendes (alta bacia/nascente da bacia), Quarenta (parte intermediária) e Educandos (baixa bacia/foz da bacia). Os afluentes do canal principal são os igarapés de Manaus, Bittencourt, Mestre Chico, Cajual, Liberdade, Cachoeirinha, Betânia, Raiz, Vovó, Freira, Japiim, Buriti, Semp, 31 de Março, Javari, Campus II, Ibiurana, Campus I, Ipê, Copiúba, Nova República, Porco, Chaminé, Sharp, Acariquara, Zumbi I e II. Os principais igarapés drenam para o Rio Negro com direção predominante N-NE (EPIA, 2004).

O Igarapé de Manaus está localizado próximo à área central da cidade, corta importantes vias de acesso ao centro, sendo afetado pelas cheias do Rio Negro. O Igarapé do Quarenta é o canal principal da Sub-bacia do Educandos e sua nascente está localizada no bairro Armando Mendes. Percorre áreas urbanas ocupadas, como o Distrito Industrial, Coroado e Japiim. O Igarapé da Cachoeirinha abrange os bairros da Cachoeirinha, Petrópolis, Raiz e São Francisco, atravessando vales que estão sujeitos à inundação, principalmente nos meses de janeiro a junho. O Igarapé do Mestre Chico também está sujeito a inundações e localiza-se próximo à área central de Manaus, abrange parte do bairro da Cachoeirinha e cruza importantes vias de acesso ao centro da cidade até desaguar no Igarapé Educandos (GEOMANAUS, 2002).

1.5.5. Solos

Em Manaus, duas classes de solo podem ser mais facilmente evidenciadas: os Latossolos e os Espodossolos. O primeiro, com variações de cor amarela a vermelho, de constituição bastante argilosa, é o mais representativo na cidade. A segunda classe é representada pelos Espodossolos, com horizontes de areia branca que podem atingir alguns metros de espessura, consistência solta e aparece na borda das encostas acompanhando os principais cursos d'água (VIEIRA, 2008).

Uma terceira classe de solo é descrita por Leal (1996) como sendo frequente em Manaus, o Argissolo, o qual apresenta horizonte B nodular de aproximadamente 1 m de espessura, encontrado a 1,3 m de profundidade, de consistência muito dura e porosa.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. HISTÓRICO DE OCUPAÇÃO DO SOLO E DENSIDADE POPULACIONAL DO MUNICÍPIO DE MANAUS

A expansão urbana da cidade de Manaus passou por três períodos históricos principais: No primeiro, a constituição de uma vila com poucos habitantes desde a fundação da cidade (1664) no período colonial, até o início do Ciclo da Borracha (1840), o qual promoveu um processo colonizador de expansão e desenvolvimento urbano do centro histórico da cidade (Figura 6), que constituiu o segundo período.

O auge do Ciclo da Borracha durou até o início da segunda década do século XX e se revitalizou levemente durante a Segunda Guerra mundial, finalizando em 1950. No auge desse ciclo a cidade passou de cerca de 10.000 para pouco mais de 75.000 habitantes (SALATI, 1990) e adquire importância comercial e portuária. O terceiro período é decorrente da implantação da Zona Franca de Manaus e do Distrito Industrial I e II em 1967 e 2007, respectivamente. Assim, o crescimento da população da cidade (Tabela 1) acompanhou os períodos de ativação econômica vinculados ao desenvolvimento da Zona Franca e do Polo Industrial. Nesse período, destacou-se o crescimento exponencial da área urbanizada (Figuras 7 e 8) e número de habitantes (Figura 9), devido aos incentivos que promoveram o desenvolvimento do Polo Industrial em 1990 e 2005.



Figura 6: Planta da cidade de Manaus em 1852. Fonte: Paulo Pereira/blog Manaus de Antigamente

Dados do censo indicaram que 30 anos após a inserção do Polo Industrial em Manaus, o número de habitantes da cidade cresceu em torno de 500% (IBGE, 2000).

Tabela 1: Crescimento populacional da Cidade de Manaus (1872-2010)

Censo (ano)	População	Censo (ano)	População
1872	38.998	1960	321.125
1890	52.421	1970	473.545
1900	73.647	1980	922.477
1920	179.263	1991	1.011.403
1940	272.232	2000	1.347.590
1950	279.151	2010	1.802.525

Fonte: IBGE (2017)



Figura 7: Bairro Coroado (1970). Fonte: Arquivo público municipal (Instituto Durango Duarte)



Figura 8: Processo de ocupação da Sub-bacia do Educandos. Avenida Grande Circular (1989), próximo aos bairros Armando Mendes e Distrito Industrial I. Fonte: Paulo Pereira/blog Manaus de Antigamente

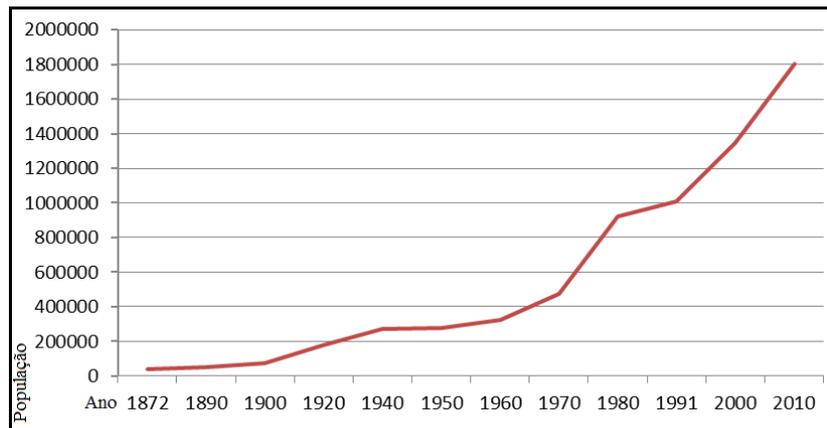


Figura 9: Variação da população da Cidade de Manaus entre os anos de 1872 e 2010. Fonte: IBGE (2017)

Tal crescimento urbano esteve associado à ocupação de áreas inapropriadas para uso urbano e sistemas construtivos precários (Figura 10A), sem serviços públicos, dentre eles a falta de infraestrutura de saneamento básico que acarreta vários problemas de ordem ambiental e de saúde pública (IBGE, 2012; 2017). A ocupação urbana da parte média e alta da Sub-bacia do Educandos, principalmente com instalações industriais, acompanha esta evolução. A parte baixa da bacia foi ocupada principalmente para uso urbano residencial na década de 1950 e as partes média e alta da bacia para uso principalmente industrial no período de 1970 a 1990.

Esse crescimento urbano rápido e desordenado das últimas décadas culminou com a ocupação de espaços inadequados à moradia, como encostas com declives acentuados, planícies de igarapés (Figura 10B), áreas de reservas florestais, que acabaram deflagrando problemas sócio e geoambientais, como aumento da temperatura, substituição da floresta original e processos erosivos (NAVA, 1999).

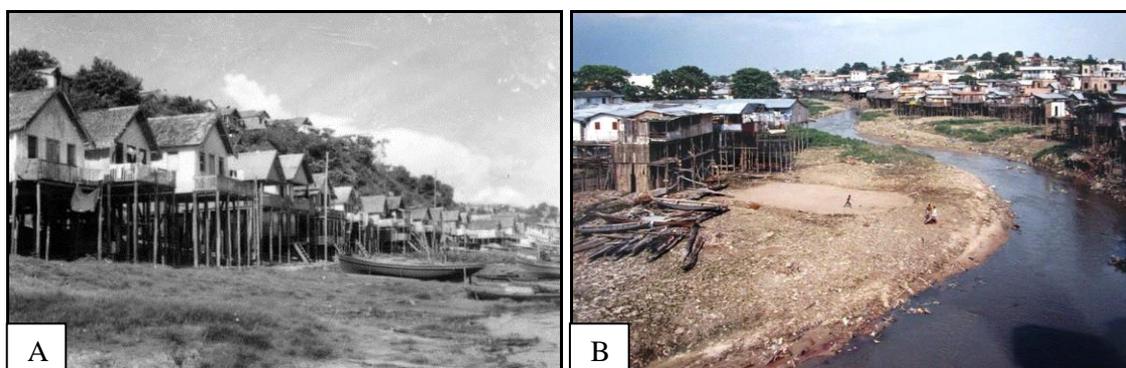


Figura 10: A) Bairro Educandos (1958/1968). Fonte: Biblioteca Digital IBGE; B) Favelas no Igarapé do Educandos na década de 1990. Fonte: Paulo Pereira/blog Manaus de Antigamente

Dentre as quatro sub-bacias da área urbana de Manaus, as do São Raimundo e Educandos foram as que sofreram maior ocupação nos últimos anos, atualmente comportando mais da metade da população urbana (KUCK, 2010).

Distinguem-se na Sub-bacia do Educandos duas unidades de ocupação urbana (Figura 11): áreas habitacionais e a área do Distrito Industrial de Manaus. A bacia contém uma área onde se concentra a maior parte das atividades industriais da cidade, ocorrendo nos bairros Distrito Industrial, Educandos, Colônia Oliveira Machado e Japiim. A unidade do Distrito Industrial, limitada a margem esquerda do Igarapé do Quarenta, está definida por uma baixa densidade de ocupação, justificada pela presença dos grandes lotes industriais, e o uso residencial está distribuído nos demais bairros, sendo os mais populosos os bairros do Centro, Japiim e Petrópolis (RIMA, 2004).

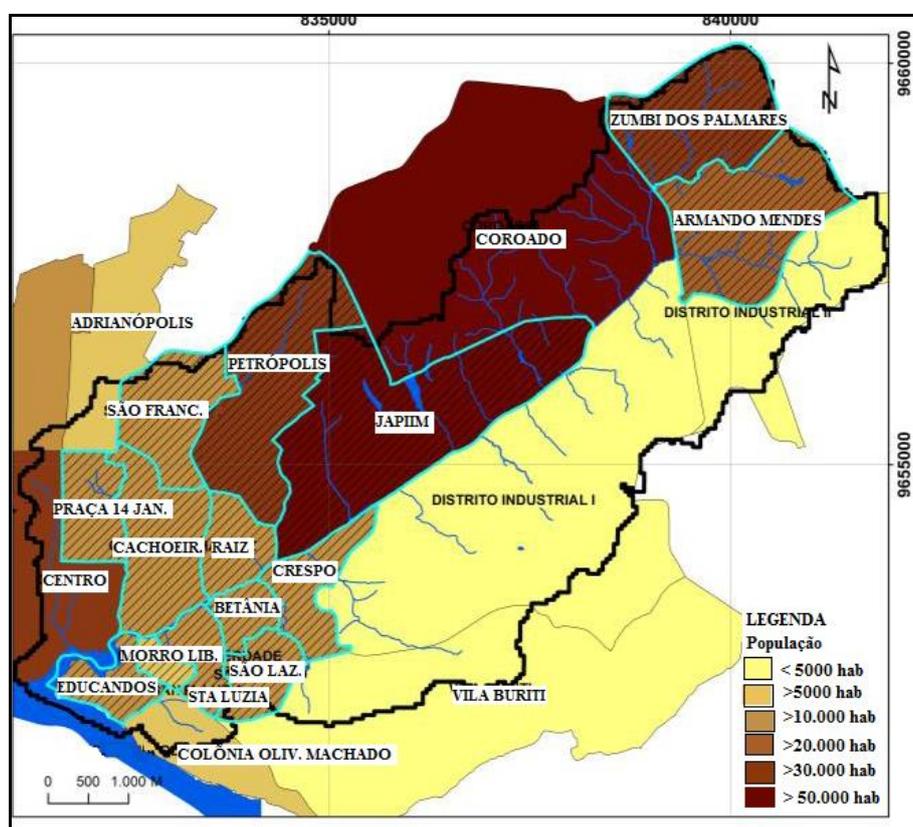


Figura 11: Distribuição da população na Sub-bacia do Educandos em Manaus. Fonte: Nogueira *et al.*, (2015)

Na Sub-bacia do Educandos, as áreas densamente urbanizadas ocupam a margem direita do Igarapé do Quarenta. A unidade apresenta grande heterogeneidade de ocupação: bairros nobres, como o de Adrianópolis, Aleixo (Morada do Sol), ocupando os platôs interfluviais mais largos; bairros antigos, como o Centro, Educandos, Praça XIV e Cachoeirinha; bairros planejados, como o Japiim e Parque Dez; bairros

urbanizados a partir de áreas de invasão, como Petrópolis, Zumbi dos Palmares e Armando Mendes; e assentamentos espontâneos nas planícies dos igarapés, sem qualquer infraestrutura de saneamento, localizados ao longo da calha do Igarapé do Quarenta- bairros da Raiz, Cachoeirinha, Petrópolis e Japiim (RIMA, 2004).

2.2. NORMAS DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NO MUNICÍPIO DE MANAUS

A Lei nº 672, de 04 de Novembro de 2002 (MANAUS, 2002) refere-se às Normas de Uso e Ocupação do Solo no município de Manaus. Foi conferida pelo artigo 80, inciso IV da Lei Orgânica do Município de Manaus, e baseia-se no pressuposto de utilizar o potencial de adensamento das áreas da cidade levando em conta: I) preservação das áreas de proteção e de fragilidades ambientais (nascentes, margens dos cursos d'água, unidades de conservação, fragmentos florestais, áreas de fundo de vales); II) infraestrutura urbana instalada; III) condições de saneamento básico; IV) acessibilidade à área central. Estas se aplicam à área urbana e de transição da cidade, delimitadas no perímetro urbano.

De acordo com esta lei, a cidade de Manaus foi dividida em sete macrounidades (Figura 12): Orla do Rio Negro Oeste, Orla do Rio Negro Leste, Centro, Integração, Tarumã-Açu, Leste e Ducke. Estas, para fins de planejamento, gestão e aplicação das normas de uso do solo, foram divididas em Unidades de Estruturação Urbana (UES), que é o compartimento do território da cidade que apresenta aspectos físicos e/ou características de ocupação e uso homogêneas e tem limites coincidentes com os limites dos bairros, e estão descritos no Plano Diretor Urbano e Ambiental de Manaus.



Figura 12: Macrounidades urbanas da cidade de Manaus. Fonte: Cartilha do Plano Diretor de Manaus (Manaus, 2013)

Nesta pesquisa, serão citadas apenas as quatro Macrounidades e respectivas UES que abrangem total ou parcialmente os bairros da Sub-bacia do Educandos:

A) Macrounidade Orla do Rio Negro Leste, dividida em: I) UES Educandos- unidade de uso diversificado e de ocupação horizontal de alta densidade, com atividades portuárias, abrangendo os bairros Educandos e Colônia Oliveira Machado; II) UES Vila Buriti- uso diversificado e ocupação horizontal de média densidade, atividades relacionadas ao Distrito Industrial e usos institucionais. Abrange o bairro Vila Buriti e parte do bairro Crespo; III) UES Mauzinho- unidade residencial de ocupação horizontal de baixa densidade, compatível com o relevo acidentado e presença de áreas de proteção ambiental e de habitação de interesse social, compreendendo o bairro Mauzinho.

B) Macrounidade Centro, dividida em: I) UES Adrianópolis- unidade residencial e de verticalização alta, de incentivo à densificação com variação de tipologias em função do tamanho do lote e da largura das vias que abrange parte dos bairros Parque 10 de Novembro (não pertence à sub-bacia do Educandos), Aleixo e Adrianópolis (somente uma pequena parte pertence à Sub-bacia do Educandos); II) UES Cachoeirinha- unidade residencial, de verticalização média, de incentivo à densificação, que abrange o bairro Cachoeirinha; III) UES Centro- concentração de comércio e serviços, de verticalização baixa, compatíveis com a diversidade comercial e a concentração de bens de interesse cultural, que abrange parte dos bairros Centro, Praça 14 de Janeiro e Nossa Senhora Aparecida (este último não pertence à Sub-bacia do Educandos).

C) Macrounidade Integração, dividida em: I) UES Coroado- uso diversificado e de ocupação horizontal de alta densidade, compatível com a proximidade de áreas de proteção ambiental, que abrange o bairro Coroado, inclusive o campus da Universidade Federal do Amazonas; II) UES Distrito I- unidade predominantemente industrial e de ocupação horizontal de baixa densidade. Abrange o Módulo 1 do Distrito Industrial da SUFRAMA e parte do bairro Crespo; III) UES Japiim- unidade de uso diversificado, de ocupação horizontal com alta densidade, com influência da área central, de incentivo à densificação, que abrange os bairros Petrópolis, São Francisco e Japiim; IV) UES Morro da Liberdade- unidade de uso diversificado de ocupação horizontal com alta densidade, com influência da área central, de incentivo à densificação, que abrange os bairros Betânia, São Lázaro, Raiz, Morro da Liberdade e Santa Luzia.

D) *Macrounidade Leste*, dividida em: I) UES São José- unidade residencial e de ocupação horizontal de alta densidade, de incentivo à densificação, que abrange os bairros São José Operário (não faz parte da Sub-bacia do Educandos), Zumbi e Armando Mendes; II) UES Distrito II- unidade predominantemente industrial e de ocupação horizontal de baixa densidade, com atividades agroindustriais, de incentivo à proteção dos recursos naturais.

2.2.1. Plano Diretor Urbano e Ambiental do Município de Manaus (PDUA)

Foi sancionado pela Lei nº 671, de 04 de novembro de 2002 (MANAUS, 2002) e constitui o instrumento básico da Política Urbana e Ambiental da Cidade de Manaus. A estratégia de uso e ocupação do solo urbano tem como objetivo geral ordenar e regulamentar o uso e a ocupação do solo para garantir a qualidade de vida da população, incluindo a reconfiguração da paisagem urbana (capítulo VII, artigo 23) e tem como um dos objetivos específicos: I- controlar a expansão urbana e horizontal da cidade, visando à preservação dos ambientes naturais.

São algumas das diretrizes da estratégia de uso e ocupação do solo urbano (§ 2º): I - considerar as bacias hidrográficas e espaços territoriais especialmente protegidos no planejamento da cidade; II - promover a demarcação das áreas de risco para a população. O macrozoneamento de Manaus (artigo 48) visa garantir a ocupação equilibrada do território municipal e o desenvolvimento não predatório das atividades, tendo como uma das diretrizes, o direcionamento do uso e da ocupação do território de modo a preservar a natureza. A estruturação do espaço urbano (artigo 62) visa propiciar a qualidade de vida da população, tendo como umas das diretrizes a interpretação das tendências de crescimento urbano, observando-se o uso e a ocupação diferenciados nas diversas áreas da cidade.

De acordo com o artigo 25, inciso III, são objetivos específicos da estratégia da construção da cidade: prevenir ou corrigir os efeitos gerados por situações e práticas que degradam o ambiente urbano e comprometem a qualidade de vida da população, principalmente invasões e ocupações nas margens dos cursos d'água.

2.2.2. Bacia do Educandos como Área de Especial Interesse

Em 15 de julho de 2004 foi sancionada na cidade de Manaus a Lei nº 788 (MANAUS, 2004), que dispõe sobre a instituição do perímetro de abrangência da Bacia Hidrográfica do Educandos como Área de Especial Interesse, tendo por objetivos a

melhoria da qualidade de vida da população residente no local, através do melhoramento das condições urbanísticas, habitacionais, ambientais, de saneamento, saúde e mobilidade urbana (Artigo 1º). Considera-se Áreas Especiais, porções da zona urbana situadas em zonas adensáveis ou não, com destinação específica ou normas próprias de uso e ocupação do solo, compreendendo, entre outras, as Áreas de Especial Interesse Ambiental, Social (Figura 13) e para Reestruturação Urbana (Artigo 2º).

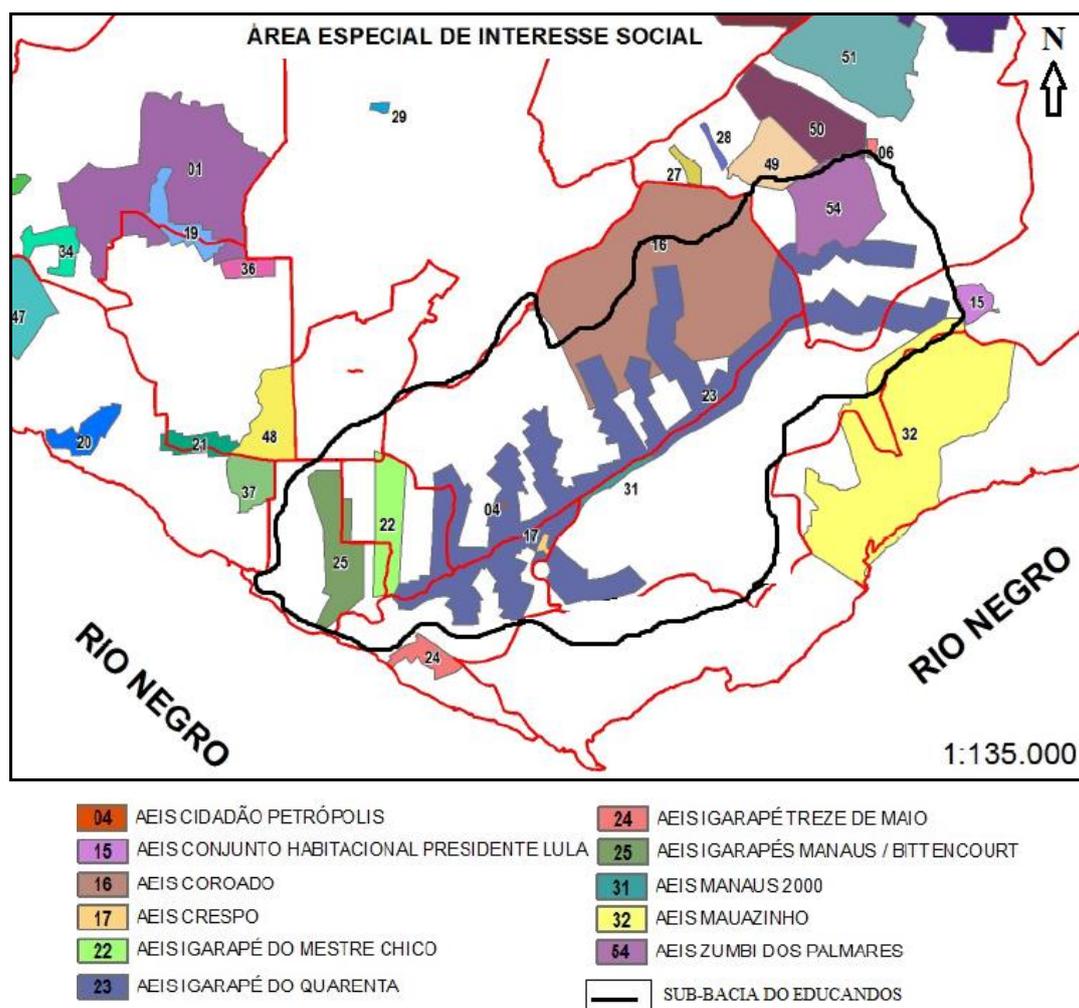


Figura 13: Áreas de Especial Interesse Social em Manaus, com destaque para a Sub-bacia do Educandos (tracejada em preto). Fonte: Plano Diretor Urbano e Ambiental de Manaus. Fonte: Modificado de SEMMAS (2013)

De acordo com o Artigo 3º, as Áreas de Especial Interesse Ambiental são subdivididas em: I) Área de Conservação Ambiental (fragmentos florestais urbanos e/ou Unidades de Conservação formalmente constituídos); II) Área de Preservação Ambiental, que por suas características de valor ecológico não pode ser utilizada (áreas de nascentes dos cursos d'água); III) Áreas de Ocupação Restrita, que por suas características geológicas/geotécnicas exigem índices e prescrições urbanísticas

diferenciadas (as encostas correspondentes ou inferiores à cota de 30 metros correspondente ao nível máximo da cheia definido na orla do Rio Negro; as que forem determinadas como de risco geológico/geotécnico; as dotadas de recobrimento vegetal que contribui para a estabilidade das encostas sujeitas à erosão e deslizamento); III) Áreas de Especial Interesse para Reestruturação Urbana (aquelas onde já existe ocupação da população de baixa renda, com ênfase para as áreas marginais aos igarapés e que necessitam de regularização jurídica e/ou urbanística, e as que vierem a ser objetivo de requalificação).

Para promover a melhoria das condições ambientais, estéticas, sanitárias e de habitabilidade na Área de Especial Interesse da Bacia Hidrográfica do Educandos, o Poder Público Executivo promoverá intervenções que visem, dentre outras: recuperação de condições favoráveis ao escoamento de águas fluviais e pluviais; recuperação e contenção de encostas, especialmente aquelas em condições de instabilidade estrutural; correção de situações de risco, ocasionadas por ocupações impróprias à habitação; promoção do saneamento básico, com a implantação de redes coletoras e estações de tratamento de esgoto; sistemas de captação, tratamento e distribuição de água potável; sistemas de coleta, transporte e destinação final de resíduos sólidos; recuperação das margens dos igarapés; recomposição ambiental e paisagística de zonas urbanas (Artigo 5º).

De acordo com o Artigo 6º, a ocupação e urbanização da Área de Especial Interesse da Bacia Hidrográfica do Educandos devem obedecer a critérios rígidos de ordenamento e controle, observadas as condicionantes e restrições de uso previstas nas leis municipais, estaduais e federais: ambientais, de parcelamento e uso do solo urbano, imobiliárias e no Plano Diretor de Manaus. A ocupação de faixas marginais dos cursos d'água, só será permitida para fins de recuperação ambiental, implantação de infraestrutura urbana e habitacional essencial à sadia qualidade de vida da população local e do entorno, tais como: proteção das encostas, sistemas de macro e micro drenagem, saneamento básico, habitações para população de baixa renda, vias de acesso, parques, áreas de lazer e desporto.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. PESQUISA E AQUISIÇÃO DE DADOS

Essa etapa compreendeu a consulta de fontes bibliográficas e aquisição de informações relevantes ao longo da pesquisa, como, métodos a serem utilizados, levantamento cartográfico das imagens, geologia local, dados relacionados à Sub-bacia do Educandos, referencial teórico e posterior interpretação dos resultados. Essas etapas estão exemplificadas no esquema abaixo (Figura 14):

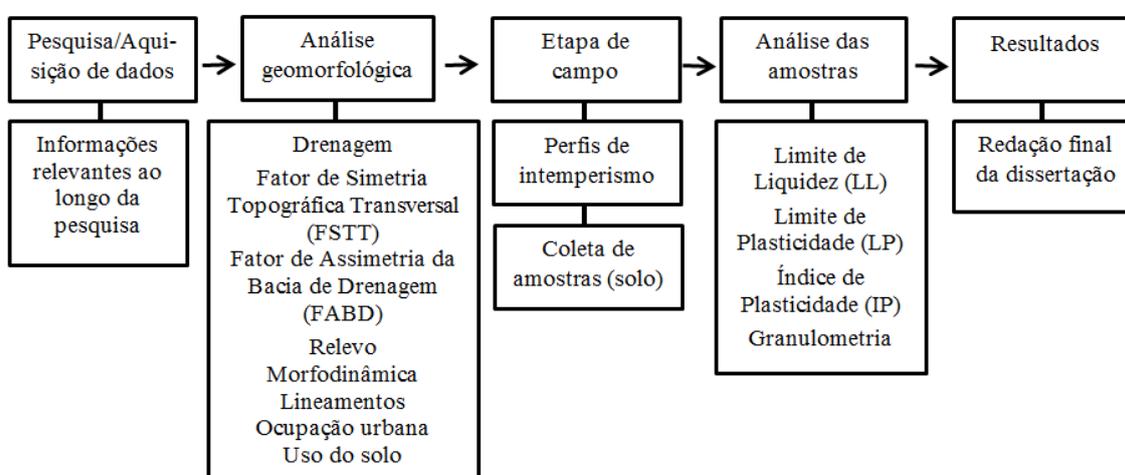


Figura 14: Esquema representativo das etapas realizadas ao longo desta pesquisa

3.2. ANÁLISE GEOMORFOLÓGICA

Compreendeu a caracterização de elementos geomorfológicos da Sub-bacia do Educandos, e para tanto, foi realizado o tratamento digital de imagens do sensor TM do satélite Landsat 5, adquiridas no site do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE). Foi realizada a composição das bandas 2, 3 e 4 (Quadro 1) para realce topográfico, correções de interferências e manipulação de modelo digital de elevação, utilizando-se programas como ENVi, ArcGIS 10.3 e Global Mapper, para extração de curvas de nível e da rede de drenagem.

Os produtos gerados foram usados na caracterização morfométrica da sub-bacia do Educandos, para determinar os parâmetros morfométricos (perímetro, área, maior eixo, linha média).

Foi realizado também o levantamento de campo de perfis de intemperismo (em locais suscetíveis à erosão) e a descrição das formas de relevo.

Quadro 1: Principais aplicações das bandas TM do satélite LANDSAT 5

BANDA TM LANDSAT 5	APLICAÇÕES
1	Estudos batimétricos. Plumas de fumaça (queimadas/atividade industrial).
2	Sedimentos em suspensão (quantidade/qualidade). Corpos de água.
3	Bom contraste entre áreas ocupadas com vegetação (solo exposto, estradas e áreas urbanas) e entre diferentes tipos de cobertura vegetal (campo, cerrado, floresta). Variação litológica. Mancha urbana. Novos loteamentos.
4	Rede de drenagem. Delimitar corpos d'água. Dossel florestal. Morfologia do terreno. Geomorfologia. Solos. Geologia. Estrutural. Áreas agrícolas.
5	Umidade das plantas.
6	Propriedades termais de rochas, solos, vegetação e água.
7	Geomorfologia, solos e geologia.

Fonte: INPE (2011)

Para a confecção do mapa de uso e ocupação do solo, foi realizada uma composição das bandas RGB (543) do satélite Landsat 5 (órbita 231, ponto 62, ano 2011) disponibilizadas no site do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE). As classes de uso do solo foram classificadas a partir das características abaixo (Quadro 2):

Quadro 2: Feições e respectivas características de uso do solo na Sub-bacia do Educandos

Feição	Características
	Vegetação: cor verde, sendo que quanto mais escuro o tom de verde mais adensada é a vegetação do local.
	Área urbana/solo impermeabilizado: cores lilás e rosa. Quanto mais escuro o tom, mais impermeável e adensada é a ocupação urbana.
	
	Solo exposto: cor branca
	Água: cor azul escuro.

Fonte: Landsat 5 (2011)

3.2.1. Ordem dos canais

A análise morfométrica de bacias hidrográficas inicia-se pela ordenação dos canais fluviais, com a finalidade de estabelecer a hierarquia fluvial (CHRISTOFOLETTI, 1980). Para a hierarquização dos canais da Bacia do Educandos foi utilizada a classificação de Strahler (1957), na qual, os menores canais, sem tributários são considerados como de primeira ordem, estendendo-se desde a nascente até a confluência; os canais de segunda ordem surgem da confluência de dois canais de

primeira ordem, e só recebem afluentes de primeira ordem; os canais de terceira ordem surgem da confluência de dois canais de segunda ordem, podendo receber afluentes de segunda e primeira ordens, e assim sucessivamente (Figura 15). O mapa foi gerado no programa ArcGIS 10.3, a partir da extração da rede de drenagem de uma imagem do Modelo Digital de Elevação (MDE) do SRTM (Shuttle Radar Topography Mission). Posteriormente foi realizada a classificação e contagem dos canais para cada ordem na bacia.

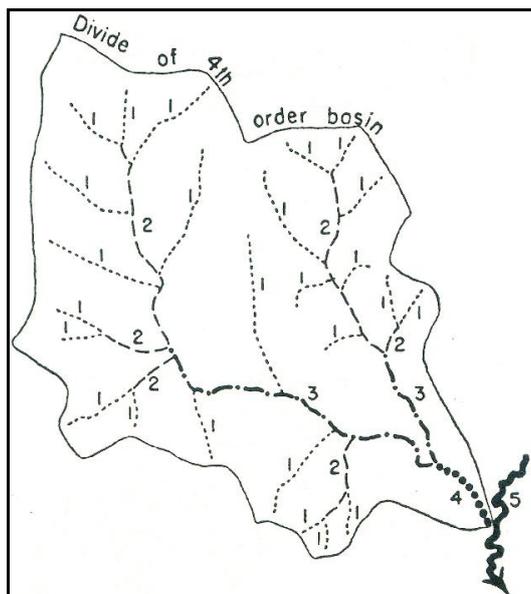


Figura 15: Método para designar a ordem dos canais de uma bacia segundo Strahler (1957)

3.2.2. Assimetria de bacia

Na Amazônia, a rede de drenagem mostra um importante papel na indicação da atividade neotectônica da região (IBANEZ & RICCOMINI, 2011), sendo observadas feições retilíneas (STENBERG, 1950) e/ou padrões anômalos (MIRANDA *et al.*, 1994) na rede de drenagem, especialmente na região da Amazônia Central.

Técnicas geomorfométricas, como a assimetria de bacia, aplicadas nos dados SRTM podem revelar informações do controle tectônico sobre a rede de drenagem, sendo requerido um modelo digital de elevação para a estimativa de parâmetros morfométricos (índices geomórficos), (IBANEZ & RICCOMINI, 2011).

O método de Fator de Simetria Topográfica Transversal (FSTT) de Cox (1994) avalia a quantidade de assimetria de um rio dentro de uma bacia e como esta assimetria varia de comprimento. Este método quantifica a direção da migração média para os canais de maiores ordens, permitindo, assim, uma discriminação entre migração de

canais como consequência de processos internos fluviais e/ou a influência de esforços tectônicos. Os valores são obtidos utilizando a relação $FSTT=Da/Dd$, onde Da é a distância da linha média da bacia até ao principal meandro ativo e Dd é a distância da linha média da bacia ao divisor da bacia (Figura 16). Os valores de FSTT próximos a 1 (onde o canal estaria sobre o limite da bacia) tendem a revelar vales fluviais assimétricos, enquanto que valores próximos a 0 representam vales fluviais simétricos, com pouco ou nenhum controle tectônico.

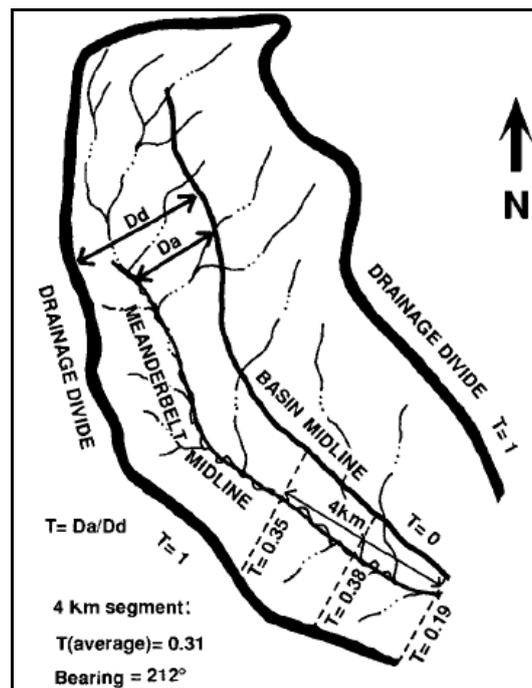


Figura 16: Método usado para calcular a assimetria de uma bacia de drenagem. Fonte: COX (1994)

Para o cálculo do Fator de Simetria Topográfico Transversal, primeiramente foi traçado o maior eixo da bacia e a partir dessa linha foram traçadas linhas perpendiculares de uma margem a outra da bacia, sendo o valor encontrado dividido por dois para achar o ponto em que $A=B$. Foram marcados assim vários desses pontos e posteriormente traçado uma linha unindo todos eles (linha média da bacia). Depois de definida a linha média da bacia, foram traçados pontos a cada 1,5 km na linha média, totalizando oito segmentos, e realizados a medição dos valores de Da e Dd para cada segmento, para achar o valor de FSST e a média desses valores na bacia.

Outro método utilizado foi o Fator de Assimetria da Bacia de Drenagem (FABD), proposto por Keller e Pinter (1996) apud Santos e Morais (2017) para detectar basculamentos tectônicos da bacia em sua totalidade. Multiplica-se por 100 a razão entre a área à direita do canal principal (A_r) e a área total da bacia (A_t), assim: $FABD =$

100 (Ar/At), onde valores encontrados muito próximos ou iguais a 50 indicam pouca ou nenhuma atividade tectônica, enquanto aqueles bem menores ou bem maiores que 50 indicam basculamentos das margens direita e esquerda, respectivamente.

3.3. ETAPA DE CAMPO

Consistiu no levantamento de perfis de intemperismo e na coleta de amostras desses perfis em distintos locais na Sub-bacia do Educandos (Tabela 2, Figura 17).

Tabela 2: Coordenadas geográficas dos pontos de campo na Sub-bacia do Educandos

Pontos de campo	Coordenadas geográficas
ED-01	03° 08' 37,11" S/ 60° 00' 53,37" W
ED-02	03° 08' 52,25" S/ 60° 00' 29,79" W
ED-03	03° 04' 57,2" S/ 59° 58' 24,1" W
ED-04	03° 05' 44,99" S/ 59° 56' 10,73" W
ED-05	03°05' 17,40" S/ 59° 55' 45,90" W
ED-06	03° 07' 13,32" S/ 59° 57' 10,69" W
ED-07	03° 07,960' S /59° 56,587' W
ED-08	03° 04' 53,98" S/ 59° 57' 19,87" W
ED-09	03° 07' 58,48" S/ 59° 56' 41,39" W
ED-10	03° 07' 17,24" S/ 59° 58' 54,56" W

O primeiro afloramento localiza-se próximo à praça na orla do Amarelinho (bairro Educandos), sendo representado por um pequeno talude. O segundo afloramento ocorre como um talude com dimensões maiores que o anterior, próximo a um depósito de areia e cascalho na orla do Educandos. O terceiro afloramento está situado no bairro Coroado, em um talude atrás do condomínio residencial Arboretto, próximo a uma unidade básica de saúde. Nessa etapa foi realizada a descrição dos perfis com relação à textura, coloração, estruturas, espessura dos horizontes, e foram coletadas oito amostras representativas dos perfis de intemperismo.

A segunda etapa de campo ocorreu na área do Distrito Industrial de Manaus, sendo dois afloramentos na Avenida dos Oitis e o terceiro na Avenida Solimões. Nessa etapa foi realizada tanto a descrição e coleta de amostras de taludes como também a sondagem a trado. A terceira etapa de campo ocorreu às margens da BR-319, próximo ao Porto da Ceasa e do Posto da Polícia Rodoviária Federal, onde ocorre uma voçoroca com dois ramos, um ativo e outro inativo, próximo a um local atual de invasão de terras, onde estão sendo construídas moradias sem planejamento. Foram coletadas duas

amostras da base do perfil de intemperismo neste local. A quarta etapa ocorreu em um talude próximo a Avenida Autaz Mirim e em um local próximo ao ponto ED-07.

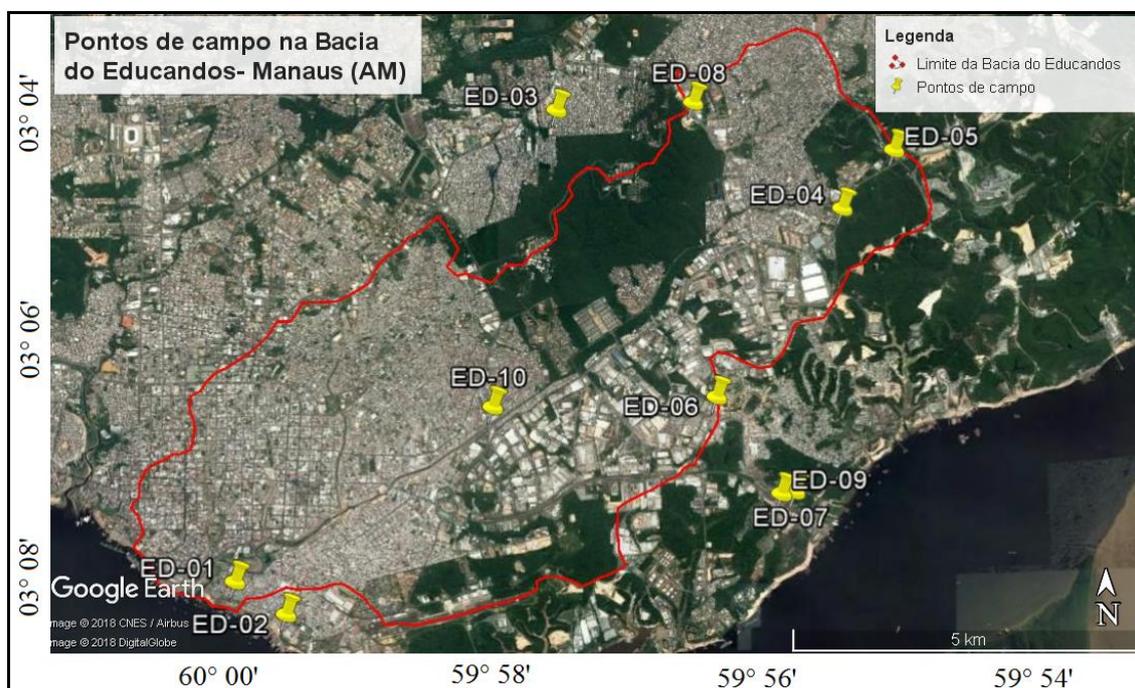


Figura 17: Pontos de campo estudados na Sub-bacia do Educandos- Manaus (AM). Google Earth (2018)

3.3.1. Sondagem a trado

A sondagem a trado manual representa um método de investigação de solos que utiliza como instrumento o trado: um tipo de amostrador de solo constituído por lâminas cortantes, que podem ser espiraladas (trado helicoidal ou espiral) ou convexas (trado concha ou cavadeira). Tem por finalidade a coleta de amostras deformadas para a execução de ensaios de laboratório, determinação de profundidade do nível d'água e identificação dos horizontes do terreno (DEINFRA, 1994). Este trabalho foi realizado de acordo com a norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas (NBR 9603:1986).

3.4. ANÁLISES DAS AMOSTRAS

No início do século XX, um cientista sueco chamado Atterberg desenvolveu um método para descrever a consistência de solos granulares finos com teores de umidade variados. Com teores de umidade muito baixos, o solo se comporta como sólido. Quando o teor de umidade é muito alto, o solo e a água podem fluir como um líquido.

Portanto, dependendo do teor de umidade, o comportamento do solo pode ser dividido em quatro estados básicos: sólido, semissólido, plástico e líquido. O teor de umidade no ponto de transição do estado semissólido para o estado plástico é o limite de plasticidade, e do estado plástico para o líquido é o limite de liquidez (BRAJA, 2011). Esses parâmetros também são conhecidos como Limites de Atterberg e foram utilizados neste trabalho.

3.4.1. Ensaio mecânicos em solos - Procedimento analítico em laboratório

Para a realização dos ensaios de granulometria, limite de liquidez e plasticidade, foram utilizados os seguintes equipamentos e materiais (Figura 18): almofariz e pistilo; aparelho de Casagrande; balança eletrônica analítica digital Quimis (Q500L210C) com precisão de 0,1 miligramas (mg); balança semianalítica Solotest Gehaka (BG 4000) com precisão de 0,1 mg; bandejas de alumínio; cápsulas de alumínio; desumidificador; estufa; conjunto de peneiras (1), com aberturas de 10, 40, 100 e 200; conjunto de peneiras (2), com aberturas de 16, 30, 40, 50, 100, 200; conjunto de peneiras (3), com aberturas de 3/8", 4 e 10; placa de vidro esmerilhada, cinzel, espátula e gabarito.

O conjunto de peneiras (1) foi utilizado para a separação de material para as análises de limite de liquidez, limite de plasticidade e granulometria. O conjunto de peneiras (2) foi utilizado para o peneiramento de finos, e o conjunto (3), para o peneiramento de grossos. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Pavimentação da Faculdade de Tecnologia (FT) da Universidade Federal do Amazonas.



Figura 18: Materiais utilizados nas análises de liquidez, plasticidade e granulometria das amostras de solo, (continua)



Figura 18 (continuação): Materiais utilizados nas análises de liquidez, plasticidade e granulometria das amostras de solo

3.4.2. Análise granulométrica do solo e tamanho das partículas

Segundo as dimensões das suas partículas, as frações constituintes dos solos recebem designações próprias, que de acordo com a escala granulométrica brasileira (ABNT) são (em milímetros- mm): pedregulho (76-4,8 mm); areia (4,8-0,5 mm); silte (0,05-0,005 mm) e argila (inferior a 0,005 mm). Pedregulhos são pedaços de rochas com partículas de quartzo, feldspato e outros minerais. Partículas de areia são constituídas principalmente por quartzo e feldspato. Siltes são frações de solo microscópicas de grãos de quartzo bem refinados e algumas partículas em forma de placas (fragmentos de minerais micáceos). Argilas são formadas principalmente por partículas lamelares, microscópicas e submicroscópicas de mica, argilominerais e outros minerais (BRAJA, 2011).

Segundo a forma da curva no gráfico (Figura 19) podemos diferenciar o comportamento da granulometria, sendo contínua (curva A) ou descontínua (curva B); uniforme (curva C); bem graduada (curva A) ou mal graduada, conforme presente, ou não, um predomínio das frações grossas e suficiente porcentagem das frações finas (CAPUTO, 1988). A análise granulométrica do solo é a determinação do tamanho das

partículas presentes em um solo, expressa como uma porcentagem do peso seco total, de acordo com a norma NBR 7181:1984 da ABNT. Neste trabalho, foi realizado o ensaio de peneiramento (para partículas com diâmetros maiores que 0,075 mm).

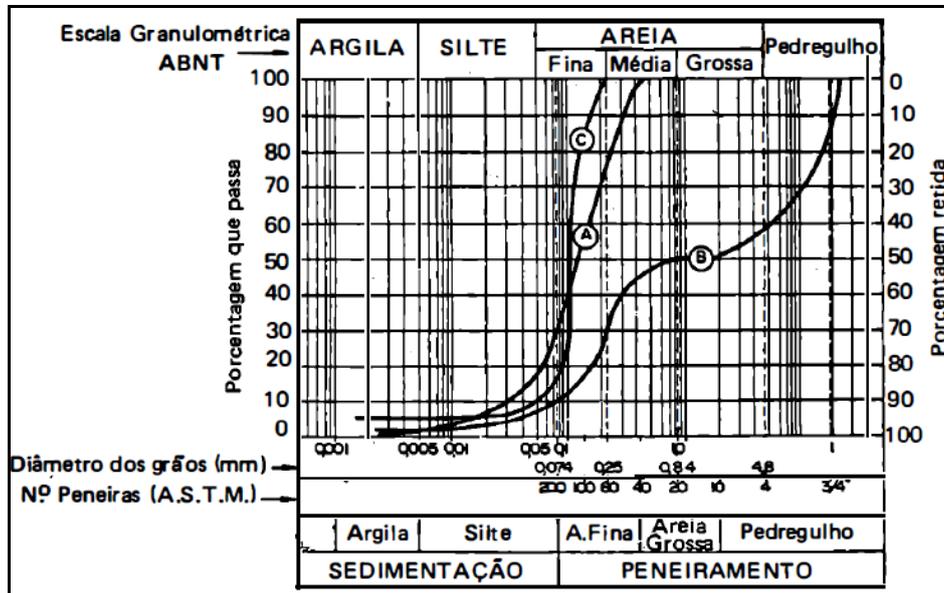


Figura 19: Escala granulométrica ABNT *apud* CAPUTO (1988)

3.4.3. Ensaio de peneiramento

O ensaio de peneiramento consiste em agitar uma amostra do solo em um conjunto de peneiras que possuem furos progressivamente menores.

Este ensaio compreendeu as seguintes etapas (Figura 20): a) primeiramente as amostras de solo foram colocadas em bandejas para secar por 48 horas e só então foi realizada a pesagem destas na balança semianalítica (BG 4000), correspondendo à massa da amostra seca ao ar (M_t), sendo estas em seguida destorroadas no almofariz com auxílio do pistilo, até que os torrões se desfizessem em partículas pequenas; b) esse material foi colocado na peneira 10 e agitado manualmente; c) o material grosso retido foi lavado e colocado em recipientes de alumínio; d) o material passante foi colocado em duas cápsulas de alumínio para cada amostra e então pesadas na balança eletrônica digital. Essas cápsulas foram colocadas na estufa (105°C), permanecendo por 24 horas. Após esse período, as 16 cápsulas foram pesadas novamente; e) com o restante da amostra, foi pesada uma quantidade de 300 gramas para ser lavado na peneira 200 e o material fino restante foi colocado na estufa; f) o restante do material foi colocado na peneira 40 e agitado novamente, e o que passou foi coletado e utilizado nas análises de limite de liquidez e limite de plasticidade.



Figura 20: Etapas da análise granulométrica

As amostras de sedimentos grossos e finos citados anteriormente (itens c, e) foram então peneiradas em peneiras com abertura de malha de tamanho decrescente (Tabela 3), do topo para a base. Primeiramente foi realizado o peneiramento de finos, onde foram utilizadas seis peneiras, em ordem da peneira n°16 no topo para a n° 200 na base, e para a análise de grossos foram utilizadas três peneiras. Para cada peneira foi realizada a pesagem do material retido.

Tabela 3: Número das peneiras (e aberturas) utilizadas na análise granulométrica

N° da peneira	Abertura (mm)	N° da peneira	Abertura (mm)	N° peneira	Abertura (mm)
16	1,19	50	0,30	3/8	9,5
30	0,59	100	0,149	4	4,76
40	0,42	200	0,075	10	2,00

Fonte: ABNT (1986)

A porcentagem passante em cada peneira foi calculada, e os cálculos foram registrados em gráfico semilogarítmico, com a porcentagem passante indicada na ordenada do gráfico (escala aritmética) e o tamanho da abertura da peneira, na abscissa (escala logarítmica). Esse registro é chamado de curva de distribuição granulométrica.

3.5. PLASTICIDADE E ESTRUTURA DO SOLO

3.5.1. Limite de Liquidez (LL)

É definido como a umidade abaixo da qual o solo se comporta como material plástico (umidade de transição entre os estados líquido e plástico do solo), (Figura 21). Experimentalmente, corresponde ao teor de umidade com que o solo fecha certa ranhura sob o impacto de 25 golpes do Aparelho de Casagrande. O Limite de Liquidez é regido pela norma NBR 6459:1984.

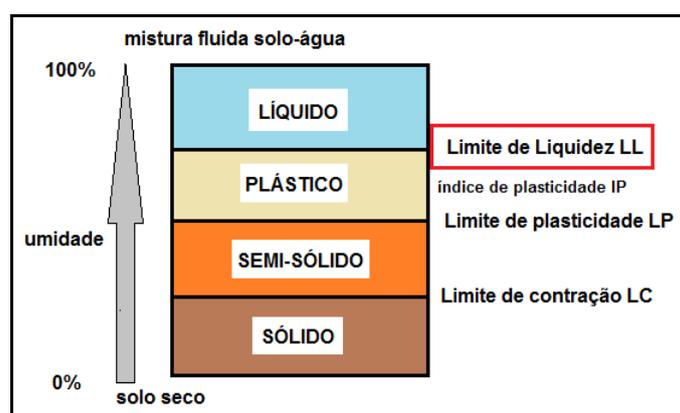


Figura 21: Limites de Atterberg (Limite de Liquidez). Fonte: Modificado de ABNT (1984)

A realização do ensaio de Limite de Liquidez ocorreu do seguinte modo: a) primeiramente foram pesados 70 gramas (g) de cada amostra, anteriormente separadas na peneira 40; b) essa quantidade foi colocada no almofariz e adicionado água destilada e misturada com a espátula, até que se obtivesse uma pasta homogênea; c) uma parte dessa mistura foi colocada na concha do Aparelho de Casagrande (Figura 22), e com auxílio do cinzel foi feita uma ranhura de 2 mm na parte central, dividindo a amostra em duas; d) então, a concha foi golpeada contra a base do aparelho, deixando-a cair em queda livre, girando a manivela à razão de duas voltas por segundo, e anotado o número de golpes necessários para unir as bordas inferiores da ranhura; e) o material das bordas que se uniram foi retirado e colocado em uma cápsula de alumínio, pesado na balança e colocado na estufa; f) o restante da amostra foi transferida para o almofariz e adicionado 2 mililitros (ml) de água destilada e amassada novamente; g) essa mistura foi colocada novamente no aparelho de Casagrande (etapa c) e repetido as etapas d, e, f mais quatro vezes, obtendo-se assim cinco cápsulas para cada amostra.

Com os resultados obtidos, foi construído um gráfico (Figura 23) no qual as ordenadas (escala logarítmica) são os números de golpes e as abscissas (escala

aritmética) representam os teores de umidade correspondentes, e assim, obtido uma reta com o teor de umidade correspondente a 25 golpes, que é o Limite de Liquidez do solo.

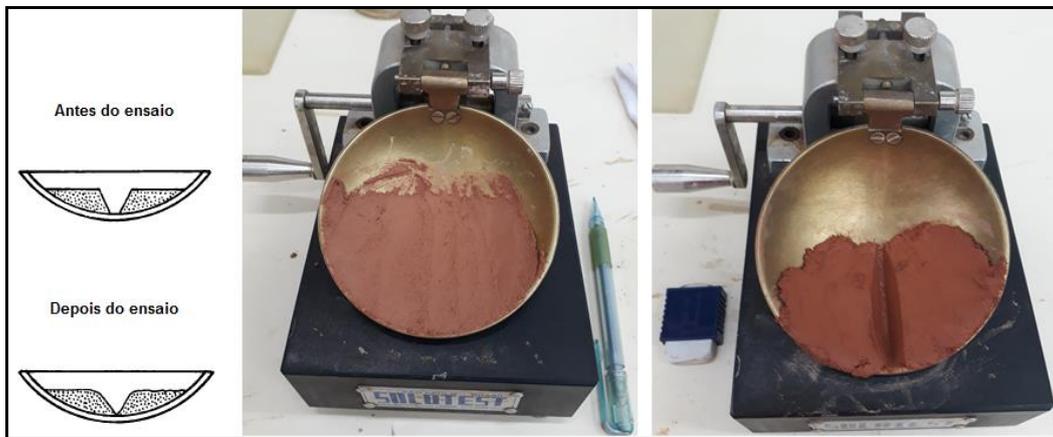


Figura 22: Representação da ranhura na amostra de solo antes e depois do ensaio de liquidez (figura esquerda). Fonte: Caputo (1988). Aparelho de Casagrande com amostra de solo antes e depois da ranhura com cinzel (figura direita)

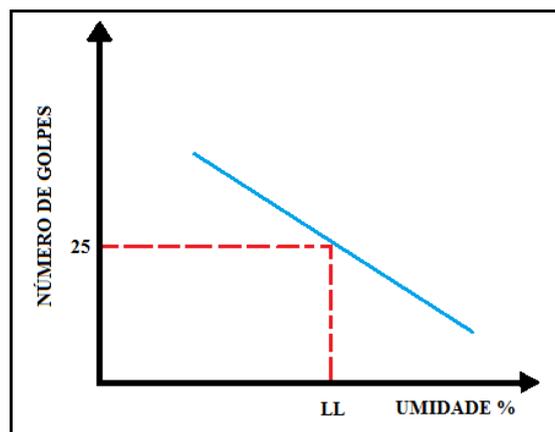


Figura 23: Gráfico representando o Limite de Liquidez (LL). Fonte: Modificado de Braja (2011)

3.5.2. Limite de Plasticidade (LP)

A plasticidade é a propriedade que as argilas possuem de se tornarem uma massa plástica quando contém certa quantidade de água (BRAJA, 2011).

O Limite de Plasticidade (Figura 24) é o limite inferior do intervalo plástico do solo, e é definido como o percentual de teor de umidade no qual o solo colapsa, quando moldados fios com 3,2 mm de diâmetro. O Limite de Plasticidade é regido pela norma NBR 7180/ABNT. O índice de plasticidade dos solos é obtido utilizando-se a expressão: $IP = LL - LP$, onde: IP = índice de plasticidade; LL = limite de liquidez; LP = limite de plasticidade. O índice de plasticidade é importante na classificação de solos granulares finos e fundamental para o gráfico de plasticidade de Casagrande.

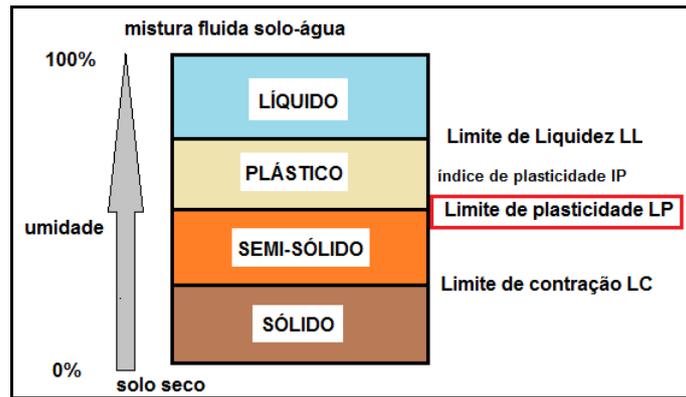


Figura 24: Limites de Atterberg (Limite de Plasticidade). Fonte: Modificado de ABNT (1984)

O ensaio de Limite de Plasticidade (Figura 25) foi realizado com a mesma amostra preparada para o ensaio de limite de liquidez, e ocorreu da seguinte maneira: a) foi utilizada uma pequena quantidade de amostra de solo (10 gramas), a qual foi rolada com a palma da mão sobre a placa de vidro, até que se obtivesse a forma de um cilindro com aproximadamente 3 mm de diâmetro e comprimento de 10 cm; b) quando a amostra apresentou fissuras ou se fragmentou, esta foi transferida para uma cápsula de alumínio e pesada na balança digital e posteriormente colocada na estufa; c) após ser retirada da estufa foi pesada novamente para a determinação da umidade da amostra. Posteriormente foi calculado o índice de plasticidade das amostras (Tabela 4), a partir da fórmula: $IP = LL - LP$.



Figura 25: A) rolagem da massa de solo em uma placa de vidro para determinação do LP; B) fissura na amostra de solo (destacado em vermelho); C) cápsulas com cilindros das amostras analisadas

Tabela 4: Índice de Plasticidade (IP)

IP	Descrição	IP	Descrição
0	Não plástico	10-20	Plasticidade média
1-5	Ligeiramente plástico	20-40	Plasticidade alta
5-10	Plasticidade baixa	>40	Plasticidade muito alta

Fonte: Braja (2011)

4. CONTEXTO GEOLÓGICO

A cidade de Manaus está situada no contexto geológico da Bacia Paleozóica do Amazonas (Figura 26), localizada entre os Escudos das Guianas, a norte, e do Brasil Central, ao sul. A Bacia ou Sinéclise do Amazonas é uma estrutura intracratônica com direção WSW-ENE e cerca de 500.000 km² de extensão (NEVES, 1990), abrangendo parte dos estados do Amazonas e Pará, separando-se a leste da bacia do Marajó através do arco de Gurupá, e a oeste da Bacia do Solimões pelo Arco de Purus (CUNHA *et al.*, 2007).

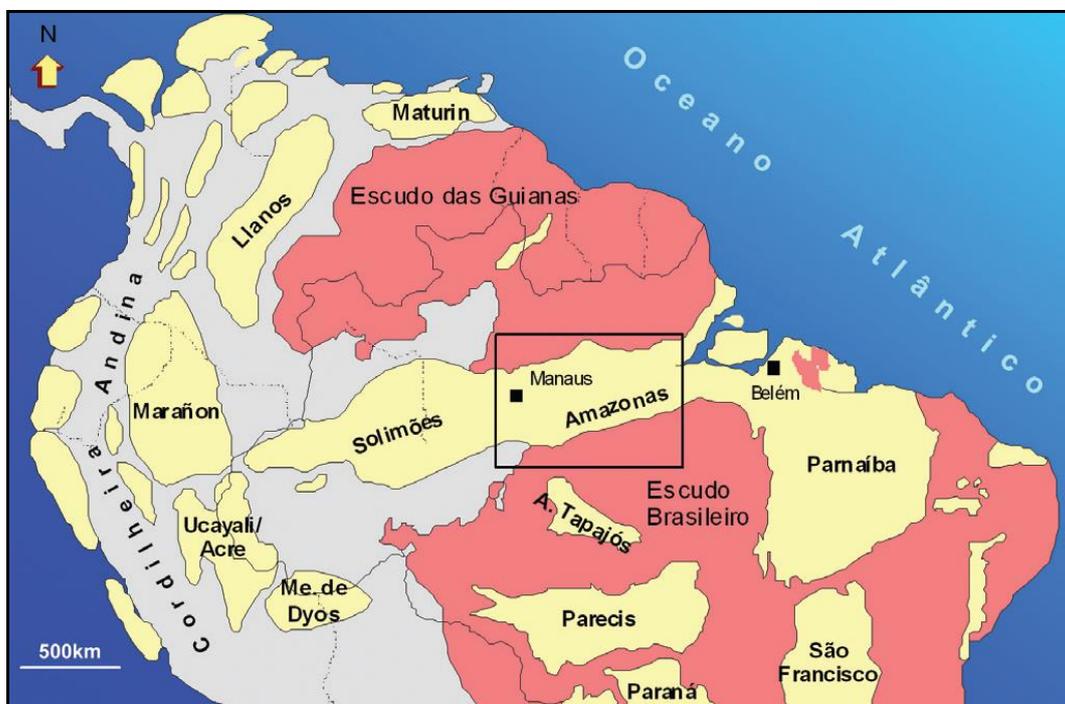


Figura 26: Bacias sedimentares da região setentrional da América do Sul, com destaque para a Bacia do Amazonas. Fonte: MATSUDA *et al.*, 2010

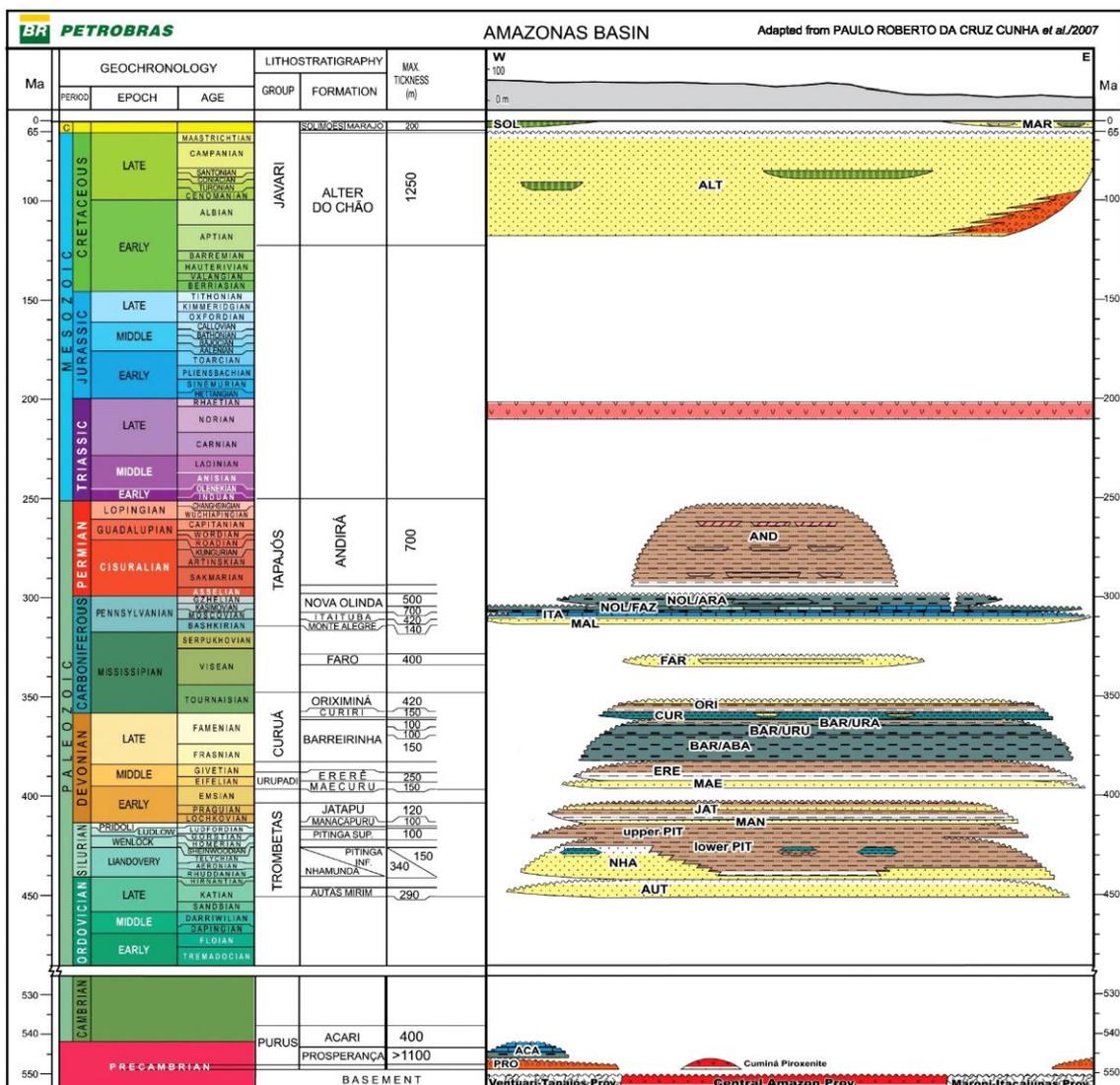
4.1. ESTRATIGRAFIA DA BACIA DO AMAZONAS

O substrato da Bacia do Amazonas é composto por rochas granito-gnáissicas e vulcano-sedimentares da Província Amazônia Central (CORDANI *et al.*, 1984; TASSINARI *et al.*, 2000) sobrepostos por depósitos tafrogênicos das formações Prosperança e Acari, pertencentes ao Grupo Purus.

O arcabouço estratigráfico da Bacia do Amazonas (Figura 27) apresenta duas megassequências de primeira ordem, que totalizam cerca de 5.000 metros de preenchimento sedimentar e ígneo. São elas: uma *paleozoica*, constituída por rochas

sedimentares de naturezas variadas, intrudidas por diques e soleiras de diabásio mesozoicos, e uma *mesozoico-cenozoica* sedimentar. A megassequência paleozoica pode ser dividida em quatro sequências de segunda ordem, designadas como sequências Ordovício-Devoniana, Devono-Tournaisiana, Neoviseana e Pensilvaniano-Permiana (CUNHA *et al.*, 2007).

Após a atuação de esforços compressivos, ocorreu um relaxamento tectônico seguido da implantação de novos ciclos deposicionais representados pela outra unidade de primeira ordem da bacia, denominada Megassequência Mesozoico-Cenozoica, constituída pelas sequências Cretácea e Neógena (CUNHA *et al.*, 2007).



4.1.1. Sequência Cretáceo-Neógena

Os processos de abertura do Oceano Atlântico e subducção na porção andina promoveram nessa região uma reativação tectônica denominada Diastrofismo Juruá (CAMPOS & TEIXEIRA, 1988), que resultou na deposição da Sequência Cretácea-Neógena na porção ocidental da Amazônia. Essa sequência é constituída pelo Grupo Javari (EIRAS *et al.*, 1994; CUNHA *et al.*, 1994), representado pelas formações Alter do Chão, Solimões e Marajó (CUNHA *et al.*, 2007).

4.1.1.1. Formação Alter do Chão

Na cidade de Manaus aflora está formação, caracterizada por rochas sedimentares siliciclásticas, a qual foi primeiramente definida por Kistler (1954) na região de Alter do Chão, no Pará, como sendo composta de arenitos avermelhados, argilitos, conglomerados e brechas intraformacionais, atribuídos a sistemas fluvial e lacustre/deltaico (DAEMON, 1975). Segundo Cunha *et al.*, (1994), no Neocretáceo instalou-se um sistema fluvial arenoso de alta energia, atuante até o Neogeno e estendendo-se até as bacias subandinas, e que resultou na deposição de sedimentos que geraram essa formação.

A idade da Formação Alter do Chão foi admitida entre o Cretáceo e o Paleógeno, mas a partir de palinomorfos, Dino *et al.*, (1999) posicionaram esta unidade no intervalo Aptiano-Cenomaniano (Cretáceo) e atribuíram como arenosa a sucessão inferior, apresentando ciclos de sedimentação relacionados a ambientes fluviais anastomosados com retrabalhamento eólico e como pelítica a sucessão superior, relacionada a ambiente progradacional flúvio-deltáico.

Aguiar *et al.*, (2002) a partir do estudo de 400 poços tubulares na região de Manaus, individualizaram para a Formação Alter do Chão quatro fácies sedimentares: argilosa, areno-argilosa, arenosa e “Arenito Manaus”. Em seção, estas ocorrem como camadas subhorizontalizadas e com disposição lenticular. A litologia argilosa ocorre na porção superior da formação, representando em planta quase 70% da área da cidade.

A interpretação de um furo de sonda profundo (1500 metros) realizado pela Petrobrás, 20 km ao norte de Manaus permitiu o estabelecimento da seguinte estratigrafia para essa região (da base para o topo): embasamento vulcânico (2100 m- ?), Formação Prosperança (2100-1780 m), Formação Trombetas (1780-1265 m), Formação Maecuru (1265-1106 m), Formação Curuá (1106-958 m), Formação Monte Alegre

(958-934 m), Formação Itaituba (934-574 m), Formação Nova Olinda (574-200 m) e Formação Alter do Chão (200-0 m), (AGUIAR *et al.*, 2002).

Na região de Manaus, as exposições da Formação Alter do Chão consistem em depósitos de canal fluvial, compostos por conglomerados e arenitos contendo estratificação cruzada acanalada, cruzada tabular e plano-paralela, e em depósitos de planície de inundação, caracterizada por arenitos finos com laminação plano-paralela e cruzada, estratificação cruzada tabular, intercalados por lamitos bioturbados (SARGES, 2007).

4.1.1.2. Formação Novo Remanso

A Formação Novo Remanso está sobreposta pela Formação Alter do Chão e limitada por paleossolos lateríticos ferruginosos e recoberta por sedimentos quaternários (Figura 28), (ROZO *et al.*, 2005).

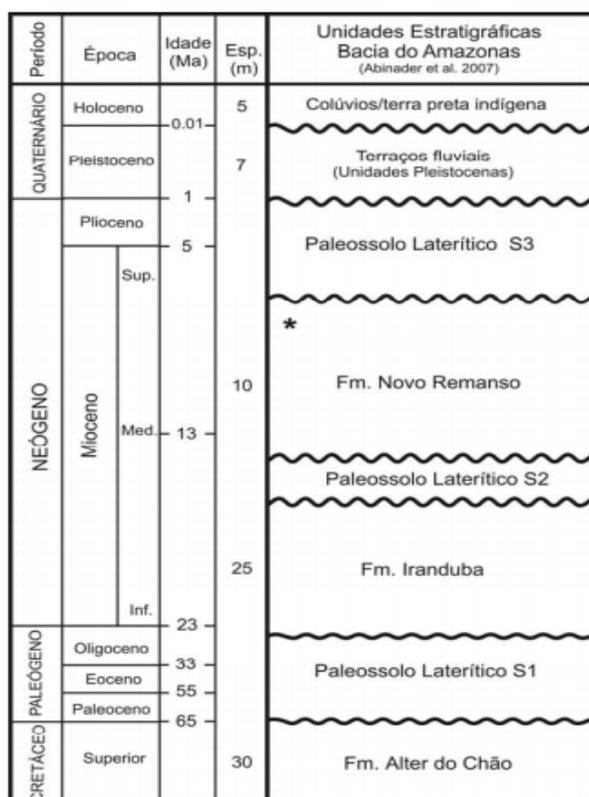


Figura 28: Arcabouço estratigráfico com as principais unidades sedimentares e superfícies estratigráficas (paleossolos lateríticos S1, S2 e S3). * indica a idade obtida por DINO *et al.*, (2006) com base em palinomorfos do Mioceno Médio a Superior. Fonte: Abinader (2008)

Estudos feitos a partir da análise de material orgânico (palinomorfos) encontrados em camadas de argilas cinza na Formação Novo Remanso, município de Manacapuru, indicam uma idade do Mioceno Médio a Superior para esses depósitos

(DINO *et al.*, 2006), sendo constituídos, da base para o topo, por conglomerados formados por seixos de quartzo angulosos a sub-angulosos suportados em matriz arenosa e ferruginosa; arenitos grossos/médios, conglomeráticos, ferruginosos, lenticulares, ricos em estratificações cruzadas tabulares e/ou acanaladas, em cujos sets despontam estruturas encurvadas formadas por processos diagenéticos, que intercalam-se a níveis de argilito avermelhado e róseo. O argilito se transforma em argila variegada/avermelhada e creme na zona mosqueada do perfil laterítico, a qual é recoberta por laterito ferruginoso nodular, cavernoso ou colunar. Leques aluviais ou depósitos de canais fluviais e de planície de inundação são postulados (ROZO *et al.*, 2005).

4.2. UNIDADES CENOZOICAS

Segundo Sarges (2007), a Formação Alter do Chão representa o embasamento sobre o qual foram depositados sedimentos aluviais e coluviais durante o Cenozoico, destacando-se a ocorrência de perfis lateríticos e solos sobre o topo dessa formação, com ampla distribuição na região de Manaus, o que evidencia o intenso intemperismo atuante.

4.2.1. Coberturas Neógenas e Quaternárias

Os depósitos cenozoicos compreendem as coberturas modernas e os depósitos aluviais ao longo do sistema fluvial da região. Comumente, o material que recobre os sedimentos da Bacia do Amazonas tem recebido diversas designações pedogenéticas, como: pedimentos, paleopavimentos, cobertura detrito-laterítica ou cobertura latossólica (COSTA *et al.*, 1978), sendo denominado em mapas de solo (IBGE, 1991) como cobertura argilo-arenosa amarela (manto de intemperismo) ou, ainda, latossólico amarelo, que apresenta espessura da ordem de 20 metros. Esse material argilo-arenoso amarelo que se distribui na região de Manaus tem sido interpretado como horizonte laterítico por Costa (1991), Fernandes Filho (1996), Horbe & Costa (1997).

A origem dos latossolos ainda é discutida, mas as principais idéias são: 1) resultante da erosão e transporte de solos de perfis lateríticos (TRUCKENBRODT & KOTSCHOUBEY, 1981); 2) derivado da alteração *in situ* da Formação Alter do Chão (CHAUVEL *et al.*, 1982); 3) gerados pelos processos de saprolitização e argilização durante a lateritização, a partir de evidências geoquímicas de autoctonia (HORBE & COSTA 1999, 2004).

4.2.2. Depósitos Quaternários aluviais

Os depósitos quaternários na região de Manaus estão associados ao sistema da planície aluvial do Rio Amazonas e seus afluentes. Consistem de sedimentos arenosos e argilosos depositados em diques marginais, depósitos de canais e de barras de meandros, barras ativas, depósitos de planície de inundação, depósito de rompimento de dique, terraços aluviais, depósitos em meandros abandonados e lagos, conforme Nascimento *et al.* (1976), Costa *et al.* (1978).

4.3. PERFIS LATERÍTICOS

A alternância climática de condições mais úmidas e secas propiciou o desenvolvimento de perfis lateríticos que sustentam os platôs desde o início do Neogeno. Esses perfis foram desenvolvidos sobre rochas siliciclásticas da Formação Alter do Chão e caracterizam-se pela presença dos horizontes mosqueado (base), ferruginoso, aluminoso e latossolo no topo (HORBE *et al.*, 2001). Costa (1991) dividiu esses perfis lateríticos em maduros e imaturos (Figura 29), de acordo com o grau de evolução e natureza dos perfis. Assim, crostas lateríticas maduras correspondem a perfis mais evoluídos e complexos, formados no Eoceno-Oligoceno, enquanto as imaturas apresentam baixo grau de evolução, desenvolvendo-se no Pleistoceno.

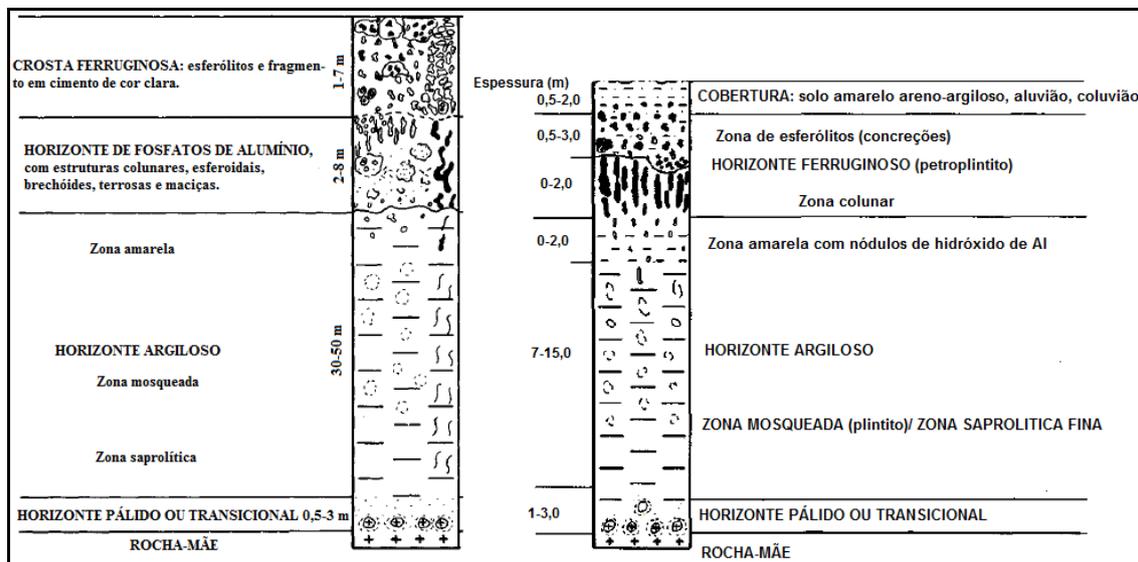


Figura 29: Perfil geológico simplificado de lateritos maduros e imaturos na Amazônia. Fonte: Modificado de Costa (1991)

Segundo Fernandes Filho *et al.*, (1997), na região de Manaus foram caracterizados perfis lateríticos estruturados em horizontes bem definidos, expostos em

cortes de estrada e com espessura de 3 a 20 metros, divididos em perfis imaturos autóctones e alóctones, formados respectivamente pelos horizontes transicional, argiloso, ferruginoso, esferolítico, linha de pedra e solo. A constituição mineralógica dos lateritos compreende caulinita, quartzo, goethita, goethita aluminosa, hematita, gibbsita, anatásio e rutilo, cuja porcentagem varia para cada horizonte. O horizonte solo é composto por um material argiloso a areno-argiloso de cor amarela com espessura variando de menos de um metro até dezenas de metros e ocorre de maneira contínua ao longo dos perfis. Segundo este mesmo autor, as crostas ferruginosas na região de Manaus apresentam espessura entre 0,5 e 3,5 metros, são porosas, maciças, colunares, localmente protopsilítica, avermelhadas a marrons e compostas basicamente por hematita e, em menor quantidade goethita.

Horbe (2014), a partir de estudos paleomagnéticos em crostas lateríticas na Amazônia, atestou uma idade de 10 milhões de anos para estas crostas ferruginosas sobre a Formação Alter do Chão em Manaus.

Nos terrenos da Sub-bacia do Educandos são observados perfis lateríticos imaturos alóctones. Podem ser descritos da base para o topo: o litotipo arenito fino do Alter do Chão, de coloração branca a amarelada, com laminação plano-paralela; horizonte de transição, ainda guardando uma laminação incipiente; horizonte argiloso, sem estrutura; linha de pedra de espessura centimétrica; e um horizonte do latossolo de coloração creme a amarelada (EPIA, 2004).

Fernandes Filho (1996), estudando a evolução estrutural dos perfis lateríticos, descreveu quatro eventos que afetaram a região de Manaus: I) esforços compressivos, provavelmente no Mioceno, identificados por falhas inversas NE-SW e dobras com eixo NE-SW, que afetaram as rochas da Formação Alter do Chão e os perfis lateríticos maduros, provocando a erosão destes perfis imposta por um soerguimento regional; II) uma estabilidade tectônica no período do Plioceno ao Pleistoceno Inferior que permitiu o desenvolvimento do perfil laterítico imaturo; III) um evento de movimentação no Pleistoceno Médio a Superior, com falhas transcorrentes dextrais E-W e NE-SW e falhas normais NW-SE, que gera uma compartimentação da região em blocos deprimidos e soerguidos, sendo nestes últimos, destruídos os perfis lateríticos imaturos autóctones e estabelecidas as linhas de pedra; IV) e uma última movimentação, no final do Pleistoceno Superior e/ou Holoceno, que gerou falhamentos nas linhas de pedras de direção NE-SW.

O sistema de drenagem na região de Manaus se relaciona a controle estrutural (Figura 30) associado a um sistema transcorrente dextral com estruturas de caráter conjugado, de tipo sintéticas tensivas representando as estruturas NW-SE e estruturas antitéticas de tipo compressivas orientadas NE-SW (SENA COSTA *et al.*, 1996).

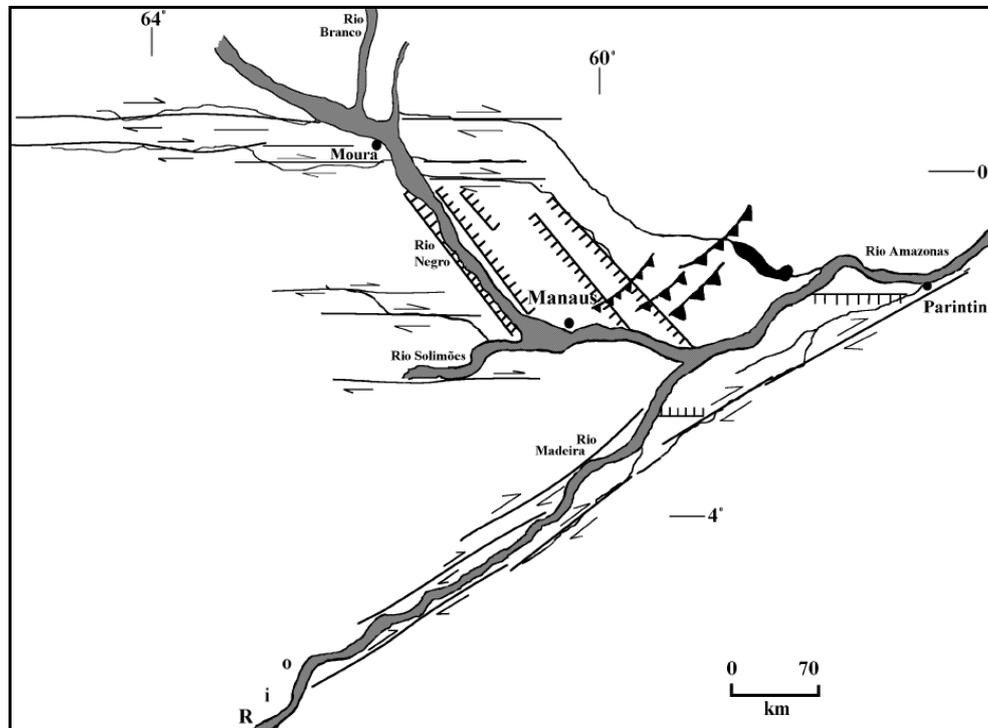


Figura 30: Modelo de cisalhamento transcorrente que controla o padrão de drenagem da região de Manaus. Fonte: SENA COSTA *et al.*, (1996)

5. RESULTADOS

5.1. PERFIL DE INTEMPERISMO NA SUB-BACIA DO EDUCANDOS

O relevo da Sub-bacia do Educandos resulta do processo de incisão vertical de saprólito residual que alcança até 10 metros (m) de espessura. Este saprólito é produto da alteração química de sedimentos siliciclásticos não consolidados, finamente estratificados empilhados em coluna de até 20 m de espessura, observado em perfil da Feira da Panair (foz do Igarapé Educandos no Rio Negro), nas instalações da Polícia Rodoviária Federal (Porto da Ceasa), em talude da Avenida Buriti (Distrito Industrial), próximo do condomínio Eliza Miranda, na Avenida Grande Circular atrás da maternidade Ana Braga e atrás do condomínio Arboretto no bairro Coroado.

O perfil de intemperismo exhibe três principais características descritas em função do horizonte B (mais desenvolvido): a) perfil de intemperismo bem desenvolvido, com mais de 5 m de espessura, cor amarelada e textura argilosa, limitado por horizontes de areia para a base e baixa consistência nos horizontes inferiores, comum nas encostas de vales; b) perfil de cor amarela a vermelho-amarelado, textura silto-argilosa a silto-arenosa com horizonte B de até 2 m de espessura; c) perfil de solo com horizonte B nodular, consistência porosa, dura, drenagem moderada, onde na fração areia predominam quartzo, nódulos ferruginosos restritos para a base, e agregados de fragmentos com textura argilosa.

O perfil de intemperismo na sub-bacia apresenta duas características, conforme localização na baixa ou alta bacia (Figura 31), que são descritas a seguir usando como referência os locais da amostragem ED-02 e ED-03 respectivamente:

a) Na parte baixa da bacia, ponto de amostragem ED-01, ocorre horizonte Ao de aproximadamente 20-30 centímetros (cm) de espessura, cinza escuro, com restos de material vegetal, raízes e material inorgânico de textura argilo-limosa, compacto, duro.

b) Horizonte E de lixiviação amarelo claro de 40 a 60 cm de espessura, limites transicionais, textura argilo-limosa, compacto, seco, quando exposto exhibe fraturas de tração verticais. Horizonte B de 2,8 a 3,2 m de espessura, com limites difusos, textura limo-arenosa a argilo-arenosa, marrom claro a avermelhado. Apresenta para a base concreções nodulares de ferro, produto de laterização desmantelada ou horizonte laterítico cavernoso vertical, variando de 0,80 a 1,2 metros de espessura.

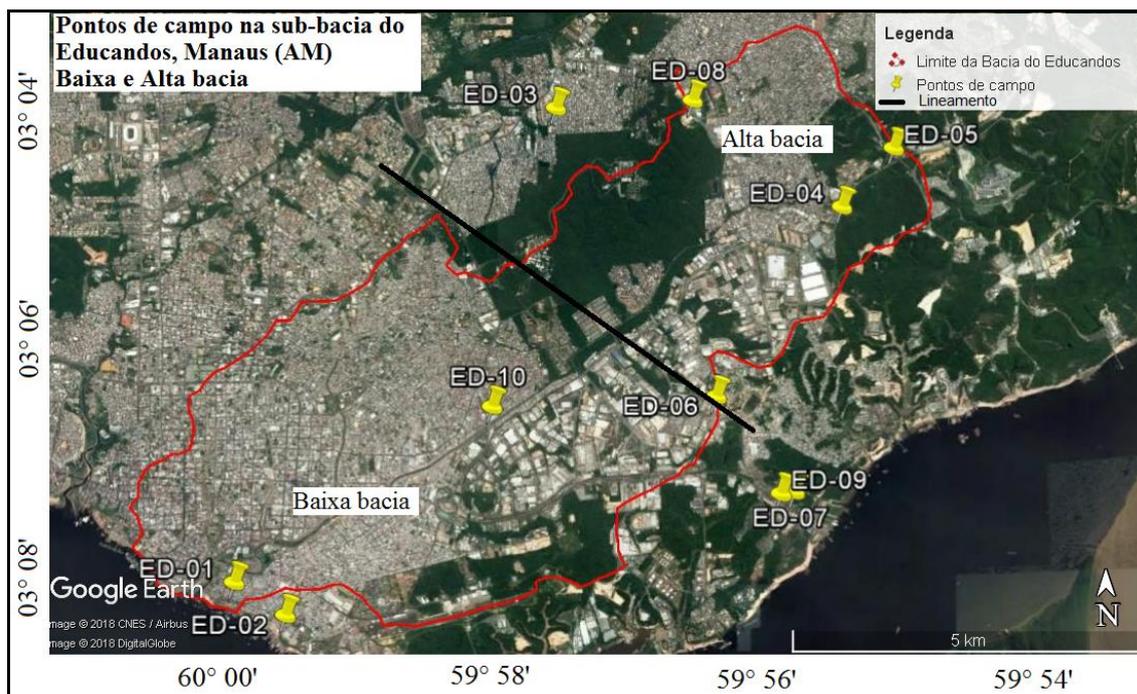


Figura 31: Pontos de campo na baixa e alta Sub-bacia do Educandos- Manaus (AM). Google Earth (2018)

c) Horizonte C variando de 40 a 70 cm espessura, areno-siltoso, marrom a amarelo claro com limite transicional, com evidências parcialmente preservadas de estratificação.

d) Sequência de uns 10 m de espessura, contendo estratos entre 10 e 60 cm de espessura, marrom escuro, amarelo claro e cinza escuro. Tais estratos exibem variação de tamanho de grão de areia fina a média com estratificação cruzada em alguns estratos, intercalados com estratos de areia média conglomerática, e estratos arenosos contendo fragmentos de argila e caulim de tamanho grosso.

5.1.1 PERFIL DE INTEMPERISMO NA SUB-BACIA DO EDUCANDOS (BAIXA BACIA)

5.1.1.1. Afloramento ED-01

Em afloramento localizado na Praça do Amarelinho, próximo da orla do bairro Educandos (coordenadas 03° 08' 37,11"S/60° 00' 53,37" W) ocorre perfil laterítico com aproximadamente 1,80 m de espessura (Figura 32A). Na base do perfil de intemperismo ocorre um solo arenoso fino (fração silte) avermelhado, contendo fragmentos grossos de quartzo arredondado e de ferro, constituindo um material compacto com 45 cm de espessura. Acima deste, ocorre um horizonte laterítico com 80 cm (Figura 32B), sendo que este varia localmente em maciço (60 cm) e desmantelado (20 cm). No topo ocorre

solo amarelo escuro com 30 cm de espessura com nódulos de laterito dismantelado (Figura 32C). Não foram coletadas amostras neste afloramento.



Figura 32: A) Visão geral do perfil laterítico; laterito no topo e na base saprólito avermelhado de laterito dismantelado; B e C) detalhes do horizonte laterítico dismantelado e cavernoso, respectivamente

5.1.1.2. Afloramento ED-02

Próximo ao Porto do Educandos ocorre afloramento em talude (Figura 33) de aproximadamente 11 metros de altura, (coordenadas geográficas $03^{\circ} 08' 52,25''S/60^{\circ} 00' 29,79'' W$), posicionado na vertente SE da bacia (margem esquerda). Ocorre como saprólito, sendo o talude dividido em três segmentos (Figura 33A): arenoso a conglomerático na base, argilo-arenoso no segmento intermediário e arenoso no topo, o que proporcionou diferentes susceptibilidades à erosão da fase exposta do talude, pois ocorre uma maior erosão na base e no topo (Figura 33B) do perfil descrito.

Na base do talude, ocorre um pacote com 1,80 m de espessura com fragmentos de argila com coloração lilás claro. Seguido para o topo com estratos arenosos, avermelhados, com espessura de 2,5 m. Assim como intercalação de 1,9 m de estratos de areia fina a média avermelhada, estrato de areia média com clastos de quartzo e

estratos de areia conglomerática com clastos de forma alongada de argila lilás de 1 a 4 cm de eixo maior, e estrato de areia branca.



Figura 33: afloramento ED-02 (destacado pelo retângulo vermelho), ocorrendo como talude próximo ao Porto Demétrio (bairro Educandos)

Ocorre também um nível conglomerático de 50 cm com fragmentos subelípticos de quartzo com até 1 cm de eixo maior. Estes estratos exibem orientação consistente ao longo de todo o talude, cuja atitude é 47/17; 359/21; 350/19, dado de orientação em azimute (declinação com referência no Norte geográfico e mergulho medido em sentido dextral a partir da declinação da estrutura). Foi observado também fragmentos de nódulos de ferro em pequena quantidade.

A estratificação para o topo exhibe intercalação de pacote de 3,2 m de espessura de estratos finos argilosos com coloração avermelhada intercalados com estratos siltsos. Acima deste ocorre um pacote arenoso de 80 cm, seguido de estrato arenoso conglomerático com 40 cm.

Continuando para o topo da sequência, ocorre intercalação de camadas de 80 cm de espessura, sendo a inferior argilosa, coloração bege, e acima uma camada argilo-arenosa com espessura de 30 cm e coloração roxo claro. Sobrepostas a estas, ocorre uma camada argilosa, roxo escuro e espessura de 14 cm, seguida de uma camada de areia de cor roxo claro com 80 cm de espessura (Figura 33C). Os estratos exibem atitude 343/18; 344/19, 346/17 Az (Figura 33D). Seguido de intercalação de 1,76 m de estrato argiloso avermelhado na base, arenoso acima deste, sobreposto por estrato de areia com estratificação inclinada 348/21 Az, e para o topo estrato arenoso conglomerático.

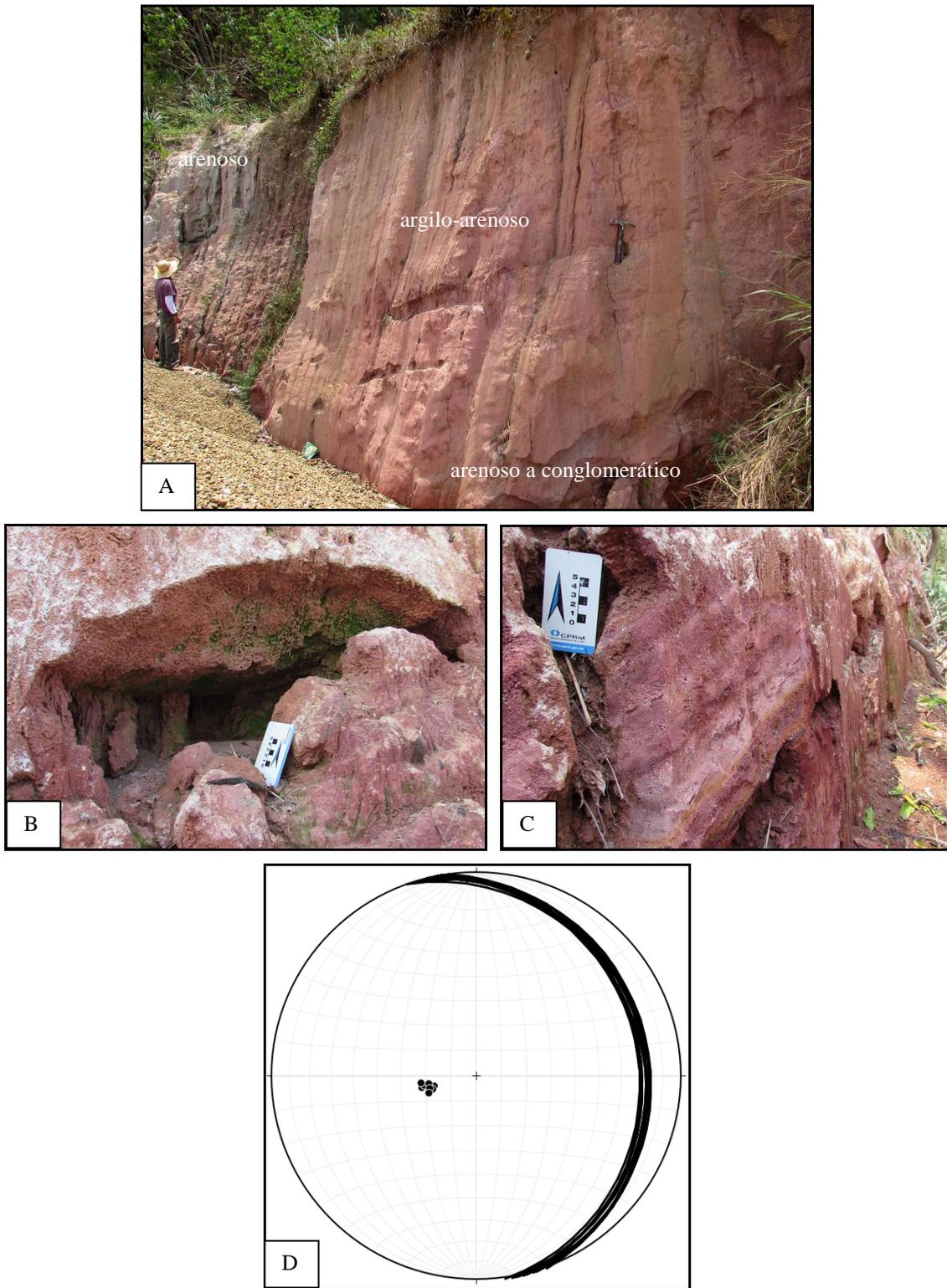


Figura 33: A) Visão geral do afloramento; B) erosão na parte superior do afloramento; C) intercalação de camadas de areia e argila D) projeção ciclográfica e polar diagrama hemisfério inferior mostrando a orientação dos estratos no afloramento

Em local próximo, dando continuidade lateral da sequência, ocorre estrato arenoso fino a médio 1,2 m de espessura marrom claro com clastos variando de 1 a 4

cm, compostos de argila (coloração lilás) e de areia branca, 80 cm de estratos de areia conglomerática e de areia média com fragmentos de quartzo de até 1 cm de comprimento, com atitude 347/22; 349/21; 350/19 Az.

Em outra parte do afloramento ocorre uma intercalação de pacotes, sendo o primeiro argiloso com coloração avermelhada, acima deste um pacote arenoso, seguido de um conglomerático e acima arenoso. O pacote inferior apresenta fragmentos de argila com coloração lilás claro e o superior é arenoso com coloração avermelhada.

Para o topo da sequência, ocorre outra intercalação de camadas 2,6 m de espessura, sendo na parte inferior estrato de 36 cm argiloso, bege, e acima uma camada argilo-arenosa com espessura de 30 cm e coloração roxo claro. Sobrepostas a estas ocorre uma camada mais argilosa, com coloração roxo escuro e espessura de 14 cm, e acima desta uma camada roxo claro, arenosa com 1,80 m. Na base desse pacote, os estratos se orientam 343/18; 344/19, 340/20 Az.

Na parte mais superior do afloramento, ocorre intercalação de estrato argiloso avermelhado, estrato de areia média acima deste, sobreposto por estrato de areia grossa conglomerática e no topo estrato arenoso. Neste pacote a estratificação tem atitude 352/22 Az. No talude descrito foram coletadas cinco amostras para análise em laboratório. A partir dos dados obtidos, foram construídos gráficos do Limite de Liquidez (Figura 34), (umidade abaixo da qual o material se comporta como material plástico), onde, a linha vermelha tracejada (no gráfico) representa o número de 25 golpes no Aparelho de Casagrande, mostrando assim a umidade correspondente (em %).

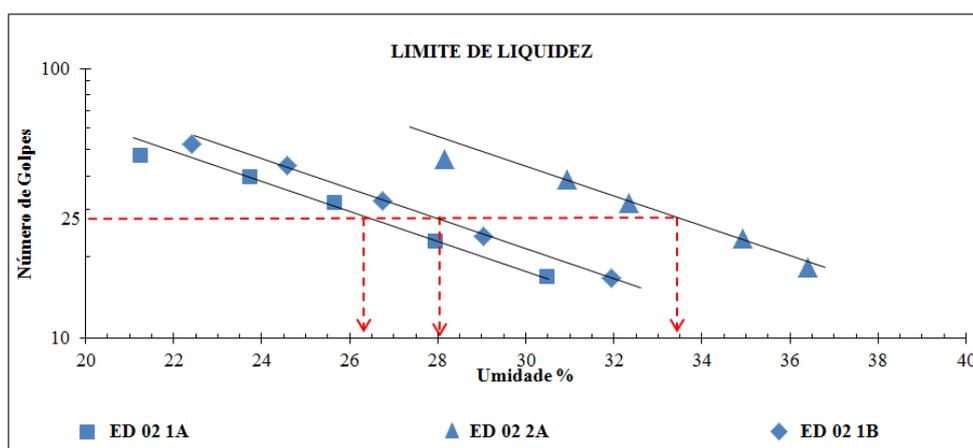


Figura 34: Limite de Liquidez das amostras do afloramento ED-02

Também foi realizado o ensaio de Limite de Plasticidade (teor de umidade no qual o solo colapsa), e a partir desses dados foi obtido o Índice de Plasticidade (IP), no

qual as três amostras foram classificadas como tendo plasticidade baixa. A análise granulométrica (Figura 35) mostra o domínio do tamanho areia, variando de fina a grossa, e o Limite de Liquidez varia entre 26,4 e 33,5%, indicando plasticidade média a alta (Tabela 5).

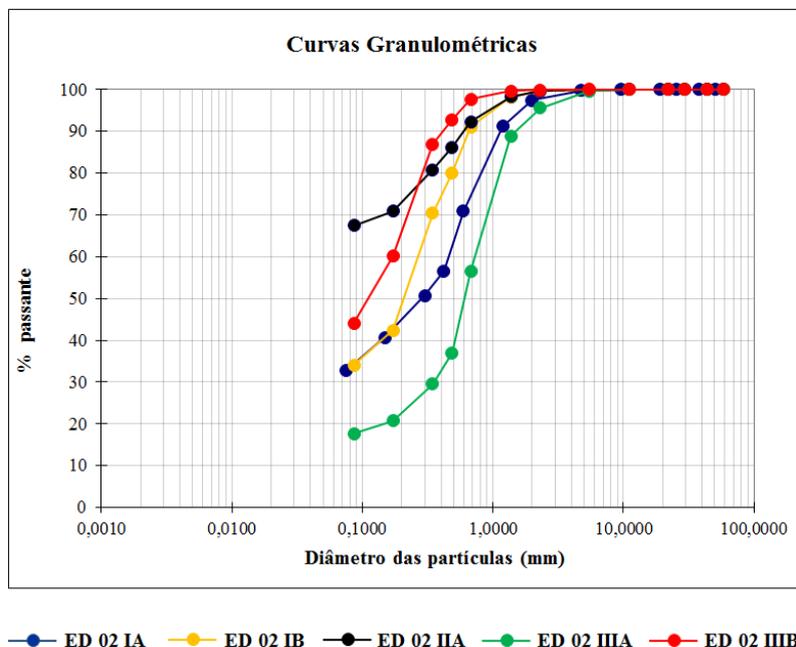


Figura 35: Granulometria das amostras do afloramento ED-02

Tabela 5: LL, LP e IP das amostras do Afloramento ED-02

AMOSTRA	ED-02 IA	ED-02 IIA	ED-02 IB
Limite de Liquidez	26,40 %	33,50 %	28,00 %
Limite de Plasticidade	19,19 %	24,00 %	17,61 %
Índice de Plasticidade	7,21 %	9,50 %	10,39 %

5.1.2. PERFIL DE INTEMPERISMO NA SUB-BACIA DO EDUCANDOS (ALTA BACIA)

5.1.2.1. Afloramento ED-03

Na parte alta da bacia, próximo ao topo divisor de águas desta bacia, o perfil de intemperismo foi caracterizado em talude de aproximadamente 8 a 9 metros de espessura (Figura 36A), localizado atrás do Condomínio Arboretto, no bairro Coroadó (coordenadas geográficas 03° 04' 57,2" S/59° 58' 24,1" W).

Na base do perfil de intemperismo ocorre horizonte C de 3,2 m de espessura, constituído por material arenoso fino bastante friável e estratificado contendo níveis de

até 10 cm de espessura de areia grossa avermelhada com clastos abundantes e fragmentos de rocha siliciclástica (Figura 36B). Seguido para o topo de estratos intercalados de silte arenoso, areia média a fina e areia argilosa com 3,0 m de espessura. Na parte superior do perfil destaca-se um nível de 40 cm de horizonte argilo arenoso amarelo, seguido para o topo de laterita avermelhada desmantelada de 1,4 m em matriz areno-argilosa e para o topo horizonte de solo amarelo claro argilo arenoso, compacto, de 80 cm de espessura e no topo horizonte Ao de 40 cm, silto arenoso cinza claro com matéria orgânica. Neste afloramento ocorre colapso gravitacional local do topo do perfil induzido por erosão da parte intermediária do perfil. Também se observam fraturas verticais (Figura 36C) secas não preenchidas, de caráter trativo geradas por perda de umidade.



Figura 36: A) visão geral do afloramento B) fragmentos de rocha; C) fraturas verticais no talude (destacadas pelas setas vermelhas)

As características granulométricas e de plasticidade dos horizontes deste perfil foram avaliadas mediante a coleta de três amostras (ED-03 IA, ED-03 IIA, ED-03 IIB).

A amostra ED-03 IIA foi classificada como não-plástica, ou sem plasticidade, pois não foi possível realizar os ensaios de Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade, apenas o de granulometria sendo esta predominantemente tamanho areia, fina a grossa. O Limite de Liquidez (Figura 37) das demais amostras variou entre 24 e 35%, e o Índice de Plasticidade (Tabela 6) em 11%, um pouco acima do intervalo (5-10%), onde a amostra é considerada com tendo plasticidade baixa. A granulometria (Figura 38) indica uma menor quantidade de silte e maior quantidade da fração areia.

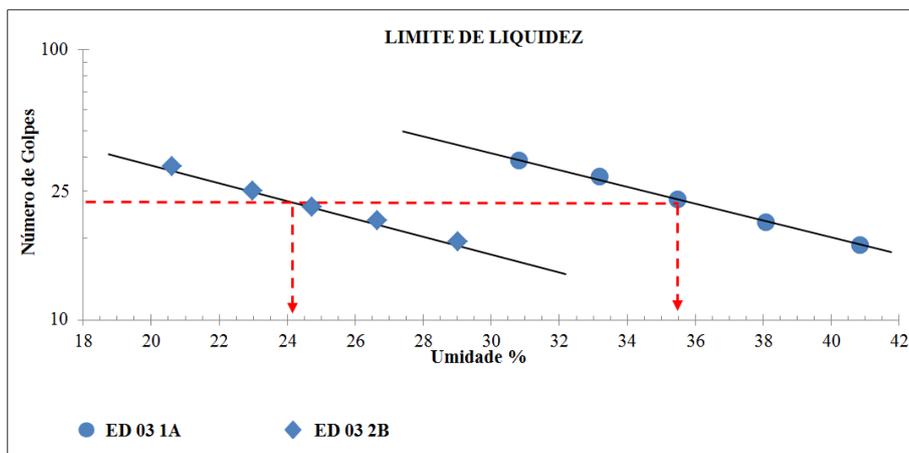


Figura 37: Limite de Liquidez das amostras do afloramento ED-03

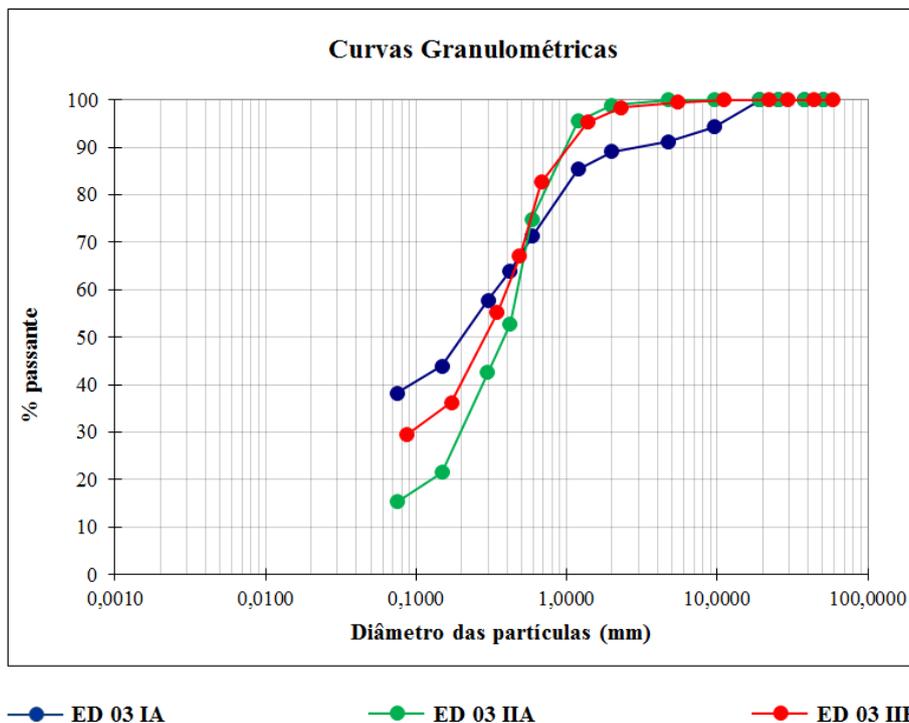


Figura 38: Granulometria das amostras do afloramento ED-03

Tabela 6: LL, LP e IP das amostras do Afloramento ED-03

AMOSTRA	ED-03 IA (base da laterita)	ED-03 IIB
Limite de Liquidez	35,25 %	24,22 %
Limite de Plasticidade	23,35 %	13,18 %
Índice de Plasticidade	11,90 %	11,04 %

5.1.2.2. Afloramento ED-04

Ocorre em vertente de drenagem sazonal com declividade baixa, que corresponde a um terraço da Sub-bacia do Educandos localizado em frente à empresa Gold Brasil Logística, localizado na Avenida dos Oitis, Distrito Industrial. Possui coordenadas geográficas 03° 05' 44,99" S/59° 56' 10,73" W.

Nesse local foi realizada sondagem vertical à trado (Figura 39A), (30 cm profundidade) com coleta de uma amostra com textura de areia média a grossa e coloração cinza a marrom claro (Figura 39B). Pela textura da amostra ser arenosa, não foi possível realizar os ensaios de Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade.



Figura 39: A) sondagem a trado; B) amostra coletada

5.1.2.3. Afloramento ED-05

Está localizado na Avenida dos Oitis, Distrito Industrial, próximo à estação de tratamento da empresa de água e esgoto Manaus Ambiental, com coordenadas 03° 05' 17,40 S/59° 55' 45.90" W. Ocorre como um talude (Figura 40A) de aproximadamente 3 metros de altura, onde foram reconhecidos os horizontes Ao, B1 e B2.

No horizonte Ao com 30 cm de espessura, ocorre um solo com bioturbação, cinza claro, argilo-arenoso. No Horizonte B1 de 1,5 m de espessura o solo é amarelado argiloso (Figura 40B), compacto e duro com transição gradativa para o horizonte B2 de uns 80 cm de espessura, onde aparecem agregados nodulares de argila (Figura 40C). Foram coletadas amostras dos horizontes B (B1, B2), e realizada a sondagem vertical a trado por mais 30 cm de profundidade, para identificar a continuação do horizonte B2.

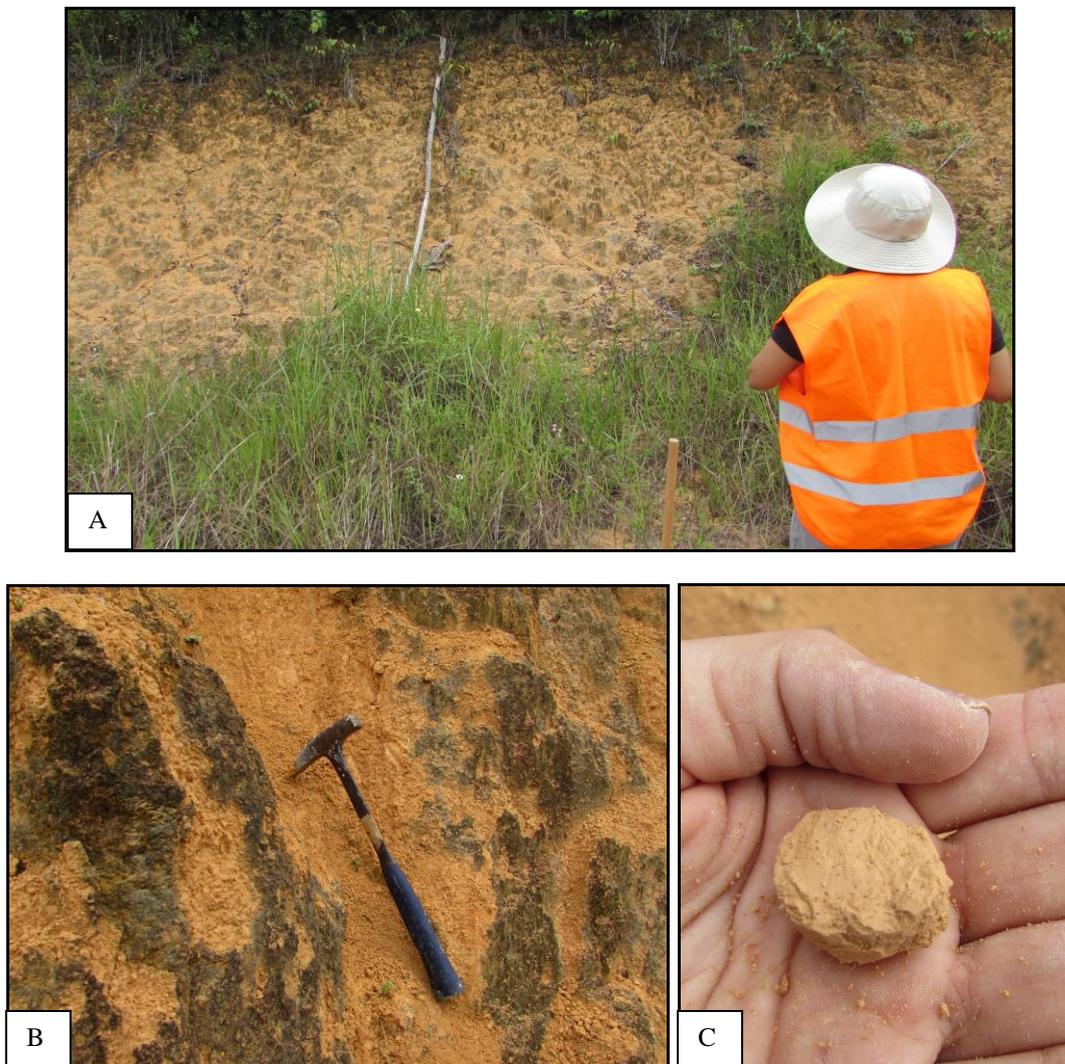


Figura 40: A) visão geral do afloramento ED-05; B) detalhe do afloramento; C) nódulo de argila do horizonte B2

Para o afloramento ED-05 foram realizados os ensaios de solo para quatro amostras, representando horizonte B e uma do trado para ver a continuidade desse horizonte. Essas amostras apresentaram um Limite de Liquidez maior (70-74%), se comparado às amostras anteriores, mas apresentam valores muito parecidos entre si (Figura 41). O Índice de Plasticidade (Tabela 7) também apresenta um valor maior que das amostras dos afloramentos anteriores, e foram classificadas como tendo plasticidade alta (intervalo 20-40%). A granulometria das amostras demonstra uma variação de silte a areia grossa (Figura 42).

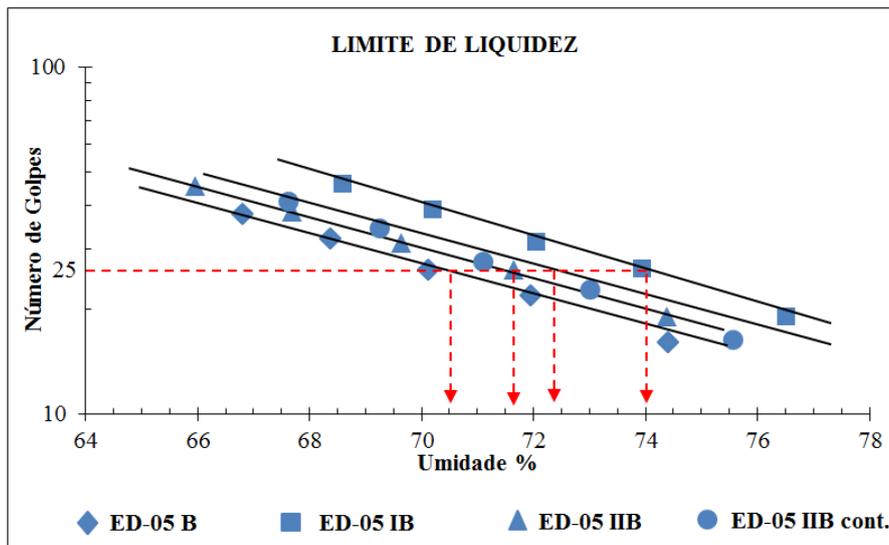


Figura 41: Limite de Liquidez das amostras do afloramento ED-05

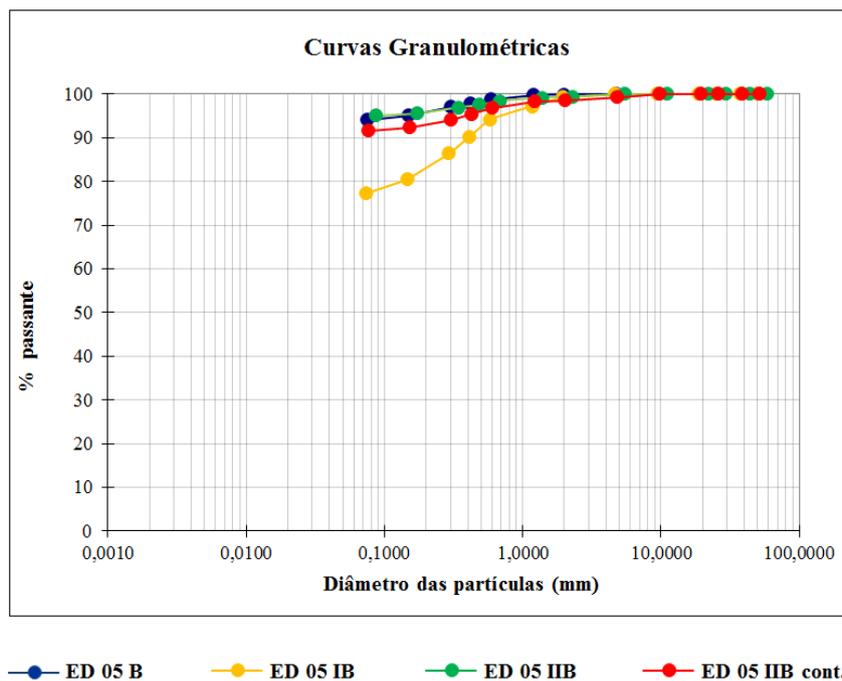


Figura 42: Granulometria das amostras do afloramento ED-05

Tabela 7: LL, LP e IP da amostras do afloramento ED-05

AMOSTRA	ED-05 B	ED-05 IB	ED-05 IIB	ED-05 IIB (contin. trado)
Limite de Liquidez	72,50 %	72,45 %	72,45 %	72,50 %
Limite de Plasticidade	48,76 %	48,60 %	48,60 %	46,57 %
Índice de Plasticidade	23,74 %	23,85 %	23,85 %	25,93 %

5.1.2.4. Afloramento ED-06

O ponto de amostragem corresponde um pequeno talude (Figura 43A) próximo a um posto de gasolina e da empresa Entec Longhi & Cia, situado na Avenida Solimões, Distrito Industrial. Está posicionado próximo ao topo divisor (esquerdo) da Sub-bacia do Educandos, com coordenadas 03° 07' 13,32" S/59° 57' 10,69" W.

Foram identificados os horizontes Ao, B1 e B2 (Figura 43B). O horizonte Ao com espessura de 60 cm e textura argilosa arenosa, cinza claro, gradativamente passa para o horizonte B1 que tem 90 cm de latossolo (solo argiloso compacto) amarelo contendo nódulos de argila para a base, onde foi denominado de horizonte B2 que ocorre como uma espessura de 20 cm de com textura argilosa.

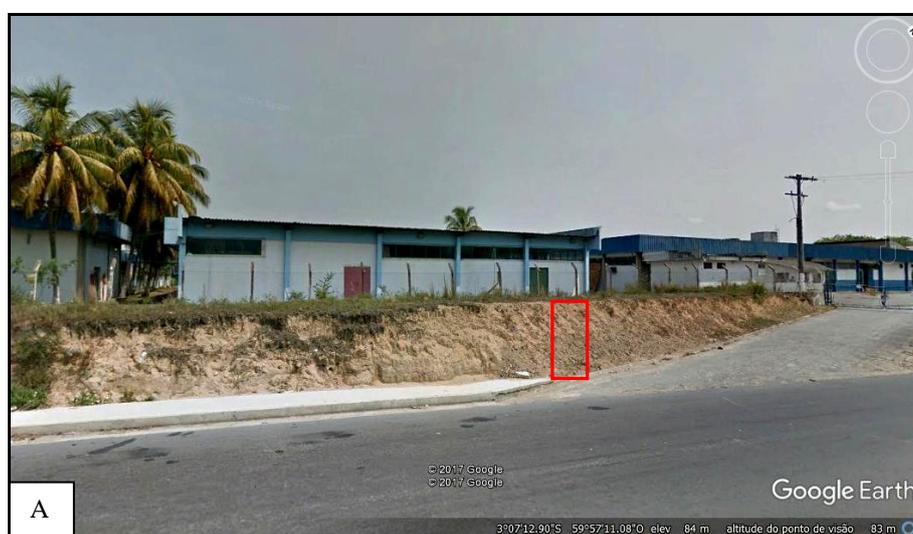


Figura 43: A) Visão geral do afloramento ED-06 (destacado em vermelho). Fonte: Google Earth (2017)

O Limite de Liquidez (Figura 44) e de Plasticidade da amostra ED-06 (horizonte B) apresentou valores muito semelhantes aos das amostras ED-05, em torno de 72,4% (LL) e 47,8% (LP). Para o Índice de Plasticidade (Tabela 8) a amostra foi classificada como tendo plasticidade alta e granulometria silte arenosa, variando entre silte a areia grossa (Figura 45).



Figura 43: B) afloramento ED-06, destacando o local onde a amostra foi coletada (retângulo vermelho)

Tabela 8: LL, LP e IP da amostra ED-06

AMOSTRA ED-06	
Limite de Liquidez	56,50%
Limite de Plasticidade	36,69%
Índice de Plasticidade	19,81%

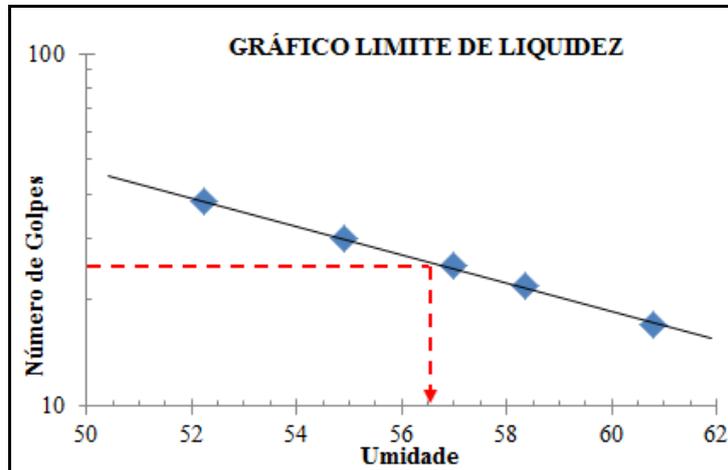


Figura 44: Limite de Liquidez da amostra ED-06

O perfil de intemperismo (Figura 46B) observado no talude da rodovia alcança uns 6,3 m de espessura, descrito em horizonte Ao, cinza claro argilo arenoso duro de 30 cm; horizonte B1, amarelo argilo arenoso compacto, duro, com 70 cm, que grada para horizonte B2 marrom escuro, de aparência laterítica, textura argilo siltoso a silte arenoso, com abundantes concreções de ferro de tamanhos variados de até 1,5 cm de comprimento, com espessura de uns 2,8 m e passa gradativamente para horizonte C, cor ocre de uns 2,5 m, com mudanças de textura sugerindo a disposição em estratos, mas sem definição clara de limites destes.



Figura 46: B) Perfil de intemperismo

Na parte interna da voçoroca (Figura 46C) ocorre estratificação de areia fina, média, grossa e grossa conglomerática (Figura 46D; E) com estratos contendo nódulos de argila de até 6 cm de comprimento e estratos com clastos subarredondados de quartzo de até 1 cm de eixo maior (Figura 46F).



Figura 46: C) Estratificação na parte interna da voçoroca (areia e argila)

Próximo a esta voçoroca está ocorrendo um processo de ocupação espontânea de área em vegetação arbórea, que envolve a construção de casas com sistemas precários de alvenaria e sem planejamento da distribuição do espaço. Na primeira etapa de campo foi observado tubulações de esgoto na parte interna da voçoroca, o que ocasionou a erosão tanto da calçada quanto de uma grande parte da rua (Figura 46G). Na terceira etapa de campo foi observado que houve uma mudança na área, pois aterraram uma parte da voçoroca e recuperaram a parte erodida da rua (Figura 46H).

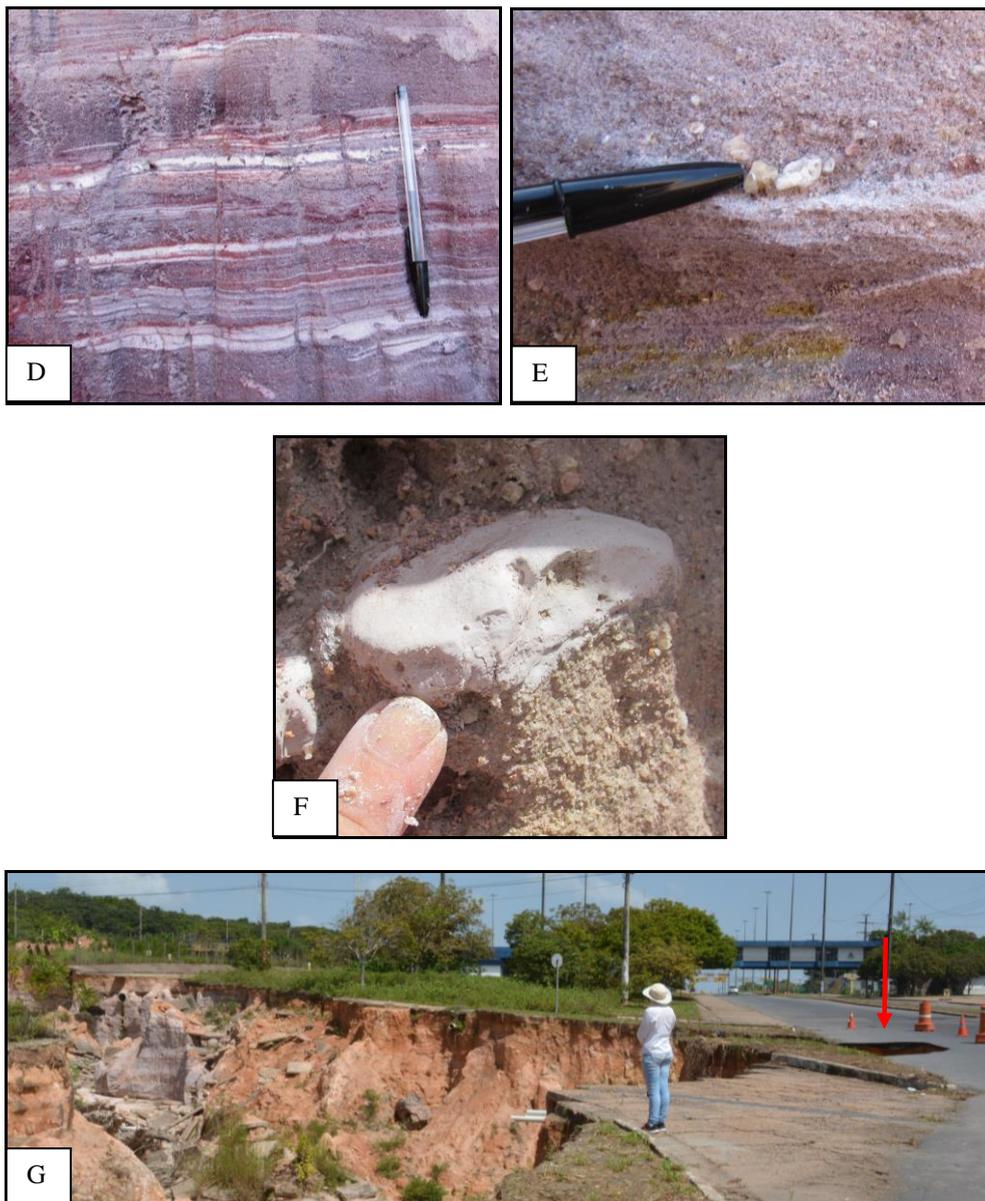


Figura 46: D) Detalhe da estratificação; E) Grãos de quartzo e feldspato; F) nódulo de argila; G) erosão de uma parte da via



Figura 46: H) contenção de uma parte da voçoroca e recuperação da calçada e da via

A partir dos ensaios de solo, atestou-se para a amostra ED-07 um Índice de Plasticidade muito baixo (Tabela 9), sendo classificada como ligeiramente plástica (1,08%). O Limite de Liquidez apresentou um valor de 16% (Figura 47). A granulometria demonstra um predomínio de areia fina à média, ocorrendo também a fração silte e areia grossa em menor quantidade (Figura 48).

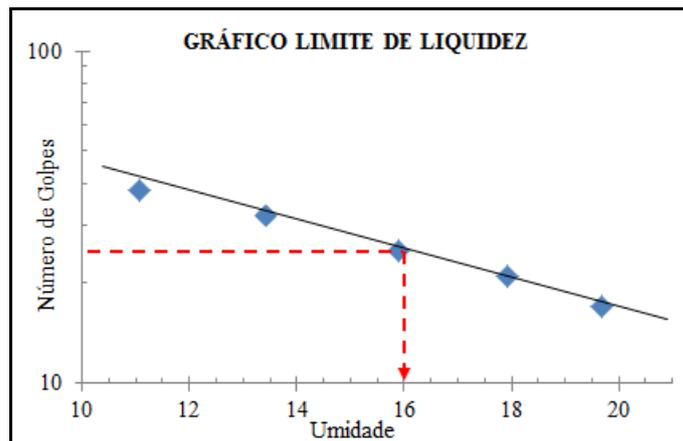


Figura 47: Limite de Liquidez da amostra ED-07

Tabela 9: LL, LP e IP da amostra ED-07 (B1)

ED-07 (B1-base da voçoroca)	
Limite de Liquidez	15,99 %
Limite de Plasticidade	14,91 %
Índice de Plasticidade	1,08 %

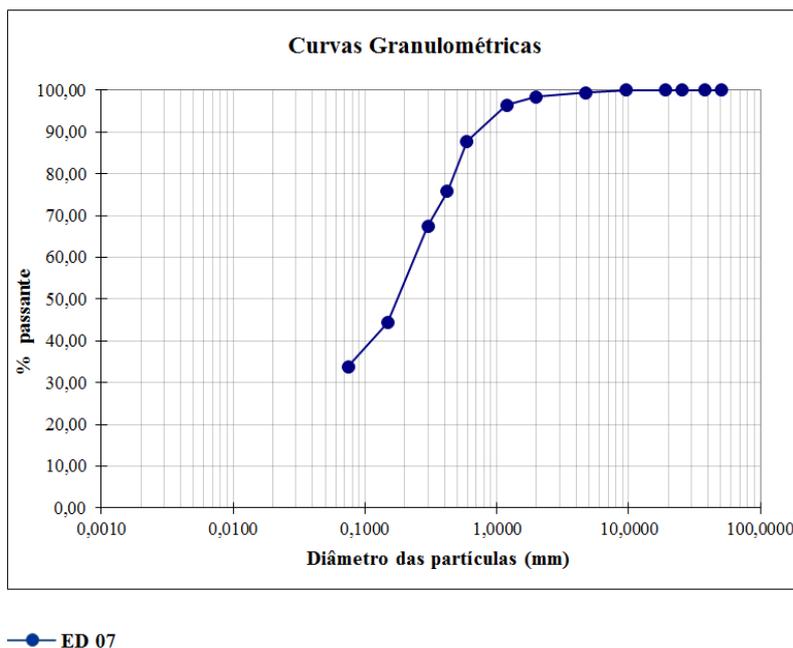


Figura 48: Granulometria da amostra ED-07

5.1.2.6. Afloramento ED-08

Ocorre como um talude situado no lado direito da Avenida Autaz Mirim (Grande Circular), sentido Distrito Industrial, a 500 metros da maternidade Ana Braga. Possui coordenadas geográficas 03° 04' 53.98" S/59° 57' 19.87" W. Está inserido na APA UFAM, na parte superior da bacia, próximo ao limite direito desta (Figura 49).



Figura 49: Visão superior do afloramento ED-08. Fonte: Google Earth (2018)

O talude apresenta 6 metros de altura e aproximadamente 90 metros de extensão (Figura 50). Na parte superior ocorre um perfil de intemperismo e na parte inferior

apresenta estratificação 13/280, ocorrendo intercalação de material arenoso fino e argiloso e em algumas partes granulometria areia grossa. O horizonte Ao apresenta espessura de 1 metro, seguido do horizonte B com 50 cm e do horizonte C com 2 metros. O horizonte D apresenta espessura de 40 cm e na base ocorre intercalação de material arenoso e argiloso, com 3,5 m aproximadamente (Figura 51A). Ocorrem clastos de argila de 1 a 7 cm (Figura 51B). Notam-se sulcos verticais no talude e erosão maior na base deste.



Figura 50: Visão geral do afloramento ED-08



Figura 51: A) Horizontes do talude; B) detalhe da intercalação de areia e argila que ocorre na parte inferior do perfil

5.1.2.7. Afloramento ED-09

Situa-se a alguns metros da margem direita da BR-174 (sentido Porto da Ceasa), próximo ao Posto da Polícia Rodoviária Federal e do afloramento ED-07 (distância de 192,5 metros). Possui coordenadas geográficas 03° 07' 58.48"S/ 59° 56' 41.39"W. Ocorre como um talude (Figura 52A) com horizonte Ao, B1 argilo-siltoso amarelo com 1,5 m, horizonte B2 com 1 m (Figura 52B). Abaixo ocorre laterito desmantelado de aproximadamente 1,20 m e na base um horizonte argilo-arenoso de 1,5 m. Foi observado no afloramento o início de um processo erosivo (Figura 52C), que poderá evoluir para uma voçoroca, a exemplo da que ocorre no afloramento próximo a este.

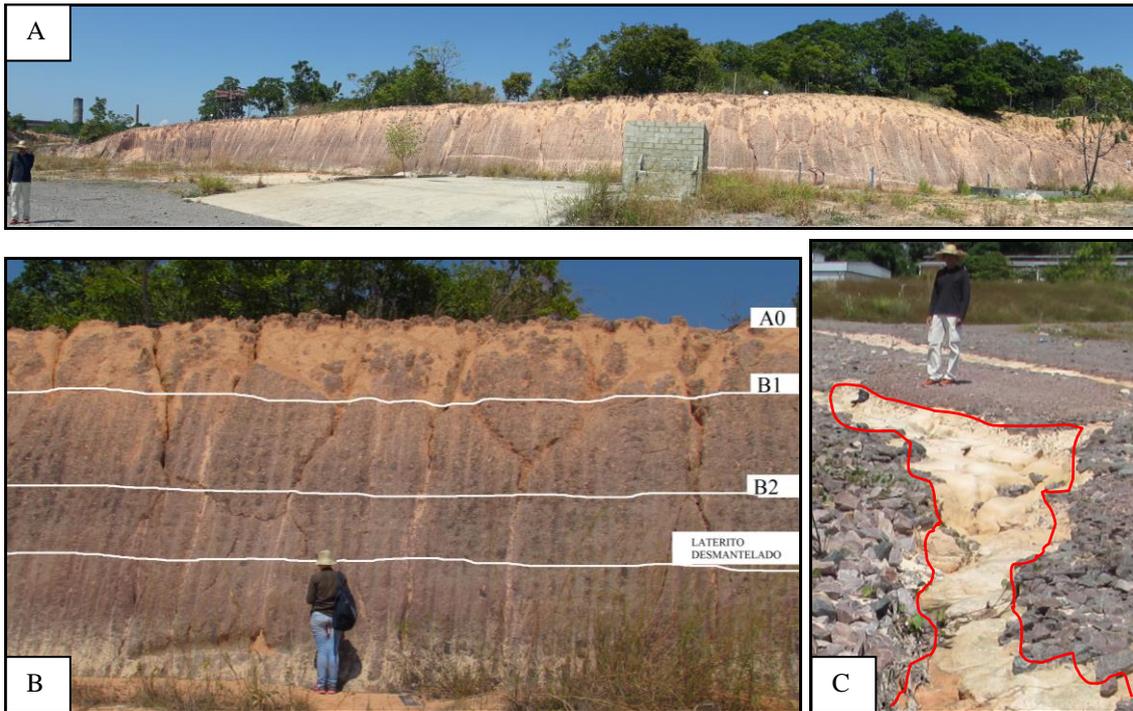


Figura 52: A) Visão geral do talude estudado; B) Horizontes do perfil de intemperismo; C) Início de um processo erosivo (sulco), (destacado em vermelho) que poderá formar uma voçoroca, como já ocorre próximo a este ponto (ED-07)

5.1.2.8. Ponto ED-10

Este ponto situa-se próximo ao Viaduto do Japiim e da Casa das Correias, na Avenida General Rodrigo Otávio. Possui coordenadas geográficas $03^{\circ} 07' 17.24''S/ 59^{\circ} 58' 54.56''W$. Este local foi escolhido devido às modificações antrópicas realizadas no entorno, como a construção de um viaduto e a retificação do Igarapé do Quarenta, próximo à Avenida Manaus 2000 e Rua Marginal do Quarenta, no bairro Japiim (Figura 53).

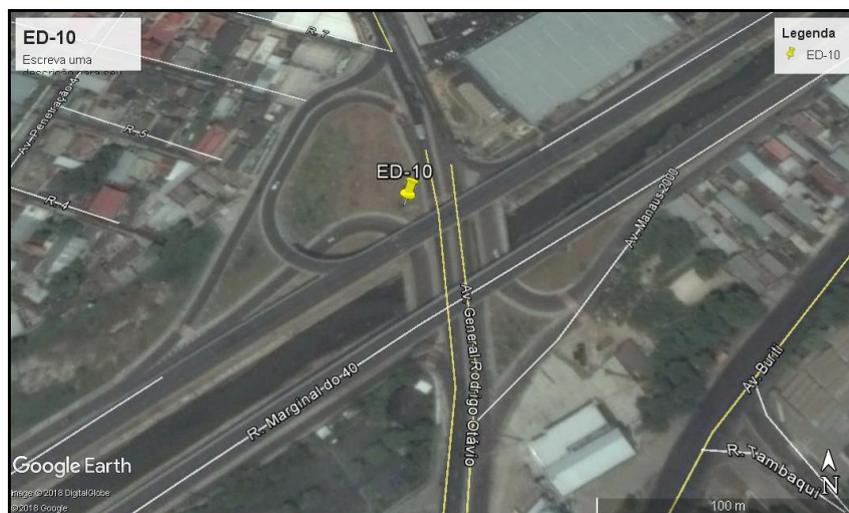


Figura 53: Localização do ponto ED-10 na Sub-bacia do Educandos, próximo ao Igarapé do Quarenta

5.2. DRENAGEM DA SUB-BACIA DO EDUCANDOS

A Sub-bacia do Educandos (Figura 54) exhibe forma subretangular alongada com orientação N60°E com referência à drenagem principal (4° ordem), a qual é retilínea, com fundo largo plano por assoreamento e modificado por intervenção antrópica (canalização).

Pelas características morfológicas distintas, esta sub-bacia foi dividida em duas partes: baixa bacia e alta bacia, a qual foi definida a partir do lineamento N60°W, que a secciona ao meio. A alta bacia recebe drenagens secundárias em ângulo reto, se ramificando em duas drenagens na parte mais alta. A vertente SE da bacia apresenta poucas e espaçadas drenagens tributárias (1° e 2° ordens), várias de caráter sazonal, com leitos retos entalhados na forma de V acentuada (fundo estreito e vertente retilínea) na baixa bacia. As drenagens secundárias são de percurso curto e superficiais (pouco entalhadas) com forma de V (fundo estreito e vertente convexa) na parte alta da bacia. A vertente NW é mais larga, exhibe drenagens tributárias permanentes com fundo largo e sazonais com fundo estreito, e confluência com a drenagem principal, tendendo para ângulo agudo.

Na baixa bacia, uma drenagem tributária da margem direita é particularmente comprida e exhibe leito com variação de trajetória N-S para N30°E a montante. Para a parte alta da bacia, as drenagens tributárias sazonais aumentam. O percurso destas é curto, reto, pouco entalhado, com leito em V estreito. Algumas destas drenagens recebem tributários de menor ordem, também sazonais e morfologia de leito similar. O ramo NW de bifurcação do igarapé, para a montante é mais desenvolvido nesta vertente, é constituído por duas drenagens secundárias que por sua vez recebem vários tributários sazonais de menor ordem, com percurso curto e alta declividade.

Os parâmetros morfométricos da Sub-bacia do Educandos são descritos considerando sua divisão em baixa e alta bacia, conforme as diferenças de geometria marcada pelo lineamento estrutural orientado N60°W. O canal principal tem 12,4 km de comprimento e a largura da parte baixa na margem direita varia de 2,70 a 2,93 km e na esquerda de 2,2 a 2,5 km. Na parte alta da bacia na margem direita, a largura varia de 1,43 a 2,10 km e na margem esquerda de 1,46 e 2,19 km. A razão axial é de 2,3:1 na baixa bacia, e de 2,95:1 na alta bacia. A rede de drenagem exhibe arranjo subretangular e vertentes com largura variável cujas divisórias são topos planos com elevações no intervalo de 70 a 90 m com relação ao nível inferior da sub-bacia (Figura 54).

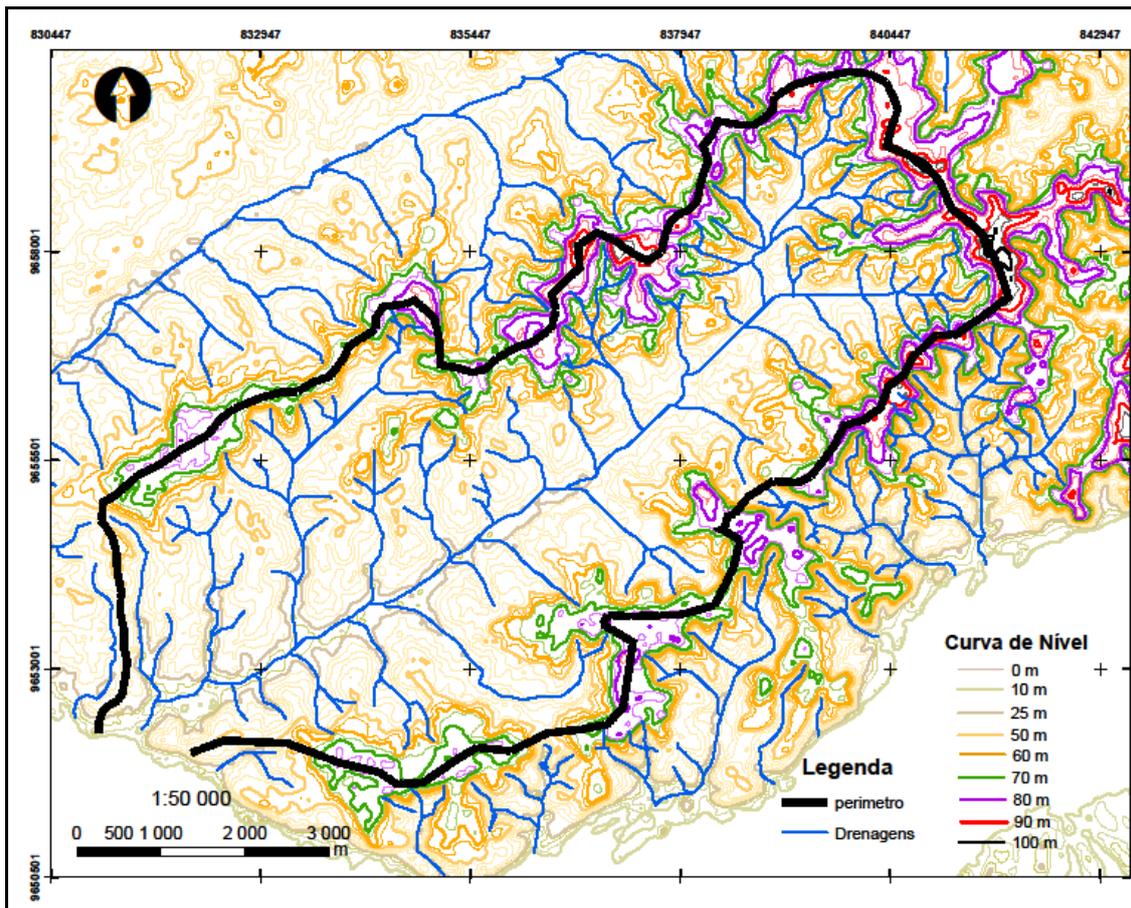


Figura 54: Rede de drenagem da Sub-bacia do Educandos

Na margem direita as drenagens tributárias se orientam N10°W e se juntam ao leito principal em ângulo de 65° a 70°. Mudança da trajetória em ângulo reto de NS para N60°E são observadas em várias drenagens tributárias da margem direita, notadamente do percurso do Igarapé do Quarenta. O intenso intemperismo, baixa coesão e caráter friável do substrato de origem sedimentar favoreceram o entalhamento e a implantação da rede de drenagem, assim como a ação erosiva dos igarapés da Sub-bacia do Educandos.

5.2.1. Ordem dos canais da Sub-bacia do Educandos

De acordo com a classificação de Strahler (1957), a Sub-bacia do Educandos compreende uma drenagem de quarta ordem, sendo constituída por 107 canais de primeira ordem, 22 canais de segunda ordem e 5 canais de terceira ordem, totalizando 135 canais (Figura 55).

Nota-se uma maior quantidade de canais na parte direita da sub-bacia, sendo estes mais ramificados, ocorrendo 64 de primeira ordem, 18 de segunda ordem e 5 de

terceira ordem. Apesar da maior quantidade de canais nesta parte da sub-bacia, a ocupação urbana ocorre de maneira mais concentrada, o que evidencia a forma desordenada com que as margens dos igarapés da Sub-bacia do Educandos são ocupadas.

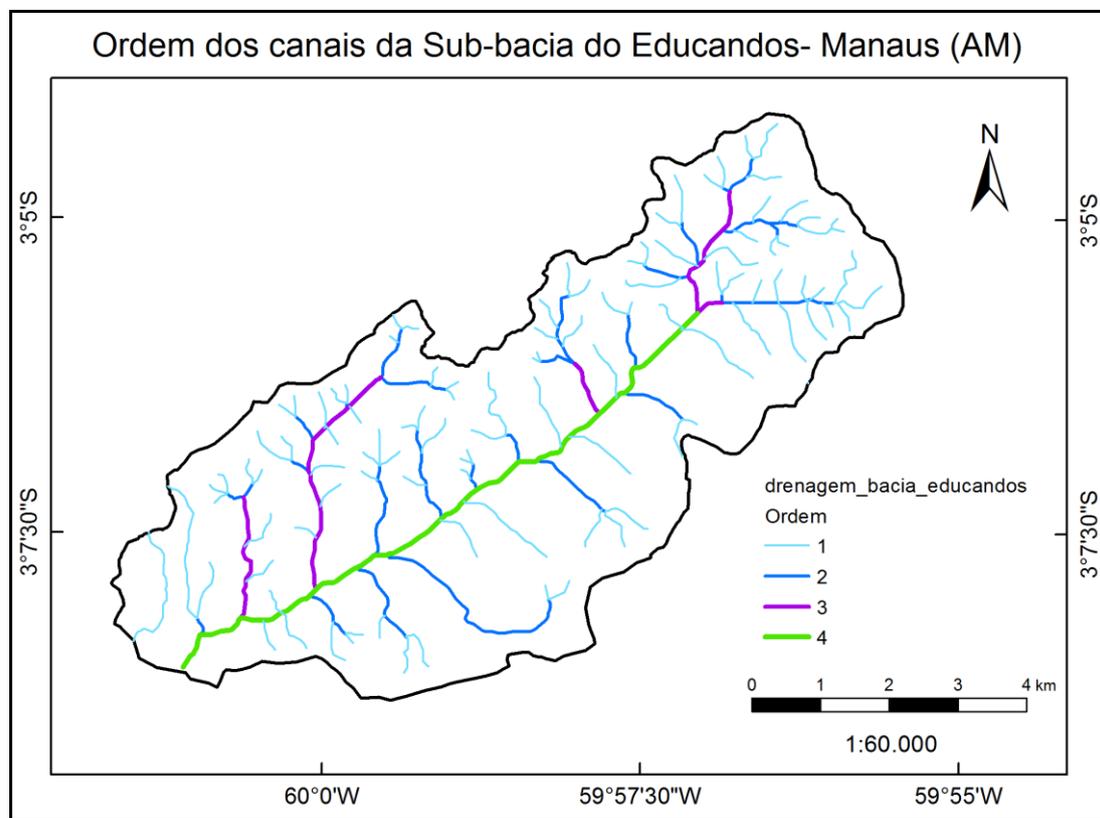


Figura 55: Ordem dos canais da Sub-bacia do Educandos segundo a classificação de Strahler (1957)

Na parte esquerda da bacia, as drenagens são em menor quantidade e mais espaçadas, ocorrendo 41 canais de primeira ordem e 6 de segunda ordem. É caracterizada por uma grande área na qual estão inseridas as empresas do Distrito Industrial, que muitas vezes se instalam próximos aos igarapés, não respeitando os limites mínimos de ocupação das margens, sendo que muitos destes igarapés recebem os efluentes das fábricas próximas, também de esgotos e lixo doméstico da área residencial, causando degradação ambiental, o que já foi atestado por diversos trabalhos (MELO *et al.*, 2005; RODRIGUES *et al.*, 2009; FERREIRA, 2012; VIEIRA *et al.*, 2012; NORMANDO, 2012).

5.2.2. FABD e FSTT da Sub-bacia do Educandos

A Sub-bacia do Educandos possui uma área total de 46,64079 km², sendo que no lado direito, possui uma área de 23,05425 km², o que indica que 49,43% da sub-bacia

está situada à direita do canal principal. O lado esquerdo possui uma área de 23,58654 km², correspondendo a 50,57% da sub-bacia.

O Fator de Assimetria da Bacia de Drenagem (FABD), (Figura 56) é usado para detectar basculamentos tectônicos em bacias, sendo determinado através da razão entre a área à direita do canal principal (Ar) e a área total da bacia (At): $FABD = 100 (Ar/At)$. Logo, para a Sub-bacia do Educandos $FABD = 100 (23,05425/46,64079)$, que resulta em 49,4294. Assim, comprova-se valor baixo do fator de assimetria da bacia estudada.

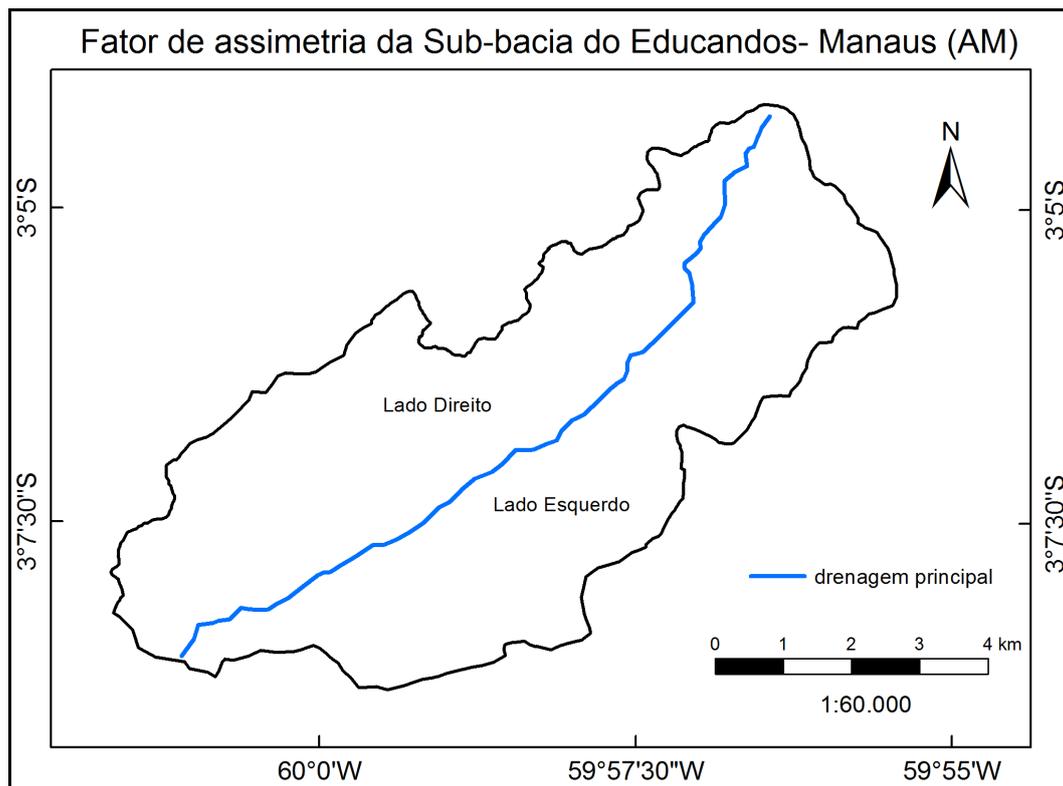


Figura 56: Fator de assimetria da bacia de drenagem (FABD) na Sub-bacia do Educandos

O Fator de Simetria Topográfica Transversal (FSTT) é indicado para se entender o comportamento dos canais em relação ao arcabouço geológico e às implicações estruturais, que podem influenciar na forma da bacia, podendo ser simétrico ou assimétrico. Sua determinação se dá através da fórmula ($FSTT = Da/Dd$). Para tanto, o canal principal da Sub-bacia do Educandos foi dividido em oito segmentos de 1,5 km cada, e o FSTT aplicado em cada um desses segmentos (Tabela 10; Figura 57).

O valor médio de FSTT para a Sub-bacia do Educandos é de 0,24 o que representa uma assimetria baixa, pois esta cresce à medida que os valores de FSTT se aproximam do valor 1. Os segmentos 1 e 8 foram os que apresentaram os maiores valores de FSTT, indicando uma maior assimetria da bacia nesses dois locais, seguido

dos segmentos 2 e 7, ambos com valor de assimetria 0,2. O segmento 3 foi o único que apresentou FSTT igual a zero, o que indica simetria nessa parte da bacia, ou seja, não há alteração do perfil topográfico (a linha média da bacia coincide com o segmento analisado). Os segmentos 4, 5 e 6 apresentaram valores muito baixos de FSTT, e nestes a drenagem principal está muito próxima da linha média da bacia.

Tabela 10: Valores de Da e Dd (em km) para o cálculo de FSTT em oito segmentos da Sub-bacia do Educandos

Segmento	Da	Dd	FSTT
1	11,445716	19,466938	0,5880
2	4,252692	16,577661	0,2565
3	0	18,950315	0
4	1,776719	19,206382	0,0925
5	1,522049	31,116721	0,0489
6	2,071100	25,441034	0,0814
7	5,099834	21,255715	0,2399
8	725,0122	1,1820648	0,6133

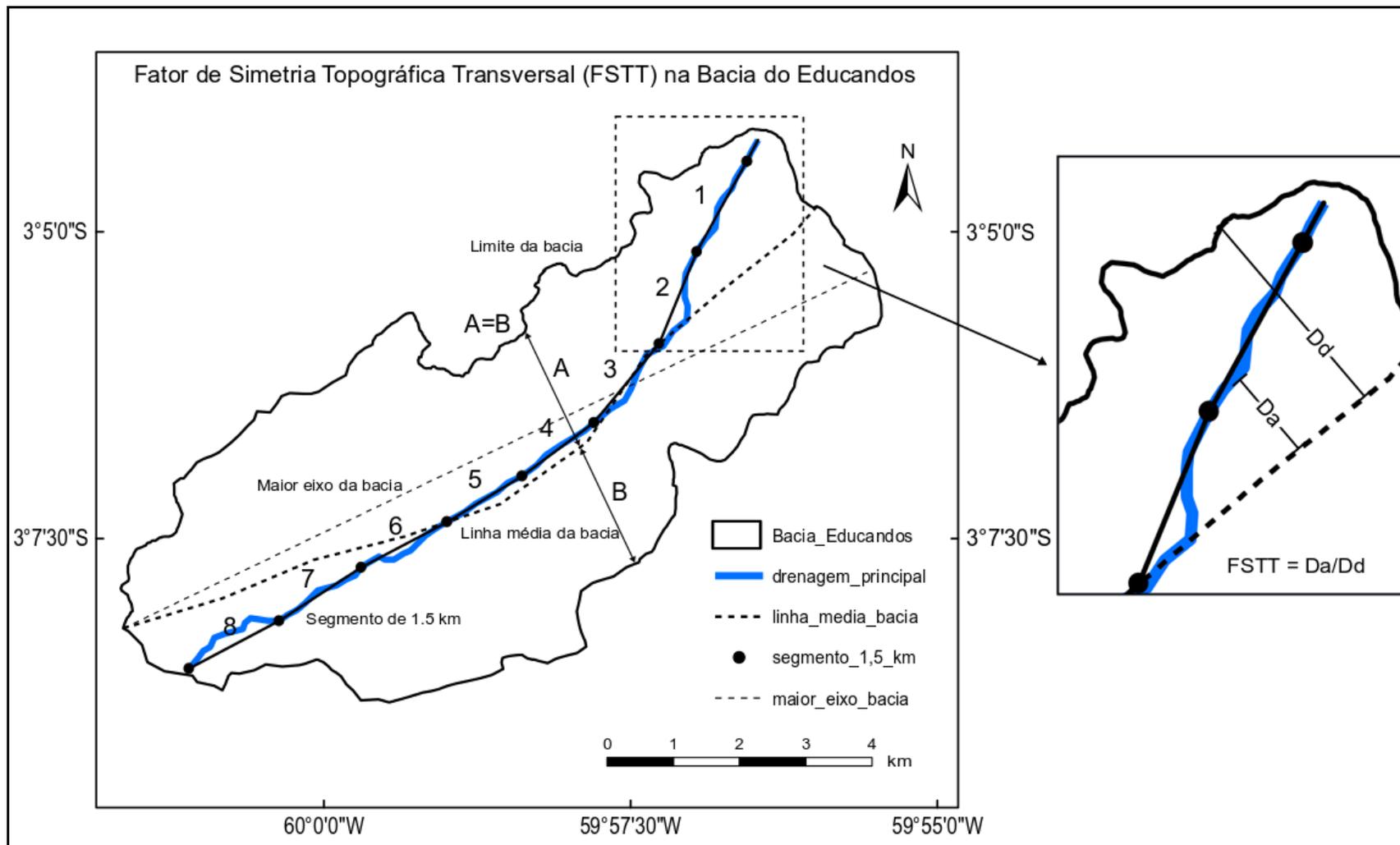


Figura 57: Fator de Simetria Topográfica Transversal (FSTT) na Sub-bacia do Educandos

5.3. GEOMORFOLOGIA DA SUB-BACIA DO EDUCANDOS

As geoformas da Sub-bacia do Educandos apresentam uma variação de altitude entre 10 e 90 m (Figura 58) com relação à foz e a nascente, respectivamente. Dentre as formas do relevo, destacam-se:

i) Divisor de águas representado por um platô com amplitude variável: As altitudes nos platôs variam entre 60 e 90 metros. Este constitui uma antiga superfície de sedimentação que está em processo de dissecação, sendo mais largo e contínuo na alta bacia do que na baixa bacia. Assim, o divisor de águas na baixa bacia, apresenta altura máxima de 70 m de diferença em relação com a cota da foz, forma larga, arredondada, convexa suave, segmentado pelo avanço de outras drenagens fora da bacia na vertente SE. Este é contínuo e mais estreito (dissecado), na vertente NW. Na alta bacia, a diferença de cota com relação à da foz, é de 90 m. O platô é largo, formando espigões transversais (junção com divisores de drenagens menores tributárias externas à bacia) à orientação do corpo de água principal. É mais segmentado e largo na vertente SE do que na NW. Também no extremo NE da bacia é o mais contínuo, largo e alto, formando espigão alinhado para NW.

ii) Vertentes que ligam o divisor de águas com o fundo do vale: Altitudes entre 45 e 60 metros. São em geral curtas, retas a côncavas, com declividade moderada ao longo do corpo de água principal, e íngremes quando próximas ao divisor de águas. As vertentes entre drenagens secundárias são largas com declividade moderada na baixa bacia. Para a alta bacia, tais vertentes são estreitas, íngremes, e retas a convexas.

iii) Fundo do vale principal: Altitudes entre 10 e 40 metros. Exibe largura moderada que diminui para montante, não apresenta várzea nem terraços, já que é principalmente erosivo, no entanto, a atividade antrópica tem gerado assoreamento. Na Baixa bacia os leitos das drenagens tributárias são mais largos e entalhados, se comparados com os da alta bacia.

Como resultado das características morfológicas (topografia, declividade, rede de drenagem e processos morfodinâmicos) da bacia, foi elaborado um mapa no qual se destacam os três tipos de unidades homólogas descritas (Figura 59): i) divisor de água com forma de platô; ii) vertentes ou encostas; iii) fundos de vales das drenagens principais.

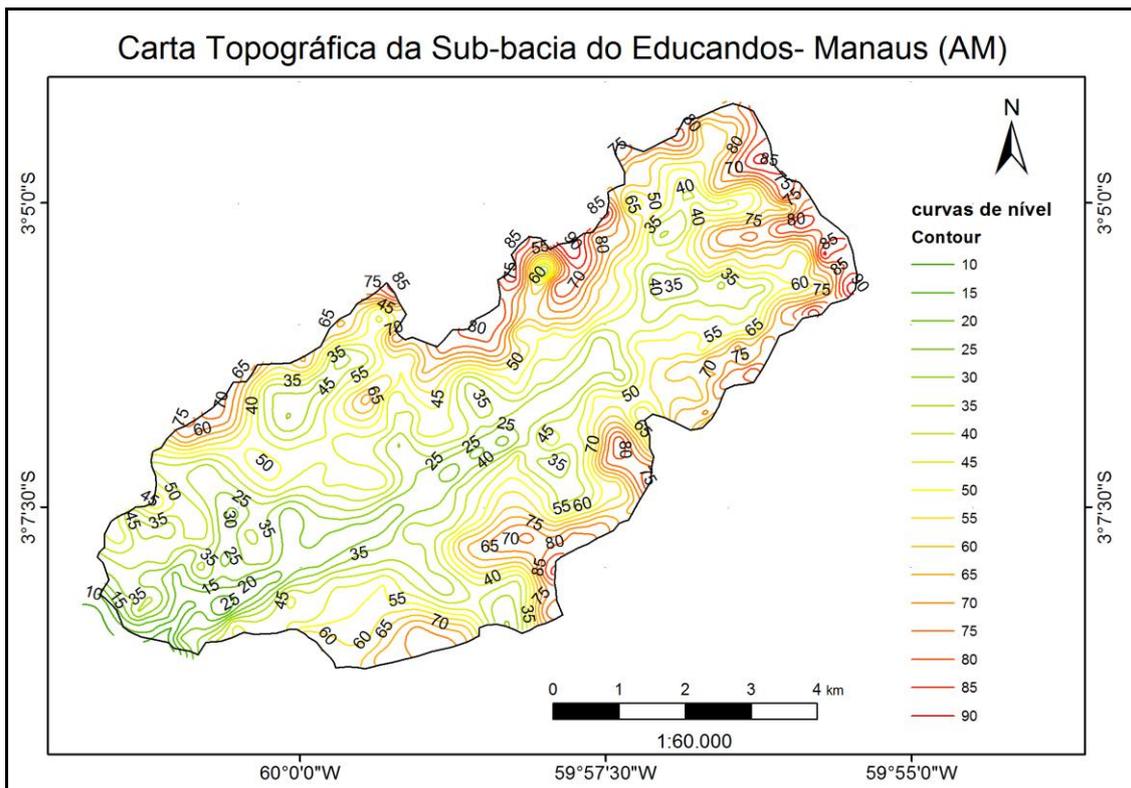


Figura 58: Carta topográfica da Sub-bacia do Educandos

Foi realizada a confecção de seis perfis topográficos transversais e o perfil longitudinal do canal principal da Sub-bacia do Educandos (Figura 60), onde no Perfil 1 (próximo a foz da sub-bacia) atestou-se uma variação de altitude entre 30 e 80 m, ou seja, uma amplitude de 50 m. O Perfil 2 apresenta altitudes entre 30 e 65 m (amplitude 35 m). O Perfil 3 tem altitudes entre 25 e 75 m (amplitude de 50 m). O Perfil 4 (parte central da bacia) apresenta altitudes entre 15 e 50 m (amplitude 35 m). O Perfil 5 varia entre 40 a 90 m (amplitude de aproximadamente 50 m). O Ponto 6 (próximo às nascentes) tem altitudes entre 40 a 80 m (amplitude de 40 m). Com relação ao perfil longitudinal do canal principal da bacia, este apresenta variação de 70 m entre a cabeceira e a foz.

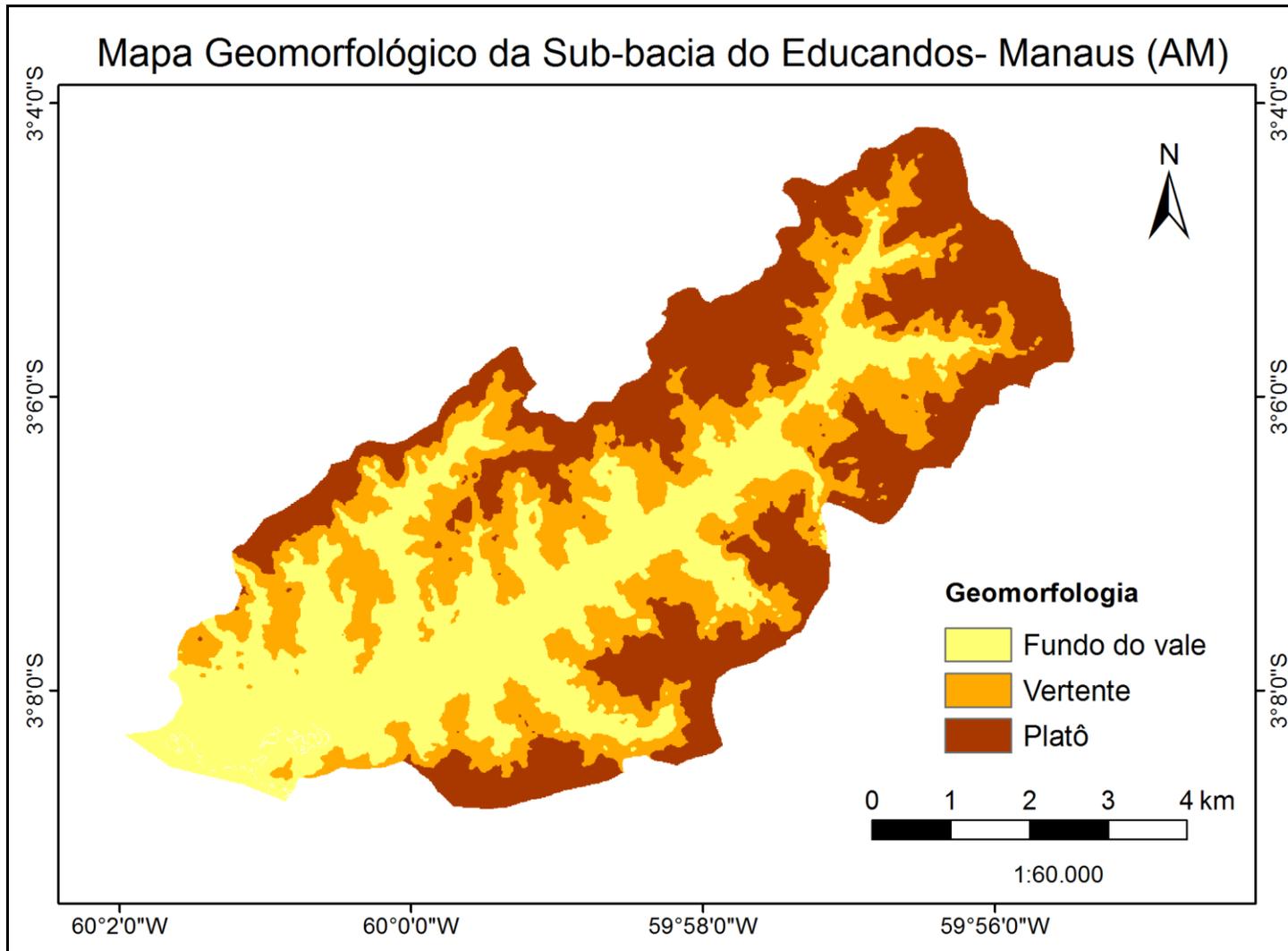


Figura 59: Mapa geomorfológico da Sub-bacia do Educandos

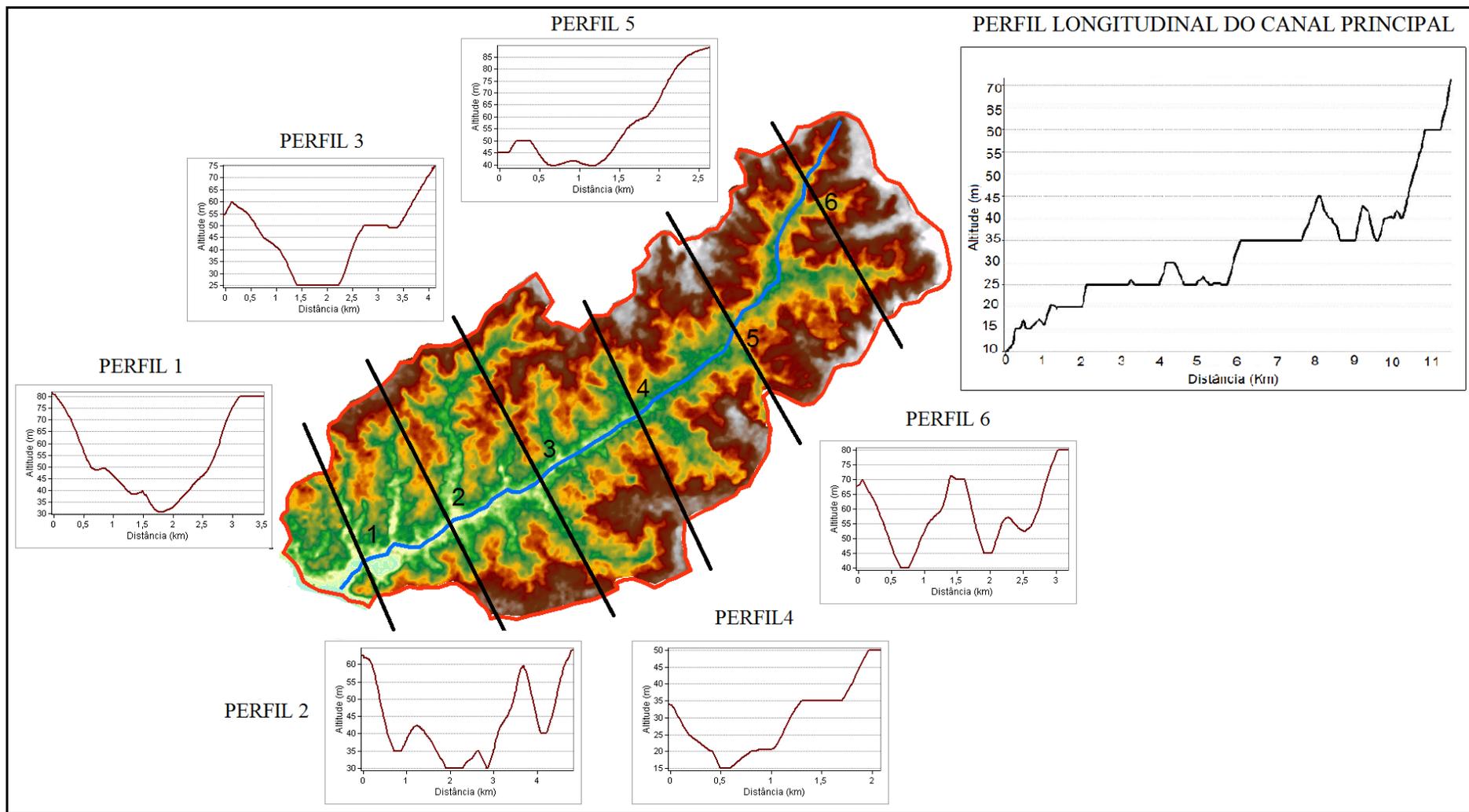


Figura 60: Perfis topográficos (1 a 6) e longitudinal (canal principal) da Sub-bacia do Educandos

5.4. LINEAMENTOS NA SUB-BACIA DO EDUCANDOS

A integração de elementos lineares, mudanças ortogonais de direção da rede de drenagem, quebras acentuadas de formas do relevo e disposição alinhada de colinas com topos planos, observados usando modelo digital de elevação, foram usadas para definir dois conjuntos de lineamentos que controlam a geometria da Sub-bacia do Educandos (Figura 61):

i) Lineamento com orientação $N60^{\circ}W$, que limita os extremos da sub-bacia e a secciona no meio gerando alargamento, com destaque na vertente direita. Esse alargamento foi usado para classificar a sub-bacia nas partes baixa e alta. As drenagens tributárias da margem esquerda exibem esta orientação.

ii) Lineamento orientado $N60^{\circ}E$, que controla o eixo da bacia ou leito principal, similar ao que ocorre na sub-bacia adjacente (a norte) do Igarapé do Mindú. Mudanças de trajetória N-S para NE do leito de três drenagens tributários (Igarapé do Quarenta) na margem direita, mostram baixa persistência das drenagens com esta orientação.

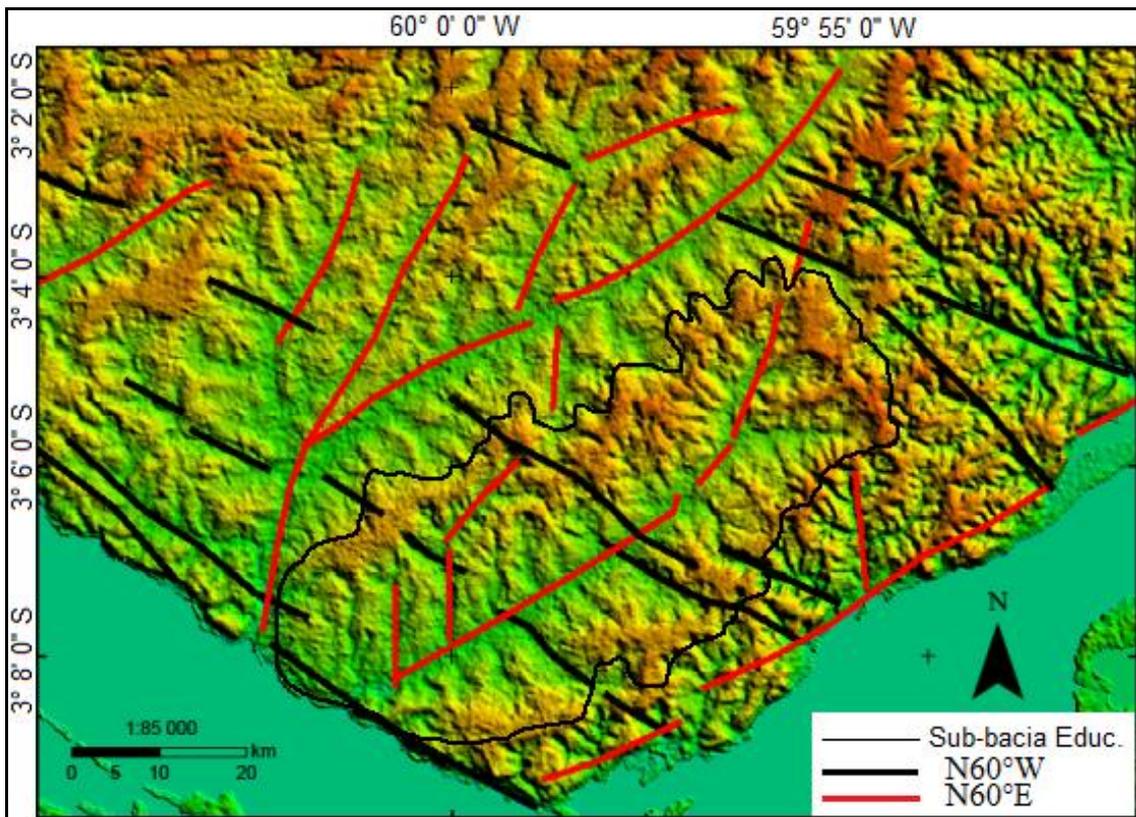


Figura 61: Segmentos lineares da rede de drenagem e quebras de relevo na Sub-bacia do Educandos e Sub-bacia do Mindú (parte superior da figura)

5.5. PROCESSOS EROSIVOS

Nas regiões tropicais de clima úmido, a pluviosidade é uma das variáveis naturais que participam ativamente tanto na modelagem do relevo, como na dinâmica de processos erosivos relacionados à erosão concentrada. Na área próxima à Sub-bacia do Educandos, duas estações meteorológicas coletam dados de forma sistemática pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM), regional Manaus.

Usando os dados de precipitação do INMET como referência, encontra-se que para o período de 1962 a 2016 (Figura 62) se tem que a precipitação anual teve um intervalo (anos entre 1979-1982) de pluviosidade variando de 1064 e 1386 mm, com máximo de 2545 e 2796 mm nos anos de 1973 e 1968, respectivamente.

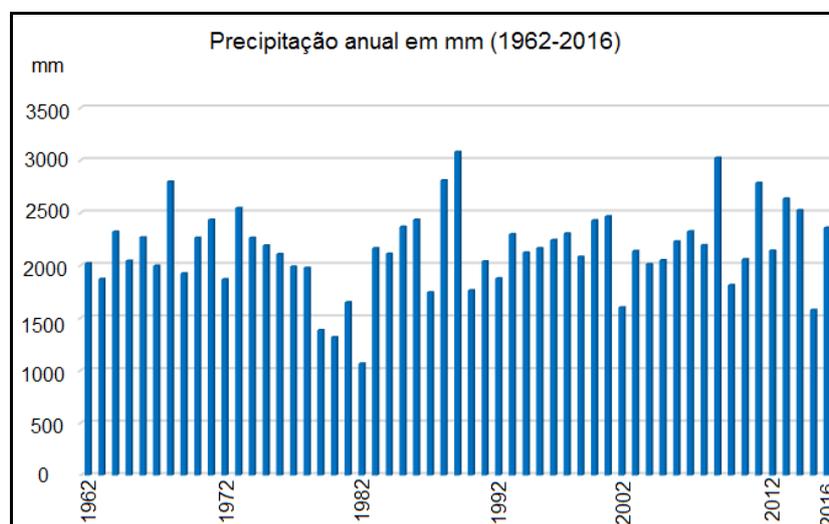


Figura 62: Distribuição da chuva na cidade de Manaus no intervalo de 1962 a 2016. Registro da precipitação na estação INMET Manaus

No intervalo de registro de 1962 a 2016, se comparado à precipitação acumulada anual, com a acumulada para os meses com maior precipitação (novembro a maio), não se observa nenhuma variação no padrão de distribuição da chuva (Figura 63). Em tal intervalo a precipitação varia entre 1800 e 2300 mm, sendo que seis anos exibem valores próximos de 2500 mm e dois de 3000 mm. Usando o mesmo período de registro, se comparada à precipitação acumulada anual com a acumulada para os meses com menor precipitação (meses de junho a outubro), (Figura 64), notam-se vários anos com valores relativos de precipitação com marcante variação, assim: i) até o período de baixa precipitação-seco (anos entre 1979-1982), a média dos meses secos varia em dois

intervalos até o ano de 1967 é < 300 mm e dois dados extremos acima de 450 mm. Depois a média aumenta para próximo de 400 mm, três valores extremos acima de 500 mm; ii) entre os anos de 1983 e 1989 é maior que 500 mm, com dois anos acima de 650 mm e para o ano de 1987 com 200 mm de chuva; iii) até o ano de 1997 a precipitação diminui para próxima de 400 mm com um ano acima de 600 mm; iv) a partir do ano 2000 a média de precipitação oscila em intervalos de dois a cinco anos, próxima de 500 mm, com valores extremos em torno de 200 mm.

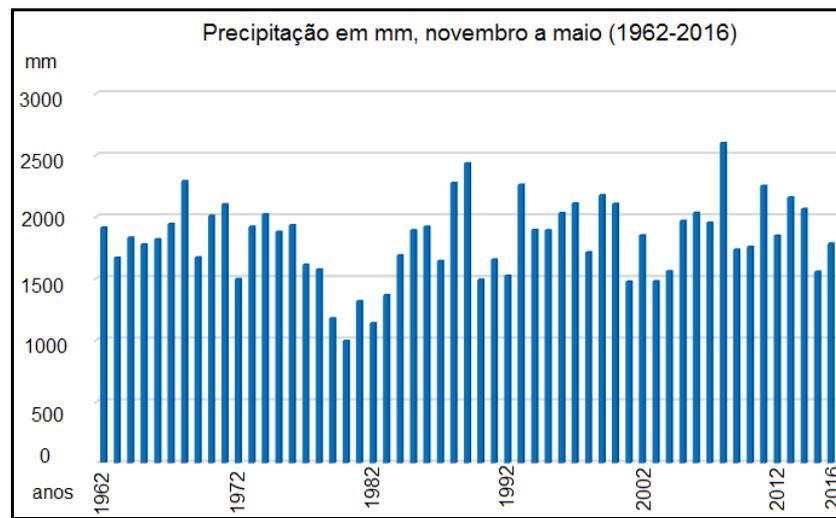


Figura 63: Distribuição da chuva na cidade de Manaus no intervalo de 1962 a 2016 no período úmido (novembro a maio)

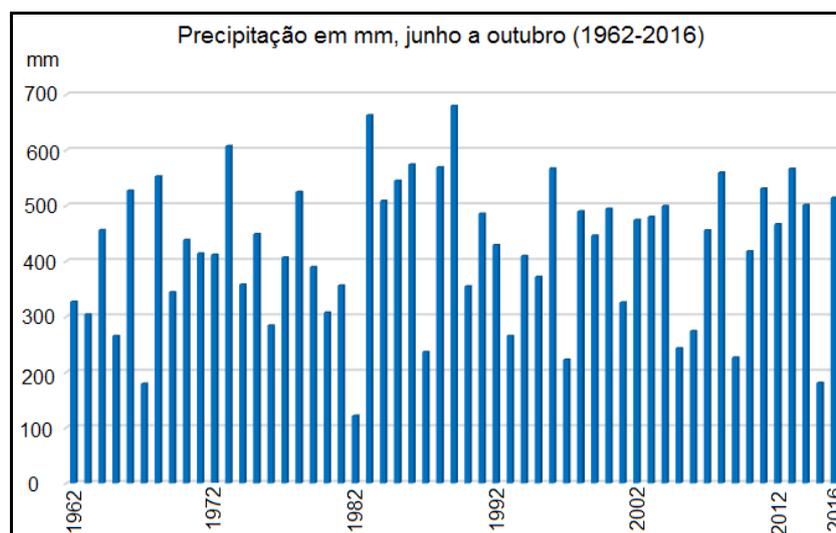


Figura 64: Distribuição da chuva na cidade de Manaus no intervalo de 1962 a 2016 no período seco (junho a outubro)

Assim, a intensidade da chuva e o efeito prolongado desta nos solos são as variáveis que mais pesam na dinâmica de processos erosivos, particularmente nos quais

ocorre remoção em massa de horizontes superiores de perfis de intemperismo susceptíveis a saturação em água e perda de coesão, ruptura e propagação desta com ação da gravidade em encostas com declividades altas ($>35^\circ$). Com uma precipitação pluvial prolongada, a infiltração é contínua, o que satura o solo, reduzindo a coesão do material da vertente e a resistência desse material à erosão, devido à expansão de cisalhamento em rochas ou contato rocha-solo e de interstícios do solo, ou de limites entre horizontes com reologia contrastante o que favorece os deslizamentos (TRICART, 1978; SELBY, 1982; ROMANOVSKII *et al.*, 1996). As variações microclimáticas, como diferenças de precipitação ao longo de uma vertente, podem determinar pontos preferenciais de ocorrência de deslizamentos. Assim, precipitações acima de 70 mm em até 60 minutos ou de 120 mm de precipitação contínua em 12 horas ou menos, geram saturação de solos mesmo com baixa permeabilidade.

5.6. MORFODINÂMICA

A morfodinâmica na Sub-bacia do Educandos ocorre principalmente em encostas com intermediária a alta declividade (20° - 30° , e $>35^\circ$) na forma de:

a) Erosão concentrada a qual iniciou pela disposição de águas pluviais concentradas no trecho íngreme da Rodovia BR-319, iniciando como ravina no horizonte inferior do perfil de intemperismo. A transição para voçoroca ocorreu quando o poder erosivo das águas pluviais atingiu o substrato estratificado de textura arenosa e de baixa a nula coesão. As variáveis dominantes deste fenômeno erosivo são por impacto da queda de água em jato e por remoção lateral na base da vertente da calha da voçoroca por ação de água concentrada com alta energia gravitacional. O fenômeno erosivo progride mediante a remoção dos estratos inferiores arenosos progressivamente para montante da vertente. Essa dinâmica promove o aumento da energia potencial da água, sendo mais expressiva no período chuvoso do ano. Este tipo de erosão foi observada ativa onde águas concentradas da Rodovia BR-319 no setor do Porto da Ceasa atingem sedimentos não consolidados com alta energia.

b) Deslizamento rotacional ou planar (Figura 65A) envolvendo ruptura e remoção dos horizontes intemperizados por saturação em água e ação da gravidade, ocorre principalmente em taludes de vias e em locais de relevo inclinado afetados por erosão concentrada de águas pluviais. Estes processos erosivos foram observados ativos nos tipos rotacional com remoção em massa do talude da via de acesso à reitoria (Figura 65B) e planar em vertente de drenagem sazonal (Figura 65C) desta, localizada na APA

UFAM. Estes dois processos erosivos foram ativados no mês de novembro de 2016 (dia 21) depois de evento de chuva no qual em apenas uma hora choveu 50 mm, com acumulado de 117,8 mm em 24 horas (dias 20 e 21), segundo dados do INMET (2016).

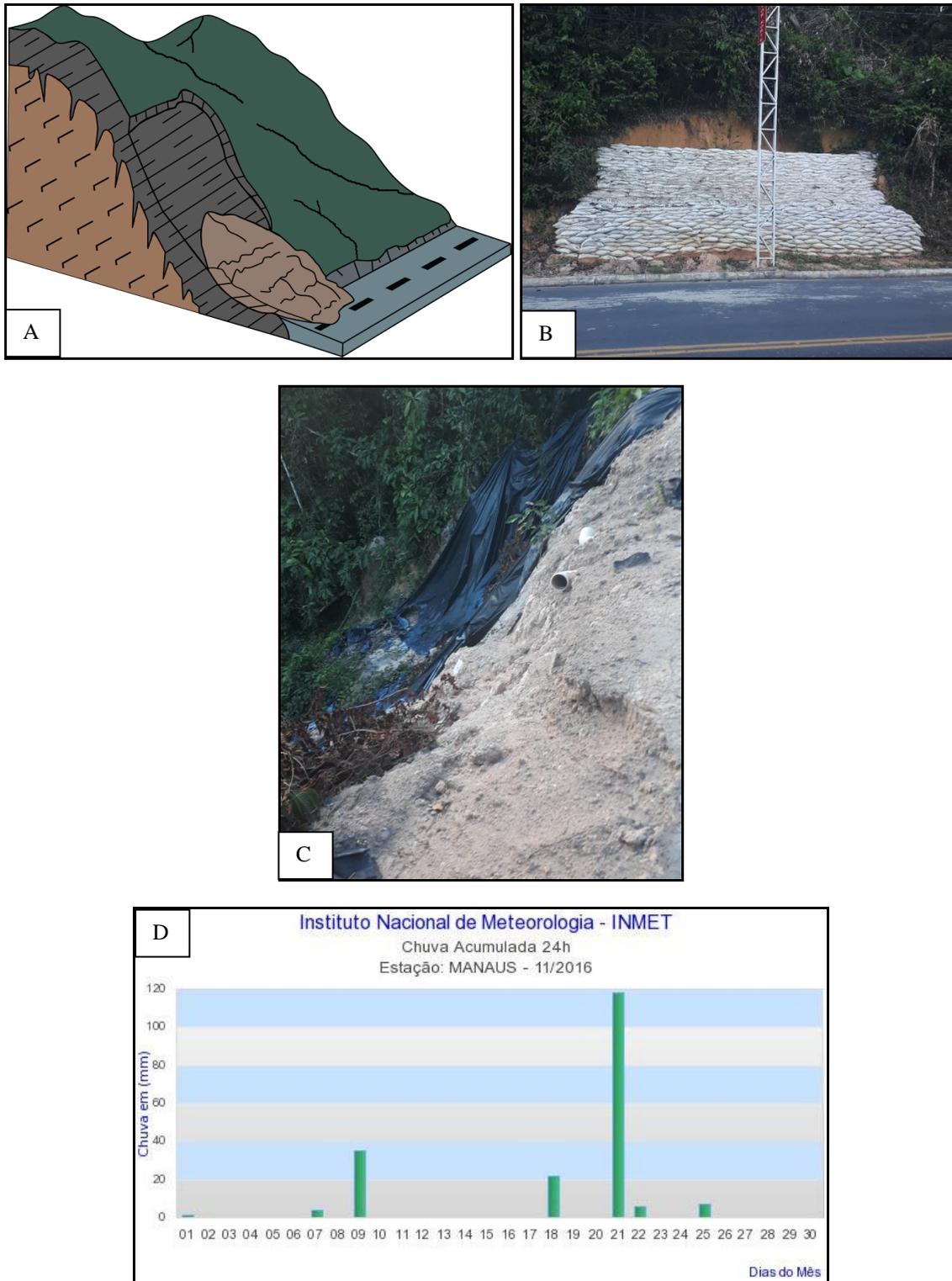


Figura 65: A) Representação de deslizamento rotacional; B) e C) deslizamento na via de acesso à reitoria da UFAM; D) gráfico de chuva acumulada em 24 horas (Novembro/2016). Fonte: INMET (2016)

c) O fenômeno erosivo mais comum é a erosão superficial produto de fluxo laminar de águas pluviais em áreas sem cobertura vegetal (taludes e encostas), com efeito de assoreamento da calha das principais drenagens.

As mudanças morfológicas induzidas pela ocupação urbana na bacia foram atribuídas a: a) obras de engenharia- retificação da drenagem do Igarapé do Educandos e do principal tributário na margem direita na baixa bacia (Igarapé do Quarenta), (Figura 66A). A canalização do leito de um corpo de água inclui a modificação deste na geometria natural por retificação, ocorrendo retirada da vegetação ripária protetora, cobertura e concretagem das bordas que limitam o leito, em altura desenhada segundo uma determinada vazão de desenho, a qual é função de um período de chuva devidamente selecionado. O propósito da canalização de um corpo de água é ordenar o uso e dar espaço à construção de sistema viário urbano.

O Igarapé do Educandos foi canalizado em um trecho de 4,1 km, e o igarapé tributário da sua margem direita, foi retificado em trecho de 2,2 km (Figura 66B), em ambos os casos foi ocupada à área de várzea em largura de 60 m e de 45 m, respectivamente.



Figura 66: A) Retificação do Igarapé do Quarenta, próximo ao Sistema Viário do Quarenta (viaduto do Japiim)



Figura 66: B) Detalhe da retificação do Igarapé do Quarenta. Fonte: Google Earth (2018)

b) No bairro Distrito Industrial vertente esquerda da parte alta da sub-bacia, o sistema construtivo dominante consistiu na conformação de uma ampla área plana. Para este fim foi necessário realizar cortes (Figura 67) onde o terreno apresentava alguma declividade para aplainar este. Inclui prévia retirada da vegetação e do perfil saprolítico até o nível de altura requerido. Este procedimento envolveu a conformação de taludes de até 12 m. Outra técnica usada (restrita) foi a conformação de terraplanagens, que consiste no preenchimento de uma depressão com material saprolítico adequadamente compactado e drenado para garantir a estabilidade. Este procedimento tem como fins ampliar a área explanada a ser construída e/ou adequar vales para construir uma via urbana ou de acesso à área privada. Estas intervenções geraram mudanças da conformação do relevo particularmente mais drásticas na forma e continuidade da rede natural das drenagens, em especial as sazonais, e áreas de nascentes de córregos.

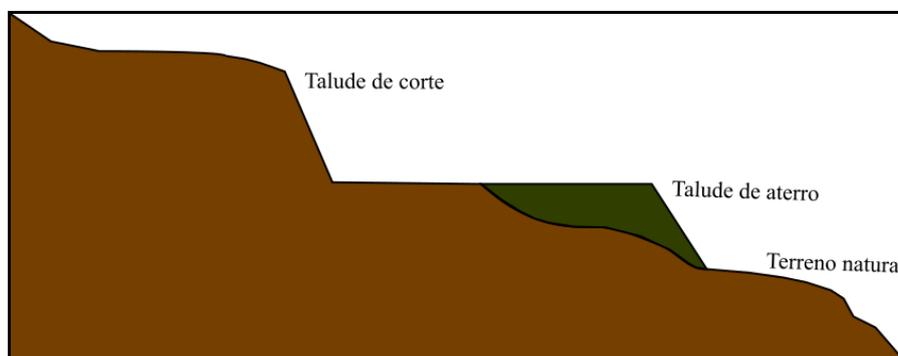


Figura 67: Esquema representativo de corte e preenchimento de taludes. Figura elaborada pela autora

5.7. USO DO SOLO NA SUB-BACIA DO EDUCANDOS

O tipo de ocupação da Sub-bacia do Educandos, de forma geral, apresenta três tipos de usos descritos a seguir segundo sua área de ocorrência dentro da bacia:

a) Urbano residencial-comercial, onde predominam construções com altura baixa (máximo 2 andares). Prédios e condomínios de até 20 andares estão restritos a pequena área na margem direita da parte baixa da sub-bacia. Este tipo de ocupação se adapta à geometria natural do terreno, já que não requer conformação plana do terreno em ampla área para sua instalação. Caracteriza-se por cobrir e impermeabilizar de forma contínua amplas áreas, ocupar drenagens sazonais (Figuras 68, 69) e nascentes de pequeno porte, reduz a área de infiltração das águas da chuva no terreno, o que aumenta o volume de escoamento superficial e gera nos eventos de chuva picos altos de vazão nas drenagens naturais. Também aumenta a energia cinética destas águas pluviais e seu poder erosivo quando concentradas drenagens naturais. A densa malha viária requerida para a função social urbana geralmente muda a distribuição das águas pluviais nas drenagens naturais e portanto a vazão das mesmas durante um evento chuvoso. Este tipo de uso corresponde a 25.000.079,01 m² o que representa 77,80% da área da sub-bacia.



Figura 68: Construções em área inapropriada, próximo à voçoroca no afloramento ED-07 (Porto da Ceasa), primeira (A) e terceira (B) etapa de campo

b) Industrial-construções de um ou máximo dois andares. Trata-se de construções que ocupam áreas de várias centenas de m², são construídas de forma modular, separadas por áreas com vegetação geralmente de tipo ripária protetora. São dotadas de sistema viário espaçado e amplo, desta forma sua participação na captura e concentração de águas pluviais é atenuado pelo seu caráter menos denso. A área com uso industrial corresponde a 7.048315,34 m² o que representa 21,93% do total.



Figura 69: A) Área industrial da Sub-bacia do Educandos (destacado pela linha azul); B) detalhe de algumas das empresas do Distrito Industrial I

c) Cobertura vegetal: 8.541,500 m² da área que corresponde a 0,26 % da área da Sub-bacia do Educandos está representado por uma APA-área de proteção ambiental UFAM e uma RVS-Refúgio da Vida Silvestre Sauim-Castanheiras, onde o relevo e os processos morfodinâmicos foram pouco ou não modificados.



Figura 70: Vegetação na Sub-bacia do Educandos (destacado em branco)

A partir da análise do mapa de uso do solo da Sub-bacia do Educandos (Figura 70), nota-se um predomínio da classe área urbana (em rosa), que compreende diversos usos (residencial, industrial, comercial, instituições públicas). A outra classe é a vegetação, que ocorre em três fragmentos principais, sendo dois deles na parte alta e um na parte baixa da sub-bacia, ocorrendo também alguns fragmentos menores e dispersos. Foi considerada também a classe solo exposto, que ocorre como pequenos pontos (em branco) dispersos na bacia, principalmente na parte alta, geralmente próximo as empresas do Distrito Industrial.

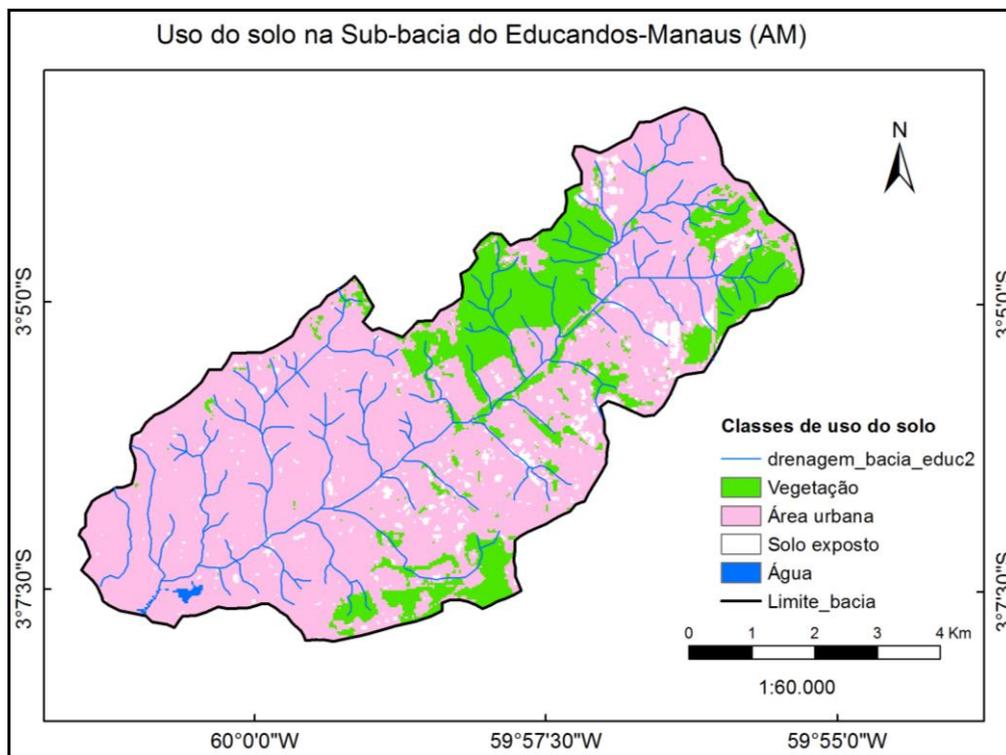


Figura 71: Mapa de uso do solo na Sub-bacia do Educandos

6. DISCUSSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Variáveis geológicas independentes como composição das rochas, disposição e relações estratigráficas entre litótipos, presença de feições estruturais e contexto tectônico regional, são informações analisadas na compreensão da geração e evolução das geofomas de uma região. Em regiões climáticas tropicais o desenvolvimento da rede de drenagem é o principal processo exógeno modelador da paisagem e da formação de uma bacia. Na compreensão da evolução morfológica de bacias de drenagem, análises morfométricas visam determinar parâmetros geométricos relacionados com a forma, densidade e distribuição da rede de drenagem. A interpretação de parâmetros morfométricos permite fazer inferências sobre relações entre tipos de rocha, estruturas e a evolução do padrão de drenagem de uma bacia (ESPER, 2008; MAGESH *et al.*, 2011; BALI *et al.*, 2012). O padrão de drenagem, geralmente expressa o domínio de variáveis climáticas, geológicas, e de cunho tectônico. Sob tal domínio os parâmetros geométricos adotam suas características refletindo a evolução da bacia (THOMAS *et al.*, 2012).

Nesse contexto, o perfil de intemperismo é um indicador da maturidade do perfil (COSTA, 1991), sendo que na área de estudo, os lateritos possuem avançado estado de erosão (desmantelados), desenvolvido pelo intemperismo químico de sedimentos não consolidados, em condições climáticas tropicais dominantes. As características estruturais do perfil de intemperismo (composição de horizontes) desenvolvido nos sedimentos que afloram na área de estudo são parecidas ao desenvolvido em rochas sedimentares siliciclásticas (HORBE *et al.*, 2001; COSTA *et al.*, 2001). Assim, não é a composição da rocha, nem sua textura ou estrutura interna, uma variável relevante que condicione a formação do perfil saprolítico gerado na região de Manaus, quando comparado com os da região Amazônica, e sim as condições climáticas atuantes.

A rede de drenagem da região de Manaus apresenta distribuição espacial e orientação similar à dos rios Negro e Solimões, cuja confluência ocorre em ângulo obtuso. Igarapés como Tarumã, Mindú e Educandos, possuem bacias com similar orientação (NE) deste trecho do rio Solimões. Em contraste, os Igarapés do Quarenta e Puraquequara exibem percurso com similar atitude (NW) à do Rio Negro. Por sua vez, estas sub-bacias são dissecadas por drenagens secundárias cujos leitos alinhados

representariam prováveis estruturas com essas duas atitudes dominantes, gerando um padrão de forma retangular que sugere controle estrutural.

O padrão de drenagem dos principais rios da região de Manaus exhibe semelhanças na orientação, forma linear do canal principal e arranjo geral retangular alongado. No entanto, parâmetros morfométricos e principalmente, a assimetria da forma da bacia é variável, distinta e caracteriza cada uma (IBANEZ e RICCOMINI 2011; SARGES *et al.*, 2011). Para esta mesma região de Manaus, estudos morfométricos aplicados em microbacias com drenagem principal orientada para NE, não têm precedentes que comprovem as variáveis dominantes e relação destas com o padrão de drenagem da mesma.

A formação do relevo na bacia dos rios Solimões e Amazonas tem sido relacionada com processos geomorfológicos ligados a controle estrutural, assim como a estruturação dos vales destes rios e da rede de drenagem dos corpos de água que confluem nestes. A rede de drenagem da região de Manaus entende-se como governada por um sistema de cisalhamento transcorrente desenvolvido a partir do Mioceno até o recente em regime rúptil, onde estruturas conjugadas sintéticas formaram grabéns orientados NW-SE e estruturas antitéticas compressivas que exibem trend dominante NE-SW. Dentre essas estruturas, as que exibem orientação NW-SE, controlam o leito dos maiores rios (EIRAS & KINOSHITA, 1988; CUNHA, 1991; BEMERGUY e SENA COSTA, 1991). Vários trabalhos baseados em sensoriamento remoto com foco no arranjo geométrico da drenagem de sub-bacias convergem para esta hipótese, de forma similar a trabalhos sobre deslocamento de solos lateríticos da região de Manaus (COSTA, 1991).

A análise geomorfológica da área de estudo mostrou que o perfil de intemperismo exhibe características similares ao laterito imaturo alóctone descrito por Costa (1991), desenvolvido em sedimentos não consolidados estratificados, onde predominam estratos arenosos. Tais estratos localmente exibem basculamento de 18°-22° para NE.

A orientação do leito principal da bacia (N60°E) é uma feição restrita na região já que os principais rios (maiores ordens) se dispõem em trend regional NW. No arranjo da rede de drenagem de interesse, alguns corpos de água apresentam mudanças de trajetória do leito em ângulo reto, tais mudanças são entendidas como induzidas por arranjo estrutural local do substrato rochoso que tem relação com arranjo da tectônica transcorrente regional (SENA COSTA *et al.*, 1996).

Interpreta-se que a organização do eixo principal da rede de drenagem desta bacia é condizente com provável estrutura compressiva controladora da forma elíptica e orientação NE. Regionalmente este tipo de controle é subordinado a pequenos domínios e restrito a alguns igarapés. O seccionamento transversal da bacia por lineamentos N60°W, são condizentes com o modelo de sistema de cisalhamento transcorrente dextral proposto por Sena Costa *et al.*, (1996) para a região de Manaus. Neste modelo os lineamentos N60°E dos leitos dos Igarapés Mindú e Educandos seriam antitéticos. Em resumo o percurso do Igarapé do Educandos mostra migração para SW sem mudanças de alinhamento. No Igarapé do Quarenta (tributário da margem direita) o percurso muda de migração de NS para NE-SW na interseção das estruturas antitéticas com o sistema de cisalhamento orientado para NW.

Em regiões com relevo ondulado, localizadas em climas tropicais onde os processos de intemperismo químico dominam, os saprólitos gerados são geralmente espessos. Nestes materiais, precipitação pluvial prolongada ou de curta duração (mais intensa), promovem no perfil de intemperismo, contínua infiltração até o nível de saturação. A saturação em água de um solo reduz o grau de coesão interna e a resistência ao cisalhamento, ativando ruptura lítrica ou planar do solo e sua propagação. Uma vez saturados os solos (horizontes de acúmulo de perfis de intemperismos são mais susceptíveis a saturação em água), a força de ação da gravidade promove a remoção em massa por deslizamento, sendo mais dinâmica em encostas com declividades altas (>35°). A saturação de água também gera deslizamentos planares ou de translação. Este tipo de processo morfodinâmico se manifesta como cisalhamento em rochas intemperizadas fraturadas, no contato rocha-solo ou nos limites entre horizontes com contraste reológico (TRICART, 1978; SELBY, 1982). Tendo em conta que na área de estudo a remoção em massa por deslizamento ocorre localizada e que sua ativação depende da saturação de solos, sua ativação na Sub-bacia do Educandos se restringe a áreas de proteção ambiental onde a infiltração não está limitada. Variações microclimáticas, como diferenças de precipitação ao longo de uma vertente, podem determinar pontos preferenciais de ocorrência de deslizamentos. Assim, precipitações acima de 70 mm em até 60 minutos ou de 120 mm de precipitação contínua em 12 horas ou menos, geram saturação de solos, mesmo com baixa permeabilidade.

A ocupação com concreto e asfalto de parte do leito e da várzea do Igarapé Educandos no trecho canalizado, gerou mudanças nas propriedades de infiltração e recarga de água, assim como isolamento do leito. A instalação de infraestrutura

industrial acarretou intervenções que geraram mudanças da conformação do relevo particularmente mais drásticas na forma (retificou) e continuidade da rede natural das drenagens, em especial as sazonais, e áreas de nascentes de córregos. Assim como o redirecionamento de águas pluviais.

É consenso que processos erosivos que afetam saprólitos desenvolvidos em vertentes, são influenciados pelo relevo, pelo fluxo da água de chuva quando se infiltra no terreno, pela intensidade e distribuição da água de chuva e pela capacidade do saprólito de retenção e escoamento desta. A variação de elementos do relevo como declividade, forma da encosta, permeabilidade do solo, são relevantes no entendimento dos tipos de mecanismos erosivos. Assim, por exemplo, a suscetibilidade a erosão por remoção em massa é maior na transição de formas côncavas para convexas, vertentes lineares apresentam maior estabilidade. As vertentes com formas côncavas apresentam acúmulo de sedimento, principalmente na base de encostas, onde é maior a convergência de água escoada. Na área de estudo, as modificações do relevo pela ocupação do solo com indústrias, gerou mudanças permanentes na geometria do relevo e na relação do sistema natural, escoamento e infiltração de águas pluviais da rede de drenagem da bacia.

A remoção em massa por deslizamento geralmente afeta os horizontes superficiais do perfil de intemperismo. É ativada pela diminuição da coesão interna dos materiais do saprólito devido à saturação em água destes. Uma vez que o solo é saturado em água, o efeito da gravidade promove a erosão, isso acontece em encostas ou vertentes de vales com declividades altas (geralmente $>35^\circ$), em taludes de vias urbanas e estradas. A ativação da superfície de ruptura geralmente acompanha mudanças de permeabilidade do perfil, descontinuidades preexistentes ou a transição do perfil de intemperismo para a rocha alterada. Os tipos de remoção mais comuns são: 1) os rotacionais nos quais a geometria da superfície de ruptura depende da combinação destas variáveis e pode ser lítrica, quando inicia em alto ângulo cortando a estratificação do saprólito e se horizontalizando quando atinge os horizontes de transição para a rocha alterada, geralmente este tipo de erosão afeta saprólitos espessos; 2) por translação associada a descontinuidades planares da rocha e/ou estruturas preexistentes herdadas no saprólito com inclinação no mesmo sentido da declividade do relevo. Os aspectos morfodinâmicos mais relevantes são integrados mediante zonas homólogas, cada uma das quais exibem características morfodinâmicas similares.

REFERÊNCIAS

- ABINADER, H. D. Depósitos Cenozoicos da Porção Oeste da Bacia do Amazonas. 2008. Dissertação de mestrado. Departamento de Geociências, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 98p.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Análise granulométrica: Método de ensaio: NBR 7181. Rio de Janeiro, 1984.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Determinação do Limite de Liquidez: Método e ensaio: NBR 6459. Rio de Janeiro, 1984. 6p.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Sondagem a trado: NBR 9603. Rio de Janeiro, 1986. 6p.
- AGUIAR, C. J. B; HORBE, A. M. C; ROSA FILHO, S. F; LOPES, E. S; MOURA, U. F; ANDRADE, N. M; DIÓGENES, H. S. 2002. Carta hidrogeológica da cidade de Manaus. CPRM- Manaus, Relatório Interno, 1-4.
- BALI, R; AGARWAL, K; NAWAZ, ALI S; RASTOGI, S; KRISHNA, K. 2012. Drainage morphometry of Himalayan Glacio-fluvial basin, India: hydrologic and neotectonic implications. Environ Earth Science, vol. 66(4):1163–1174.
- BATISTA, S. P. M. Algumas considerações sobre as intervenções do PROSAMIM no ordenamento da cidade de Manaus. REVISTA GEONORTE, Edição Especial 3, V.7, N.1, p.1400-1417, 2013.
- BEMERGUY, R. L & SENA COSTA, J. B. 1991. Considerações sobre o sistema de drenagem da Amazônia e sua relação com o arcabouço tectono-estrutural. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. (Série Ciências da Terra). 3: 75-97.
- BENTO, A. H. 1998. Mapeamento geotécnico da área urbana de Manaus- AM. 1998. Dissertação de Mestrado. Centro de Ciências do Ambiente, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 182p.
- BRAJA, M. DAS. 2011. Fundamentos de Engenharia Geotécnica. Cengage Learning. Tradução da sétima edição norte-americana.
- BRASIL. 2000. Lei Federal Nº 9.985 de 18/07/2000. Regulamenta o artigo 225 da Constituição Federal e institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação e da outras providências.
- CAMPELO, N. S; CARNEIRO, B. J. I; CARVALHO, J. S; ALBIERO, J. H; SILVA, C. L. 2009. Estudo da estabilidade global de quatro taludes, localizados em algumas regiões da cidade de Manaus.
- CAMPOS, J. N. P; TEIXEIRA, L. B. Estilos tectônicos da Bacia do Amazonas. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 35, 1988, Belém, Anais. São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 1988. v. 5, p. 2161-2172.

CAPUTO, H. P. Mecânica dos solos e suas aplicações. Fundamentos, volume 1. 1988. Editora LTC 6º edição.

CHAUVEL, A; BOULET, R; JOIN, P; BOUCQUIER, G. aluminium and iron oxihydroxide segregation in nodules of latosols developed on Tertiary sediments (Barreiras Group), near Manaus (Amazon basin), Brazil. In: MELFI, A. J; CARVALHO, A., (Ed.) Lateritisation Process. São Paulo: Instituto Astronômico e Geofísico/USP. 1982.

CORDANI, U. G; TASSINARI, C. C. G; KAWASHITA, K. 1984. A Serra dos Carajás como região limítrofe entre províncias tectônicas. Ciências da Terra, 9: 6-11.

COSTA, R. C. R; FILHO, N. T; OLIVEIRA, A. A. B. 1978. Geomorfologia. Folha SA. 20- Manaus. In: Projeto RADAMBRASIL (Levantamento de Recursos Naturais). Rio de Janeiro, MME/DNPM, 18: 167-224.

COSTA, J. B. S; BEMERGUY, R. L; HASUI, Y. BORGES, M. S; FERREIRA JÚNIOR, C. R. P; BEZERRA, P. E. L; COSTA, M. L; FERNANDES, J. M. G. 1996. Neotectônica da Região Amazônica: Aspectos Tectônicos, Geomorfológicos e Depositionais. Geonomos, Belo Horizonte, v. 4, (2), p. 23-44.

COSTA, J. B. S; HASUI, Y. Evolução geológica da Amazônia. In: COSTA, M. L.; ANGÉLICA, R. S. (Eds) Contribuições à Geologia da Amazônia. Belém, FINEP/SBG-Núcleo Norte, 1997. v. 1, p. 15-90.

COSTA, J. B. S; BEMERGUY, R.L; HASUI, Y; BORGES, M. S. Tectonics palaeogeography along the Amazon river. J. S. Am. Earth Sciences. v. 14, p. 335-347. 2001.

COSTA, M. L. 1991. Aspectos geológicos dos lateritos da Amazônia. Revista Brasileira de Geociências 21(2): 146-160.

COSTA, J. B. S., R. L. BEMERGUY, Y. HASUI & M. S. BORGES, 2001. Tectonics and paleogeography along the Amazon river. Journal of South American Earth Sciences. 14 (4): 335-347.

COX, R. T. Analysis of drainage and basin symmetry as a rapid technique to identify areas of possible Quaternary tilt-block tectonics: an example from the Mississippi Embayment. GSA Bulletin, v. 106, n. 5, p. 571-581, 1994.

CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia. São Paulo: Edgard Blucher, 1980. 2ª edição 188p.

CUNHA, F. M. B. 1991. Morfologia e neotectonismo do Rio Amazonas. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 3, Belém, 1991. Anais... Belém: SBG/NO, p. 193-210.

CUNHA, P. R. C; GONZAGA, F. G; COUTINHO, L. F. C. Bacia do Amazonas. Boletim de Geociências da Petrobras. Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 47-55, jan/mar. 1994.

CUNHA, P. R. C; MELO, J. H. G; SILVA, O. B. Bacia do Amazonas. Boletim de Geociências da Petrobrás, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 227-251, maio/nov. 2007.

DAEMON, R. F. 1975. Contribuição à datação da Formação Alter do Chão, Bacia do Amazonas. Rev. Bras. Geo. 5:58-84.

DEINFRA. 1994. Instruções normativas para execução de sondagens. IN-04/94. Santa Catarina.

DINO, R; SILVA, O. B; ABRAÃO, D. 1999. Caracterização Palinológica e Estratigráfica de Estratos Cretáceos da Formação Alter do Chão, Bacia do Amazonas. In: UNESP, Simpósio sobre o Cretáceo do Brasil, 5, Rio Claro, SP, *Anais*:557-565.

DINO, R; SOARES, E. A. A; RICCOMINI, C; ANTONIOLI, L; NOGUEIRA, A. C. R. 2006. Caracterização Palinoestratigráfica de Depósitos Miocênicos na Bacia do Amazonas, região de Manacapuru, AM. In: 7º Simpósio do Cretáceo do Brasil e 1º Simpósio do Terciário do Brasil, Serra Negra. Rio Claro: UNESP, v.1. p. 43.

EIRAS, J. F. & KINOSHITA, E. M. 1988. Evidências de movimentos transcorrentes na Bacia do Tacutu. Rio de Janeiro: Petrobrás. Boletim de Geociências, 2 (2/4):193-208.

EIRAS, J. F; BECKER, C. R; SOUSA, E. M; GONZAGA, F. G; SILVA, J. G. F; DANIEL, L. M. F; MATSUDA, N. S; FEIJÓ, F. J. Bacia do Solimões. Boletim de Geociências da Petrobras, v. 8, n. 1, p. 17-45, 1994.

EPIA- Estudo Prévio de Impacto Ambiental (PROSAMIM-Programa Social e Ambiental dos Igarapés de Manaus). 2004. Governo do Estado do Amazonas. 394 p.

ESPER, A. 2008. Morphometric analysis of Colanguil river basin and flash flood hazard, San Juan, Argentina. Environmental Geology, vol. 55:107–111.

FERNANDES FILHO, L. A. 1996. Geologia, mineralogia, geoquímica dos lateritos de Manaus – Amazonas: Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade Federal do Pará, Belém. 96 p.

FERNANDES FILHO, L. A; COSTA, M. L; COSTA, J. B. S. 1997. Registros neotectônicos nos lateritos de Manaus – Amazonas. Geociências 16 (1): 9-33.

FERREIRA, P. R. G. 2012. Avaliação ambiental de sedimentos de fundo da Sub-bacia do igarapé Educandos (Manaus – AM) usando uma técnica de extração sequencial. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Amazonas, 2012, 63 p.

FRANZINELLI, E; IGREJA, H. L. S. Utilização de sensoriamento remoto na área do baixo Rio Negro e Grande Manaus. VI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto 3: 641-648.

GEOMANAUS. 2002. Relatório Ambiental Urbano Integrado: informe GEO: Manaus/Supervisão: Ana Lúcia Nadalutti La Rovere, Samyra Crespo: Coodenação: Rui Velloso. Consórcio Parceria, Rio de Janeiro, 21, 1888 p.

GONÇALVES, V; PAES, K; MOLINARI, D. Caracterização da área de preservação permanente da Bacia do Igarapé do Quarenta-Manaus (Amazonas). *REVISTA GEONORTE*, Edição Especial 4, V.10, N.1, p.223-228, 2014.

HORBE, A. M. C; COSTA, M. L. Alumino-goethita em latossolos amazônicos. In: *SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA 4*, 1994, Belém: Anais: Sociedade Brasileira de Geologia, 1994, p. 172-5.

HORBE, A. M. C. & COSTA, M. L. 1997. Solos gerados a partir do intemperismo de crostas lateríticas silicoferruginosas. *Acta Amazônica* 27: 241-256.

HORBE, A. M. C. & COSTA, M. L. 1999. Geochemical evolution of a lateritic Sn–Zr–Th–Nb–Y–REE-bearing ore body derived from apogranite: the case of Pitinga, Amazonas-Brazil. *Journal of Geochemical Exploration*, 66: 339-351.

HORBE, A. M. C; NOGUEIRA, A. C. R; HORBE, M. A; COSTA, M. L; SUGUIO, K. A lateritização na gênese das superfícies de aplainamento da região de Presidente Figueiredo- Balbina, nordeste do Amazonas. In: REIS, N. J; MONTEIRO, M. A. S. *Contribuição à Geologia da Amazônia*. Manaus: Sociedade Brasileira de Geociências, 2001, v. 2, p. 148-176.

HORBE, A. M. C; COSTA, M. L. 2004. Lateritic crusts and related soils in eastern Brazilian Amazonia. *Geoderma*, 126: 225-239.

HORBE, A. M. C. 2014. Idades paleomagnéticas de crostas lateríticas da Amazônia. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais* 9 (1): 93-104.

IBANEZ, D. M; RICCOMINI, C. O uso da assimetria de bacias para o estudo neotectônico na Amazônia Central. *Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR*, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE, p. 3467.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística: Manual de pedologia. 1991.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística: Censo Demográfico. Características da população e dos domicílios. Rio de Janeiro, 2000.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística: síntese de indicadores sociais: uma análise das condições de vida da população brasileira. Rio de Janeiro, 2012. (ebook). ISBN: 978-85-240-4259-1.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Dados populacionais do município de Manaus, 2017. Disponível em <https://cidades.ibge.gov.br/v4/brasil/am/manaus/panorama>.

INPE- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2011. Os satélites Landsat 5 e 7. Disponível em: http://www.dgi.inpe.br/Suporte/files/Cameras-LANDSAT57_PT.php.

INPE- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2011. Catálogo de imagens. Disponível em: www.dgi.inpe.br/CDSR.

JAT, M. K; GARG, P. K; KHARE, D. Monitoring and modeling of urban sprawl using remote sensing and GIS techniques. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v. 10, p. 26-43, 2008.

KISTLER, P. 1954. Historical resume of the Amazon Basin. Belém, PETROBRAS/RENOR, Relatório interno 104-A.

KUCK, T. N. 2010. Análise da impermeabilização da área urbana de Manaus (1987-2006) com o uso do modelo de mistura espectral mesma. Dissertação de mestrado, Instituto de Pesquisas Espaciais, 98 p.

LANDSAT 5 TM. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2011. Imagem de satélite.

LEAL, P. C. 1996. Caracterização e interpretações genéticas de alguns solos da região de Manaus-AM. *Ciências do Solo*. Recife-PE: Universidade Federal Rural de Pernambuco. 109 p.

MAGESH, N; CHANDRASEKAR, N; SOUNDANAYAGAM, J. 2011. Morphometric evaluation of Papanasam and Manimuthar watersheds, parts of Western Ghats, Tirunelveli district, Tamil Nadu, India: a GIS approach. *Environmental Earth Science*, vol. 64(2):373–381.

MANAUS. 2002. Lei n° 671, de 04 de novembro de 2002. Plano Diretor Urbano e Ambiental do Município de Manaus.

MANAUS. 2002. Lei n° 672, de 04 de Novembro de 2002. Normas de Uso e Ocupação do Solo no Município de Manaus, Estado do Amazonas.

MANAUS. 2004. Lei n° 788, de 25 de julho de 2004. Dispõe sobre a instituição da Área de Especial Interesse, no âmbito da bacia hidrográfica dos Educandos.

MANAUS. 2013. Cartilha do Plano Diretor Urbano e Ambiental do município de Manaus.

MANAUS-SEMMAS, 2017. Áreas Protegidas. Disponível em <http://semmas.manaus.am.gov.br/areas-protegidas>.

MATSUDA, N. S; WINTER, W. R; FILHO, J. R. W; CACELA, A. S. M. O Paleozoico da borda sul da Bacia do Amazonas, Rio Tapajós- Estado do Pará. *Roteiros geológicos. Boletim de Geociências da Petrobrás*, Rio de Janeiro, v. 18, n. 1, p. 123-152, nov. 2009/maio 2010.

MELO, E. G. F; SILVA, M. S. R; MIRANDA, S. A. F. Influência antrópica sobre águas de igarapés na Cidade de Manaus- Amazonas. *Caminhos de Geografia* 5 (16) 40 - 47, out/2005.

MIRANDA, F. P; BENTZ, C. M; FONSECA, L. E. N; LIMA, C; COSTA, A. R. A; NUNES, K. C; FELGUEIRAS, C. A; ALMEIDA FILHO, R. Integração de dados de sensoriamento remoto, aeromagnetometria e topografia na definição do arcabouço

estrutural da região do Rio Uatumã (Bacia do Amazonas). Rio de Janeiro, PETROBRAS. 61 p. 1994.

NASCIMENTO, D. A; MAURO, C. A; GARCIA, M. G. L. 1976. Geomorfologia. Folha SA. 21- Santarém. In: Projeto RADAMBRASIL (Levantamento de Recursos Naturais). Rio de Janeiro, 10: 131-181.

NAVA, D. B. 1999. Mapa de vulnerabilidade aos processos erosivos da porção sudeste da cidade de Manaus, Amazonas. Dissertação de mestrado, Universidade do Amazonas, 101 p.

NEVES, C. A. O. 1990. Prospectos potenciais e áreas prioritárias para exploração na Bacia do Amazonas. Boletim de Geociências da Petrobrás, Rio de Janeiro, 1:95-103.

NOGUEIRA, E. M; KUCK, T. N; PARISE, M. 2015. Caracterização hidromorfológica da Bacia do Igarapé do Educandos e a correlação com registros de ocorrências da Defesa Civil. Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE.

NORMANDO, M. N. 2012. Qualidade de água do Igarapé do Mestre Chico-PROSAMIM em Manaus/AM. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Pará, 2012, 69 p.

OLIVEIRA, F. N. M; ARAUJO, R. L. C; CARVALHO, J. S; SILVA, C. L. Inferência de mudanças climáticas na região de Manaus (AM) usando dados geotermiais e meteorológicos. Revista Brasileira de Geofísica vol. 24 (2), 2006.

RIMA- Relatório de impacto ambiental. 2004. Programa Social e Ambiental dos Igarapés de Manaus- PROSAMIM.

RODRIGUES, D. O; SILVA, S. L. R; SILVA, M. S. R. 2009. Avaliação ecotoxicológica preliminar das águas das Bacias Hidrográficas dos rios Tarumã, São Raimundo e Educandos. Acta Amazônica, vol. 39(4) 2009: 935 – 942.

ROZO, J. M. G; NOGUEIRA, A. C. R; HORBE, A. M. C; CARVALHO, A. S. 2005. Depósitos Neógenos da Bacia do Amazonas. Contribuições à Geologia da Amazônia vol. 4, 201-207.

SALATI, E. 1990. Modificações da Amazônia nos últimos 300 anos: suas consequências sociais e ecológicas. IN: BRITO, S.S. (Ed.). Desafio Amazônico: o futuro da civilização dos trópicos. Brasília: Editora da Universidade de Brasília, CNPq. p. 23-39.

SANTOS, D. A. R; MORAIS, F. Assimetria de bacias hidrográficas e influências litoestruturais na geomorfologia do Rio Formoso, TO. Caminhos de Geografia Uberlândia v. 18, n. 61 Março/2017 p. 180–199.

SARGES, R. R. 2007. Relações entre as estruturas tectônicas, sedimentação coluvial e geomorfogênese da região de Manaus, Amazonas. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo, 121 p.

- SARGES, R. R; SILVA, T. M; RICCOMINI, C. 2011. Caracterização do relevo da região de Manaus, Amazônia Central. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 12, nº1.
- SELBY, M. J. 1982. Controls on the stability and inclinations of hillslopes formed on hard rock. *Earth Surface Processes and Landforms* 7, 449-67.
- SENA COSTA, J. B; BEMERGUY, R. L; HASUI, Y; BORGES, M. S; FERREIRA JÚNIOR, C. R. P; BEZERRA, P. E. L; COSTA, M. L; FERNANDES, J. M. G. 1996. Neotectônica da região Amazônica: aspectos tectônicos, geomorfológicos e deposicionais. *GEONOMOS*, 4 (2): 23-44.
- SILVA, C. L. Análise da tectônica cenozóica da região de Manaus e adjacências. 2005. 309 f. Tese (Doutorado em Geologia), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 2005.
- STERNBERG, H. O'R. Vales tectônicos na planície amazônica? *Revista Brasileira de Geografia*, v. 12, n. 4, p. 3-26, 1950.
- STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. *New Haven: Transactions - American Geophysical Union*. v. 38. p. 913-920. 1957.
- TASSINARI, C. C. G; BETTENCOURT, J. S; GERALDES, M. C; MACAMBIRA, M. J. B; LAFON, J. M. 2000. The Amazonian Craton. In: CORDANI, U. G; MILANI, E. J; FILHO, A.T; CAMPOS, D. A. (eds.) *Tectonic Evolution of South America*. Rio de Janeiro. p. 41-95.
- THOMAS, J; JOSEPH, S; THRIVIKRAMJI, K; ABE, G; KANNAN, N. 2012. Morphometrical analysis of two tropical mountain river basins of contrasting environmental settings, the southern Western Ghats, India. *Environmental Earth Science*, vol. 66 (8): 2353–2366.
- TRAVASSOS, W. A. S & BARBOSA FILHO, C.M. 1990. Tectonismo terciário na área do Rio Tapajós, Bacia do Rio Amazonas. Rio de Janeiro: Petrobrás., *Boletim de Geociências*,4 (3):221-340.
- TRICART, J. *Géomorphologie applicable*. Paris: Masson, 1978, 204 p.
- TRUCKENBRODT, W; KOTSCHOUBEY, B; GÓES, A. M. Considerações a respeito da idade das bauxitas na parte leste da região Amazônica. In: *SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA*, 1, 1982, Belém. *Anais...Belém: Sociedade Brasileira de Geologia*. 1982. v.1, p.201-9.
- VALENTIN, C; POESEN, J; YONG LI. 2005. Gully erosion: impacts, factors and control. In: *Catena*. No. 63. p. 132-153.
- VIEIRA, A. F. G. Desenvolvimento e distribuição de voçorocas em Manaus (AM): principais fatores controladores e impactos urbano-ambientais. (Tese de doutorado). Florianópolis: UFSC/CFH, 2008. 310p.

VIEIRA, F. C. B; BRITO, E. B. B; TEIXEIRA, A. F. 2012. Educação ambiental: uma análise da poluição e contaminação dos igarapés urbanos na cidade de Manaus. Fórum Ambiental.

<http://www.gehaka.com.br/produtos/linhapesagem/balancassemianalíticas/bk4000>

<http://www.joinville.udesc.br>

<http://idd.org.br/acervo>