

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS**

Rogério Valença Ferreira

**MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO E DE PROCESSOS EROSIVOS
DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BOTAFOGO – PE
UTILIZANDO TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO**

Tese de doutorado
2008

ROGÉRIO VALENÇA FERREIRA
Geógrafo, Universidade Federal de Pernambuco, 1993.
Mestre em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, 1999

**MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO E DE PROCESSOS EROSIVOS
DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BOTAFOGO – PE
UTILIZANDO TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO**

Tese que apresentou ao Programa de Pós-Graduação em Geociências do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, orientada pelo Prof. Dr. Virgínio Henrique Neumann e co-orientada pela Prof^a. Dr^a. Ana Lúcia Bezerra Candeias, em preenchimento parcial para obter o grau de Doutor em Geociências, área de concentração em Geologia Sedimentar e Ambiental, defendida e aprovada em 28/03/08.

RECIFE, PE
2008

F383m Ferreira, Rogério Valença.

Mapeamento geomorfológico e de processos erosivos da bacia hidrográfica do Rio Botafogo-PE, utilizando técnicas de geoprocessamento / Rogério Valença Ferreira. - Recife: O Autor, 2008. xii, 113 folhas, il : figs., tabs.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Geociências, 2008.

Inclui Bibliografia e Anexos.

1. Bacia Hidrográfica do Botafogo. 2.Mapeamento Geomorfológico. 3.Geoprocessamento. 4.Processos Erosivos. I. Título.

UFPE

551

CDD (22. ed.)

BCTG/2008-168

**MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO E DE PROCESSOS EROSIVOS
DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BOTAFOGO – PE
UTILIZANDO TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO**

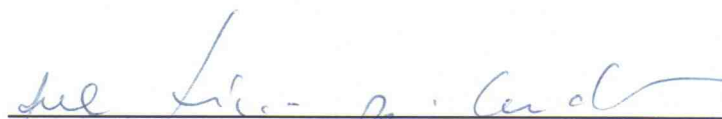
ROGÉRIO VALENÇA FERREIRA

Aprovação



Data: 28/03/08

Prof. Dr. Virgínio Henrique Neumann



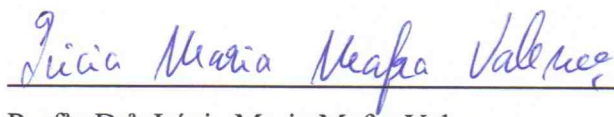
Data: 28/03/08

Prof.ª Dr.ª Ana Lúcia Bezerra Candeias



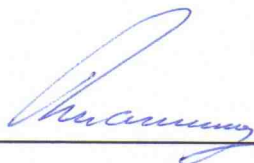
Data: 28/03/08

Prof. Dr. Jannes Markus Mabesoone



Data: 28/03/08

Prof.ª Dr.ª Lúcia Maria Mafra Valença



Data: 28/03/08

Prof. Dr. Valdir do Amaral Vaz Manso

Dedico este trabalho:

à Sitonho (*in memorian*) e Marita,
que me ensinaram a essência da vida;

à minha companheira Cynthia,
sem a qual não chegaria a tanto;

aos meus queridos irmãos,
Vilma, Tônico, Kilza, Socorro e Dayse,
que ao longo da vida, só me proporcionaram amor e carinho.

AGRADECIMENTOS

Ao professor e orientador Dr. Virgínio Henrique Neumann, pela valorosa contribuição à minha vida profissional e, sobretudo, pela grande confiança em mim demonstrada nos momentos mais difíceis desta jornada.

À professora e co-orientadora Dr^a Ana Lúcia Bezerra Candeias, pela preciosa orientação e conselhos inestimáveis.

Aos Professores Doutores Virgínio Henrique Neumann, Ana Lúcia Bezerra Candeias, Jannes Markus Mabeloone, Lúcia Mafra Valença e Valdir do Amaral Vaz Manso, componentes da banca examinadora, pela análise crítica e correções.

A todos os professores da Pós-graduação em Geociências, pelos conhecimentos transmitidos e pela convivência cordial.

Ao Serviço Geológico do Brasil – CPRM, pela liberação e financiamento para a realização deste projeto.

Ao engenheiro José Wilson de Castro Temóteo, Superintendente Regional da CPRM - Recife, ao engenheiro José Carlos da Silva, Gerente de Hidrologia e Gestão Territorial, ao geólogo José Pessoa Veiga Júnior, Gerente de Relações Institucionais, ao geólogo Adeilson Alves Wanderley, Gerente de Geologia e Recursos Minerais, e ao Administrador Roberto Biondi, Gerente de Administração e Finanças, pelo apoio administrativo e logístico, imprescindíveis para a realização deste trabalho.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, pela acolhida e disposição das instalações da pós-graduação, quando da realização de disciplinas naquela instituição..

Ao Dr. Márcio de Morisson Valeriano e à Dra. Tereza Gallotti Florenzano, do INPE, pela orientação durante a estadia naquela instituição.

À Professora Dr^a Lúcia Mafra Valença, pela orientação nas análises morfológicas.

Aos amigos geólogos Pedro Augusto Pfaltzgraff, Enjôlras Medeiros de Lima e Marta Rêgo Barros, e ao químico Alex Moraes, cujas sugestões e discussões, foram fundamentais para a realização deste trabalho, além da prazerosa convivência cotidiana.

Aos geólogos Cristiano Amaral, pelo auxílio na fotointerpretação geomorfológica, e Roberto Gusmão pela ajuda na interpretação do mapa gravimétrico.

Ao geógrafo Marcelo Dantas e agrônomo Edgar Shinzato, da CPRM – Rio de Janeiro, pelas sugestões.

Às colegas da biblioteca da CPRM, bibliotecária Dalvanize Bezerril, pela esmerada revisão bibliográfica, e Sandra Mendonça, pela gentileza e apoio permanentes.

Aos colegas da Gerencia de Relações Institucionais, geólogo Cláudio Scheid, engenheiro Robson de Carlo da Silva, Ana Paula Rangel Jacques, Alan Dionísio, Francisco de Moraes Batista e aos estagiários Alison de Oliveira e Alessandro Almeida, pela boa vontade e paciência demonstradas na ajuda para a confecção dos mapas.

Aos colegas da CPRM, que de várias formas, sempre demonstraram interesse e incentivo para a concretização deste trabalho: Ana Cláudia Accioly, Breno Beltrão, Carlos Alberto Santos, Carlos Fernandes, Cristiane de Melo, Dunaldson Rocha, Ernando Pimentel, Fernanda Miranda, Gilberto Lapa, João Mascarenhas, João Salgueiro, Luciana Santos, Manoel Júlio, Melissa Franzen, Mirian Xavier, Maria Penha e Waldir Costa Filho.

Aos colegas do Laboratório de Geofísica e Geologia Marinha – LGGM da UFPE, Miguel, Daniel, Elida e André, pela análise dos sedimentos.

Ao Activation Laboratories Ltd., em Ontário, Canadá, pelas análises químicas.

Ao Sr. Frederico Petribu, Diretor da Usina São José, pela gentileza de autorizar a realização dos trabalhos de campo em terras da referida usina.

A todos os que contribuíram de alguma forma para esta longa jornada.

RESUMO

Este trabalho apresenta os resultados dos estudos geomorfológicos, sedimentológicos e dos processos erosivos da bacia hidrográfica do rio Botafogo (BHRB), localizada a 40 Km ao norte da Cidade do Recife, Pernambuco, Nordeste do Brasil. Para o tratamento e análise das bases cartográficas e de sensoriamento remoto, foram utilizadas técnicas de geoprocessamento, cujos dados obtidos foram validados e complementados com o trabalho de campo. O produto de síntese da pesquisa é o mapa geomorfológico e de processos erosivos da BHRB, na escala de 1:50.000, elaborado a partir da construção de um modelo digital do terreno (MDT), interpretação de fotografias aéreas e imagens de satélite, no qual foram mapeados oito conjuntos de formas de relevo semelhantes, agrupados em modelados de degradação e agradação, além da identificação e localização dos processos erosivos atuantes: colinas em rochas cristalinas ($2,6 \text{ Km}^2 = 1\%$ da área da BHRB); vertentes ($165,9 \text{ Km}^2 = 63\%$); tabuleiros sobre sedimentos da Unidade Infra-Barreiras ($45,0 \text{ Km}^2 = 17\%$); tabuleiros sobre sedimentos da Formação Barreiras ($11,8 \text{ Km}^2 = 4\%$); vales de fundo plano ($23,2 \text{ Km}^2 = 9\%$); vales incisos ($2,9 \text{ Km}^2 = 1\%$); planícies fluviais ($10,5 \text{ Km}^2 = 4\%$); planícies intertidais ($3,6 \text{ Km}^2 = 1\%$). Para a definição da unidade mapeada como tabuleiros em sedimentos da Unidade Infra-Barreiras, foi realizado um estudo mais detalhado, com a elaboração de perfis estratigráficos, incluindo análises químicas e sedimentológicas. De acordo com estes resultados, pode-se sugerir que as frações granulométricas silte-argila e areia média são os parâmetros que mais distinguem a Unidade Infra-Barreiras da Formação Barreiras. Aplicando este resultado de forma prática como argumento de distinção para as amostras analisadas, pode-se propor que a razão matemática entre as frações silte-argila e areia média fornece o valor que distingue as duas Unidades Geológicas. Desta forma, verifica-se que, quando a razão silte-argila/areia média for maior que 1, tem-se um sedimento característico da Unidade Infra-Barreiras, enquanto que para valores menores que 1, caracterizam os sedimentos coletados na Formação Barreiras. O Mapa de potencialidade à erosão apresentou três classes do potencial de vulnerabilidade para a BHRB: Alta $11,8 \text{ Km}^2$, correspondente a 5 % da área; Média $154,5 \text{ Km}^2 (= 60\%)$; Baixa $90,5 \text{ Km}^2 (=35\%)$.

Palavras-chave: *Bacia hidrográfica do Botafogo, mapeamento geomorfológico, processos erosivos, geoprocessamento.*

ABSTRACT

This work presents the result of geomorphological and sedimentological studies and also erosion processes at the Botafogo Watershed, located 40 km north of Recife, Pernambuco State, Northeastern Brazil. In order to treat and analyse cartographic charts and remote sensing products, geoprocessing techniques were used. The data were validated and taken together with fieldworks. The final product of this research is a geomorphologic map with the erosive processes of the Botafogo Watershed, at the scale of 1:50.000. This map was the result of the creation of a digital terrain model and photographic and satellite image interpretation. Eight geomorphological units were defined, gathered in degradation and accumulation models: Crystalline rock hills ($2,6 \text{ Km}^2 = 1\%$ of the Botafogo Watershed area); Slope ($165,9 \text{ Km}^2 = 63\%$); Tableland overlying the Infra-Barreiras Unit ($45,0 \text{ Km}^2 = 17\%$); Tableland overlying sediments of Barreiras Formation ($11,8 \text{ Km}^2 = 4\%$); Bottom plain Valleys ($23,2 \text{ Km}^2 = 9\%$); Incised valley ($2,9 \text{ Km}^2 = 1\%$); Fluvial plains ($10,5 \text{ Km}^2 = 4\%$); Tidal plains ($3,6 \text{ Km}^2 = 1\%$). Furthermore, active erosive processes were identified and located. In order to characterize the Infra-Barreiras Unit a more detailed study was taken. This concerned stratigraphic profiles, which include chemical and sediments analysis. According to these results, it was observed that the granulometric fractions, silt-clay and medium sand are the parameters which lead to the Infra-Barreiras Unit differentiation. Applying this result as an argument for distinction of the analysed samples, it is proposed here that the mathematical ratio between the fractions silt-clay and medium sand results in the value that distinguishes both geological units. So, when the reason silt-clay/medium sand is larger than 1, it indicates typical sediment from the Infra-Barreiras Unit. Numbers inferior than 1 characterize sediments collected from Barreiras Formation. The Erosion Potential map showed three vulnerability potential classes to Botafogo Watershed: High – $11,8 \text{ Km}^2$, corresponding to 5% of the study area; Medium – $154,5 \text{ Km}^2 (= 60\%)$; and Low – $90,5 \text{ Km}^2 (= 35\%)$.

Keywords: *Botafogo Watershed, geomorphological mapping, erosion processes geoprocessing.*

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	v
RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
SUMÁRIO	viii
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE TABELAS	xi
LISTA DE FOTOGRAFIAS	xii
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	1
1.1 JUSTIFICATIVA	1
1.2 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA	3
1.3 OBJETIVOS	3
1.4 REVISÃO DA LITERATURA	4
1.4.1 <u>Mapeamento geomorfológico</u>	4
1.4.2 <u>Processos erosivos</u>	10
CAPÍTULO 2 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	17
2.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	17
2.2 GEOLOGIA	18
2.3 GEOMORFOLOGIA	22
2.4 CLIMA	25
2.5 HIDROGRAFIA	28
2.6 SOLOS	29
CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS	32
3.1 MATERIAIS	32
3.1.1 <u>Bases cartográficas</u>	32
3.1.2 <u>Imagens de sensores remotos</u>	32
3.1.3 <u>Programas e equipamentos</u>	32
3.2 METODOLOGIA	33
3.2.1 <u>Análises dos sedimentos</u>	33
3.2.2 <u>Descrição dos afloramentos</u>	33
3.2.3 <u>Estruturação da base de dados</u>	34
3.2.4 <u>Mapa geomorfológico</u>	36
3.2.5 <u>Mapa do potencial de vulnerabilidade a erosão</u>	37
3.2.6 <u>Trabalho de campo</u>	37
CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
4.1 ANÁLISES SEDIMENTOLÓGICAS E DOS PERFIS ESTRATIGRÁFICOS	40
4.1.1 <u>Análise dos perfis estratigráficos</u>	45
4.1.2 <u>Análise geoquímica</u>	60
4.1.3 <u>Análise morfoscópica</u>	63
4.1.4 <u>Curvas cumulativas</u>	67
	70

4.2 PRODUTOS CARTOGRÁFICOS	70
4.2.1 <u>Mapa das curvas de nível</u>	70
4.2.2 <u>Mapa do modelo digital do terreno (MDT)</u>	70
4.2.3 <u>Mapa do relevo sombreado</u>	70
4.2.4 <u>Mapa hipsométrico</u>	74
4.2.5 <u>Mapa de declividade</u>	76
4.2.6 <u>Mapa de curvaturas</u>	76
4.2.7 <u>Mapa hidrográfico</u>	76
4.2.8 <u>Mapa imagem Landsat TM+</u>	83
4.2.9 <u>Mapa de uso do solo</u>	83
4.2.10 <u>Mapa de solos</u>	86
4.3 MAPA GEOMORFOLÓGICO E DE PROCESSOS EROSIVOS	86
4.3.1 <u>Compartimentação do relevo</u>	86
4.3.1.1 <u>Formas de relevo de degradação</u>	88
4.3.1.1.1 <u>Colinas em rochas cristalinas</u>	88
4.3.1.1.2 <u>Tabuleiros em sedimentos da unidade Infra-Barreiras</u>	89
4.3.1.1.3 <u>Tabuleiros em sedimentos da Formação Barreiras</u>	90
4.3.1.1.4 <u>Vertentes</u>	90
4.3.1.1.5 <u>Vales incisos</u>	92
4.3.1.2 <u>Formas de relevo de agradação</u>	93
4.3.1.2.1 <u>Vales de fundo plano</u>	93
4.3.1.2.2 <u>Planícies fluviais</u>	93
4.3.1.2.3 <u>Planícies intertidais</u>	94
4.3.2 <u>Perfil geomorfológico</u>	95
4.3.3 <u>Morfogênese</u>	95
4.3.4 <u>Processos erosivos</u>	97
4.3.4.1 <u>Mapa do potencial de vulnerabilidade a erosão</u>	99
CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES	103
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	106
ANEXOS	118

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1	Unidades de classificação do relevo. Segundo taxonomia proposta por Ross	7
Figura 1.2	Formas geométricas das vertentes	8
Figura 1.3	Erosão laminar	11
Figura 1.4	Erosão por sulcos e ravinas	12
Figura 1.5	Representação esquemática de uma voçoroca	13
Figura 1.6	Principais tipos de deslizamentos	15
Figura 2.1	Localização da bacia hidrográfica do rio Botafogo	17
Figura 2.2	Coluna geológica esquemática da Região Metropolitana do Recife	18
Figura 2.3	Mapa geológico da RMR (parte norte)	19
Figura 2.4	Geomorfologia regional	24
Figura 2.5	Temperatura e precipitação média mensal da parte norte da RMR	26
Figura 2.6	Sistemas de circulação atmosférica no Nordeste oriental	27
Figura 2.7	Hidrografia regional	28
Figura 2.8	Solos da Região Metropolitana do Recife (parte norte)	29
Figura 3.1	Visão da tela do programa ArcGis 9.1, onde se observa a tabela do banco de dados e a interface gráfica (mapa).	34
Figura 3.2	Fluxograma para a elaboração do mapa do potencial de vulnerabilidade a erosão	38
Figura 3.3	Fluxograma da metodologia para elaboração do mapa geomorfológico e de processos erosivos da bacia hidrográfica do rio Botafogo.	39
Figura 4.1	Mapa geológico da bacia hidrográfica do rio Botafogo	42
Figura 4.2	Mapa gravimétrico da bacia hidrográfica do rio Botafogo	43
Figura 4.3	Mapa de localização dos perfis estratigráficos	44
Figura 4.4	Perfil estratigráfico RV-01, mostrando a alternância das areias médias e conglomeráticas da Formação Barreiras.	46
Figura 4.5	Histogramas das frequências da distribuição granulométrica (a, b, c, d, e, f) e diagrama de Shepard (1954) com os resultados das análises granulométricas (g) do afloramento RV-01.	47
Figura 4.6	Perfil estratigráfico RV-02, mostrando a predominância dos sedimentos grossos na base e, uma alternância das areias médias e conglomeráticas no topo.	48
Figura 4.7	Histogramas das frequências da distribuição granulométrica (a, b, c, d) e diagrama de Shepard (1954) com os resultados das análises granulométricas (e) do afloramento RV-02.	49
Figura 4.8	Perfil estratigráfico RV-03, mostrando uma discordância erosiva com o embasamento cristalino. Em B1 observa-se a presença de seixos esparsos de 2 a 3 cm.	50
Figura 4.9	Histogramas das frequências da distribuição granulométrica (a, b, c, d) e diagrama de Shepard (1954) com os resultados das análises granulométricas (e) do afloramento RV-03.	51
Figura 4.10	Perfil estratigráfico RV-04. Formação Barreiras, mostrando um depósito de planície de inundação (primeiros 2,5 m) passando para uma deposição fluvial (parte superior do perfil).	52

Figura 4.11	Histogramas das frequências da distribuição granulométrica (a, b, c) e diagrama de Shepard (1954) com os resultados das análises granulométricas (e) do afloramento RV-04.	53
Figura 4.12	Perfil estratigráfico RV-05. Formação Barreiras, mostrando um depósito sedimentar homogêneo, constituído de areias grossas com grãos angulosos a subangulosos, caoticamente distribuídos.	54
Figura 4.13	Histogramas das frequências da distribuição granulométrica (a) e diagrama de Shepard (1954) com os resultados das análises granulométricas (b) do afloramento RV-05.	55
Figura 4.14	Perfil estratigráfico RV-06. Formação Barreiras, mostrando um depósito de planície de inundação na base, e um fluvial na parte intermediária e superior do perfil.	56
Figura 4.15	Histogramas das frequências da distribuição granulométrica (a, b, c) e diagrama de Shepard (1954) com os resultados das análises granulométricas (d) do afloramento RV-06.	57
Figura 4.16	Gráfico das amostras coletadas nos perfis estratigráficos, obtido pelo PCA.	59
Figura 4.17	Gráfico dos parâmetros sedimentológicos obtidos pelo PCA.	59
Figura 4.18	Gráfico dos pontos de coletas obtidos por PCA.	61
Figura 4.19	Gráfico dos parâmetros geoquímicos obtidos por PCA	62
Figura 4.20	Razão Sílica/Alumínio	63
Figura 4.21	Curvas cumulativas das frações granulométricas.	68
Figura 4.22	Curvas cumulativas da distribuição granulométrica das amostras coletadas nos perfis. Figura Yb - Diagrama de zonas das distribuições granulométricas das amostras coletadas nos perfis (segundo Mabesoone, 1959).	69
Figura 4.23	Mapa de curvas de nível	71
Figura 4.24	Mapa do modelo digital do terreno (MDT)	72
Figura 4.25	Mapa do relevo sombreado	73
Figura 4.26	Mapa hipsométrico	75
Figura 4.27	Mapa de declividade	77
Figura 4.28	Mapa de curvaturas	78
Figura 4.29	Mapa hidrográfico	80
Figura 4.30	Mapa Imagem Landsat	
Figura 4.31	Mapa de uso do solo	84
Figura 4.32	Mapa de solos da bacia hidrográfica do rio Botafogo	87
Figura 4.33	Classificação das vertentes quanto às formas	91
Figura 4.34	Mapa do potencial de vulnerabilidade a erosão	102
Figura 4.35	Diagrama de torta com as áreas de abrangência das classes do potencial de vulnerabilidade a erosão da BHRB	100
Figura 4.36	Diagrama de torta com a correlação entre as classes do potencial de vulnerabilidade a erosão, com as ocorrências erosivas levantadas em campo.	101

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1	Dados sedimentológicos da BHRB e a relação lama/areia média	60
Tabela 4.2	Análise morfooscópica da amostra RV-01-A2.	64
Tabela 4.3	Análise morfooscópica da amostra RV-01-B1.	64
Tabela 4.4	Análise morfooscópica da amostra RV-02-A2.	64
Tabela 4.5	Análise morfooscópica da amostra RV-02-B3.	65
Tabela 4.6	Análise morfooscópica da amostra RV-03-A2.	65
Tabela 4.7	Análise morfooscópica da amostra RV-03-B1.	65
Tabela 4.8	Análise morfooscópica da amostra RV-03-B2.	66
Tabela 4.9	Análise morfooscópica da amostra RV-04-B	66
Tabela 4.10	Análise morfooscópica da amostra RV-06-B2.	66
Tabela 4.11	Análise morfooscópica da amostra RV-06-C	67
Tabela 4.12	Classes hipsométricas e áreas de abrangência	74
Tabela 4.13	Classificação das classes de declividade	76
Tabela 4.14	Formas de relevo e áreas de abrangência	86

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Foto 4.1	Colinas em rochas cristalinas, com topos convexos	88
Foto 4.2	Tabuleiros em sedimentos da Formação Infra-Barreiras	89
Foto 4.3	Tabuleiros em sedimentos da Formação Barreiras	90
Foto 4.4	Formas das vertentes	92
Foto 4.5	Vale inciso em terrenos cristalinos	92
Foto 4.6	Fundo de vale plano	93
Foto 4.7	Planície fluvial do rio Botafogo	94
Foto 4.8	Planície intertidal (manguezais) em área próxima ao exutório da BHRB.	94
Foto 4.9	Ravina desenvolvida sobre sedimentos da F. Barreiras.	97
Foto 4.10	Voçoroca de grande porte em sedimentos da F. Barreiras	98
Foto 4.11	Deslizamento em vertente das colinas no cristalino, provocado por corte de estrada na base da encosta.	98
Foto 4.12	Cicatriz erosiva por retirada de material. Margem da estrada que liga Araçoiaba a Aldeia.	99

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 JUSTIFICATIVA

O termo bacia hidrográfica pode ser definido como uma área da superfície terrestre, delimitada por divisores de água, cuja drenagem é composta por um rio principal e seus tributários, onde a água aí precipitada escoar para um único exutório (Botelho, 1999; IBGE, 2004).

Nos últimos anos, a bacia hidrográfica vem sendo adotada como unidade territorial fundamental para pesquisa, planejamento e gestão ambiental (Botelho e Silva, 2004). No Brasil, essa tendência se acentuou principalmente com a adoção da Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433, de 1997), onde é prevista a criação de comitês e agências para a elaboração de planos diretores de bacias hidrográficas (Abdon, 2004).

Dentro dos limites da bacia hidrográfica, a partir da caracterização do meio físico, pode-se compreender as inter-relações entre os diversos componentes fisiográficos, quais sejam: os elementos litológicos, os tipos de relevo, as características climáticas, os diferentes tipos de solos, as variações de cobertura vegetal e o comportamento hidrológico, com as intervenções antrópicas ali ocorridas. Dentre os elementos do meio físico, acima relacionados, o relevo é um dos aspectos mais importantes que determinam o uso e a ocupação do solo. A compreensão da gênese, da evolução e do estágio atual do modelado terrestre é de fundamental importância para o entendimento, tanto do ambiente natural, como do antropizado, servindo assim, de base para estudos e planejamento da ocupação territorial (Ross, 1990). Estão inseridas nesse contexto, as diversas ciências da terra que fazem uso da Geomorfologia como ferramenta auxiliar dos seus objetos de estudo, a exemplo da Geologia e da Geografia, que nos estudos dos problemas ambientais , utilizam as cartas geomorfológicas como um dos instrumentos para o zoneamento das áreas mais suscetíveis aos processos erosivos acelerados. Nos projetos de gerenciamento ambiental, tais como, nos Estudos de Impactos Ambientais (EIAS) e Relatórios de Impactos sobre o Meio Ambiente (RIMAS), a Geomorfologia vem sendo largamente empregada como uma das bases operacionais (Argento, 1994).

A erosão é considerada um dos principais impactos provocados pelo homem no meio ambiente (Drew, 2002). No meio rural, as perdas de solos em consequência do uso inadequado da terra são preocupantes, com um agravante, se considerarmos a sua vital

importância para a produção de alimentos destinados ao consumo humano. Santos (2005) fez uma estimativa de perdas médias de solo no meio rural do Brasil, cujo montante é da ordem de 25 toneladas por hectare/ano, o que significa uma perda de cerca de um bilhão de toneladas por ano. No meio urbano, a ocupação desordenada do solo sem a necessária criação de infra-estruturas, principalmente nas áreas de baixa renda, tem resultado em problemas de escorregamento de encostas e cheias nos períodos de chuva mais intensa, devido às diversas formas de erosão ali atuantes e o conseqüente assoreamento dos cursos d'água (Pfaltzgraf, 2007).

Nesse contexto, a integração de informações relativas ao meio físico de bacias hidrográficas em sistemas computacionais, com o uso das técnicas de geoprocessamento, a exemplo dos Sistemas de Informações Geográficas – SIG e do sensoriamento remoto, torna-se uma importante ferramenta para elaboração de diversos produtos, tais como, mapas temáticos de geologia, geomorfologia, solos, vegetação, clima e hidrografia. O cruzamento de tais produtos permite a geração de mapas de zoneamento, a exemplo dos mapas do potencial de vulnerabilidade a erosão, que os gestores poderão ter à mão, para um melhor planejamento das ações a serem implementadas no âmbito das bacias hidrográficas (Jacques e Carvalho, 1997; Castro, 1998; Fujihara, 2002; Campos et al, 2004)

O presente trabalho tem como objetivo fazer uma análise geomorfológica, através de mapeamento, e avaliar os processos erosivos da Bacia Hidrográfica do Rio Botafogo (BHRB), localizada na parte Norte da Região Metropolitana do Recife, Estado de Pernambuco. Para tanto, foram utilizadas técnicas de geoprocessamento.

1.2 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Dentro das duas abordagens adotadas para o estudo, o mapeamento geomorfológico e dos processos erosivos na BHRB, a pesquisa realizada se propõe a responder às seguintes indagações:

- a) O uso da modelagem computacional se mostra adequado como técnica para o mapeamento geomorfológico e de processos erosivos?
- b) No presente, quais são os processos erosivos dominantes?
- c) Quais os condicionantes desses processos?
- d) Quais são os impactos da erosão observados na bacia?

1.3 OBJETIVOS

O objetivo geral da pesquisa foi um mapeamento geomorfológico, utilizando modelagem computacional, assim como, uma avaliação dos processos erosivos atuantes na BHRB, como subsídios ao planejamento ambiental de bacias hidrográficas.

Como objetivos específicos procurou-se:

- a) caracterizar os elementos do meio físico;
- b) mapear os elementos das formas de relevo;
- c) diferenciar as unidades estratigráficas nos relevos tabulares;
- d) avaliar a morfometria da bacia;
- e) analisar a gênese e a evolução do relevo;
- f) mapear as marcas de processos erosivos;
- g) elaborar uma carta do potencial de vulnerabilidade a erosão.

1.4 REVISÃO DA LITERATURA

1.4.1 Mapeamento geomorfológico

O mapa, uma das formas de comunicação gráfica mais antiga da humanidade, tem acompanhado o processo de evolução do homem desde as suas manifestações mais rudimentares. Embora não dominassem a escrita, muitos povos primitivos desenvolveram habilidades para traçar mapas ou cartas para se orientar. A partir da evolução da navegação (Século XV) e os conseqüentes descobrimentos (Século XVI) a cartografia evoluiu paulatinamente até a primeira metade do Século XX. Desde então, comandada pelo progresso científico e tecnológico, teve um desenvolvimento considerável, primeiro com a progressiva substituição de operações manuais por mecânicas e depois pelo uso de equipamentos eletrônicos. Nas duas últimas décadas, observou-se uma substituição cada vez maior dos métodos convencionais de mapeamento, na qual o produto final - mapas ou cartas em papel - deram lugar aos diversos formatos digitais de representação da superfície terrestre (Robinson *et al*, 1995).

A partir do advento da informática, as geociências, não diferentemente das outras áreas do conhecimento científico, passaram a contar com um poderoso instrumento para o manuseio e análise da grande quantidade e variedade de dados com que essas ciências lidam. Com o desenvolvimento de novas tecnologias informatizadas, o termo geoprocessamento vem sendo utilizado por profissionais que trabalham com informações referenciadas espacialmente na superfície terrestre, a exemplo dos geógrafos, geólogos, engenheiros cartógrafos e agrônomos, dentre outros.

O geoprocessamento pode ser definido como sendo o conjunto de tecnologias destinadas a coleta e tratamento de informações espaciais, assim como o desenvolvimento de novos sistemas e aplicações envolvendo: a cartografia digital; o processamento digital de imagens; e os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) (Longley *et al*, 2001).

A Cartografia Digital é a tecnologia destinada ao levantamento, organização e desenho de mapas (Robinson *et al*, 1995). O Processamento Digital de Imagens é o conjunto de procedimentos e técnicas destinadas a manipulação numérica de imagens digitais, cuja finalidade é corrigir distorções das mesmas e melhorar o poder de discriminação dos objetos na superfície terrestre (Mather, 1999). Os SIG são sistemas destinados à aquisição, armazenamento, manipulação, análise, recuperação e apresentação de dados geográficos, ou seja, dados referenciados espacialmente ou georeferenciados (Burrough & McDonnell, 1998).

Nesse contexto, os mapeamentos temáticos, dentre eles o geomorfológico, vêm se adequando às novas tecnologias computacionais, nas quais, os SIG são importante ferramenta, tanto para o mapeamento em si, como para a análise e interface com outros temas ambientais (geologia, solos, vegetação, dentre outros) que estão inseridos no âmbito da pesquisa geomorfológica.

Como enfatiza Argento (1994), a utilização de tais sistemas no mapeamento geomorfológico, vem contribuindo muito para a elucidação de problemas ambientais, a exemplo dos processos erosivos e deposicionais, que podem ser representados mediante o entrecruzamento do mapa de relevo com outros mapas temáticos.

A cartografia geomorfológica, apresenta-se, portanto, como método fundamental para a análise do relevo. Segundo Tricart (1965, *apud* Ross, 1990), o mapeamento geomorfológico constitui-se na base da pesquisa e não a concretização gráfica de pesquisa já feita. Ele é, ao mesmo tempo, o instrumento que direciona a pesquisa e quando concluído deve representar uma síntese como produto desta.

Kugler (1982, *apud* Kohler, 2001), enfatiza a importância da escala no mapeamento geomorfológico, instituindo os limites abaixo das escalas de 1:100.000, como grande escala; 1:500.000, como mesoescala; e 1:1.000.000, como pequena escala. Se por um lado os mapas de grande escala possibilitam a expressão cartográfica de pequenas unidades do relevo e suas feições, a exemplo de um relevo colinoso e as formas de suas vertentes, os mapas de pequena escala permitem representar as grandes feições estruturais regionais.

O território brasileiro com sua imensidão quase continental, foi todo mapeado em pequena escala (1:1.000.000) pelo RADAMBRASIL, projeto de levantamento de recursos naturais executado nas décadas de 70 e 80, contemplando vários temas, dentre eles a geomorfologia (Barbosa *et al*, 1984). Em mesoescala, diversas áreas foram mapeadas atendendo a diferentes demandas, como por exemplo, mapas geomorfológicos estaduais (IPT, 1981; Dantas, 2001; Goiás, 2005; Oka-Fiori, 2006) e os Zoneamentos Ecológico-Econômicos de diversos estados da federação, onde a geomorfologia é um dos temas (SAE, 1991). Nos últimos anos vem crescendo o número de áreas mapeadas em escala de detalhe, principalmente devido à adoção de microbacias hidrográficas como unidade básica de estudos ambientais (Campos, 1998; Lima, 1999; Collares, 2000; Oka-Fiori, 2002; Cunha *et al*, 2003; Garbossa, 2003; Ferreira, 2003; Botelho & Silva, 2004; Bazzan *et al*, 2006;)

Sendo assim, a adoção de escalas com maior nível de detalhe para o mapeamento geomorfológico, faz-se necessário, principalmente em regiões com denso povoamento e/ou com perspectivas de maior ocupação futura, a exemplo do litoral nordestino, onde os

problemas de ordem ambiental já estão evidenciados, como é o caso dos processos erosivos, tanto nas áreas urbanas como na zona rural.

Baseado nas recomendações da Sub-Comissão de Cartas Geomorfológicas da UGI (União Geográfica Internacional), o mapa geomorfológico de detalhe deve conter quatro tipos de informações: morfométricas, morfográficas, morfogenéticas e cronológicas (Demek, 1972). As informações morfométricas são medidas que podem ser obtidas à partir de cartas topográficas ou dos modelos digitais de elevação (MDE) correspondentes; as informações morfográficas dizem respeito às formas de relevo resultantes do processo evolutivo, sendo representadas como formas de agração (deposicionais) e de degradação (erosivas); As informações morfogenéticas referem-se aos processos responsáveis pela esculturação das formas de relevo; e as informações cronológicas são referentes ao período de elaboração das feições do relevo.

Ross (1992) elaborou proposta metodológica baseada nos princípios relativos aos processos endógenos e exógenos (as atuais formas de relevo são o produto antagônico dessas forças, que atuam sobre a superfície da terra) de Penck (1953, *apud* Ross, 1992) e nos conceitos formulados por Guerasimov (1946, *apud* Ross, 1992) e Mecerjakov (1968, *apud* Ross, 1992) sobre morfoestrutura (formas determinadas pela estrutura geológica) e morfoescultura (formas determinadas pela ação climática atual e pretérita).

As unidades, feições ou formas são classificadas segundo a taxonomia descrita a seguir (Figura 1.1):

→ 1 ° táxon: unidades morfoestruturais que correspondem às grandes macroestruturas, como os escudos antigos, as faixas de dobramentos proterozóicos, as bacias paleomesozóicas e os dobramentos modernos. Essa unidade pode conter uma ou mais unidades morfoesculturais, associadas a diversidades litológico-estruturais, guardando evidências das intervenções climáticas na elaboração das grandes formas;

→ 2 ° táxon: unidades morfoesculturais, que correspondem aos compartimentos gerados pela ação climática ao longo do tempo geológico, com intervenção dos processos tectogenéticos. As unidades morfoesculturais são caracterizadas pelos planaltos, planícies e depressões, que estão inseridas numa unidade morfoestrutural. Como exemplo, na unidade morfoestrutural representada pelos maciços remobilizados, como o do Nordeste Oriental, insere-se o Planalto da Borborema e o Planalto Rebaixado Litorâneo (Radambrasil, 1981).

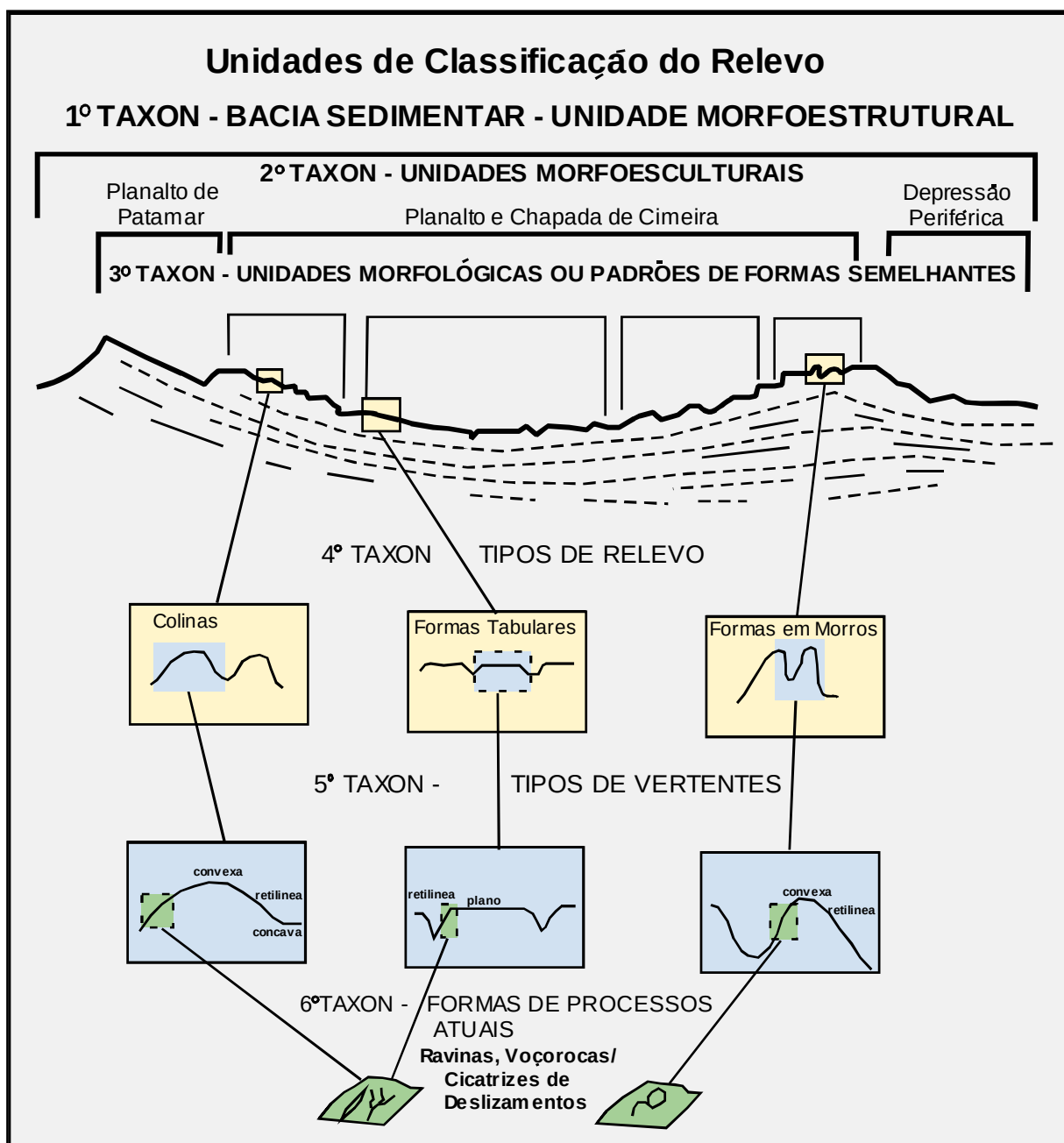


Figura 1.1 – Unidades de classificação do relevo, segundo taxonomia proposta por Ross (1992).

→ 3º taxon: unidades morfológicas, correspondentes ao agrupamento de formas relativas aos modelados, que são distinguidas pelas diferenças da rugosidade topográfica ou do índice de dissecação do relevo, bem como pelo formato dos topos, vertentes e vales de cada padrão. Uma unidade morfoescultural pode conter várias unidades de padrão de formas semelhantes;

→ 4º taxon: corresponde à unidade de padrão de formas semelhantes. Estas formas podem ser: a) de aggradação (acumulação), como as planícies e terraços fluviais ou marinhos; b) de degradação (denudação) como tabuleiros e colinas.

→ 5 ° táxon: corresponde aos tipos de vertentes ou setores das vertentes de cada uma das formas do relevo. Cada tipologia de forma de uma vertente é geneticamente distinta, cada um dos setores dessa vertente pode apresentar características geométricas, genéticas e dinâmicas também distintas. As representações desse táxon só são possíveis em escalas maiores, como 1:25.000. As características geométricas das vertentes é a combinação das formas convexa, côncava e retilínea (Figura 1.2).

→ 6 ° táxon: refere-se às formas menores resultantes da ação dos processos erosivos atuais ou dos depósitos atuais, tais como as formas associadas às intervenções antropogênicas como as voçorocas, ravinas, cortes de taludes, escavações, depósitos tecnogênicos como assoreamentos, aterros, bota-foras, ou as consideradas naturais, como cicatrizes de escorregamentos, bancos de deposição fluvial, dentre outros.

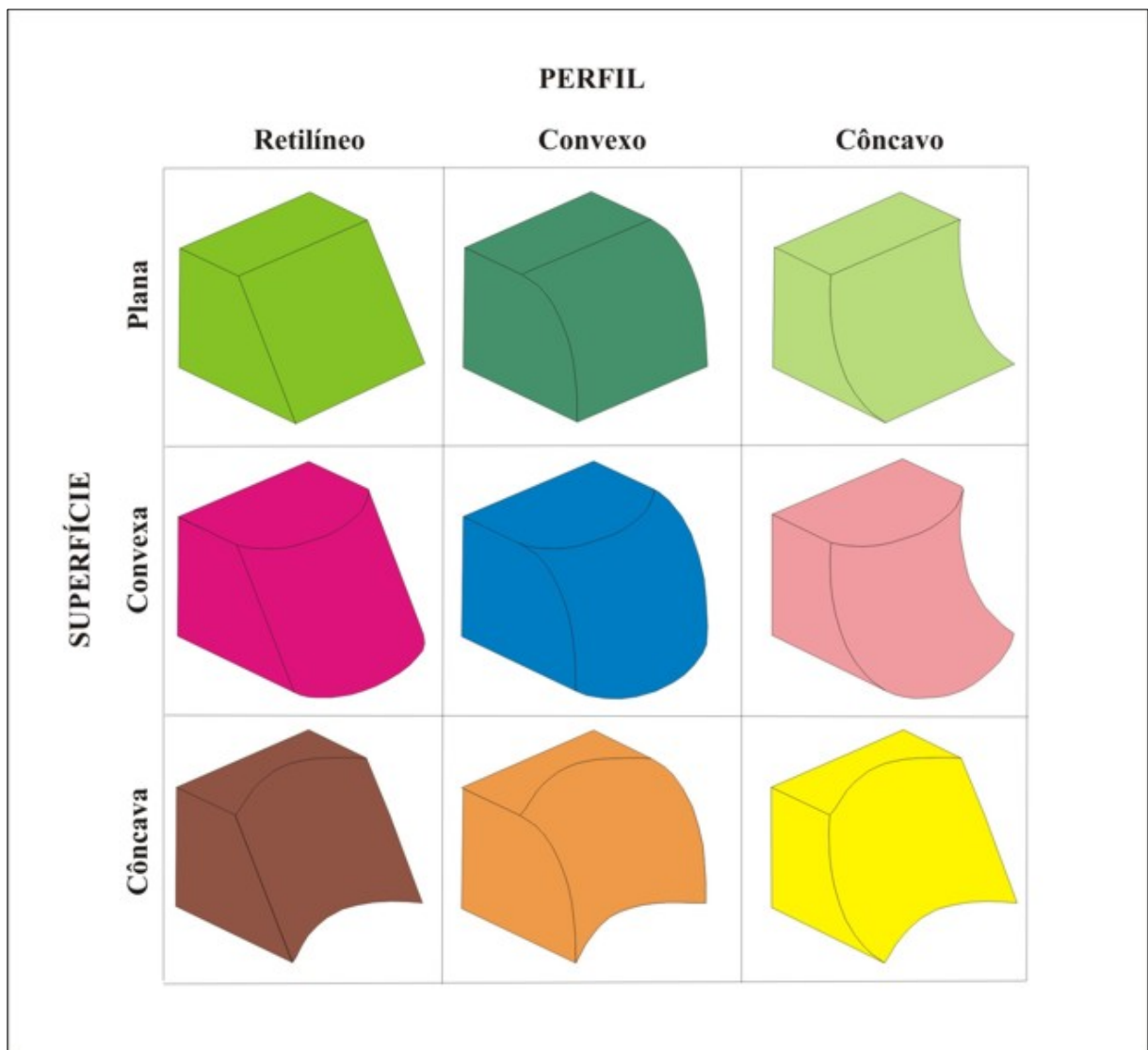


Figura 1.2 – Formas geométricas das vertentes. (Modificada de Parsons, 1988)

A extração e análise de índices morfométricos, visando a compartimentação do relevo em unidades homogêneas da paisagem, podem ser feitas através da utilização de produtos de sensoriamento remoto, tais como imagens de satélite, de radar e fotografias aéreas verticais e de modelagem de informações altimétricas do terreno, como curvas de nível e pontos cotados, a exemplo dos modelos digitais do terreno (MDT).

Um MDT, também referido como modelo digital de elevação (MDE), é definido como qualquer representação quantitativa digital da variação contínua do relevo sobre o espaço, ou seja, um mapa de elevação, que pode ser utilizado para derivar diferentes atributos topográficos (Burrough & Mcdonnell, 1998; Wilson & Gallant, 2000).

As principais fontes utilizadas para geração de um MDT, para os quais diferentes técnicas podem ser aplicadas são: pontos cotados e curvas de nível, obtidos de cartas topográficas digitais (ou digitalizadas) e dados obtidos a partir de sensores de imageamento por radar, a exemplo do SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) da NASA, que é gerou um modelo de elevação à partir da missão do ônibus espacial *Endeavour*, da NASA, que fez a cobertura da superfície da terra até os paralelos de 60° norte e sul. Os dados disponíveis para a América do Sul tem uma resolução espacial de 90 m, sendo compatível com escalas iguais ou maiores que 1:100.000.(Crepani & Medeiros, 2004; Valeriano, 2004).

A utilização de MDT na elaboração de mapas geomorfológicos, tem se mostrado de grande utilidade, acentuadamente quando associado a imagens multiespectrais de sensores remotos orbitais, a exemplo dos satélites LANDSAT e SPOT, ou de fotografias aéreas pancromáticas. Os elementos de textura, inerentes às imagens de satélite e fotografias aéreas, faltam ao MDT, o que dificulta a identificação de determinadas feições do relevo. A aplicação destes recursos, tem-se mostrado eficiente nos estudos geomorfológicos, tanto na compartimentação do relevo, como para extração de dados morfométricos, principalmente no estudo de bacias hidrográficas (Florenzano, 1998; Ros & Borga, 1998; Hutchinson & Gallant, 2000; Hancock & Willgoose, 2001; Romão & Souza, 2004; Hancock, 2005; Smith & Clark, 2005; Dymond et al, 2006; Valeriano, 2007).

1.4.2 Processos Erosivos

Dentre as questões ambientais, uma das que tem causado maior preocupação é a erosão dos solos. Pesquisas realizadas em diversas áreas das geociências indicam que várias partes do território brasileiro estarão improdutivas dentro em breve, se for mantido o nível atual de degradação dos solos (Santos, 2005).

A erosão ocorre em duas fases: a primeira que constitui a remoção das partículas (denudação) e a segunda que é o transporte do material removido, efetuado pelos agentes erosivos (água, vento e gelo). O processo de erosão que mais se observa em ambientes tropicais úmidos (de que trata este trabalho) é a erosão hídrica, resultado da rápida desagregação e transporte das partículas em decorrência da ação das chuvas (Guerra, 1999; Bigarella, 2003).

A capacidade erosiva depende da energia da queda do volume d'água por unidade de área de uma gota de chuva. Essa energia cinética da queda de uma gota determina a força do golpe que deve ser absorvida em cada ponto do impacto, enquanto a área horizontal da gota determina a quantidade de solo que deve suportar o golpe. O processo de salpicamento das partículas do solo é afetado pelo tamanho das gotas, pela sua velocidade de queda e pela intensidade da chuva (Guerra, 1999).

A ação erosiva da chuva está relacionada à sua distribuição pluviométrica, mais ou menos regular, no tempo e no espaço, e de sua intensidade. As chuvas torrenciais, típicas dos ambientes tropicais, constituem a forma mais agressiva de impacto da água no solo (Salomão, 1999).

A erosividade da chuva é atribuída à intensidade dos eventos chuvosos, embora o limite crítico para que o evento efetivamente seja considerado de alta erosividade, pode depender de características regionais do regime de chuvas. Ela também depende das características topográficas do relevo, que potencializam a energia de transporte da água, em função dos comprimentos de rampa, das declividades e das formas das vertentes. Os perfis côncavos, por exemplo, são mais vulneráveis aos processos erosivos que os convexos. (Bertoni e Lombardi Neto, 2005; Hancock, 2007).

No processo de escoamento superficial, a massa d'água atinge a velocidade final, independente do volume, quando a distância percorrida ultrapassa oito metros. O escoamento superficial é um fator determinante na esculturação das vertentes, podendo ocorrer de forma difusa, quando as águas escorrem sem hierarquia, ou de forma concentrada, quando as águas se acumulam em canais incipientes, passando a ter uma maior competência erosiva e fixando pequenos leitos na superfície do terreno (Christofolletti, 1981).

Bertoni e Lombardi Neto (2005) atribuem à frequência das precipitações, um dos principais fatores que influenciam nas perdas de solos pela erosão. Se os intervalos entre as chuvas são curtos, a umidade do solo se mantém elevada, provocando enxurradas de maior volume, mesmo com precipitações de menor intensidade.

Outro aspecto importante é a ação de compactação que as gotas de chuva causam ao solo, que perde sua capacidade de infiltração, fator responsável pelo grande volume de enxurrada durante as chuvas mais intensas. Quando a superfície está sendo golpeada pelas gotas de chuva, a velocidade de infiltração da água no solo diminui rapidamente com a proporção do tamanho das gotas, e vai diminuindo progressivamente à medida que aumenta o grau de declividade do terreno (Guerra, 1999).

No estudo dos processos erosivos vale observar dois fatos importantes para compreender a sua dinâmica no início. Em primeiro lugar, o impacto das gotas de chuva (*splash*), ou salpicamento, na superfície do solo, que provoca a desagregação e liberação das suas partículas, assim como a selagem do topo; em segundo lugar, o escoamento superficial das águas, devido à selagem da superfície, permitindo o transporte das partículas desagregadas. Dependendo da forma como ocorre o escoamento superficial ao longo das encostas, podem-se ter como consequência dois tipos de erosão: a) erosão laminar, quando provocada por escoamento difuso das águas de chuva, resultando na remoção progressiva e relativamente uniforme dos horizontes superficiais do solo (Figura 1.3); b) erosão linear, quando causada por concentração das linhas de fluxo das águas de escoamento superficial, resultando em pequenas incisões na superfície do terreno, em forma de sulcos, que podem evoluir por aprofundamento a ravinas e posteriormente para voçorocas (Salomão & Iwasa, 1995; Guerra, 1999).

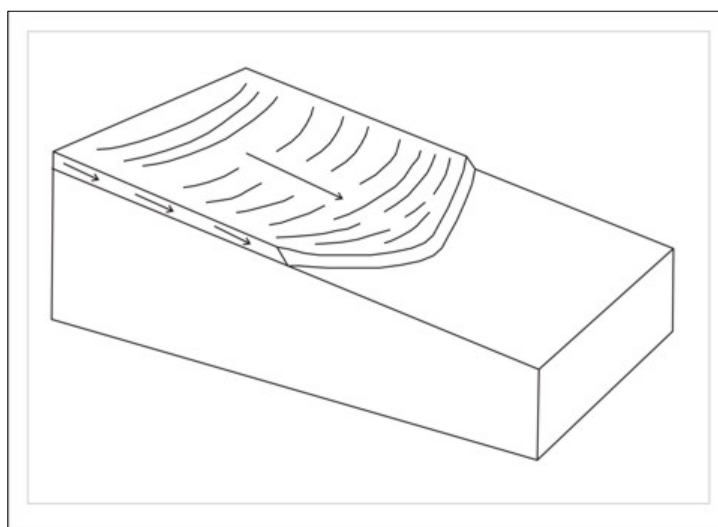


Figura 1.3 – Erosão laminar (Modificado de Bigarella, 2003)

Bigarella (2003) distingue a erosão linear por sulcos e ravinas das voçorocas. A primeira forma é provocada exclusivamente pelo escoamento superficial concentrado das águas pluviais (Figura 1.4). Já as voçorocas, são o resultado da associação do escoamento superficial concentrado, com o escoamento subsuperficial, cuja competência erosiva é responsável pela mobilização de grandes quantidades de detritos.

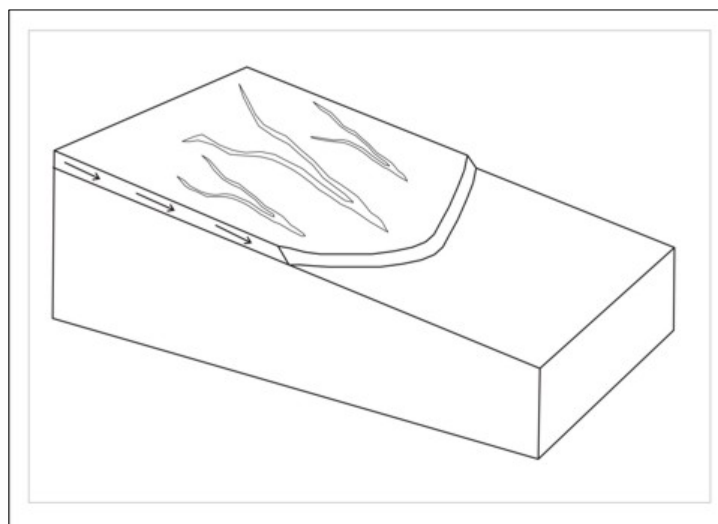


Figura 1.4 Erosão por sulcos e ravinas (Modificado de Bigarella, 2003)

O processo de erosão interna ou entubamento (*piping*), consequência do crescimento das voçorocas, avança subsuperficialmente no interior solo sob a forma de tubos. O aumento generalizado da ocorrência dessas tubulações subterrâneas, normalmente provoca o colapso do terreno, com desabamentos que alargam a voçoroca ou criam novas ramificações da mesma. Outro efeito associado a esses processos de erosão interna, são os solapamentos da base das paredes da voçoroca, que resultam no seu desmoronamento (Guerra,1999) (Figura 1.5).

A erosão subsuperficial por fluxos tubulares, ocorre devido à existência de um gradiente hidráulico, facilitado por canais abertos por animais escavadores, pelo sistema radicular das plantas, dissecação do manto rochoso pelo intemperismo, deslizamentos nos depósitos coluvionares de encostas ou nas estruturas reliquias das rochas originais, impressas na massa de solo residual. A coesão e granulometria dos solos são determinantes para a evolução da erosão (Valentin et al, 2005; Hancock & Evans, 2006).



Figura 1.5 – Representação esquemática de uma voçoroca (Bigarella, 2003)

Na base das encostas ou em rupturas de declive nas vertentes, com substrato rochoso aflorante ou a pouca profundidade, os fluxos de água subsuperficiais somam-se aos superficiais concentrados, que originam sulcos e ravinas, e ao encontrarem os lençóis permanentes mais profundos podem originar voçorocas (Queiroz Neto, 2001; Magalhães, 2001).

As forças de percolação nas voçorocas são capazes de arrastar as partículas de solo e assim formar vazios subterrâneos que podem se propagar a distâncias de vários metros, provocando colapsos e subsidências do terreno (Oliveira, 1994).

O processo erosivo tem diferentes respostas para diferentes tipos de solos. O comportamento de um solo frente à ação das águas varia principalmente em função de sua permeabilidade, estrutura, densidade e textura, que definem o grau de erodibilidade do solo. Estas características conferem maior ou menor resistência das partículas do solo à desagregação e capacidade de absorver e infiltrar as águas pluviais, aumentando o limite para o início do escoamento pluvial (Bertoni & Lombardi Neto, 2005).

As principais áreas de ocorrências erosivas em meio tropical úmido no Brasil, estão associadas às áreas recobertas por formações geológicas sedimentares, cujas coberturas pedológicas correspondem principalmente a materiais arenosos (argissolos, latossolos e depósitos aluviocolumvionares). Os solos argilosos são mais agregados, enquanto que os de textura grossa apresentam macroporos, desagregando-se mais facilmente.

No que diz respeito à matéria orgânica, sua incorporação ao solo é bastante eficaz na redução da erosão. Há o favorecimento no desenvolvimento de microorganismos do solo e uma melhor penetração das raízes, o que integra as partículas do solo não permitindo a desagregação das mesmas. O conteúdo de matéria orgânica pode alterar a estrutura do solo, melhorando a porosidade nos solos argilosos e promovendo a aglutinação de partículas que firmam a estrutura nos solos arenosos. A agregação do solo por matéria orgânica (bioestrutura), é caracterizada pelos agregados secundários formados pelos microorganismos a partir de agregados primários, de formação química (Primavesi, 1987).

A alteração do regime de escoamento superficial e subsuperficial, consequência da retirada da cobertura vegetal natural, associada às diferentes formas de uso do solo pelo homem, é indicada como a principal causa dos processos erosivos. Essas modificações resultam num maior incremento à velocidade de escoamento superficial, principalmente logo após a retirada da vegetação nativa (Infanti Jr. & Fornasari Filho, 1998).

O relevo compreende vertentes com declividades e formas muito variadas. As mudanças de forma dessas vertentes estão relacionadas aos processos dominantes de intemperismo, erosão e movimentos de massa. Os movimentos de massa são deslocamentos de solos, rochas e detritos encosta abaixo, devido à perda da instabilidade do talude, cujos principais tipos são: a) rastejo, que consiste no movimento descendente, lento e contínuo da massa de solo de uma vertente; b) deslizamento, que é um movimento descendente rápido de massa de solo, detritos ou rocha, geralmente bem definidas quanto ao seu volume, cujo centro de gravidade se desloca para baixo da vertente, podendo ser planar, circular ou em cunha (Figura 1.6); c) movimento de blocos rochosos, que são deslocados por gravidade; d) corridas de lama, que são movimentos gravitacionais de massas de solos de grandes dimensões com alto teor de água (Cruden, 1990).

Diversas abordagens podem ser usadas na obtenção de mapas de representação dos processos erosivos, qualitativamente e/ou quantitativamente. Wischmeier & Smith (1978) desenvolveram a equação universal de perdas de solos (EUPS), cuja fórmula é $A = R K L S C P$, que representa as perdas de solo por erosão laminar em uma determinada área da superfície, em função dos parâmetros erosividade da chuva (R), erodibilidade do solo (K), comprimento (L) e declividade da encosta (S) e cobertura do solo (C) e práticas conservacionistas (P). Essa equação, cujos primórdios datam do final da década de 50, vem sendo desde então, muito aplicada para estudos agrônômicos, e mais recentemente em estudos ambientais, principalmente de bacias hidrográficas (Oliveira, 2004).

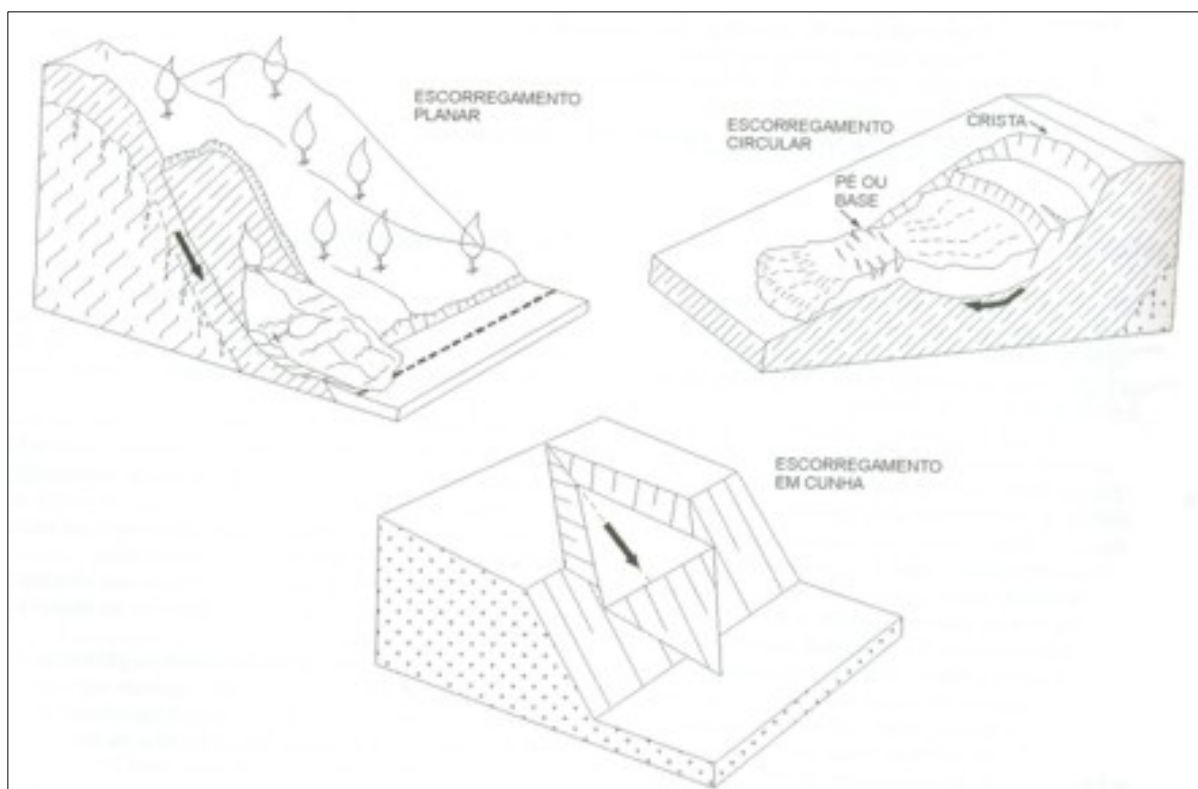


Figura 1.6 Principais tipos de deslizamentos (Infanti Jr. & Fornasari Filho, 1998).

Crepani *et al* (2001), elaboraram metodologia para obtenção de mapas de vulnerabilidade à erosão, desenvolvida com base no conceito de ecodinâmica de Tricart (1977), baseado na morfogênese, pedogênese e na potencialidade para estudos integrados de imagens orbitais e sistemas de informação geográfica. O procedimento é realizado à partir de uma imagem “âncora”, onde são feitas a análise e interpretação, considerando-se os padrões fotográficos identificados pelas variações de cor, textura, forma, padrões de drenagem e relevo. A vulnerabilidade das unidades de paisagem é então estabelecida através de uma escala de valores (21 classes de 1.0 a 3.0), de acordo com a relação morfogênese/pedogênese, analisando-se cada um dos temas: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e clima; posteriormente, faz-se uma classificação do grau de estabilidade ou vulnerabilidade de cada unidade ambiental, segundo as relações entre os processos de morfogênese e pedogênese, sendo possível elaborar a carta de vulnerabilidade natural à erosão.

Pedraza (1996), em proposta para avaliar qualitativamente o potencial de vulnerabilidade à erosão pluvial, delimita cartograficamente as unidades segundo seu maior ou menor risco potencial a erosão. O ponto de partida são os fatores relacionados aos processos erosivos: geológico, solos, clima, declividade, forma das vertentes, uso do solo. Os mapas de cada fator, depois de sucessivas ponderações, onde são atribuídos pesos a cada

variável (1 para a classe de risco baixo; 2 para médio; e 3 para alto) são superpostos, através da soma de mapas, obtendo-se o mapa potencial de vulnerabilidade a erosão.

CAPÍTULO 2

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

2.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área objeto da pesquisa é a Bacia Hidrográfica do Rio Botafogo, localizada na parte norte da RMR, está inserida no Grupo de Pequenas Bacias Litorâneas – GL1 (Pernambuco, 2006) (Figura 1). Com extensão aproximada de 265 Km², abrange áreas dos municípios de Araçoiaba, Abreu e Lima, Igarassu e Itapissuma, sendo delimitada pelos paralelos de -07° 41' 45" e de -07° 55' 14" de latitude Sul e os meridianos de -34° 52' 40" e de -35° 09' 37" de longitude Oeste.

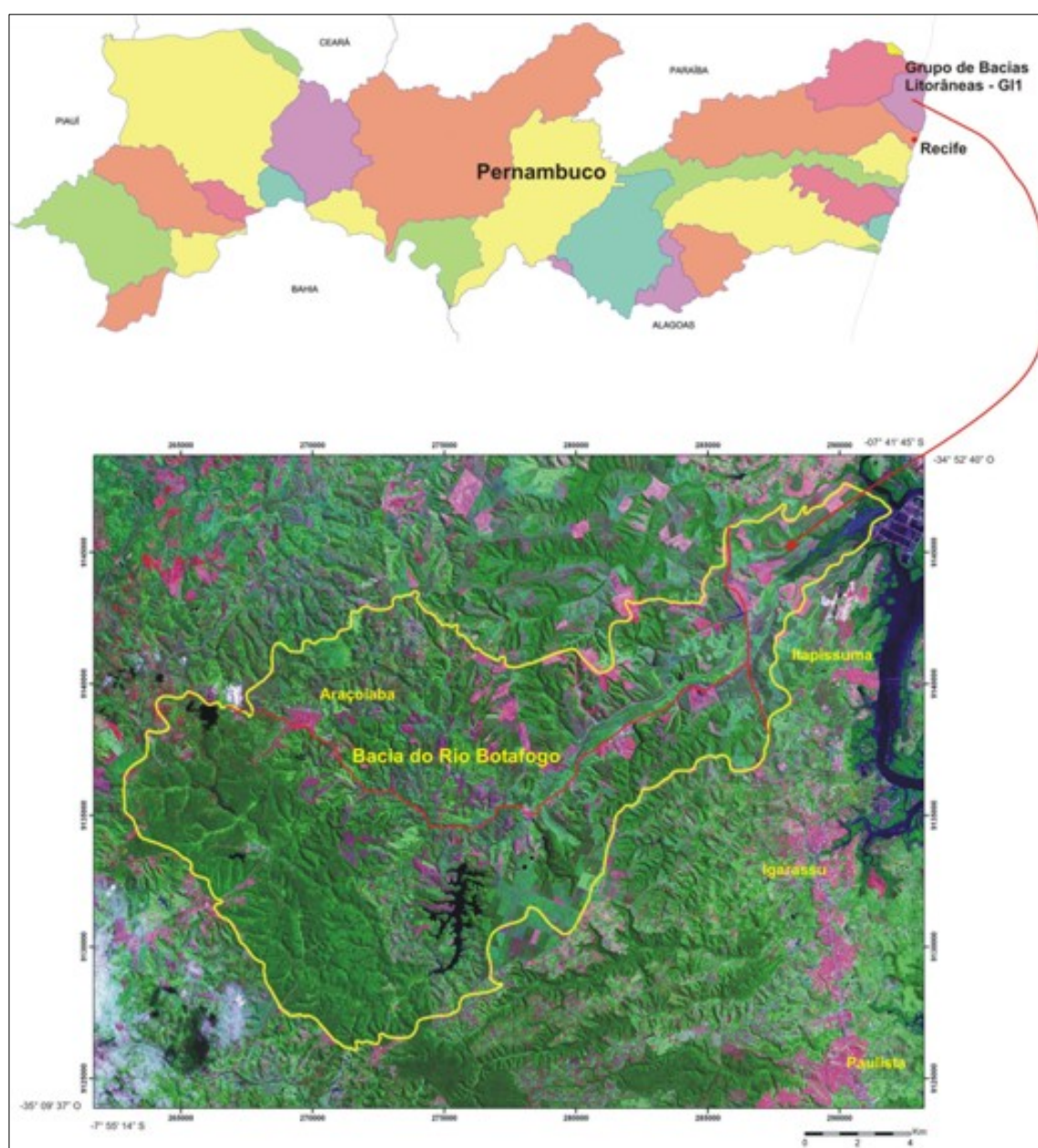


Figura 2.1 Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Botafogo

2.2 GEOLOGIA

A geologia da área na qual está contida a bacia hidrográfica do rio Botafogo, parte norte da Região Metropolitana do Recife, está representada por rochas do embasamento cristalino, caracterizadas por litotipos dos complexos Gnáissico-Migmatítico e Vertentes, aflorantes ou recobertos discordantemente por sedimentos meso-cenozóicos, incluindo os da bacia sedimentar da Paraíba, que por sua vez são recobertos pela Formação Barreiras e outras unidades não consolidadas do Neógeno. A coluna estratigráfica da parte norte da RMR (Figura 2.2) contém as unidades aflorantes representadas no mapa geológico (Figura 2.3).

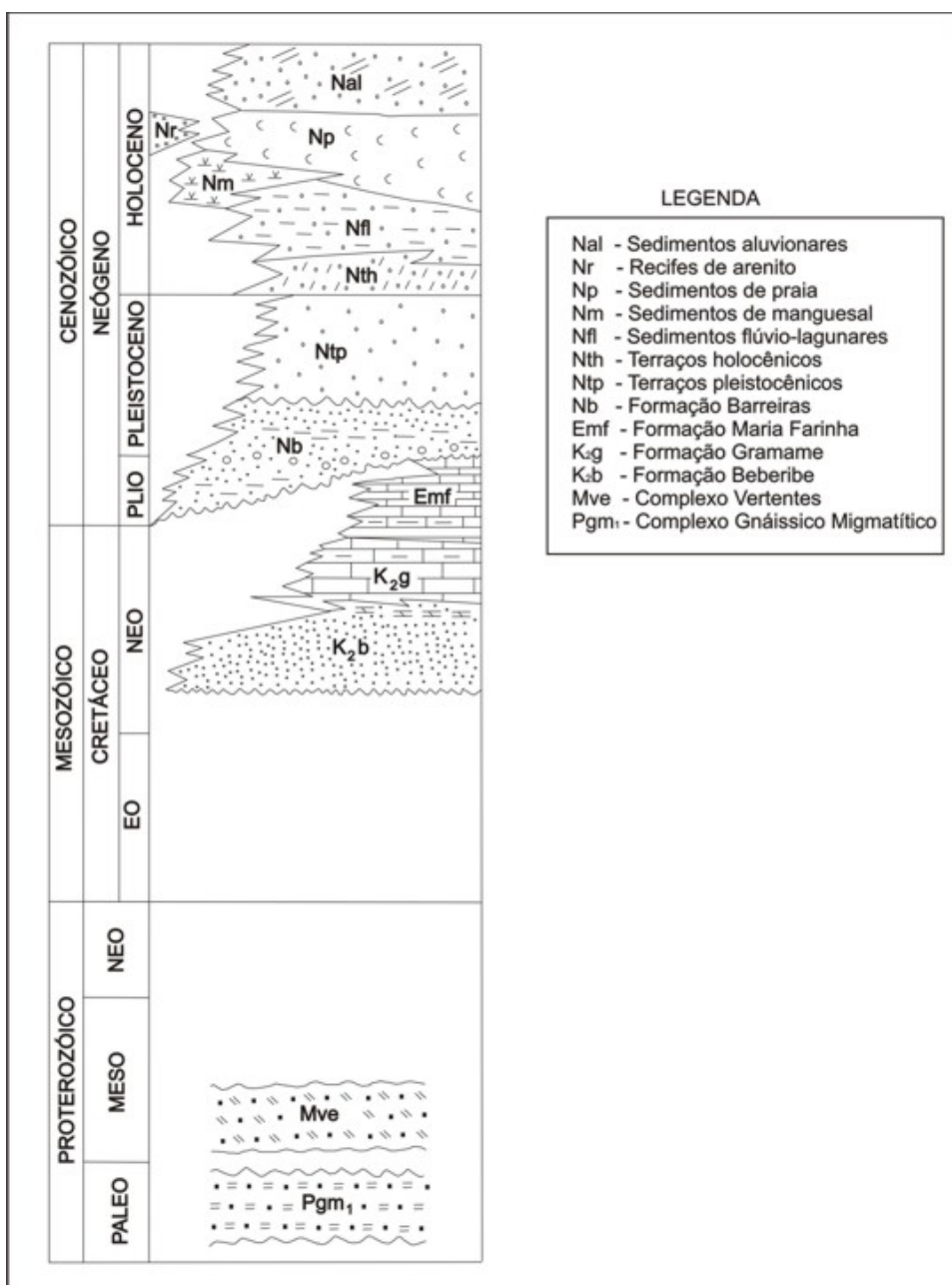


Figura 2.2 Coluna geológica esquemática da parte norte da RMR
(Fonte: modificado de CPRM, 2003).

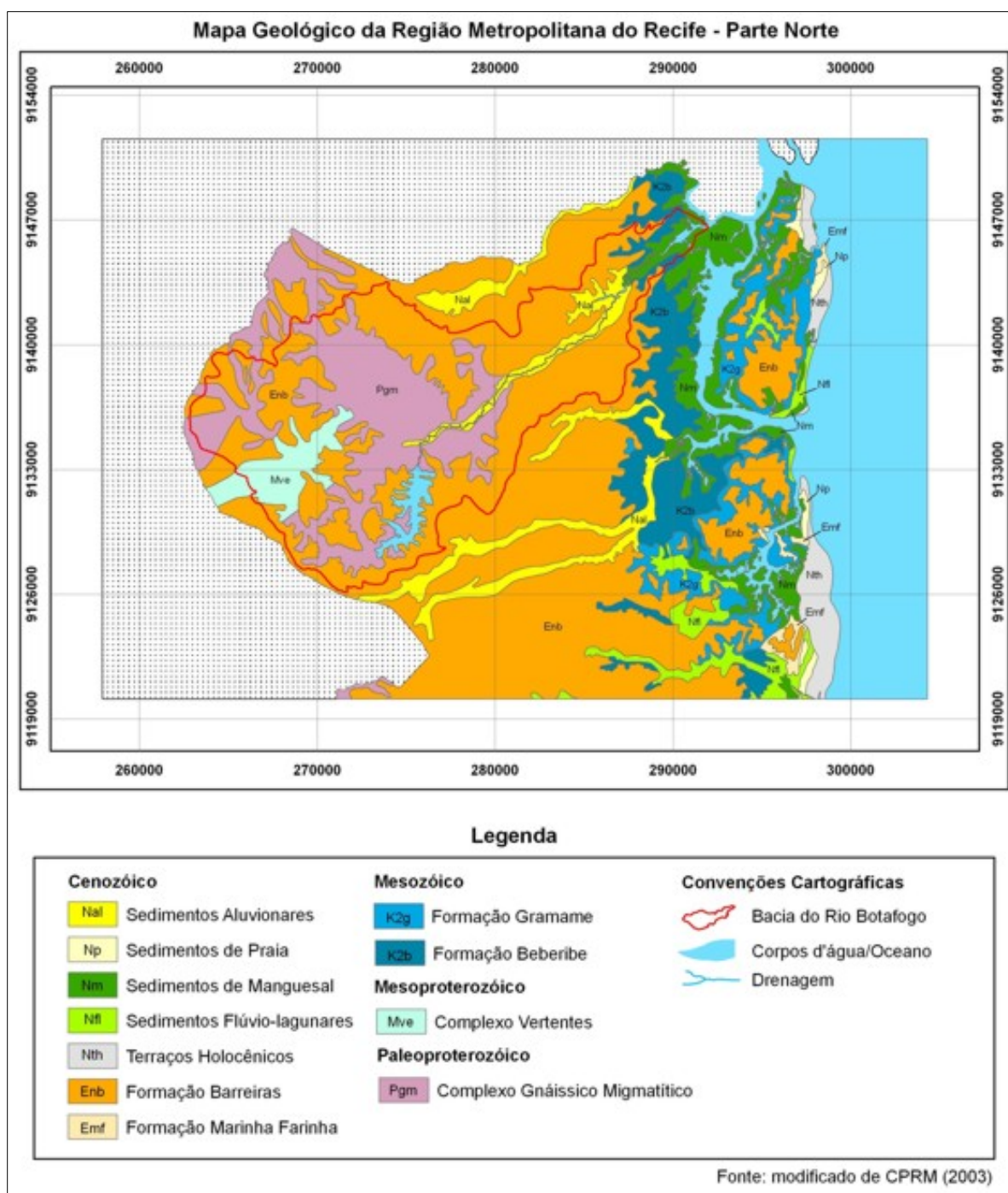


Figura 2.3 – Mapa geológico da RMR (parte norte)

O embasamento cristalino está representado pelo Complexo Gnáissico-Migmatítico (Pgm) do Paleoproterozóico, situado a norte do Lineamento Pernambuco, constituído por ortognaisses de composição granítica a tonalítica, por vezes monzoníticos e dioríticos, migmatizados, não individualizados. Numa pequena área da BHRB, a sul de Araçoiaba, aflora uma sequência vulcano-sedimentar do Complexo Vertentes (Mve), de idade mesoproterozóica, que compreende quartzitos, metapelitos e metavulcânicas diversas (CPRM, 2003).

Classificada como do tipo flexural (Mabessone & Alheiros; Mabelsoone, 1995), a Bacia da Paraíba reúne um pacote de rochas sedimentares meso-cenozóicas, que ocupa uma faixa de aproximadamente 30 km de largura, limitada a sul pelo Lineamento Pernambuco. Lima Filho (1998), classifica a referida bacia como do tipo *ramp basin*, associada à separação definitiva das placas Sul Americana e Africana, constituindo o último ponto de ruptura entre estas placas.

A estratigrafia da Bacia Paraíba compreende uma seqüência terrígena basal, de origem flúvio-lacustre, a Formação Beberibe – K2b, e uma seqüência carbonática superior representada pelas formações Gramame (K2g) e Maria Farinha (Emf)), que juntas formam uma pilha sedimentar que pode atingir cerca de 400m de espessura, na sua porção emersa mais profunda ((Kegel, 1954; Beurlen, 1967; Mabelsoone & Alheiros, 1988; CPRM, 2003; Souza, 2006; Barbosa, 2007).

A Formação Beberibe (K2b) de caráter predominantemente terrígeno continental, de idade neocretácica, constituída por depósitos fluviais entrelaçados (“*braided*”) de alta energia, intercalados a depósitos de planície aluvial, gradando lateralmente em direção a costa, para um domínio de fácies flúvio-lagunar a flúvio-deltáica e de plataforma rasa (Nóbrega & Alheiros, 1991).

Esta unidade estratigráfica é constituída litologicamente por arenitos grossos a conglomeráticos, localmente finos, de coloração cinza claro a cinza amarelado, mal selecionados, de fraca diagênese, essencialmente quartzosos, apresentando eventuais intercalações de conglomerados e siltitos argilosos. Na sua porção superior, predomina um arenito creme, maciço, de forte diagênese, granulometria média a grossa, com cimento calcífero e restos de conchas, constituindo uma zona de interdigitação com a Formação Gramame sobreposta (CPRM, 2003).

Os depósitos da seção superior da Formação Beberibe, representados por arenitos calcíferos, carbonatos com siliciclastos e folhelhos, foram inicialmente denominados por Kegel (1954, 1955, 1957a) como Formação Itamaracá. Esta seqüência de arenitos calcíferos e calcários com siliciclastos possuem no seu topo uma camada descontínua de fosforitos (Lima Filho *et al.*, 1998; Barbosa, 2004; Souza, 2006; Barbosa, 2007).

Beurlen (1967) abandonou a designação Formação Itamaracá e incluiu os litotipos carbonáticos com siliciclastos e arenitos calcíferos na base da Formação Gramame sobreposta. Pesquisas recentes (Barbosa & Lima Filho, 2006; Souza, 2006) retomaram o termo Formação Itamaracá, no mesmo sentido proposto por Kegel (1954, 1955).

A Formação Gramame (K₂g), também neocretácica, é uma unidade essencialmente marinha, constituída por calcários, calcários margosos, margas e argilas, apresentando horizontes fosfáticos interdigitando-se com calcarenitos, na sua porção basal. Trata-se de uma unidade bastante fossilífera, com sua fauna marinha abundante e variada, constituída por gastrópodes, lamelibrânquios e cefalópodes, entre outros (CPRM, 2003; Neumann *et al*, 2004; Barbosa, 2007).

A Formação Marinha Farinha (Emf), do Paleógeno, compreende uma seqüência de calcários detríticos cinzentos, fossilíferos, puros, mais ou menos recristalizados na sua porção basal, intercalados com calcários margosos, argilas e calcários dolomitizados, na sua porção superior (Neumann *et al*, 2006). Os fósseis característicos desta unidade são os gastrópodes (Nautilóides), lamelibrânquios e cefalópodes (macrofauna) e os foraminíferos (microfauna). O conteúdo fossilífero desta formação indica um ambiente de sedimentação litorâneo a marinho raso (Beurlen, 1967).

Depositada sobre o pacote sedimentar da Bacia da Paraíba encontra-se a Formação Barreiras, de idade plio-pleistocênica. Os principais trabalhos relacionados a esta unidade estão localizados na faixa costeira dos estados de Pernambuco - Paraíba – Rio Grande do Norte. De acordo com Mabesoone *et al.* (1972) o termo Barreiras é usado pela primeira vez por Branner em 1902, para descrever as camadas variegadas que afloram nas diversas barreiras ao longo da costa.

Segundo Alheiros *et al.* (1988), Moraes em 1928, descreve sedimentos terciários ao norte do Recife como Formação Barreiras, porém, sem formalização estratigráfica. Assinala ainda que Moraes Rego em 1930, assim como Oliveira & Leonardos em 1943, utilizam o termo Série das Barreiras para descrever os mesmos sedimentos que ocorrem na faixa litorânea desde a Amazônia até o sul da Bahia. A adoção do termo Formação Barreiras foi elaborada por Kegel (1957), que diferenciou sob aquela unidade, camadas areno-quartzosas caulínicas que denominou de Formação Infra-Barreiras, definida como o resultado do retrabalhamento do embasamento cristalino seguido de transporte e deposição à curta distância. Essa unidade apresenta sedimentos mal estratificados e imaturos que antecedem a deposição da Formação Barreiras, típicos de depósitos por enxurrada (leques aluviais). Bigarella & Andrade (1964), ampliaram a denominação de Formação para Grupo Barreiras, subdividindo-a em Formação Guararapes (inferior) e Formação Riacho Morno (superior), sendo limitadas por uma superfície de erosão. Campos e Silva (1966), acrescenta as denominações formações Macaíba e Potengi que ficariam sobrepostas à Formação Riacho

Morno. Mabesoone *et al.* (1972) redefinem as Formações Riacho Morno e Potengi como unidades edafoestratigráficas. Já Bigarella (1975), retoma a subdivisão de Bigarella & Andrade (*op cit.*), correlacionando a Formação Macaíba com a Formação Serra dos Martins e admitindo que a Formação Potengi contém sedimentos eólicos retrabalhados no Neógeno. Mabesoone (1991) retomam a denominação original de Formação Barreiras.

Na área estudada a Formação Barreiras é constituída por sedimentos areno-argilosos, pouco consolidados, de coloração variegada, com níveis lateritizados e caulínicos, que segundo Alheiros *et al.* (*op. cit*) caracterizam três domínios faciológicos distintos: um de leques aluviais, outro fluvial entrelaçado e um último flúvio-lagunar, cobrindo discordantemente tanto as rochas do embasamento cristalino, como os sedimentos das bacias costeiras meso-cenozóicas.

Os depósitos do Neógeno estão representados por:

Terraços Pleistocênicos (Ntp), constituídos por areias quartzosas de granulometria variando de fina a média, com selecionamento regular, associadas a restos de conchas calcárias. Geralmente ocupam cotas que variam de 2 m a 10 m, tendo na camada superficial destes terraços, algum enriquecimento com matéria orgânica;

Terraços Holocênicos (Nth), de constituição semelhante ao dos Ntp, diferem daqueles por apresentarem areias mais selecionadas, finas com freqüentes restos de conchas;

Sedimentos flúvio-lagunares (Nfl) constituídos por areias finas, siltes, argilas, vasas diatomáceas e sedimentos turfáceos; Sedimentos de manguezal (Nm), constituídos predominantemente por argilas, siltes, areias finas, carapaças silicosas de diatomáceas, espículas de espongiários, restos orgânicos e conchas; Sedimentos de Praia (Np), depósitos arenosos inconsolidados essencialmente quartzosos, bem selecionados, que ocupam faixas estreitas ao longo da costa; Depósitos aluvionares (Nal), de caráter arenoso a areno-argiloso, que se distribuem ao longo dos cursos d'água.(CPRM, 2003).

2.3 GEOMORFOLOGIA

A geomorfologia da porção norte da Região Metropolitana do Recife, na qual está localizada a BHRB, segundo a classificação dos Domínios Morfoclimáticos Brasileiros de Ab'Saber (1970), está inserida no domínio dos mares de morros, descrito como áreas mamelonares tropicais atlânticas florestadas, desenvolvidos em terrenos cristalinos. Mabesoone & Castro (1975) descrevem as referidas áreas como superfície de chãs mais as áreas constituídas por depósitos sedimentares como superfície dos tabuleiros. Na divisão do relevo brasileiro, apresentada por Ross (1985), a referida região é classificada como planícies

e tabuleiros litorâneos. Para elaborar a classificação, Ross (*op cit*), tomou como base o vasto acervo de imagens de radar do projeto RADAMBRASIL, que recobrem todo o território brasileiro, tendo assim a possibilidade de uma visão sinótica dos macrocompartimentos do relevo. Com base no mapeamento do RADAMBRASIL (1981), na escala 1 : 1.000.000, folha Jaguaribe/Natal, a geomorfologia regional está compartimentada nas regiões e unidades geomorfológicas descritas a seguir (Figura 2.4):

2.3.1 Região geomorfológica: Planícies Litorâneas

2.3.1.1 Unidade: Planícies estuarinas e praias

Ocorrem numa faixa estreita ao longo do litoral, formando praias arenosas que se adelgaçam em alguns trechos, onde fazem contato com falésias esculpturadas em sedimentos da Formação Barreiras. Em outros trechos penetram para o interior, seguindo os baixos cursos dos rios, formando estuários afogados nas desembocaduras fluviais, onde se encontram planícies intertidais, colmatadas por um material argiloso, depositados sob a influência das condições ambientais variáveis durante o Neógeno, onde há uma proliferação generalizada de manguezais.

2.3.2 Região geomorfológica: Piemontes inumados

2.3.2.1 Unidade: Tabuleiros costeiros

Apresentam interflúvios planos, geralmente entalhados por canais de margens abruptas. Localmente estão dissecados em forma de colinas convexas de topos concordantes, formando uma topografia ondulada. Os topos tabulares em geral coincidem com os sedimentos da Formação Barreiras, enquanto que as vertentes de dissecção se desenvolvem através desses sedimentos atingindo as rochas do embasamento cristalino. Limitam-se a leste com a unidade planícies estuarinas e praias e a oeste com a unidade piemonte oriental da Borborema.

2.3.3 Região geomorfológica: Planalto rebaixado litorâneo

2.3.3.1 Unidade: Piemonte oriental da Borborema

Por suas feições morfológicas e estruturais e sua localização no sopé oriental do Planalto da Borborema, este compartimento intensamente dissecado foi considerado como uma região geomorfológica. Nomeada por Mabesoone & Castro (1975) de superfície de chãs, comportam a mesma litologia do Planalto da Borborema, ou seja, rochas pré-cambrianas graníticas e migmatíticas, ocorrendo também coberturas plio-pleistocênicas (Formação Barreiras), que aparecem apenas coroando os topos das colinas e do Neógeno inconsolidado

(planícies aluviais). Sua origem deve-se provavelmente à flexura que teria provocado o soerguimento do núcleo da Borborema e consequentemente o seu rebaixamento.

2.3.4 Região geomorfológica: Planalto da Borborema

2.3.4.1 Unidade: Encostas orientais

Essa unidade dispõe-se paralela à linha de costa, cuja distância é cerca de 70 Km. A drenagem orientada para leste dissecou intensamente a área, conferindo-lhe feições de escarpa festonada. A exposição permanente ao ventos úmidos de E e SE, provoca índices pluviométricos relativamente elevados, onde predominam os processos de intemperismo químico sobre uma litologia predominantemente pré-cambriana, onde ocorre feições de dissecação em forma de colinas de topo convexo.

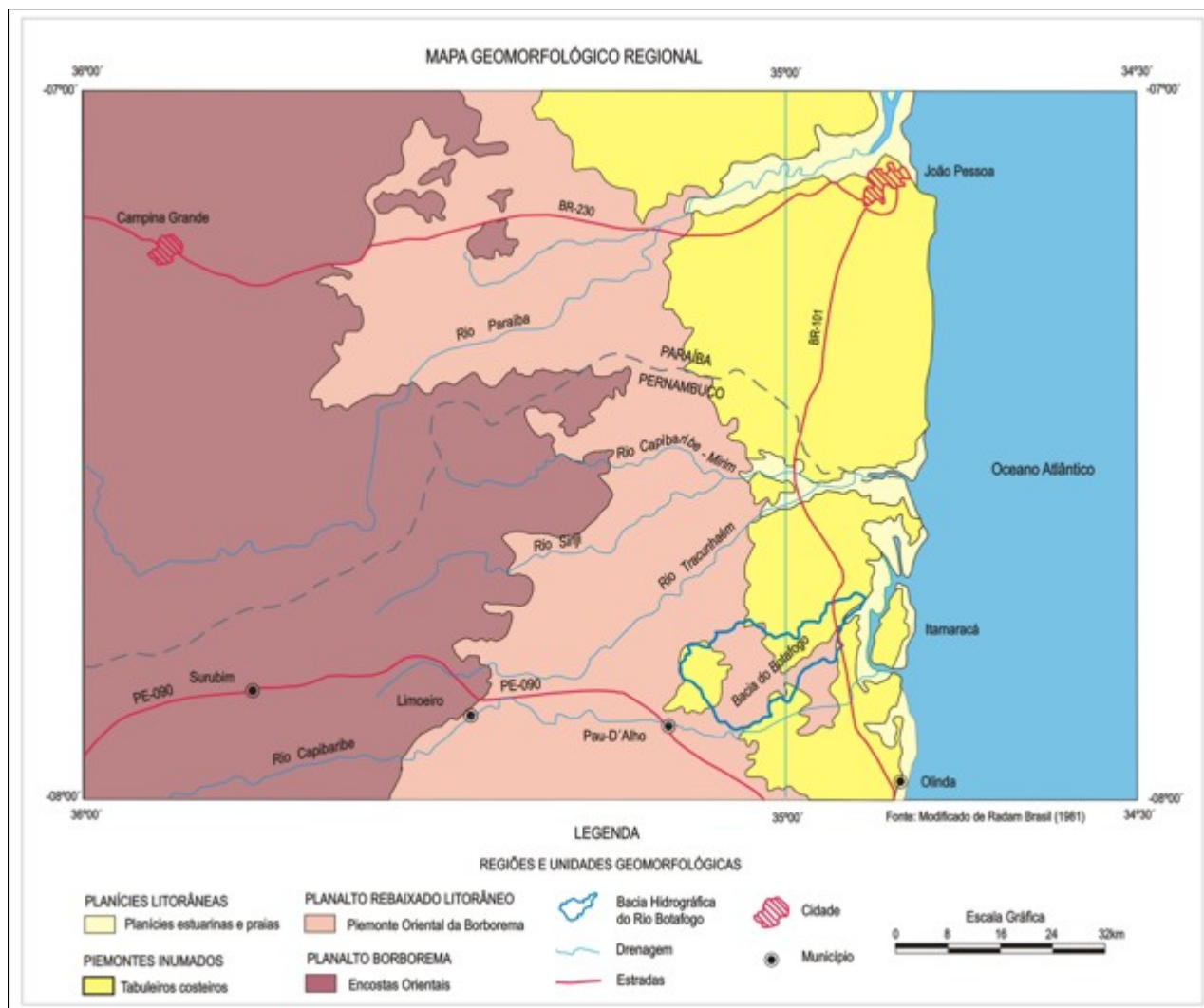


Figura 2.4 Geomorfologia regional

2.4 CLIMA

Para compreender a evolução do relevo terrestre, o estudo das estruturas geológicas se faz imprescindível, entretanto, é necessário levar em consideração as condições climáticas atuais e pretéritas, para entender a ação dos processos morfogenéticos sobre as diversas estruturas.

Semelhantes tipos de estrutura têm diferentes respostas sob climas diversos. Sobre uma rocha granítica em condições de clima quente e úmido, atuará principalmente o intemperismo químico, enquanto em situações climáticas de semi-aridez e alto gradiente de temperatura, predominará o intemperismo físico.

A ação do clima sobre os processos morfogenéticos se dá através das variações de temperatura, associadas à intensidade das chuvas e ação dos ventos, notadamente nas áreas tropicais.

2.4.1 Paleoclimas

A evolução do modelado da área estudada está relacionada, principalmente com as variações climáticas ocorridas na era Cenozóica. No decorrer dessa era, a evolução paleogeográfica da região nordestina está caracterizada pela alternância de climas mais secos para climas mais úmidos.

Mudanças climáticas no Neógeno, à partir do Mioceno, e principalmente as do Plioceno e Pleistoceno, são em grande parte responsáveis pelas formas atuais do relevo. Segundo Mabesoone & Castro (1975), nesse período *“No Nordeste brasileiro, a Superfície Sulamericana começa a sofrer um abaulamento e uma seguinte dissecação, resultando num retrabalhamento do material dos solos até então formados (intemperismo caulínico), sua remoção e deposição como sedimento correlativo na faixa costeira e em áreas baixas do interior (Formação Serra dos Martins e Serra da Tabatinga). Conforme o material depositado, o clima não devia ter mudado muito. Os ambientes de deposição destas seqüências correlativas eram provavelmente fluviais de clima quente e bastante úmido”*.

Na área de estudo, as influências paleoclimáticas, deixaram suas marcas impressas sob a forma de paleopavimentos (*stone line*), que afloram em diversos cortes de estradas.

2.4.2 Clima atual

Na classificação climática de Köppen, o clima da parte norte da Região Metropolitana do Recife, é caracterizado como As', descrito como quente e úmido com chuvas de inverno, antecipadas no outono, onde as médias de precipitações é em torno de 1800 mm. Em compensação a esse alto índice pluviométrico a radiação solar é intensa, típica da faixa tropical, cuja brisa marinha contribui para um alto índice de evaporação.

A temperatura média oscila em torno de 26°C, com pequena amplitude térmica anual da ordem de 3°C (Figura 2.5). A umidade relativa do ar nos meses de chuva é de cerca de 80%, em consequência da baixa latitude em que se situa a área, da proximidade do oceano Atlântico e das massas de ar atuantes na região.

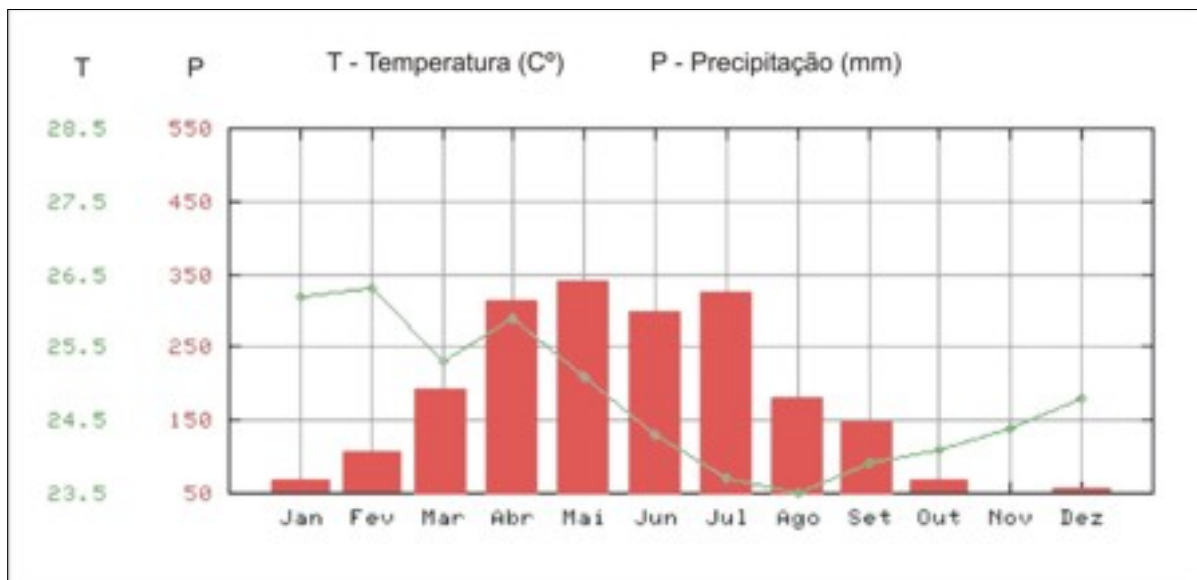


Figura 2.5 – Temperatura e precipitação média mensal da parte norte da Região Metropolitana do Recife, no período de 1961-1990 (Fonte: INMET).

Na região estudada a direção predominante dos ventos é do quadrante E - circulação normal - oriundos da área de altas pressões subtropicais, ou seja, do anticiclone do Atlântico Sul, denominados alísios. Essa massa tem uma inversão térmica superior com duas camadas: a inferior, de temperaturas mais baixas e úmida; e a superior, com temperaturas mais altas e seca. Tem um caráter de estabilidade que se encerra com a chegada das correntes perturbadas (Nimer, 1977).

O mecanismo de perturbação ou de instabilidade da região compreende três sistemas:

a) Sistema de Norte - constituído pelo deslocamento da Convergência Intertropical (CIT). Na região, ela aparece provocando chuva nos meses de março e abril, quando está na fase de maior expansão, chegando a atingir o paralelo de 10° S;

b) Sistema de Sul – representado pelo deslocamento da Frente Polar Atlântica que no inverno atinge o litoral pernambucano, provocando chuvas frontais;

c) Sistema de Este – formado pelas ondas de Este que são típicas das zonas tropicais atingidas pelos alísios. As precipitações provocadas por essas ondas, ficam restritas ao litoral, raramente cruzando as escarpas da Borborema. São freqüentes no inverno, secundárias no outono e pouco freqüentes na primavera e no verão (Figura 2.4) (Nimer, 1977).

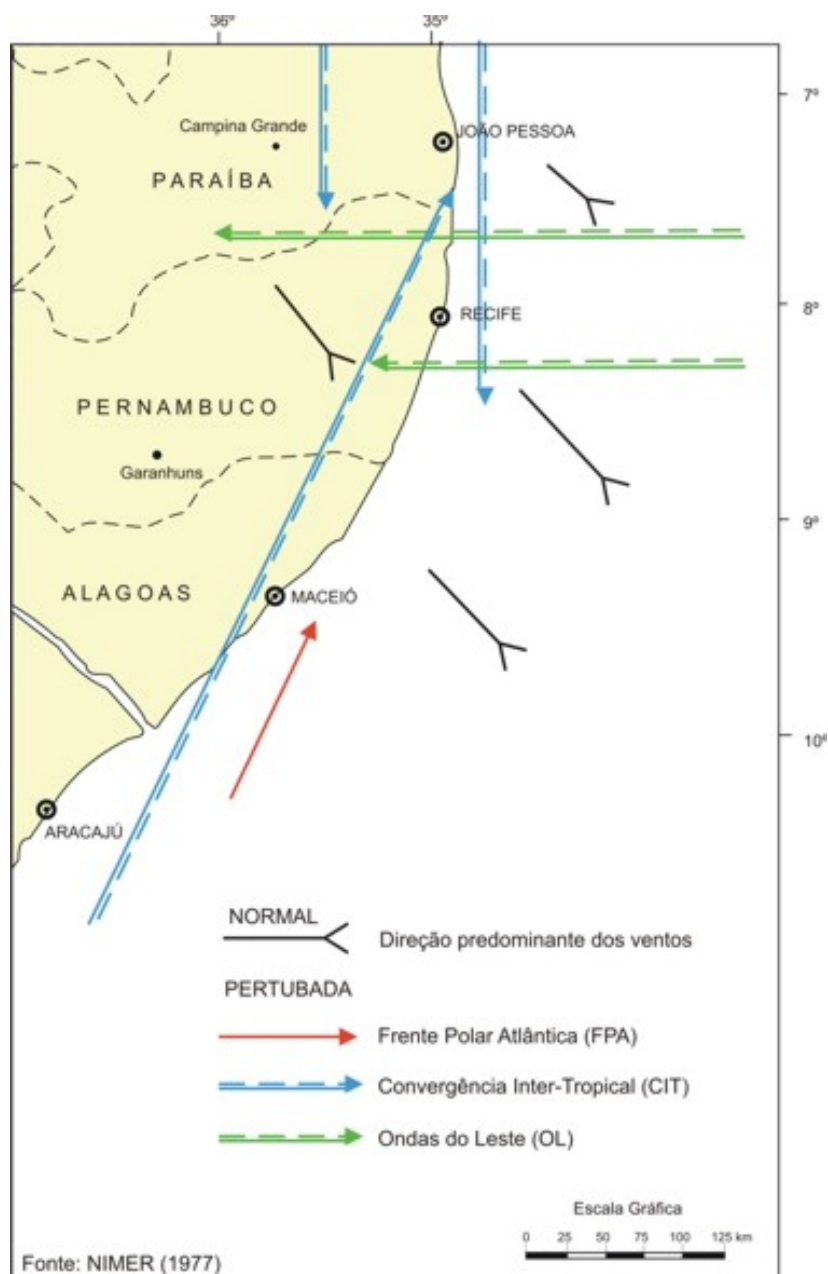


Figura 2.6 – Sistemas de circulação atmosférica no Nordeste oriental

2.5 HIDROGRAFIA

A BHRB está contida no grupo de pequenos rios litorâneos (GL-1), (Pernambuco, 2006), que deságuam no litoral norte da Região Metropolitana do Recife. Recebe como principais afluentes pela margem esquerda o riacho Cumbe e o riacho Pilão, e pela margem direita, o Rio Catucá. O GL-1 faz limite ao norte com a bacia do rio Goiana e ao sul e oeste com a bacia do Capibaribe. A drenagem dessas bacias é do tipo exorréica, com direção geral SW-NE. Observa-se para o rio Capibaribe, uma forte inflexão para sul, denunciando um nítido controle estrutural (Figura 2.7).

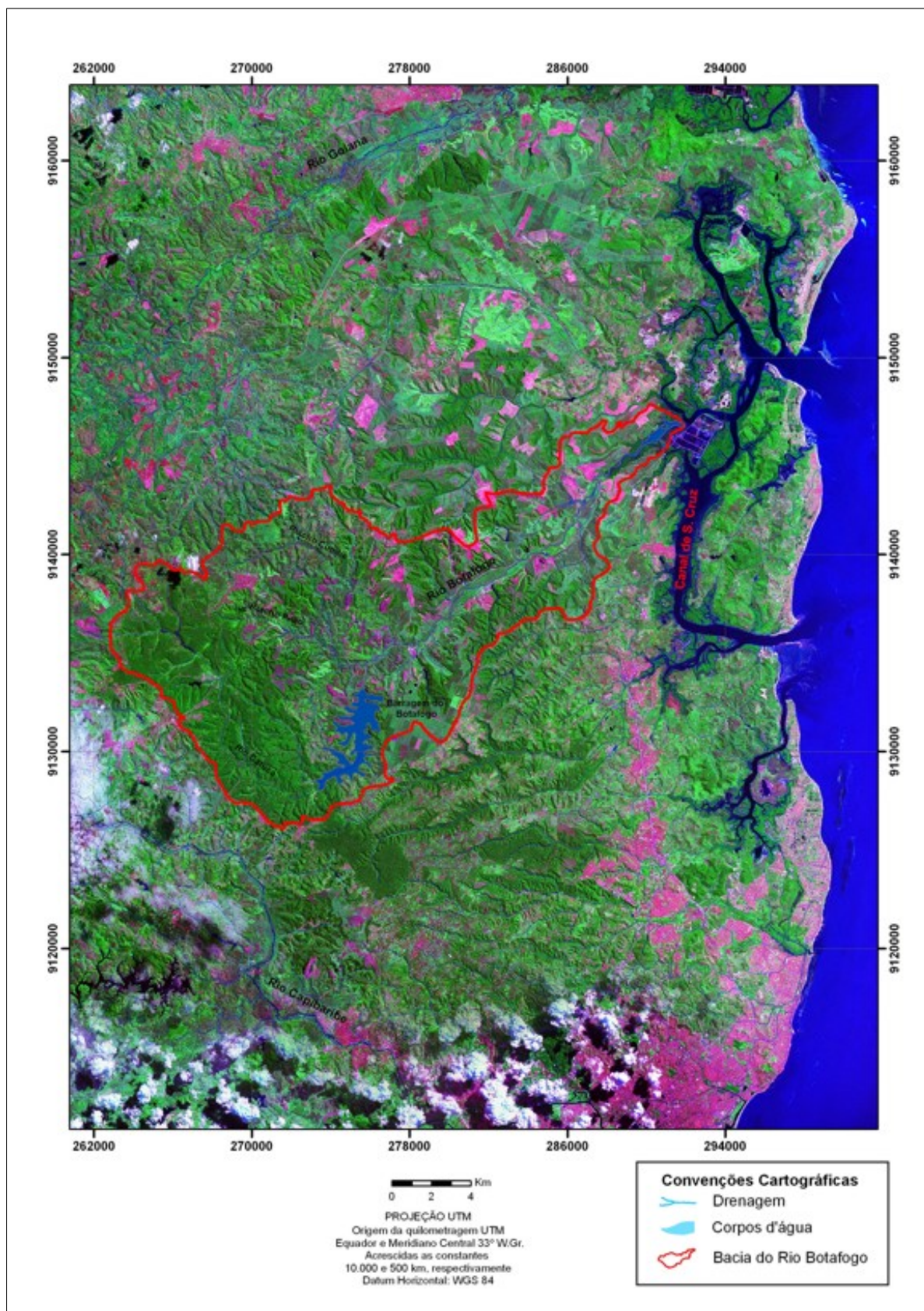


Figura 2.7 – Hidrografia regional

2.6 SOLOS

As classes de solos encontradas na bacia hidrográfica do Botafogo são definidas a seguir, em função das descrições morfológicas, análises físicas, químicas e mineralógicas dos perfis representativos encontrados em EMBRAPA (2000) e apresentados no mapa de solos (Figura 2.8):

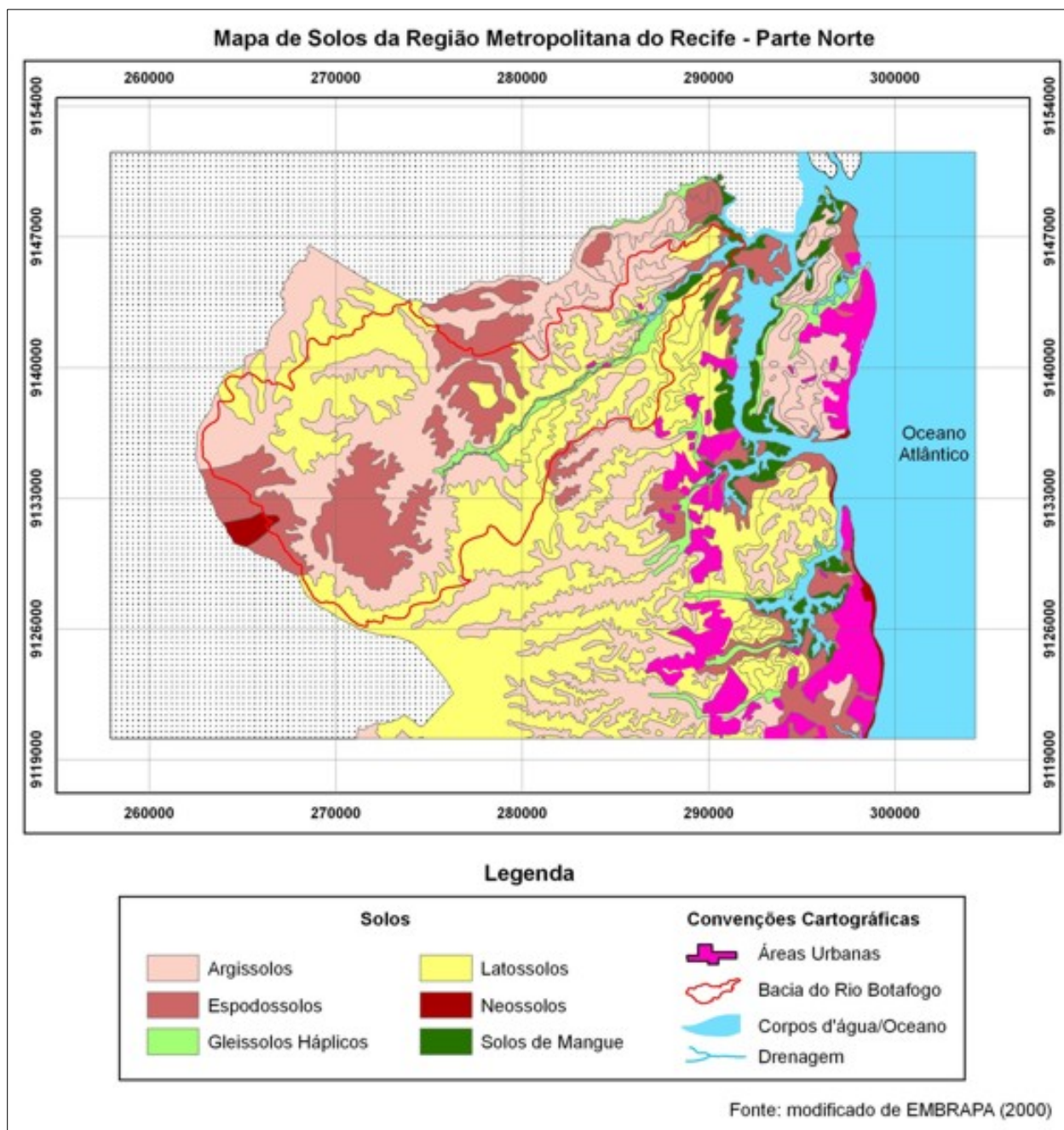


Figura 2.8 – Mapa de solos da RMR – Parte Norte

2.6.1 Argissolos

Esta classe compreende solos minerais, não hidromórficos, com horizonte B textural, apresentando coloração amarelada- avermelhada constituído por argila de baixa atividade. São solos em geral profundos e bem drenados. Apresentam grande expressão territorial na área de estudo, em relevo que varia do colinoso a tabuliforme (caso em que geralmente estão relacionados a sedimentos da Formação Barreiras), sob vegetação original de floresta tropical subperenifólia.

2.6.2 Espodossolos

Esta classe compreende solos minerais com horizonte B espódico precedido por horizonte E, em geral albico, ou mais raramente sob o horizonte A. São, portanto, solos com nítida diferenciação de horizontes. Estão relacionados aos sedimentos arenosos de origem marinha que constituem os cordões litorâneos dispostos em faixas subparalelas ao longo da costa. São em geral hidromórficos, de textura arenosa ao longo de todo o perfil. Em sua maior parte são recobertos por vegetação de restinga do tipo campestre ou arbóreo-arbustiva.

2.6.3 Gleissolos Háplicos

Compreende solos minerais, hidromórficos, com horizonte glei dentro de 50 cm de profundidade, ou dentro de 125 cm se abaixo de horizonte A ou H, este com menos de 40 cm de espessura, excluídos solos de textura arenosa em toda a extensão dos perfis. São solos relativamente recentes, pouco evoluídos, e originados de sedimentos de idade quaternária, apresentando portanto grande variabilidade espacial. São subdivididos, em segundo nível categórico, em função da presença de salinidade e do tipo de horizonte superficial.

2.6.4 Latossolos

Sob esta denominação estão compreendidos solos minerais, não hidromórficos, com horizonte B latossólico imediatamente abaixo de qualquer um dos tipos de horizonte A. São solos em avançado estágio de intemperização, muito evoluídos, resultado da transformação no material constitutivo. São normalmente muito profundos, com espessura do *solum* em geral superior a dois metros, de elevada permeabilidade e comumente bem acentuadamente drenados. Apresentam seqüência de horizontes do tipo A, B, C, com reduzido incremento de argila em profundidade.

2.6.5 Neossolos

Nesta classe estão compreendidos solos minerais pouco desenvolvidos, rasos, constituídos por um horizonte A assentado diretamente sobre a rocha (que na área estão representadas por quartzitos do Complexo Vertentes), ou sobre um horizonte C ou B pouco espessos, e apresentam contato lítico dentro de 50 cm da superfície do solo. Devido à pouca

espessura, é comum possuírem elevados teores de minerais primários pouco resistentes ao intemperismo, assim como cascalhos e calhaus de rocha semi-intemperizada na massa do solo. Ocorrem nas áreas íngremes de colinas situadas em cotas mais altas na porção oeste da área., em associação com afloramentos rochosos e Argissolos, apresentando quase sempre caráter eutrófico e vegetação mais seca, principalmente de floresta tropical subcaducifólia.

2.6.6 Solos de mangue

Solos extremamente frágeis de origem sedimentar flúvio-marinha, constituídos geralmente por material areno-siltico-argiloso, rico em matéria orgânica, hidromórfica e salina, com alta capacidade de troca de cátions e elevada condutividade elétrica. Ocorre nas áreas estuarinas, em ambientes flúvios-marinhos.

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS

As fontes de informações utilizadas para a extração dos dados utilizados no presente trabalho e equipamentos, são os descritos a seguir.

3.1.1 Bases cartográficas

- Cartas Planialtimétricas da SUDENE (Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste), folhas Itapirema (SB.25-Y-C-VI-1-SO), Itaquitinga (SB.25-Y-C-V-2-SE), Igarassu (SB.25-Y-C-VI-3-NO), Araçoiaba (SB.25-Y-C-V-4-NE), Tracunhaém (SB.25-Y-C-V-4-NO) e São Lourenço da Mata (SB.25-Y-C-V-4-SE), na escala de 1:25.000, com equidistância de curvas de nível de 10m;
- Mapa Geológico da Região Metropolitana do Recife, na escala de 1:100.000, elaborado em 2002 pela CPRM – Serviço Geológico do Brasil, dentro do Projeto SIGA-Recife: Sistema de Informações Geoambientais da Região Metropolitana do Recife (CPRM, 2002);
- Mapa de Reconhecimento de Baixa e Média Intensidade de Solos, folhas Itamaracá (SB.25-Y-C-VI) e Limoeiro (SB.25-Y-C-V), na escala de 1:100.000, elaborados em 1999 pela EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), como parte do Zoneamento Agroecológico do Estado de Pernambuco (EMBRAPA, 1999);

3.1.2 Imagens de sensores remotos

- Imagens de satélite TM-LANDSAT-7 ETM⁺, com passagem em 04/08/2001, bandas 1,2,3,4,5,6,7e 8, adquiridas junto ao INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais).
- Fotografias aéreas do Projeto 08 FAB – SUDENE GERAN 70, do ano de 1970, na escala de 1:30.000.

3.1.3 Programas e equipamentos

- Programa ArcGis 9.1 na digitalização, processamento dos dados e confecção dos mapas;
- Programa Arcview 3.3, na classificação das formas das vertentes;
- Programa ENVI, versão 4.2, no processamento e interpretação das imagens de satélite;
- Estereoscópio de espelhos modelo Weiss, para fotointerpretação;
- Escaner de rolo HP, formato A0;
- Escaner de mesa HP, formato A4;

- GPS – Sistema de posicionamento global, modelo Garmin, utilizado durante o trabalho de campo para a obtenção de coordenadas de pontos;
- Câmara fotográfica digital Canon modelo A540, com 6.0 mega pixel de resolução, utilizada para tomadas fotográficas no trabalho de campo.

3.2 METODOLOGIA

Neste item serão apresentados os procedimentos metodológicos adotados para o presente trabalho, sendo eles: a análise dos sedimentos, a descrição dos afloramentos, a estruturação do banco de dados, a elaboração dos mapas geomorfológico e do potencial de vulnerabilidade a erosão e o trabalho de campo.

3.2.1 Análise dos sedimentos

Neste subitem serão abordados os métodos utilizados para a obtenção das principais propriedades dos sedimentos. A medida do tamanho dos grãos foi determinada pelo peneiramento com o uso de um agitador rotativo (*rot-up*) e as técnicas e parâmetros utilizados foram os que são executados pelos laboratórios de Geologia Sedimentar (LAGESE) e Geologia e Geofísica Marinha (LGGM) ambos do Departamento de Geologia da UFPE.

A escala de tamanho de grãos utilizada foi a de Wentworth-Udden (escala geométrica), a qual divide os sedimentos em sete classes - argila, silte, areia, grânulos, seixos, calhaus e blocos: subdivide areia em 5 sub-classes e silte em 4.

Para a determinação dos parâmetros estatísticos granulométricos de Folk e Ward (1957): tendência central, grau de seleção, grau de assimetria e curtose.

O estudo da morfologia dos grãos foi utilizado para identificação dos aspectos como: forma, esfericidade e arredondamento dos grãos. Também foi feita a análise da textura superficial na tentativa de ajudar na definição do agente e/ou ambiente de deposição. As principais feições observadas nas areias estudadas foram: aspecto sacaroidal, lisos ou polidos, brilhantes, grãos arredondados foscos. Para realização destes estudos foi utilizada uma lupa binocular com uma câmera fotográfica acoplada.

3.2.2 Descrição dos afloramentos

Foram descritos seis afloramentos (denominados informalmente de RV-01 a RV-06), distribuídos de tal forma, que fossem representativos da unidade Infra-Barreiras e da Formação Barreiras com o objetivo de se obter uma caracterização dessas sequências que foram depositadas na área de estudo.

3.2.3 Estruturação da base de dados

Para a estruturação da base de dados georreferenciados da BHRB foi utilizado o programa ArcGis 9.1, que é um Sistema de Informações geográficas (SIG), composto de um sistema gerenciador de banco de dados (SGBD) relacional, com interface gráfica (Figura 3.1). Possibilita a manipulação simultânea de dados vetoriais e matriciais e possui aplicativos (extensões) que permitem a modelagem e extração de informações dos dados.

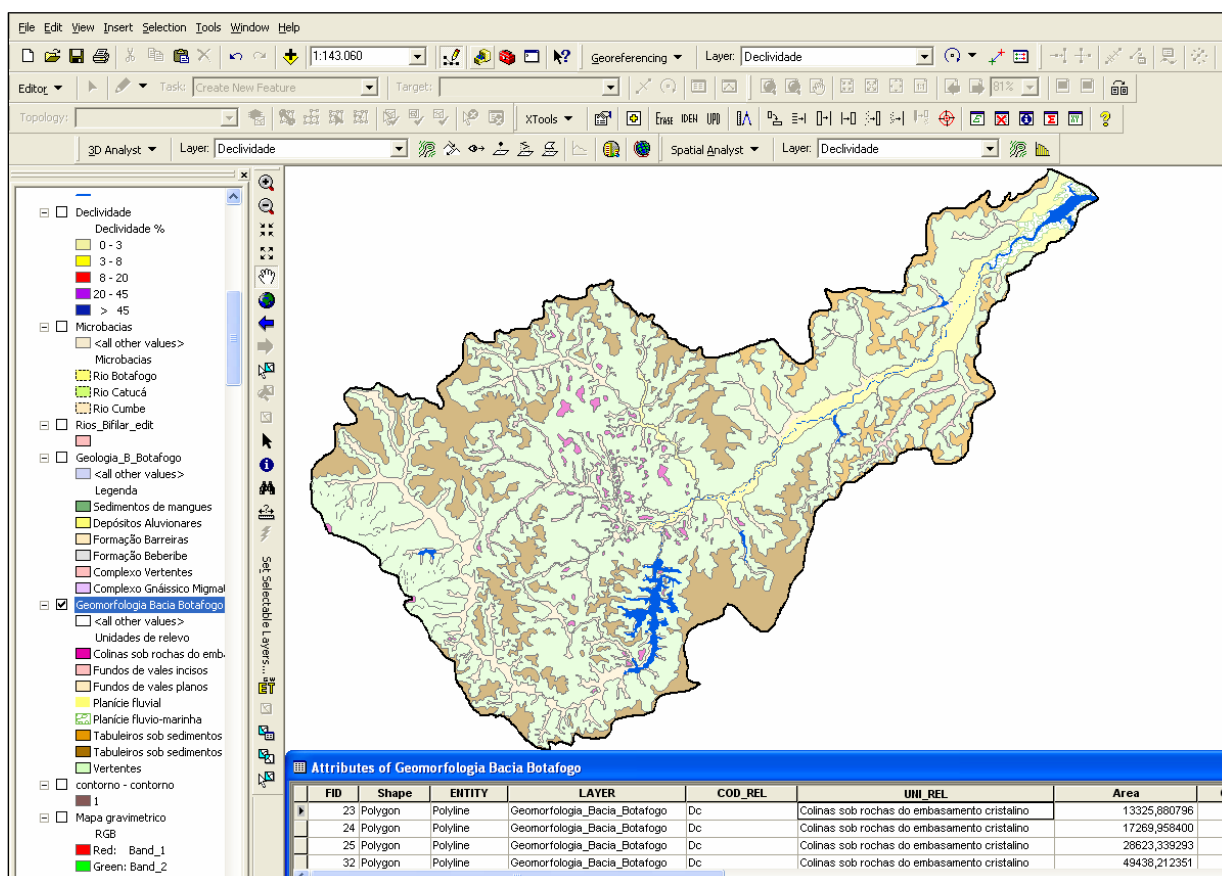


Figura 3.1 Visão da tela do programa ArcGis 9.1, onde se observa a tabela do banco de dados e a interface gráfica (mapa).

Para a introdução dos dados no ArcGis 9.1, foi adotado o sistema de projeção cartográfica UTM – Projeção Universal Transversal de Mercator, zona 25 sul, correspondente ao meridiano centra -33° oeste, tendo como *Datum* de referência o WGS-84 (*World Geodetic System*). Em seguida, foram criados os planos de informação (PI) ou *layers*, conforme descrito a seguir:

A primeira etapa foi a extração e digitalização das curvas de nível e da rede de drenagem das cartas planialtimétricas, folhas Itapirema (SB.25-Y-C-VI-1-SO), Itaquitinga

(SB.25-Y-C-V-2-SE), Igarassu (SB.25-Y-C-VI-3-NO), Araçoiaba (SB.25-Y-C-V-4-NE), Tracunhaém (SB.25-Y-C-V-4-NO) e São Lourenço da Mata (SB.25-Y-C-V-4-SE), na escala 1:25.000, com equidistância de curvas de nível de 10m.

Estas cartas foram inicialmente convertidas para o formato matricial, através de escanerização, seguida do registro da imagem (georeferenciamento) com o emprego do programa Envi 4.2. As imagens-cartas georeferenciadas foram exportadas no formato TIF, compatível com a maioria dos editores de imagem.

Na segunda etapa, as imagens-cartas georeferenciadas foram vetorizadas com o uso do programa ArcGis 9.1, digitalizando-se em tela PI referentes a cada curva de nível com os respectivos valores de altitude, que foram posteriormente reagrupadas, gerando assim um arquivo de isolinhas, apresentado como o mapa de curvas de nível.

O mapa do modelo digital do terreno (MDT) foi criado na resolução espacial de 30 metros, através da interpolação do PI curvas de nível, com equidistância de 10 metros. Foi utilizado o método de interpolação TIN – interpolação por rede de triangulação. Neste método a superfície é representada como uma série de triângulos irregulares, gerados da interpolação de temas de linhas e pontos, espaçados irregularmente, com valores de x, y, e z (Felgueiras, 2001). O MDT foi gerado utilizando-se o módulo *3D Analyst*, do programa ArcGis 9.1.

À partir do MDT, foi gerado uma série de produtos, que em conjunto, auxiliaram na elaboração do mapa geomorfológico e de processos erosivos, proposto neste trabalho.

O mapa de relevo sombreado foi gerado no módulo *3D Analyst*, função relevo sombreado (*hillshed*) do programa ArcGis 9.1, no qual a iluminação foi posicionada com um azimuth de 315° e um ângulo de inclinação de 45°, utilizando-se uma paleta de tons de cinza.

Para a confecção do mapa hipsométrico, foi feito um fatiamento do MDT. Fatiar o MDT consiste em definir intervalos, ou fatias de cotas, afim de se gerar uma imagem temática a partir do modelo. Assim, cada tema, ou classe, da imagem temática é associado a um intervalo de cotas dentro dos valores atribuídos ao fenômeno modelado, neste caso a altimetria. Os intervalos definidos foram com as cotas de 0 a 50; 50 a 100; 100 a 150; 150 a 200; e 200 a 250m, utilizando-se para a visualização, uma paleta de cores gradativa.

O mapa de declividade foi definido com os intervalos de classes de 0 a 2; 2 a 6; 6 a 20; 20 a 50; e maior que 50%, usando a função declividade (*slop*) do módulo *3D analyst* do programa ArcGis 9.1.

Utilizando a extensão DEMAT, no módulo *spatial analyst* do programa Arcview 3.3, foi gerado o mapa de curvaturas, para a classificação das formas geométricas das vertentes.

Para o cálculo das curvaturas o programa define as curvaturas do perfil e plana, que são agrupadas em nove classes.

A extração da rede de drenagem foi feita em um único PI e depois enriquecida com o acréscimo da drenagem das cabeceiras dos cursos d'água, com o objetivo de um melhor detalhamento da mesma. Posteriormente foi feita a subdivisão da bacia hidrográfica em três sub-bacias, utilizando o módulo watershed do ArcGis 9.1. obtendo-se o mapa hidrográfico.

O mapa imagem Landsat TM+ foi obtido pelo recorte da referida imagem, cuja composição RGB (*red; green; blue*) foi para as bandas 4, 5 e 7.

O mapa de uso e cobertura do solo foi obtido a partir da imagem Landsat TM+, utilizando o método de classificação supervisionada por máxima verossimilhança (MAXVER), seguida por inspeção e correção dos resultados, baseadas na interpretação visual de imagens orbitais e visita de campo.

A obtenção do PI estradas, foi feita a partir da interpretação visual da imagem de satélite e digitalização em tela, dos elementos identificados como sendo essa feição.

Os mapas geológico e gravimétrico Bourguer, foram copilados e modificados a partir dos mapas da CPRM (2003) e o de solos, da EMBRAPA (2000), todos na escala de 1:100.000. Nos três mapas, foram feitos o recorte e adaptação da legenda, para a área da bacia hidrográfica em estudo.

3.2.4 Mapa geomorfológico

Para a execução do mapa geomorfológico foi realizado em primeiro lugar a compartimentação do relevo, tomando como base, o modelo digital do terreno e demais produtos derivados acima descritos, com auxílio de fotointerpretação e análise de imagens de satélite. Para a fotointerpretação foram utilizadas 7 faixas de sobrevôo, totalizando 46 fotografias na escala de 1:30.000. Foi utilizada imagem do satélite Landsat TM+, composição de bandas TM 457. A individualização dos diversos compartimentos do relevo, foi feita por digitalização em tela, aglutinando as áreas homogêneas e subdividindo as não-homogêneas, utilizando para tal o mapa hipsométrico. A sobreposição do mapa de declividade no relevo sombreado, possibilitou a separação das superfícies menos inclinadas de topo e de fundo de vale, das superfícies mais inclinadas das vertentes. Para a classificação das formas de vertentes foi utilizado o mapa de curvaturas de vertentes. Após a compartimentação do relevo, foi realizada a classificação dos modelados, conforme a gênese, e elaborada a legenda final, segundo a metodologia desenvolvida por Ross (1992). A extração das informações morfométricas foi feita do MDT. Por fim, os processos erosivos mapeados em trabalho de

campo, foram adicionados como um PI, obtendo-se o mapa geomorfológico e de processos erosivos.

3.2.5 Mapa do potencial de vulnerabilidade a erosão

Para a geração do mapa do potencial de vulnerabilidade a erosão, foi adaptada a metodologia proposta por Pedraza (1996), utilizando alguns parâmetros da metodologia elaborada por Crepani *et al* (2001).

Aos mapas temáticos dos fatores que influenciam os processos erosivos, quais sejam, geologia, solos, isoietas, declividade, curvaturas das vertentes e uso do solo, foram atribuídos pesos com valores 1, 2 e 3 (baixo;médio e alto), que classificam o risco potencial de vulnerabilidade a erosão de cada unidade dos respectivos fatores. O resultado dessa classificação inicial, são os mapas de unidades setoriais, que após a superposição, que é feita pela média ponderada das unidades, resulta no mapa potencial de vulnerabilidade a erosão, mostrado no fluxograma da Figura 3.2.

3.2.6 Trabalho de campo

O trabalho de campo foi realizado em duas etapas. Numa primeira etapa, foi efetuado um reconhecimento geral da área de estudo, no que diz respeito aos seus limites e identificação dos principais elementos da paisagem. Foi feita uma primeira aproximação da compartimentação geomorfológica, com base na interpretação do diversos produtos gerados à partir do MDT, fotografias aéreas e imagens de satélite, obtendo-se o esboço geomorfológico preliminar. Foram feitas anotações referentes aos elementos observados, com a localização obtida através das coordenadas geográficas marcadas com o uso de GPS, assim como registro fotográfico, para posterior descrição detalhada em gabinete.

A segunda etapa teve como objetivo, refinar a interpretação da compartimentação geomorfológica, decorrente de dúvidas surgidas a partir da primeira viagem e da confrontação da bibliografia da área, assim como levantar os pontos de ocorrência de processos erosivos identificáveis em campo. Nessa segunda etapa, foram levantados seis perfis estratigráficos, com a coleta de 21 amostras para posterior análise sedimentológica.

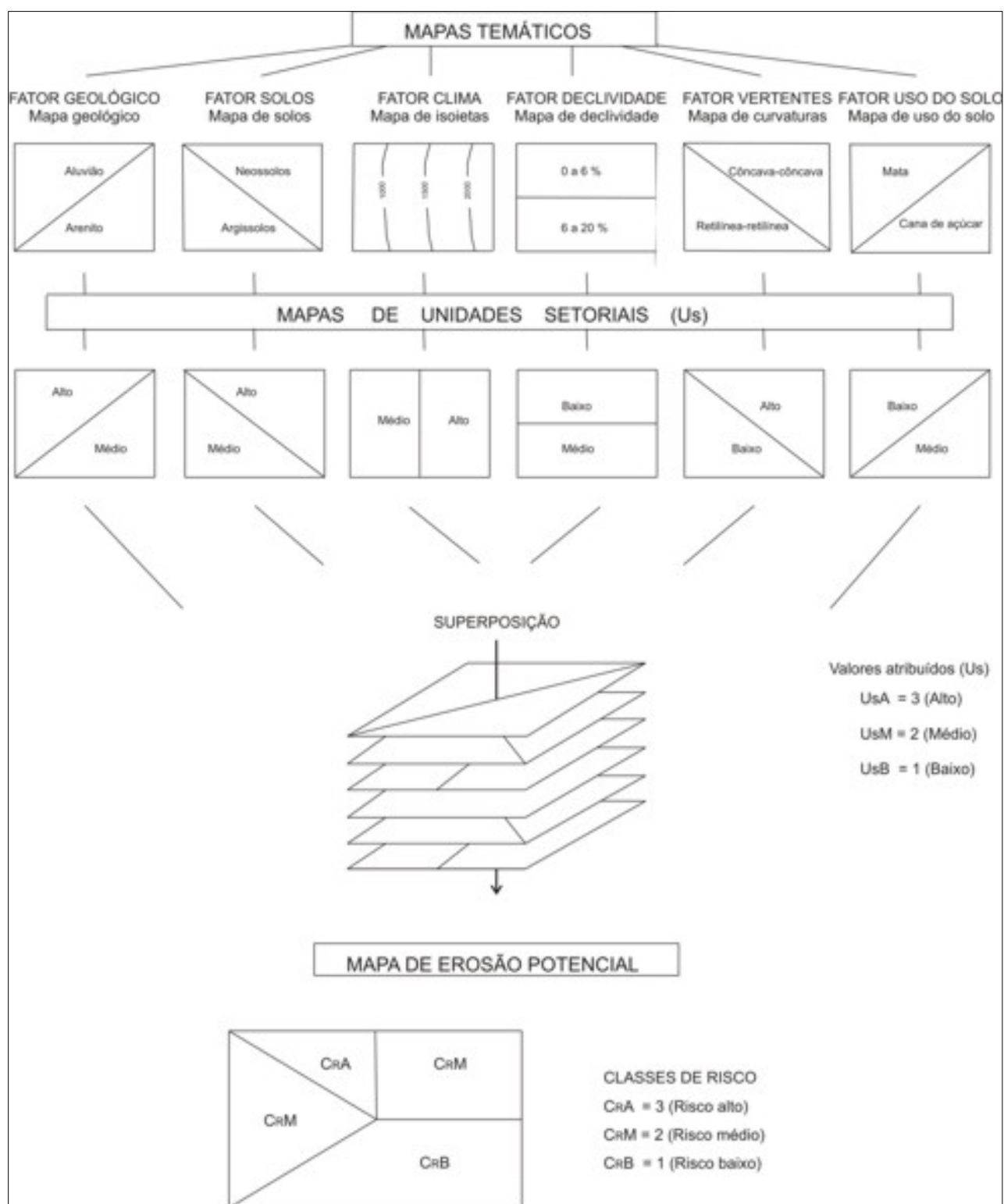


Figura 3.2 Fluxograma para a elaboração do mapa do potencial de vulnerabilidade a erosão (adaptado de Pedraza, 1996).

Os procedimentos metodológicos descritos neste capítulo estão resumidos esquematicamente no fluxograma da figura 3.3.

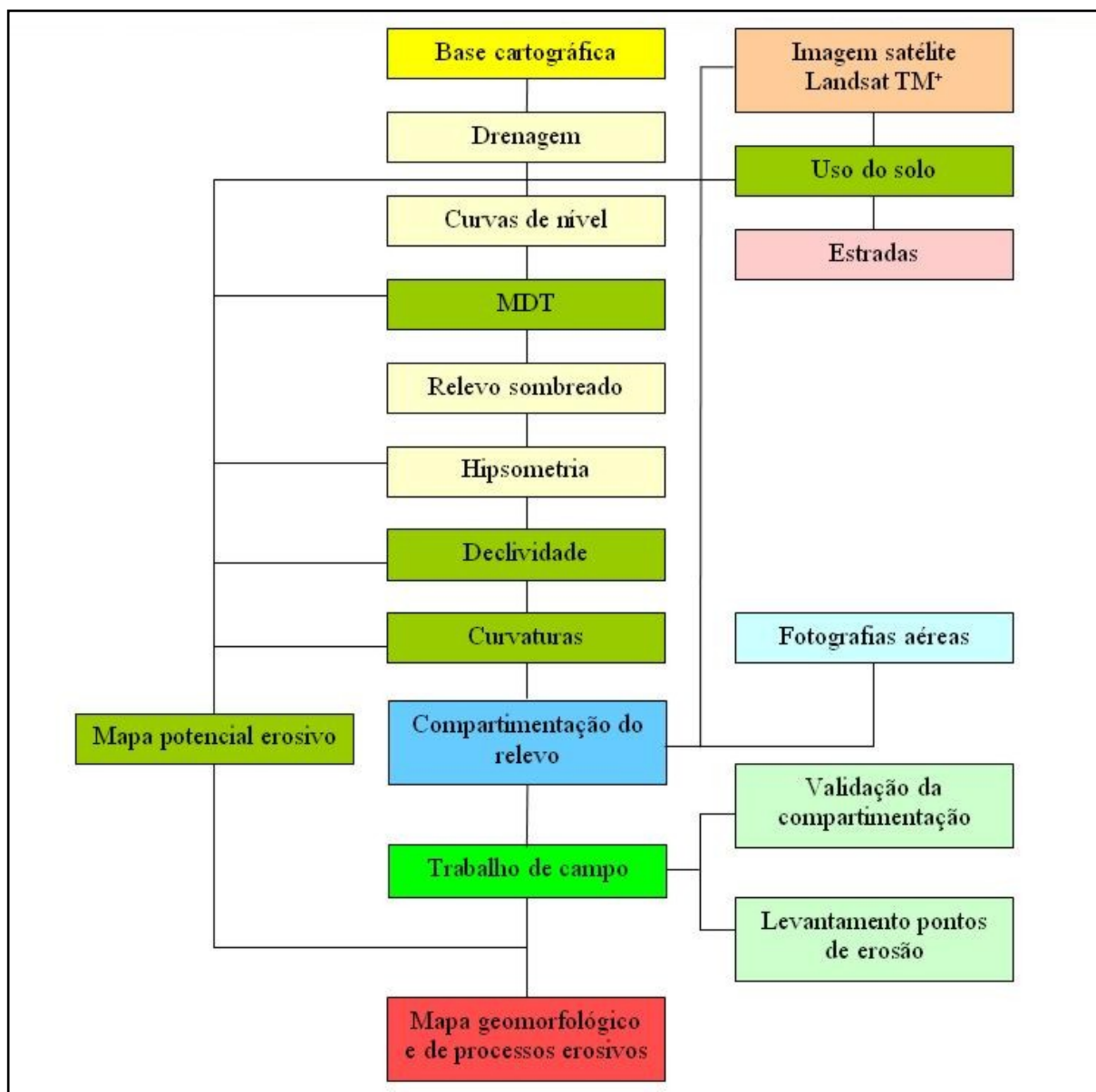


Figura 3.3 Fluxograma da metodologia para elaboração do mapa geomorfológico e de processos erosivos da bacia hidrográfica do rio Botafogo.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, são apresentados os resultados alcançados no decorrer da pesquisa. Para melhor discorrer sobre os assuntos, o capítulo foi dividido em dois temas principais:

- 1 - análises sedimentológicas e perfis estratigráficos;
- 2 – produtos cartográficos e mapa geomorfológico e de processos erosivos.

4.1 ANÁLISES SEDIMENTOLÓGICAS E PERFIS ESTRATIGRÁFICOS

O mapa geológico básico utilizado para o desenvolvimento dos trabalhos de campo na Bacia Hidrográfica do Rio Botafogo (BHRB) foi o da CPRM (2003), com modificações parciais, apresentado na Figura 4.1. Estudando o conteúdo do referido mapa, observa-se que na área pesquisada há o predomínio de duas grandes unidades: o embasamento cristalino (Complexos Gnáissico-Migmatítico e Vertentes) e os sedimentos da Formação Barreiras. Secundariamente, ocorrem depósitos aluvionares, sedimentos de manguezais e a Formação Beberibe.

Durante os trabalhos de campo na área da BHRB foi observado que muitos afloramentos anteriormente posicionados como pertencentes à Formação Barreiras, principalmente nas áreas de Tabuleiros com cotas altimétricas superiores a 100m, apresentavam características sedimentológicas e deposicionais que diferiam dos sedimentos tidos como tipicamente Barreiras. A partir de então, foram selecionados, estudados e amostrados, pontos de afloramentos que contivessem as características inquestionáveis e bem próprias dos sedimentos da Formação Barreiras. Por outro lado, idêntico procedimento foi efetuado sobre outros pontos confundíveis morfológicamente como pertencentes à Formação Barreiras, sendo identificados como sedimentos inconsolidados, depositados em evidente discordância erosiva sobre o substrato cristalino, constituindo estratos diferenciados, aqui designados como sendo Unidade Infra-Barreiras, no mesmo sentido proposto por Kegel (1957).

Estudando o mapa de anomalias gravimétricas Bouguer (Figura 4.2) elaborado pela CPRM (2003), como uma ferramenta auxiliar na diferenciação entre as duas referidas unidades, foi constatado que o limite entre os sedimentos da Formação Barreiras e a Unidade Infra-Barreiras coincide aproximadamente com as isolinhas de 35 e 34 mGal, que também delimita o contato oeste da bacia sedimentar Paraíba com o embasamento cristalino.

O gradiente positivo da anomalia Bouguer no sentido da linha de costa (tons esverdeados para avermelhados), é resultado do forte afinamento da crosta continental. Essa tendência dificulta a melhor visualização de possíveis anomalias Bouguer, relacionadas com a bacia sedimentar Paraíba. Para que tal anomalia fosse visualizada, seria necessária a aplicação de processamento que removesse a tendência positiva da mesma e gerasse componentes residuais, o que está fora do escopo desta tese.

Foram selecionados seis afloramentos (RV-01, 02,03,04,05 e 06), dos quais quatro (RV-01, RV-04, RV-05 e RV-06) foram descritos e comparados com dados da literatura como sendo da Formação Barreiras. Apenas um afloramento (RV-02) estaria localizado numa área de transição entre as duas unidades e só um afloramento (RV-03) seria representativo da então suposta Unidade Infra-Barreiras (Figura 4.3).

No item a seguir faz-se uma descrição detalhada dos seis perfis estratigráficos realizados com as análises sedimentológicas das amostras coletadas nos mesmos, com o intuito de se verificar outras evidências capazes de diferenciar a Formação Barreiras da Unidade Infra-Barreiras.

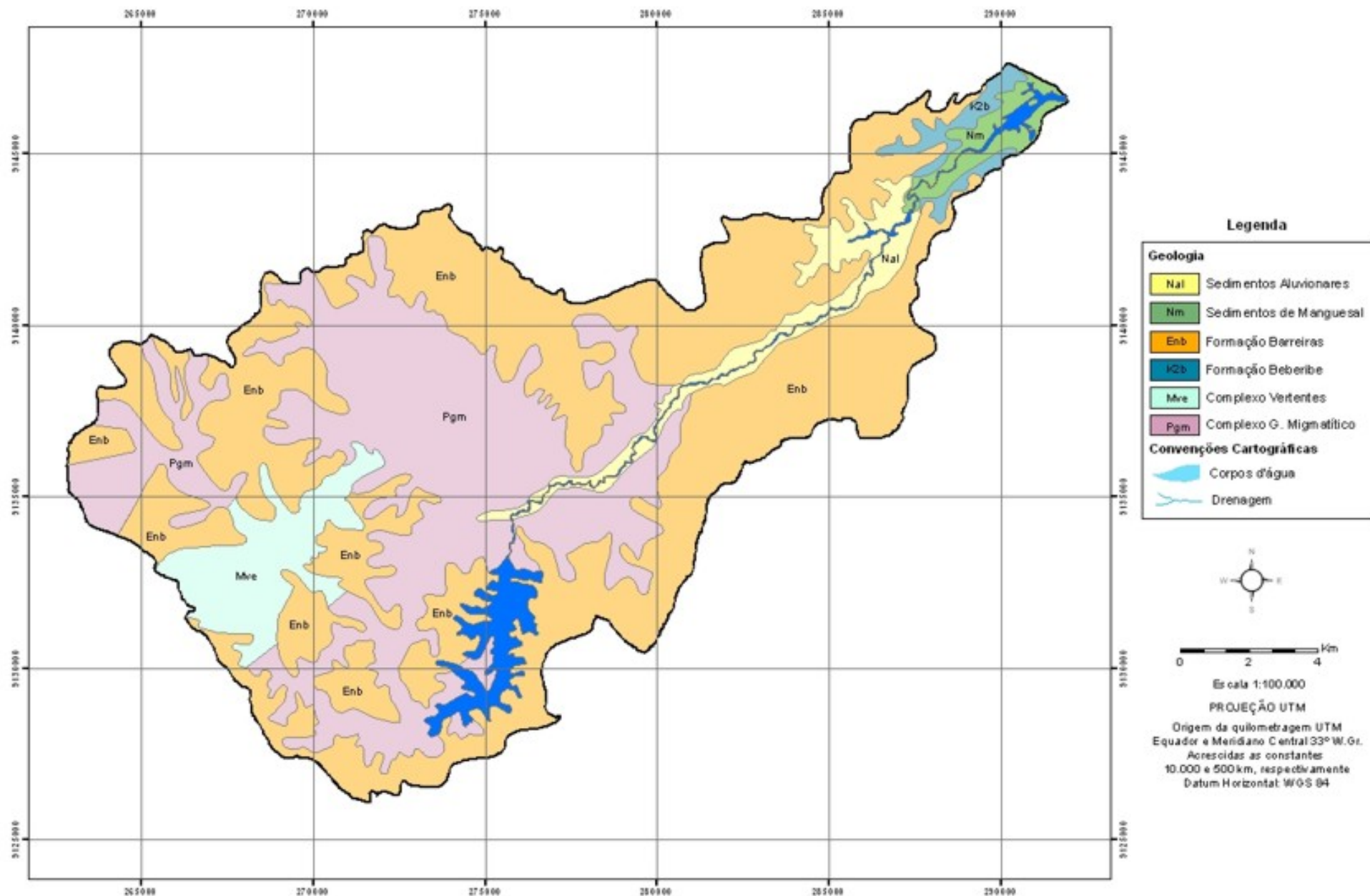
4.1.1 Análise dos perfis estratigráficos

A Unidade Infra-Barreiras é definida como o resultado do retrabalhamento do embasamento cristalino seguido de transporte e deposição à curta distância. Apresenta sedimentos inconsolidados, mal estratificados e imaturos que antecedem a deposição da Formação Barreiras, tendo natureza areno-quartzosa com matriz argilosa, e estruturação típica de depósitos por enxurrada (leques aluviais a fluviais com pouco transporte). Na Bacia hidrográfica do Rio Botafogo, a existência destas duas Unidades geralmente causa dificuldades de individualização quanto ao mapeamento geológico e posterior interpretação dos processos sedimentológicos as quais estiveram submetidas.

Utilizar apenas o critério da altimetria (Tabuleiros com cotas abaixo ou acima de 100 m) para a individualização da Unidade Infra-Barreiras da Formação Barreiras constitui um risco interpretativo, notadamente nas proximidades dos vales dos rios, onde os tabuleiros estão mais dissecados e com cotas altimétricas mais baixas, provocando dificuldades na separação com a utilização de imagens de sensores remotos. Assim, tornou-se imprescindível o suporte de dados de campo para melhor consubstanciar o mapeamento.

Com o objetivo de compor uma caracterização sedimentológica preliminar da área, seis perfis estratigráficos foram descritos ao longo da Bacia do rio Botafogo, e coletadas um total de 21 amostras de sedimentos, que foram posteriormente submetidas à análise granulométrica.

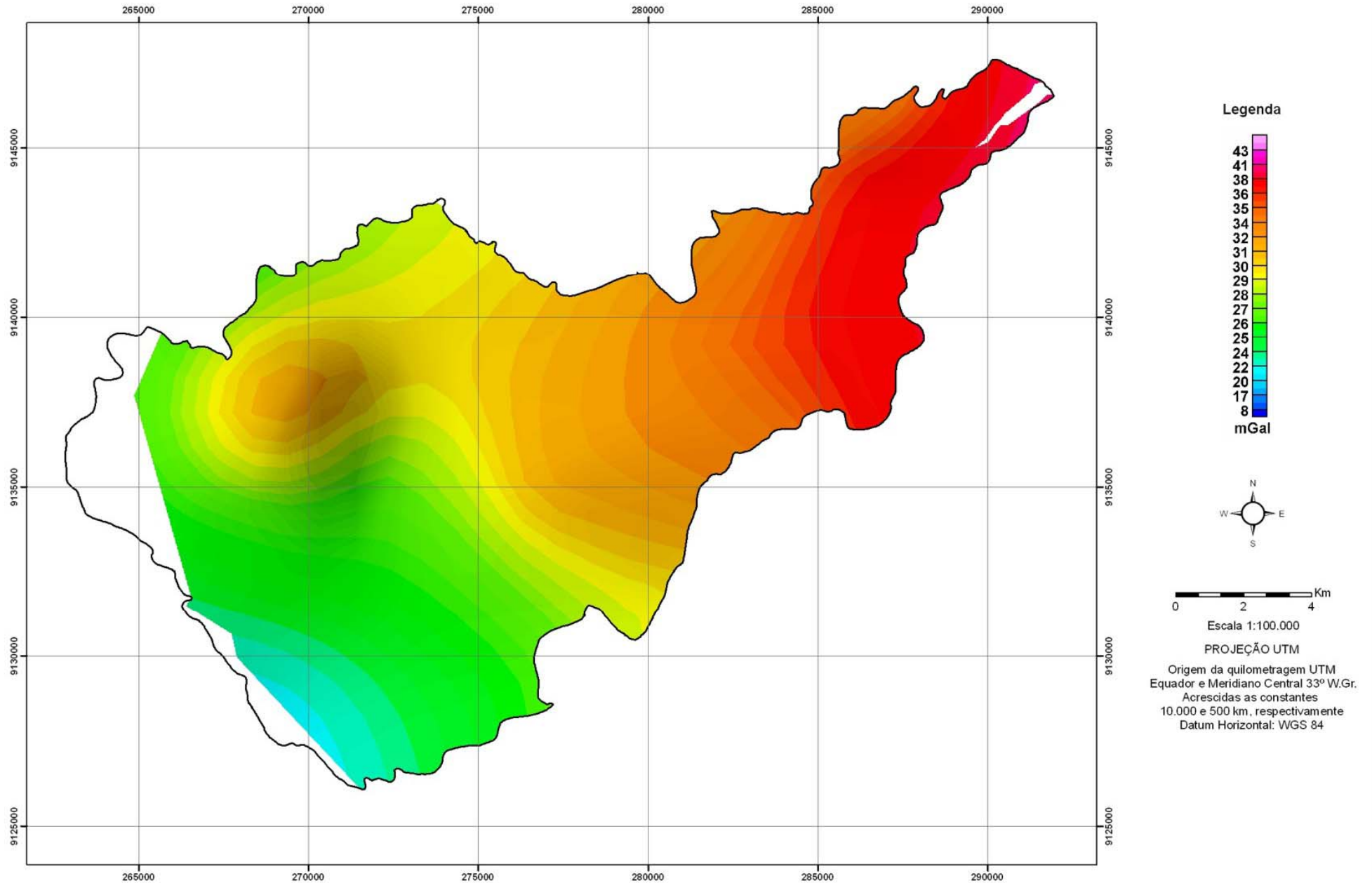
Figura 4.1: Mapa Geológico da Bacia Hidrográfica do Rio Botafogo - PE



Fonte: modificado de CPRM (2003)

Autor: Rogério Valença Ferreira
Orientador: Prof. Dr. Virgínio Henrique Neumann
Co-Orientador: Profª D.P. Ana Lúcia B. Candeias

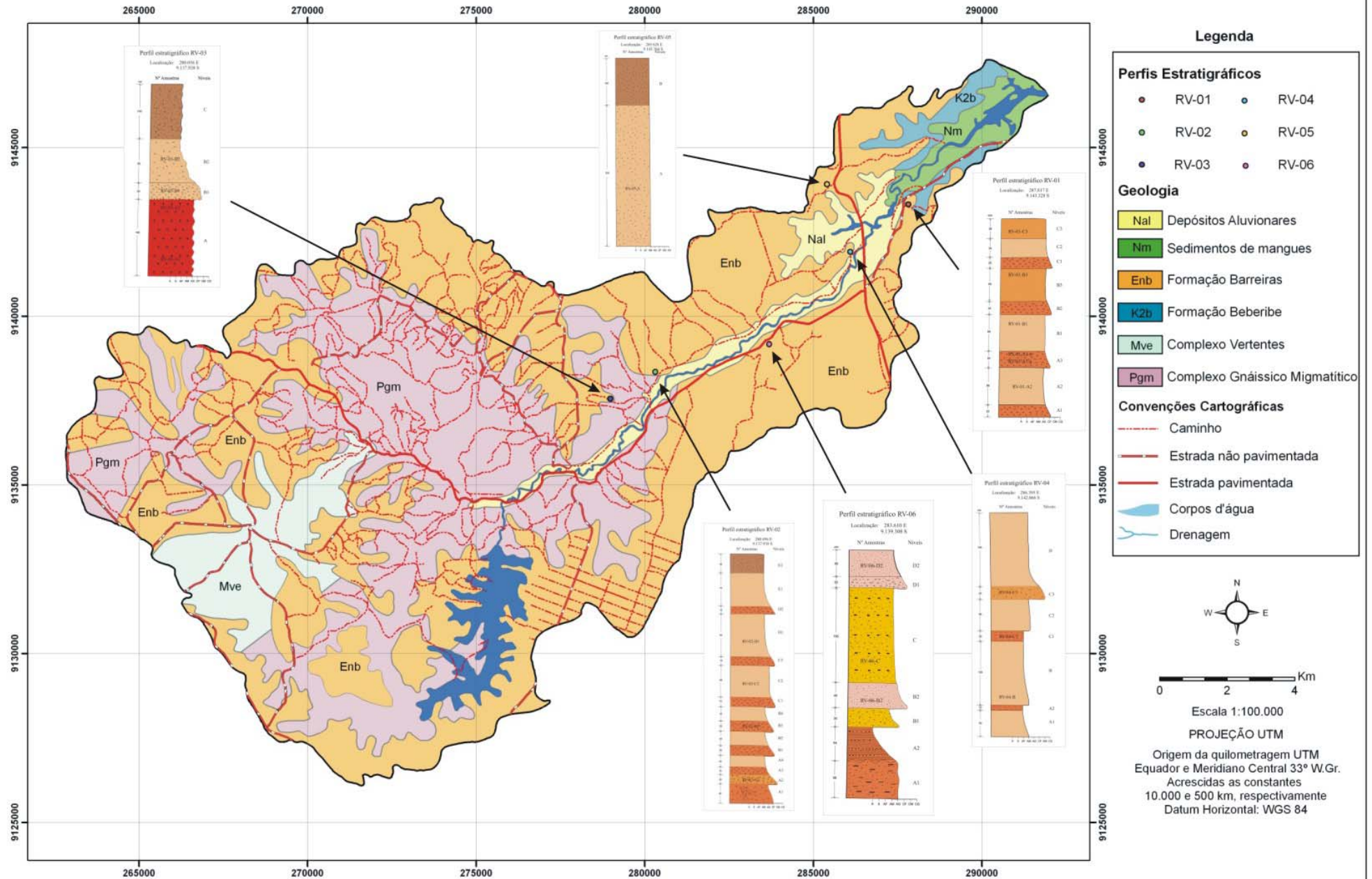
Figura 4.2: Mapa Gravimétrico Bouguer da Bacia Hidrográfica do Rio Botafogo - PE



Fonte: modificado de CPRM (2003)

Autor: Rogério Valença Ferreira
Orientador: Prof. Dr. Virgínio Henrique Neumann
Co-Orientador: Profª Drª Ana Lúcia B. Candeias

Figura 4.3: Mapa de Localização dos Perfis Estratigráficos da Bacia Hidrográfica do Rio Botafogo - PE



Autor: Rogério Valença Ferreira
Orientador: Prof. Dr. Virgínio Henrique Neumann
Co-Orientador: Profª Drª Ana Lúcia B. Candeias

trica. Assim, os perfis estratigráficos denominados como RV-01, RV-02, RV-03, RV-04, RV-05 e RV-06 foram classificados segundo as proporções das frações Silte-Argila, Areia Muito Fina, Areia Fina, Areia Média, Areia Grossa, Areia Muito Grossa e Cascalho.

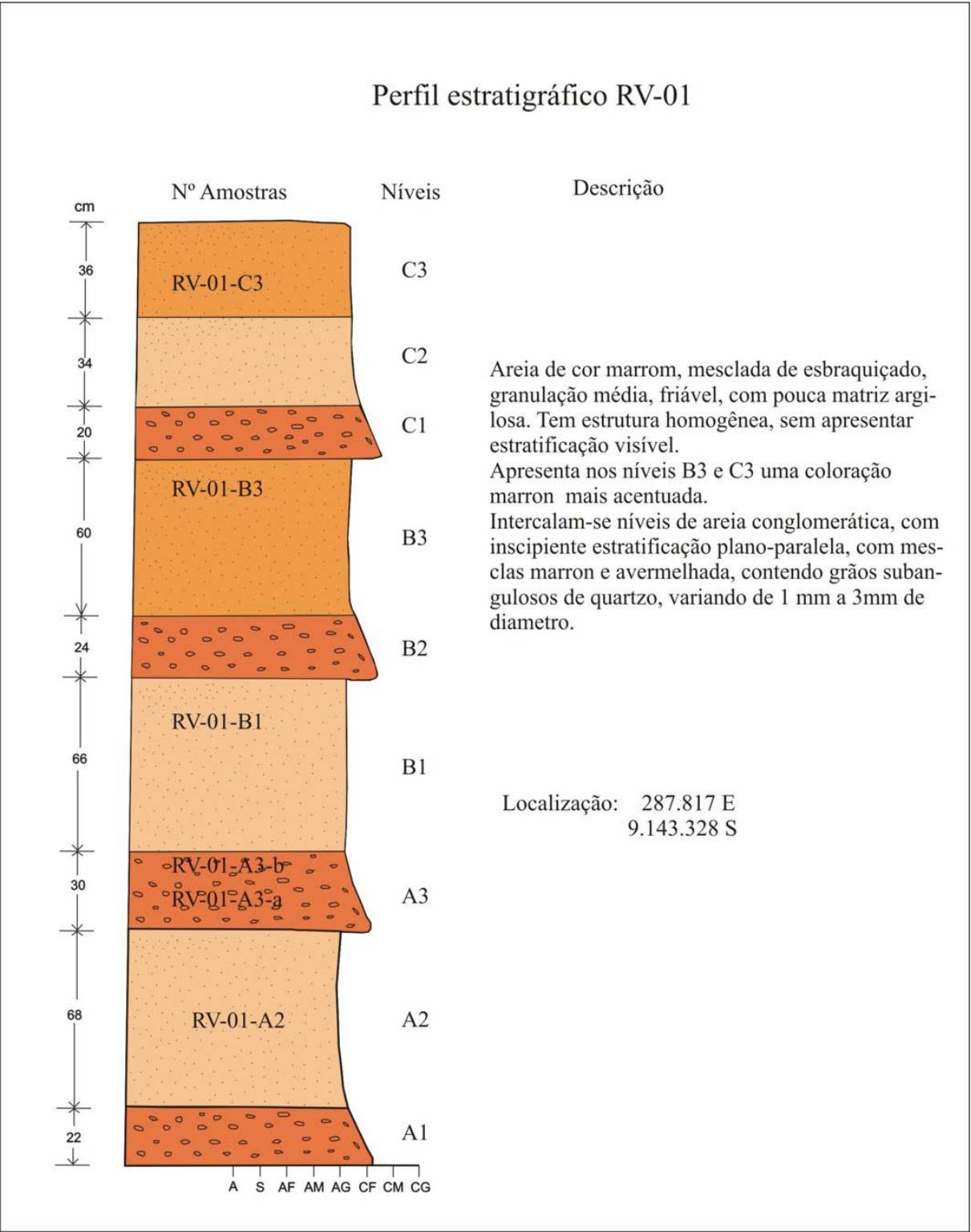


Figura 4.4 - Perfil estratigráfico RV-01, mostrando a alternância das areias médias e conglomeráticas da Formação Barreiras.

O Perfil RV-01 (Figura 4.4) localiza-se na porção mais a leste da área, tendo coordenadas (UTM) 287.817 E e 9.143.328 S (Figura 4.3). O perfil apresenta uma alternância de areias média e conglomerática. Os níveis das areias conglomeráticas exibem espessuras que variam de 20 a 30 cm, enquanto que os das areias médias têm espessuras entre 60 e 70 cm, indicando que os pulsos de maior energia durante a deposição foram mais curtos que os de menor energia. Dentre os nove níveis do perfil, representados pelos estratos A1 (inferior) até C3 (superior), foram coletadas seis amostras (RV-01-A2, RV-01-A3-a, RV-01-A3-b, RV-01-B1, RV-01-B3 e RV-01-C3) foram realizadas análises sedimentológicas.

Os resultados das análises granulométricas das seis amostras foram apresentados na forma de histogramas, e os dados foram plotados no diagrama triangular de Shepard (1954), apresentado na Figura 4.5.

As amostras do afloramento RV-01 são classificadas como areias e areias cascalhosas e secundariamente, areias lamosas. Estudando os histogramas em conjunto, observa-se que apesar de apresentar uma fácies dominada por microclastos bastante marcante, há o predomínio absoluto das fácies arenosa nos sedimentos deste afloramento.

O Perfil RV-02 (Figura 4.6) localiza-se na área de transição geográfica entre a Formação Barreiras e a Unidade Infra-Barreiras, nas coordenadas (UTM) 280.056 E e 9.137.938 S (Figura 4.3). O perfil apresenta uma predominância de sedimentos grossos na base e uma alternância de areias média e conglomerática no topo. O perfil inicia, na seção inferior (primeiros 40 cm), com areias médias a grossas, apresentando estratificação cruzada na base e plano-paralela no topo. Sotoposta a esta camada, ocorre um pulso de cascalho com seixos de até 4cm de comprimento, subangulosos, acamadados e com granodescrescência ascendente. A partir desta camada, foi observada uma alternância de areias médias a conglomeráticas, semelhante à do RV-01.

A partir das características sedimentológicas observadas na Figura 4.7-e, nota-se a dispersão dos sedimentos analisados para o afloramento RV-02 entre as fácies arenosa, areia com fração pelítica e areia com pelitos e cascalho. Os resultados dos histogramas mostram uma grande quantidade de sedimentos pelíticos, mas ainda há uma pequena predominância da fácies arenosa.

O perfil estratigráfico da Figura 4.8 localiza-se na parte central da área de estudo, na denominada Unidade Infra-Barreiras.

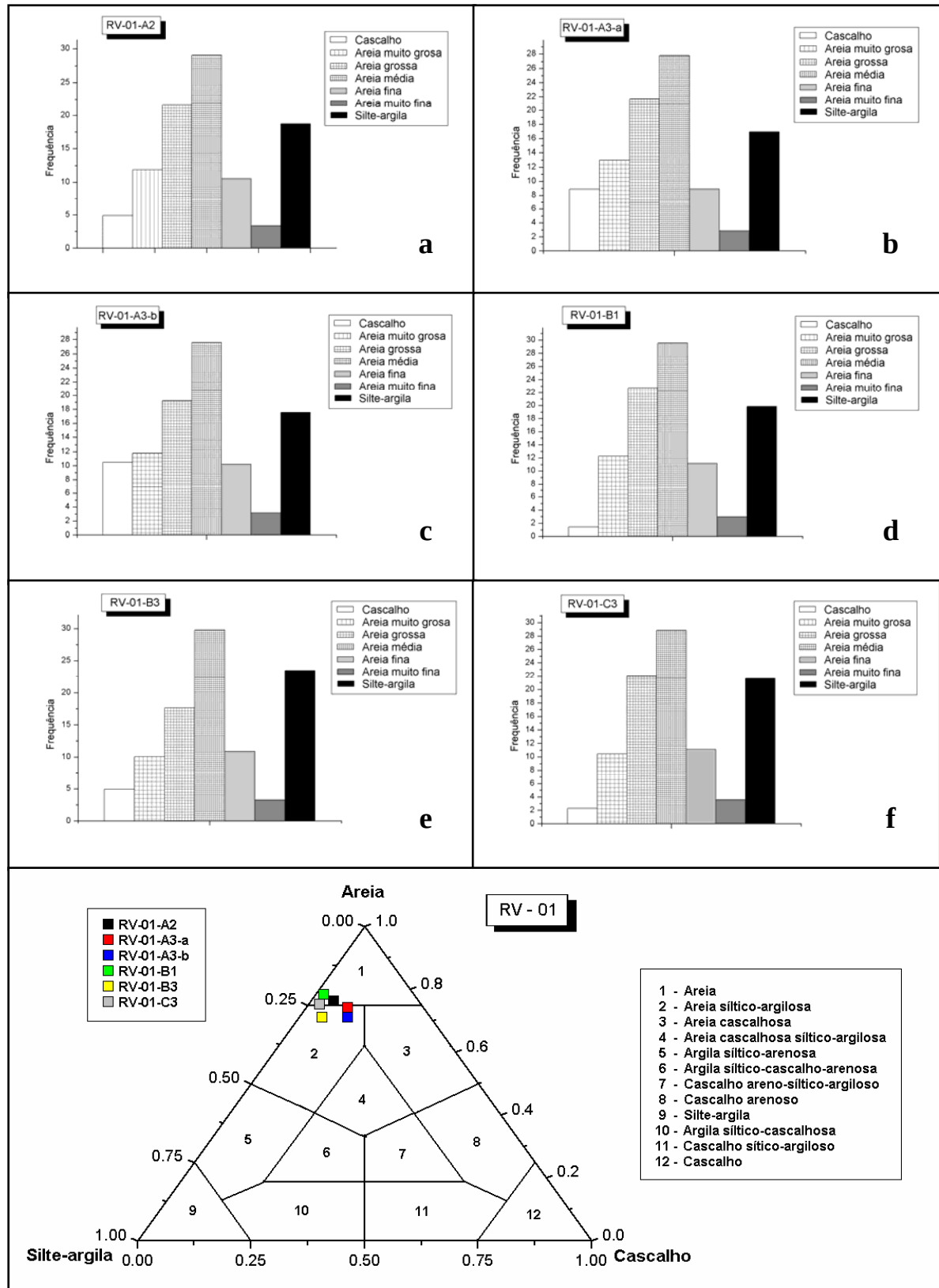


Figura 4.5 - Histogramas das frequências da distribuição granulométrica (a, b, c, d, e, f) e diagrama de Shepard (1954) com os resultados das análises granulométricas (g) do afloramento RV-01.

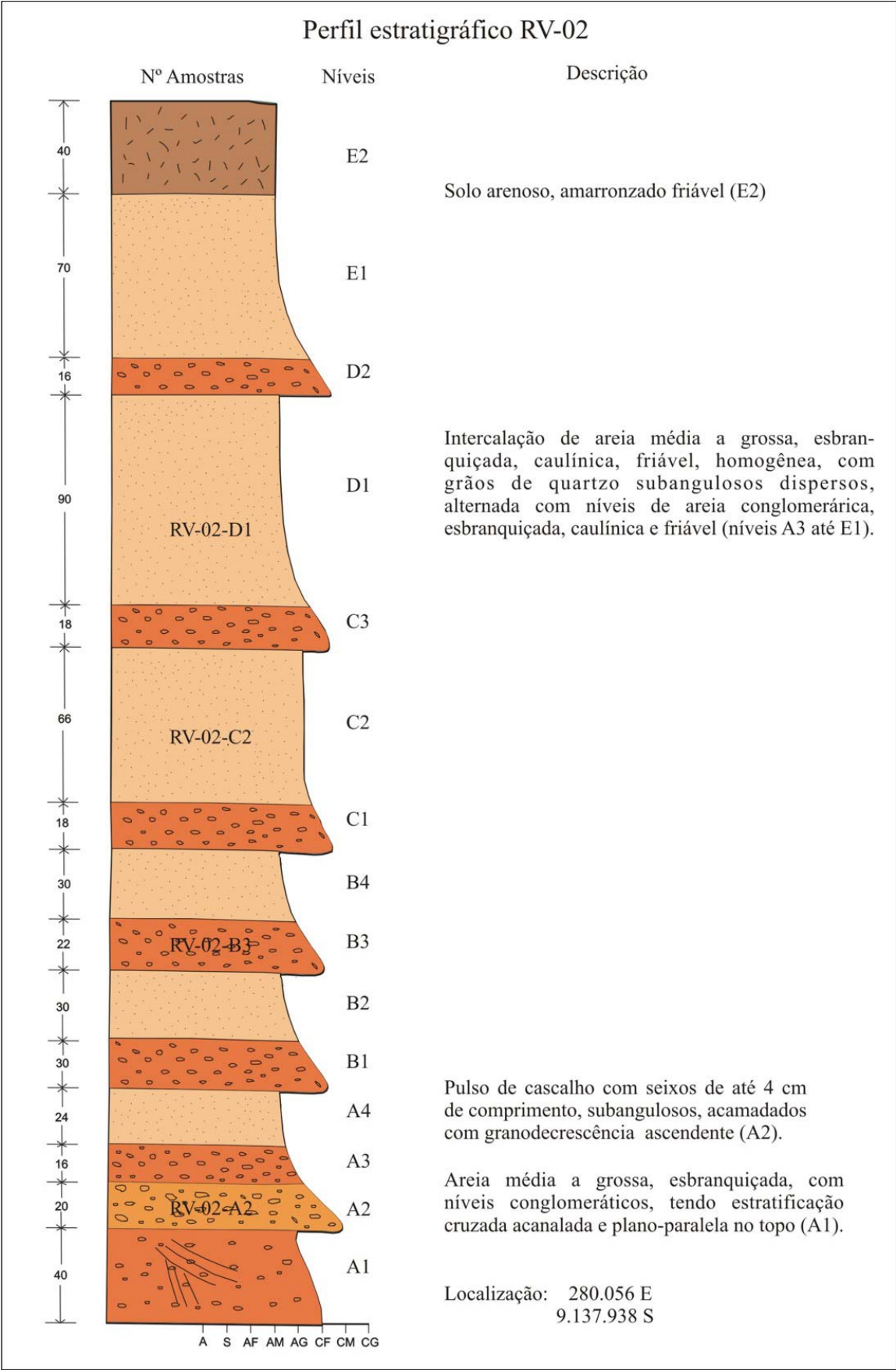


Figura 4.6 - Perfil estratigráfico RV-02, mostrando a predominância dos sedimentos grossos na base e, uma alternância das areias médias e conglomeráticas no topo.

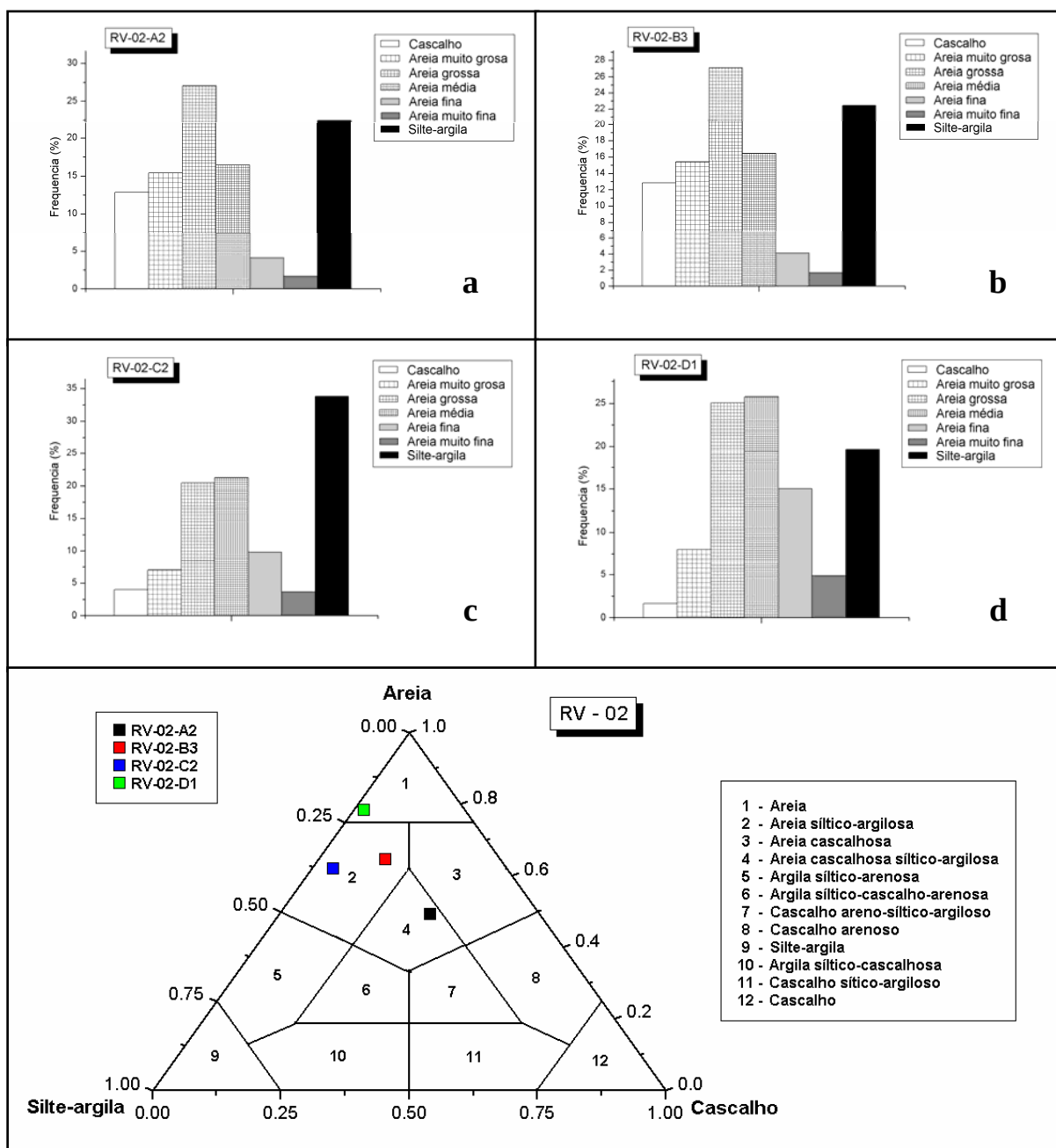


Figura 4.7 - Histogramas das freqüências da distribuição granulométrica (a, b, c, d) e diagrama de Shepard (1954) com os resultados das análises granulométricas (e) do afloramento RV-02.

Neste afloramento foi observada uma seqüência de deposição em canal, no qual a granulometria em sua porção central varia de conglomerado na base, passando a uma fácies areno-argilosa para o topo. Esta seqüência sedimentar repousa em discordância erosiva sobre o embasamento cristalino e está sobreposta, no topo, por uma camada de solo (Corte transversal da Figura 4.8).

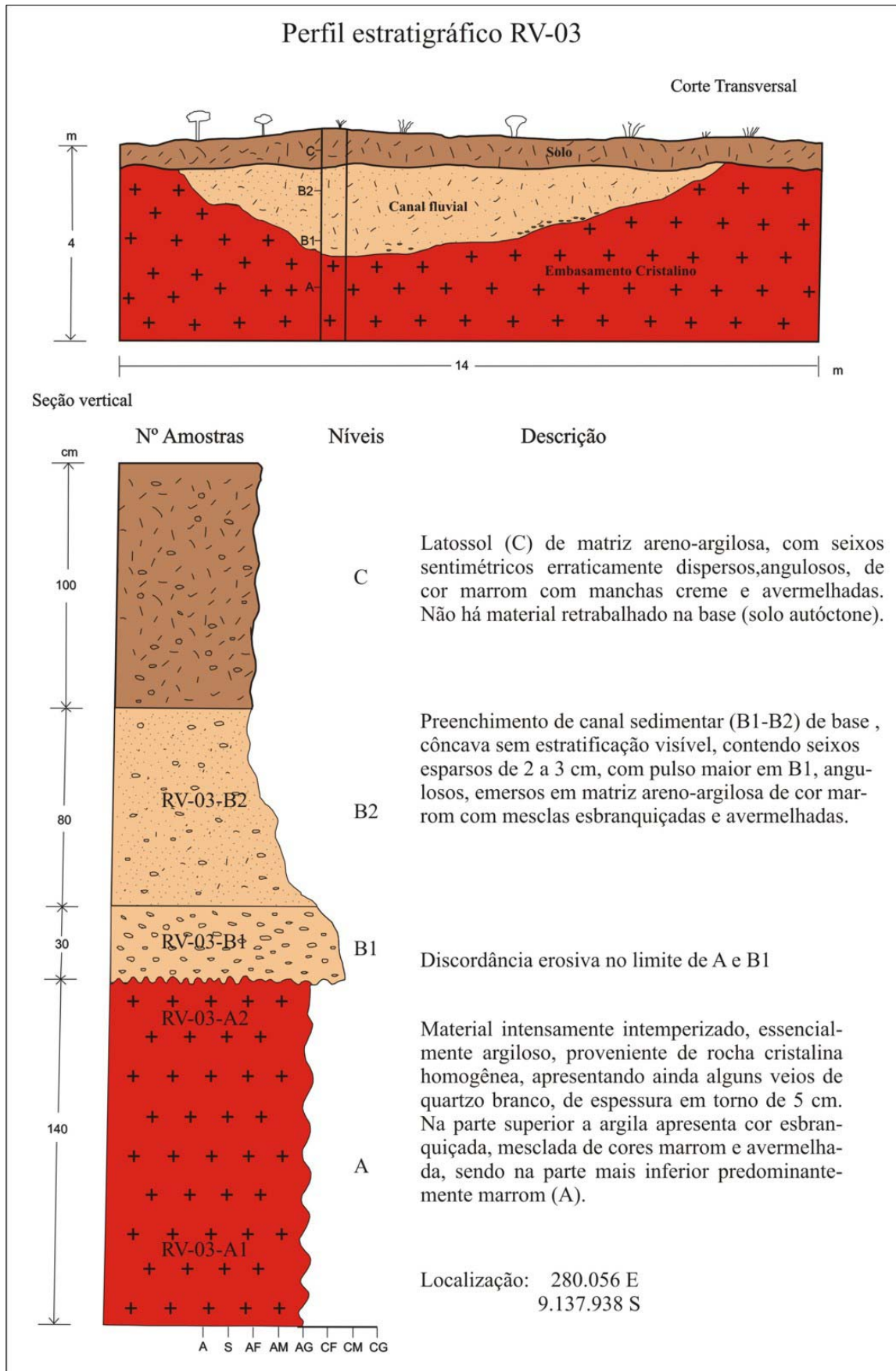


Figura 4.8 - Perfil estratigráfico RV-03, mostrando uma discordância erosiva com o embasamento cristalino. Em B1 observa-se a presença de seixos esparsos de 2 a 3 cm.

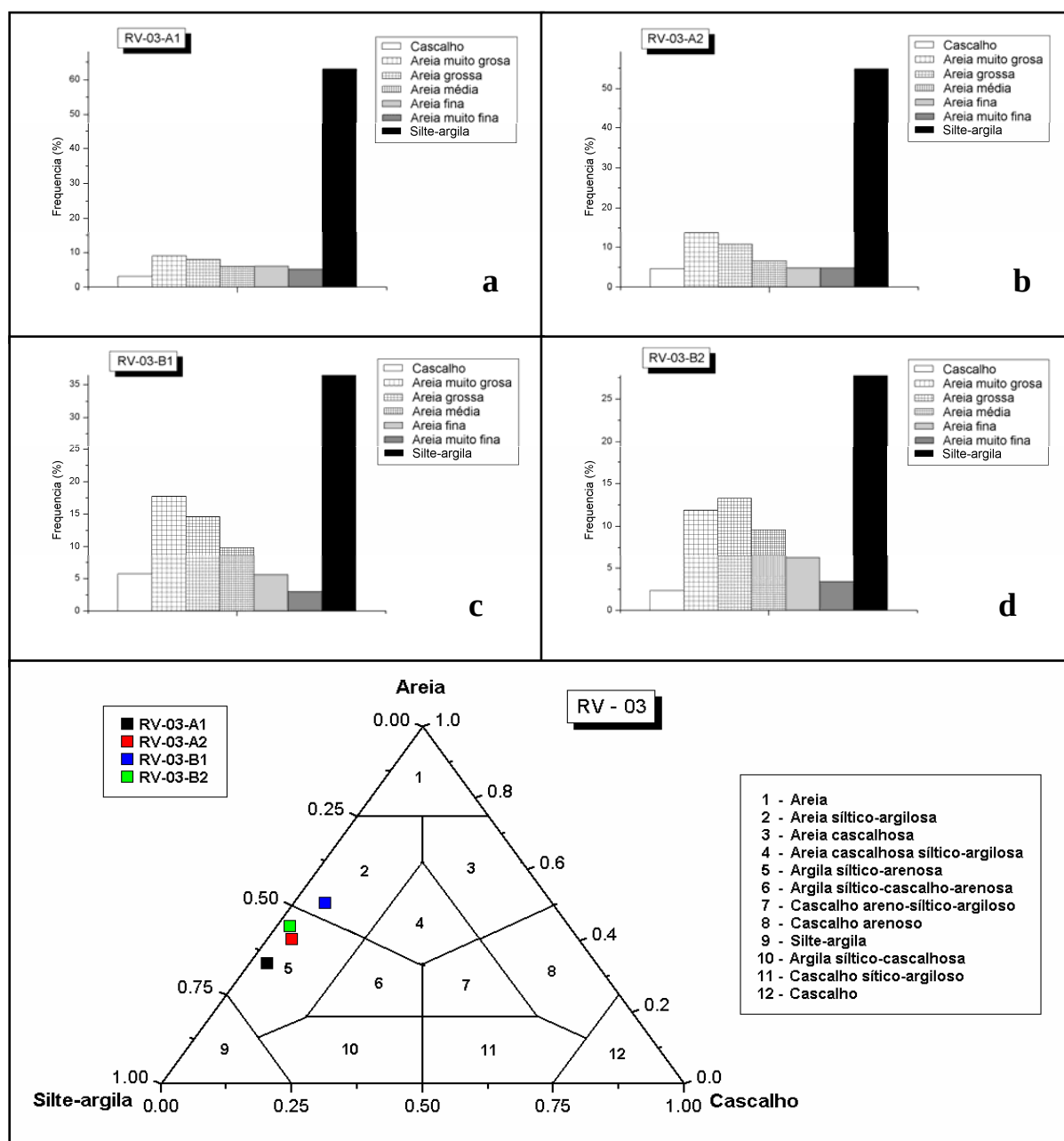


Figura 4.9 - Histogramas das frequências da distribuição granulométrica (a, b, c, d) e diagrama de Shepard (1954) com os resultados das análises granulométricas (e) do afloramento RV-03.

Observa-se na Figura 4.9e, que os sedimentos da Unidade Infra-Barreiras são predominantemente de lama arenosa, com um pouco de areia lamosa. A grande percentagem de argila predominando sobre as areias deve-se à ação do intemperismo químico, preponderante sobre a ação física, decompondo os minerais silicáticos das rochas do embasamento cristalino, sugerindo que os sedimentos sofreram pouco transporte e retrabalhamento.

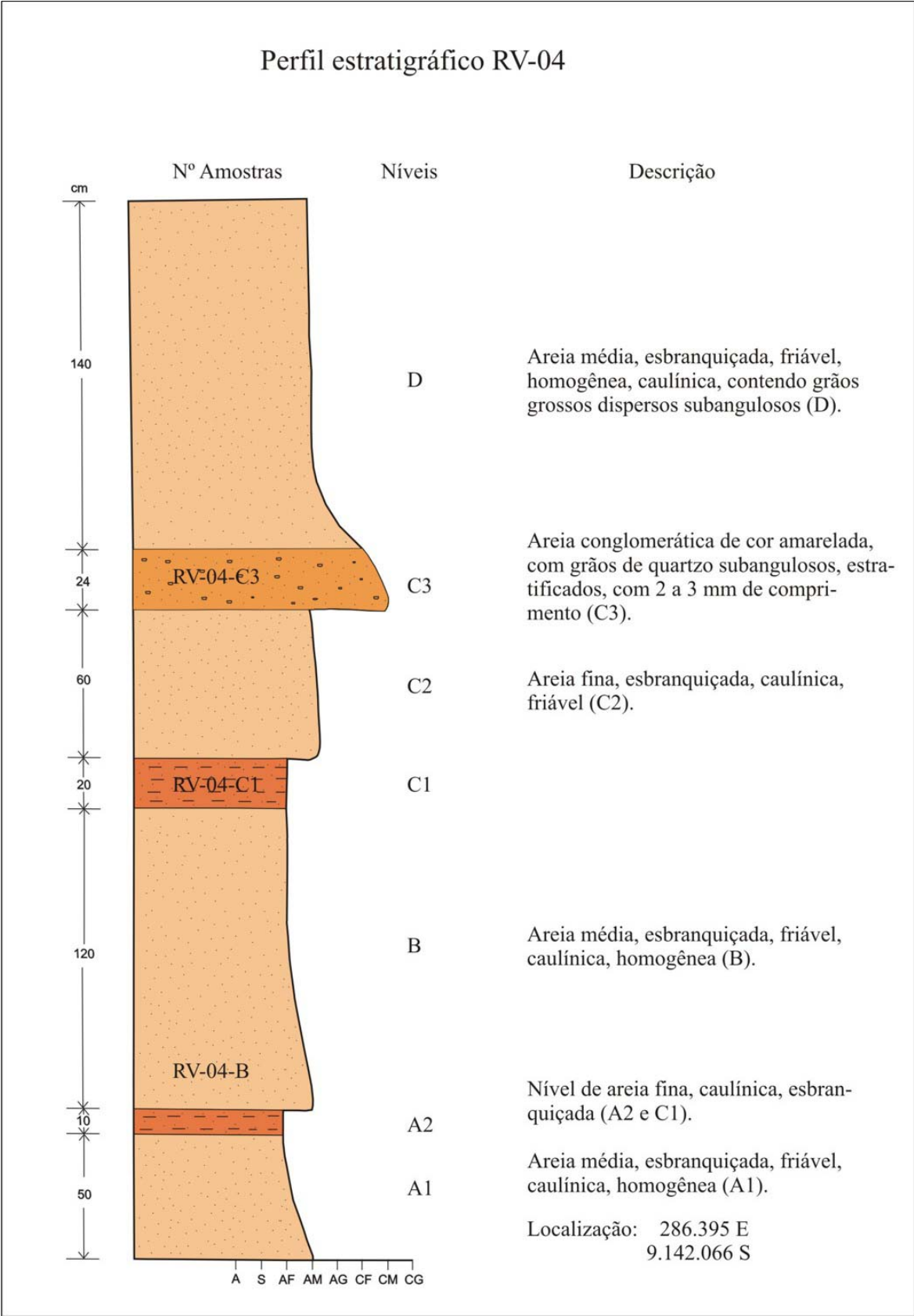


Figura 4.10 - Perfil estratigráfico RV-04. Formação Barreiras, mostrando um depósito de planície de inundação (primeiros 2,5 m) passando para uma deposição fluvial (parte superior do perfil).

Este perfil estratigráfico apresenta dois tipos de estratos da Formação Barreiras. A seqüência se inicia com uma deposição de sedimentos sob um regime de baixa energia, representando uma planície de inundação, que passa para o topo para uma deposição fluvial, com a elevação da energia hidrodinâmica no ambiente.

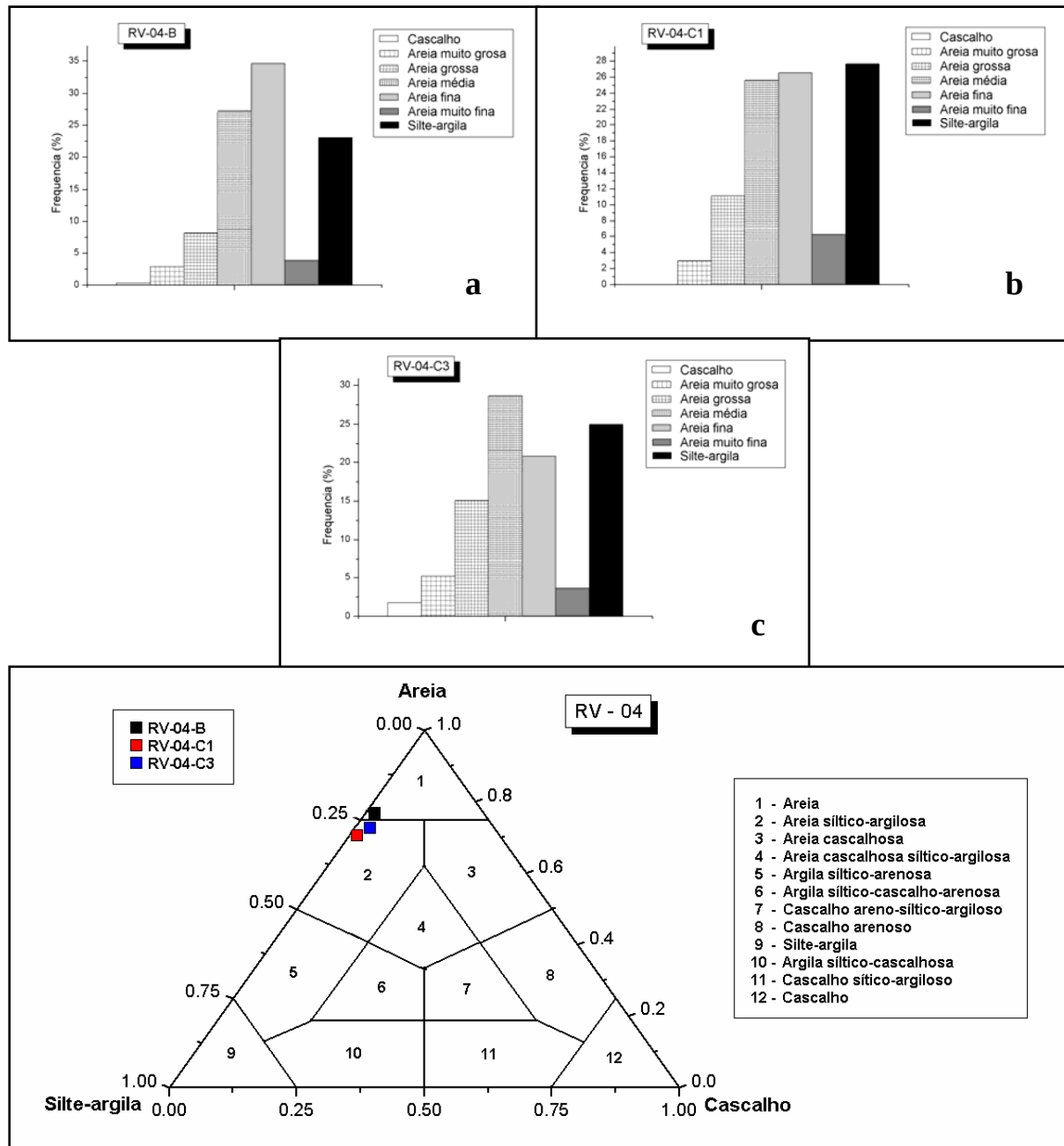


Figura 4.11 - Histogramas das freqüências da distribuição granulométrica (a, b, c) e diagrama de Shepard (1954) com os resultados das análises granulométricas (e) do afloramento RV-04.

No afloramento RV-04 há uma predominância das areias com fração pelíticas sobre a fácies pelítica, segundo os dados apresentados na Figura 4.11.

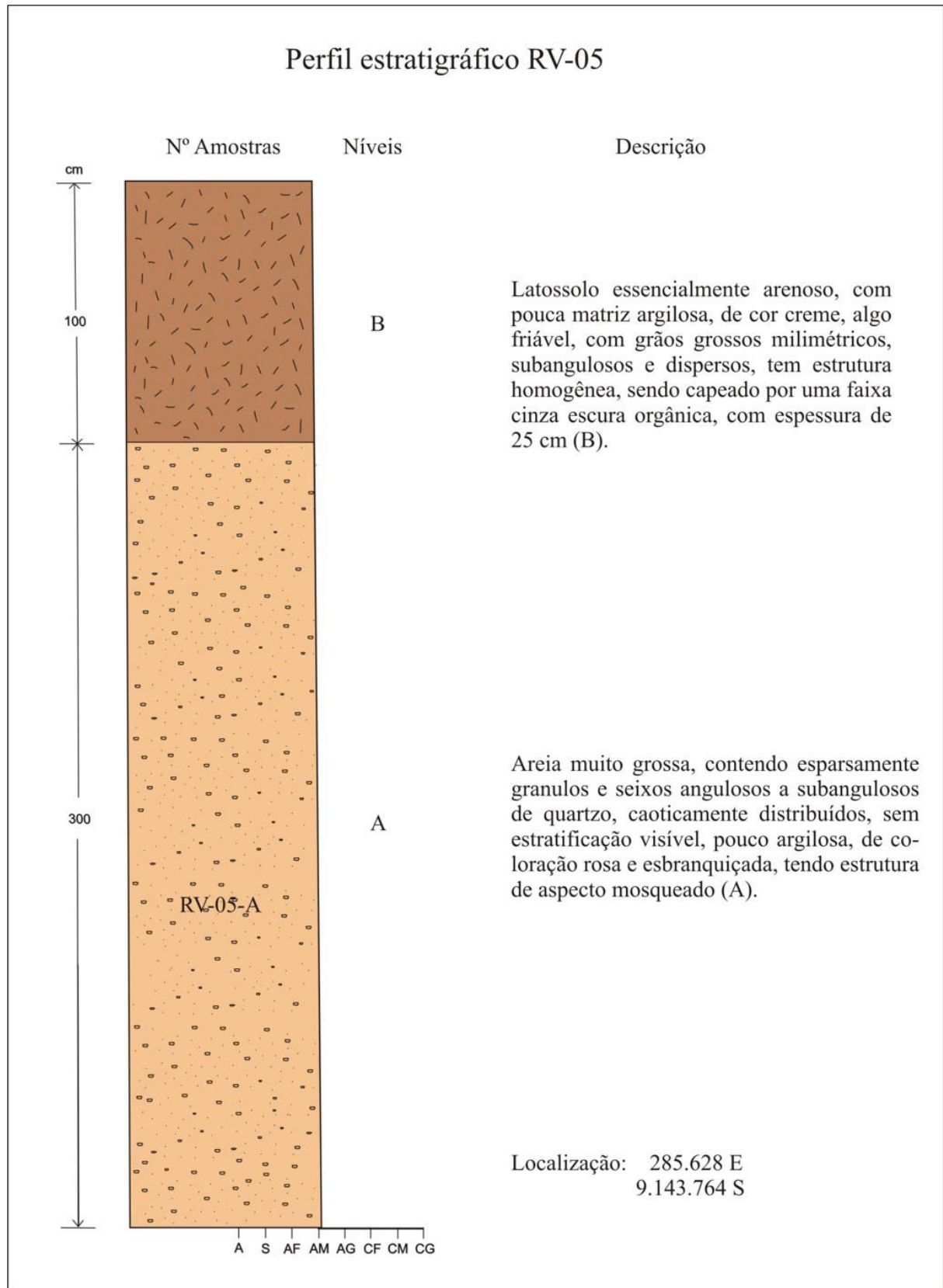


Figura 4.12 - Perfil estratigráfico RV-05. Formação Barreiras, mostrando um depósito sedimentar homogêneo, constituído de areias grossas com grãos angulosos a subangulosos, caoticamente distribuídos.

Este afloramento localiza-se na parte mais ao norte da área estudada, tendo coordenadas 285.628 E e 9.143.764 S (Figura 4.3). Trata-se de um sedimento caracterizado por areias grossas homogeneamente distribuídas por todo o perfil estudado e capeado por um Latossolo.

A única amostra analisada e plotada no diagrama da Figura 4.13b, é caracterizada como areia. O histograma mostra a predominância da fração arenosa sobre a fração silte/argila.

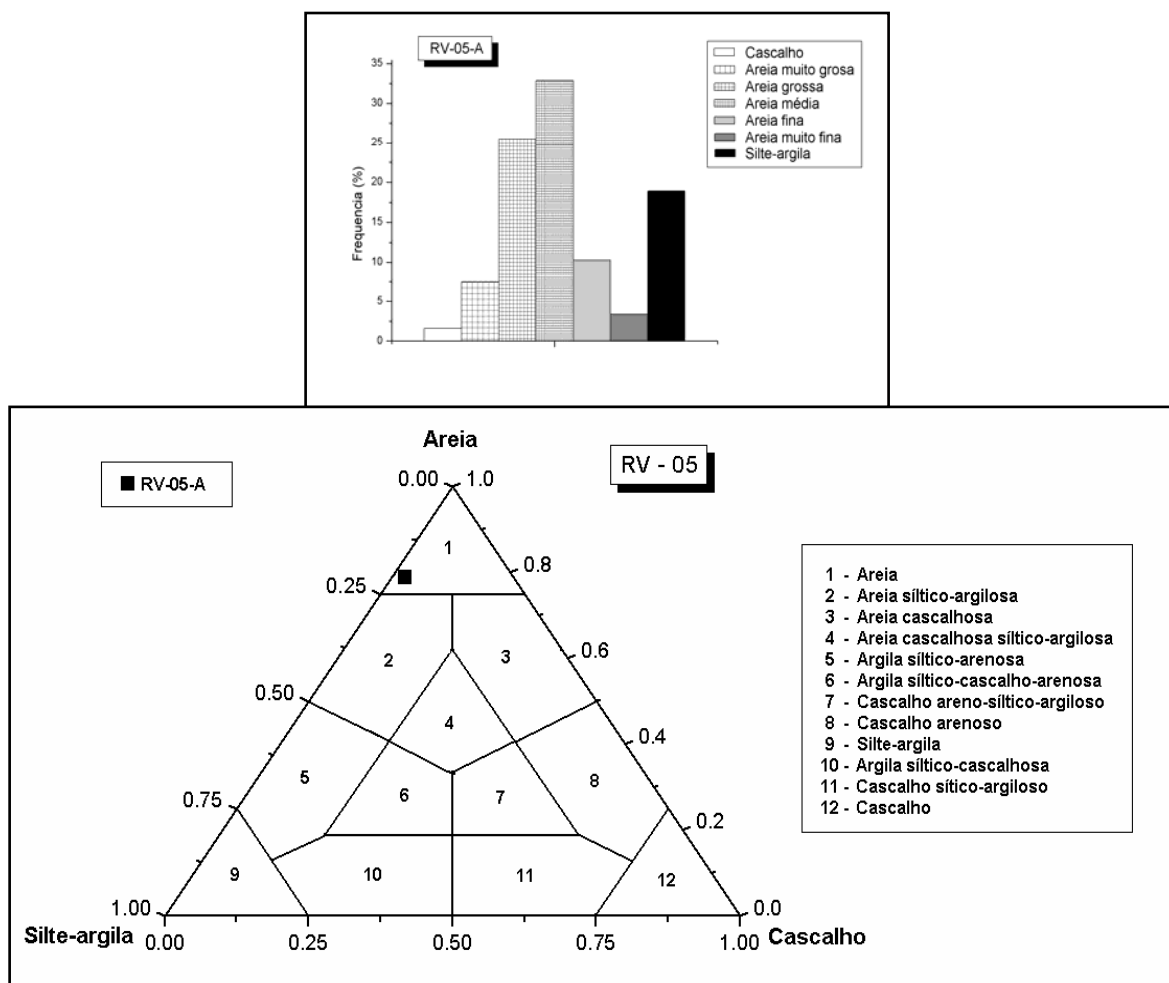


Figura 4.13 - Histogramas das frequências da distribuição granulométrica (a) e diagrama de Shepard (1954) com os resultados das análises granulométricas (b) do afloramento RV-05.

Este perfil localiza-se na parte central dos tabuleiros da Formação Barreiras, nas coordenadas 283.610 E e 9.139.308 S. Apresenta dois tipos de seqüências deposicionais de planície de inundação (na base) e uma deposição fluvial nas partes intermediária e superior do perfil.

O resultado da plotagem das análises sedimentológicas no gráfico de Shepard (1954) acarretou nas texturas areia e areia lamosa (Figura 4.15). Observa-se no histograma a predominância da fração arenosa sobre a fração silte-argila.

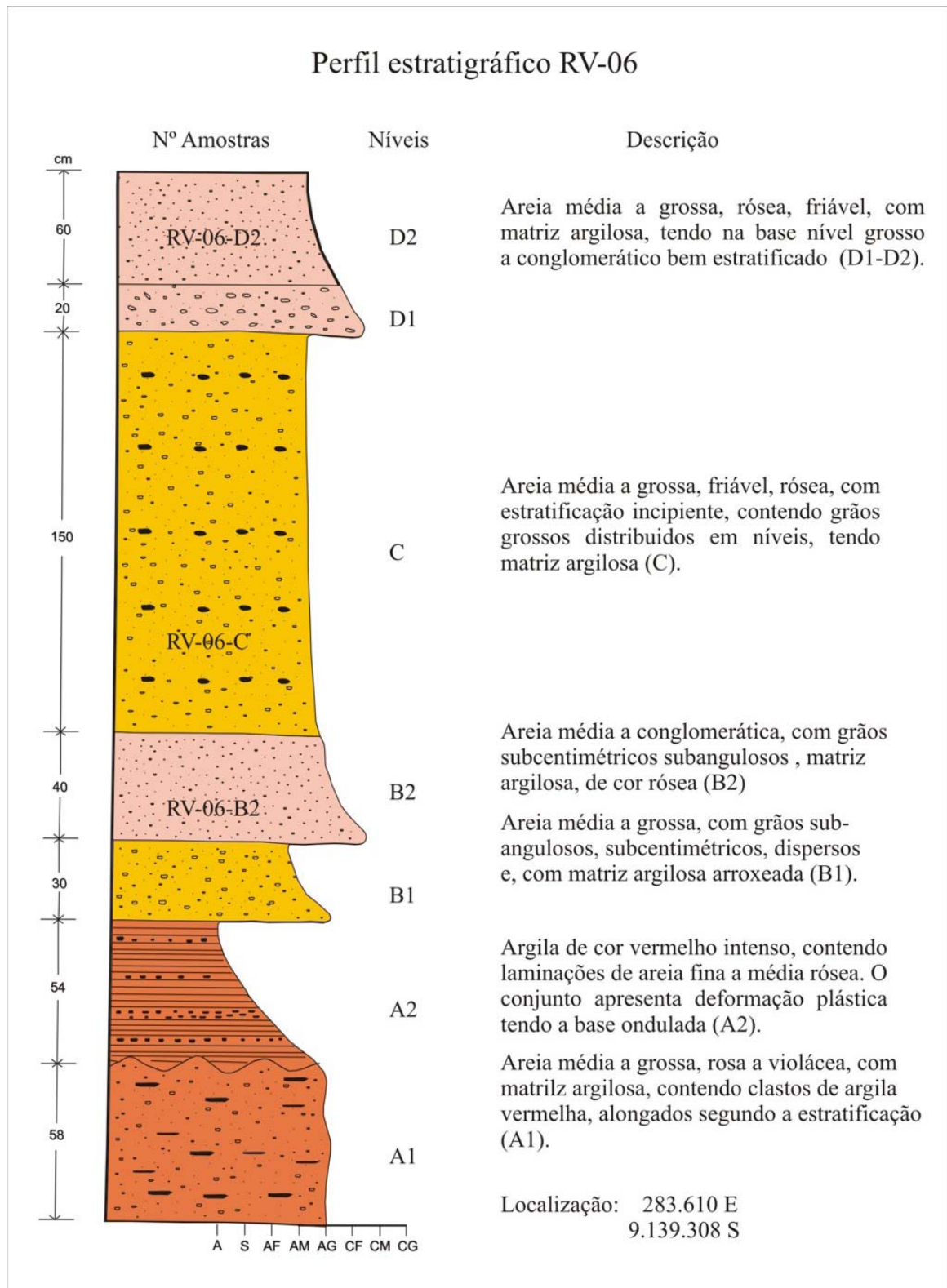


Figura 4.14 - Perfil estratigráfico RV-06. Formação Barreiras, mostrando um depósito de planície de inundação na base, e um fluvial na parte intermediária e superior do perfil.

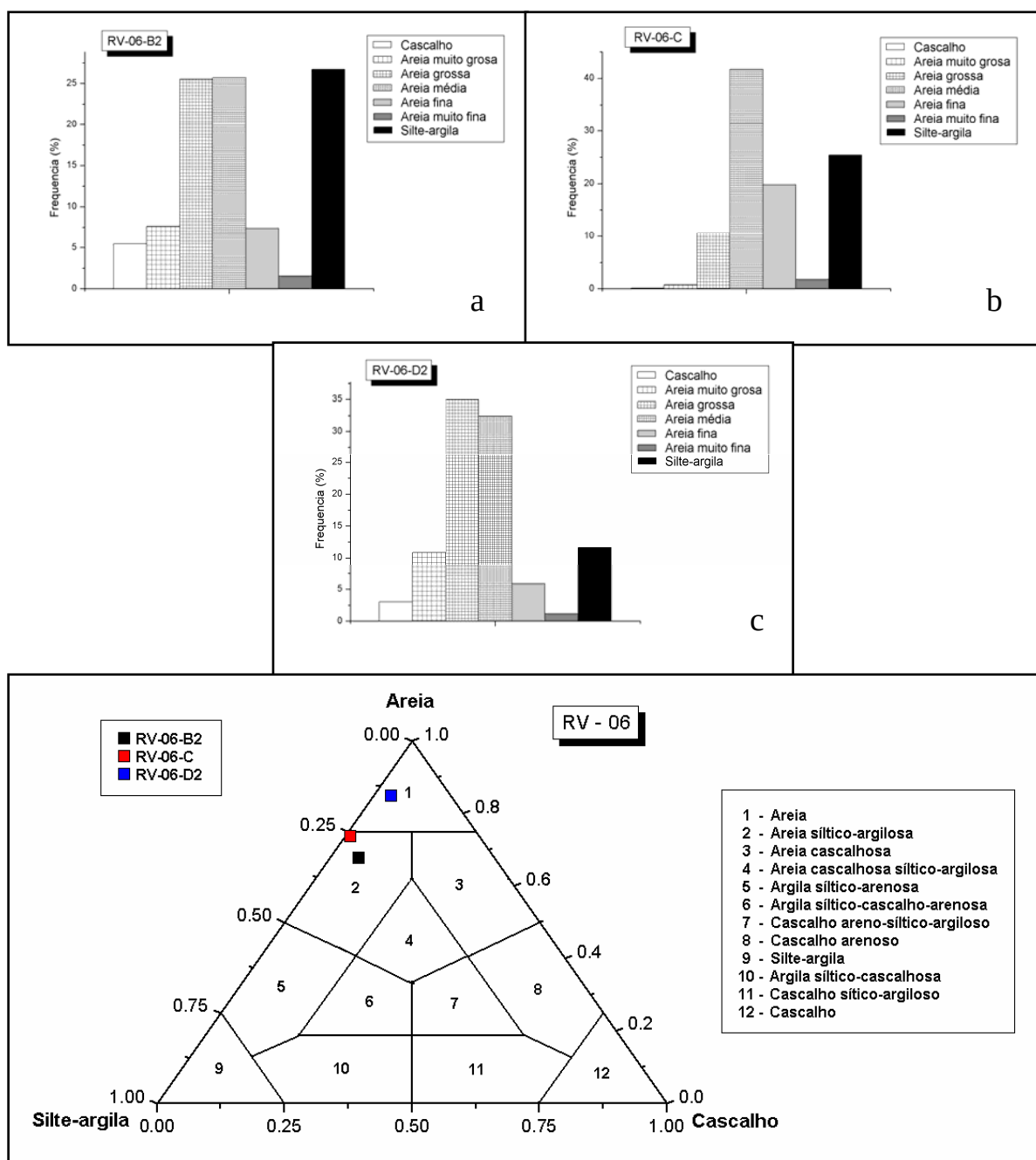


Figura 4.15 - Histogramas das frequências da distribuição granulométrica (a, b, c) e diagrama de Shepard (1954) com os resultados das análises granulométricas (d) do afloramento RV-06.

Observa-se que, excetuando-se os afloramentos RV-02 e RV-03, todos os outros apresentam a predominância das fácies arenosa sobre as fácies lamosa. O afloramento RV-02 apresenta um equilíbrio entre as fácies sedimentares, e o afloramento RV-03 exibe uma predominância marcante da fração silte/argila sobre a arenosa.

Para auxiliar a interpretação destes resultados, foi utilizado o método estatístico multivariado Análise de Componentes Principais (ACP) (Murray & Rogers, 1999), onde foi

possível identificar o comportamento das variâncias das frações granulométricas em função da distribuição superficial dos sedimentos constituintes das unidades geológicas apresentadas neste trabalho.

Os gráficos obtidos pela Análise de Componentes Principais (Figuras 4.16 e 4.17) indicaram que existe uma separação em dois grupos distintos, onde as frações Areia Média e Lama são os parâmetros que caracterizam a separação de cada grupo. Desta forma, verificou-se que os pontos de amostragem RV-02 e RV-03, descritos como pertencentes à Unidade Infra-Barreiras, estão mais correlacionados com a fração granulométrica Lama. Enquanto que os demais pontos analisados, RV-01, RV-04, RV-05 e RV-06, pertencentes ao outro grupo de variância, encontram-se melhor correlacionados com a fração Areia Média.

De acordo com estes resultados, pode-se sugerir que as frações granulométricas Lama e Areia Média são os parâmetros que mais distinguem a Unidade Infra-Barreiras da Formação Barreiras. Aplicando este resultado de forma prática como argumento de distinção para as amostras analisadas, pode-se propor que a razão matemática entre as frações Lama e Areia Média fornece o valor que distingue estas duas unidades geológicas.

Ressalta-se que, quando a razão Lama/Areia Média é maior que 1, tem-se um sedimento característico da Unidade Infra-Barreiras, enquanto que para valores menores que 1, tipificam os sedimentos coletados na Formação Barreiras (Tabela 4.1). Devido ao fato de que a Unidade Infra-Barreiras é melhor representada por material mais fino (matriz com predominância argilosa), fica assim ratificada a observação de campo que a fração argilosa foi preservada porque seu transporte e deposição foram efetuados à curta distância, próximo à área fonte.

A quantidade de Areia Média é destacada nos sedimentos da seção basal da Formação Barreiras, podendo ser devido a um transporte mais acentuado em relação à área fonte. Assim, espera-se que com estudos posteriores e com maior número de amostras analisadas, seja possível ratificar e melhor definir uma assinatura sedimentológica característica, capaz de separar a Unidade Infra-Barreiras da Formação Barreiras.

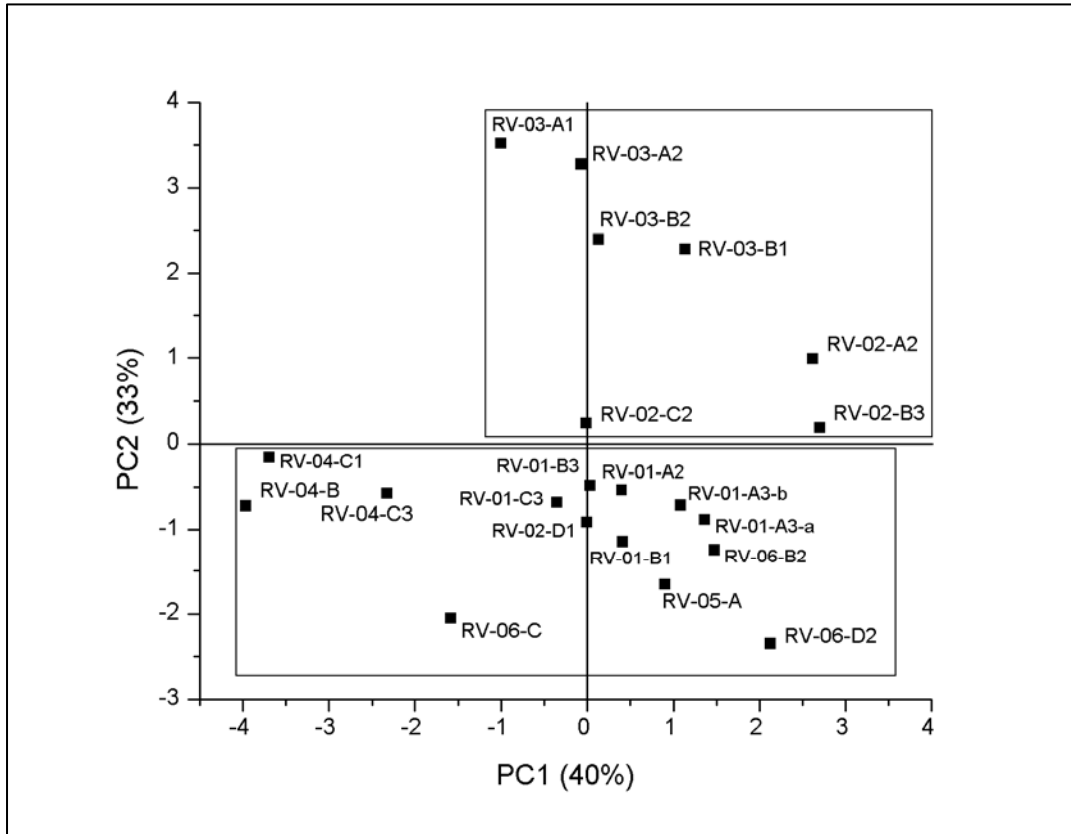


Figura 4.16 - Gráfico das amostras coletadas nos perfis estratigráficos, obtido pelo ACP.

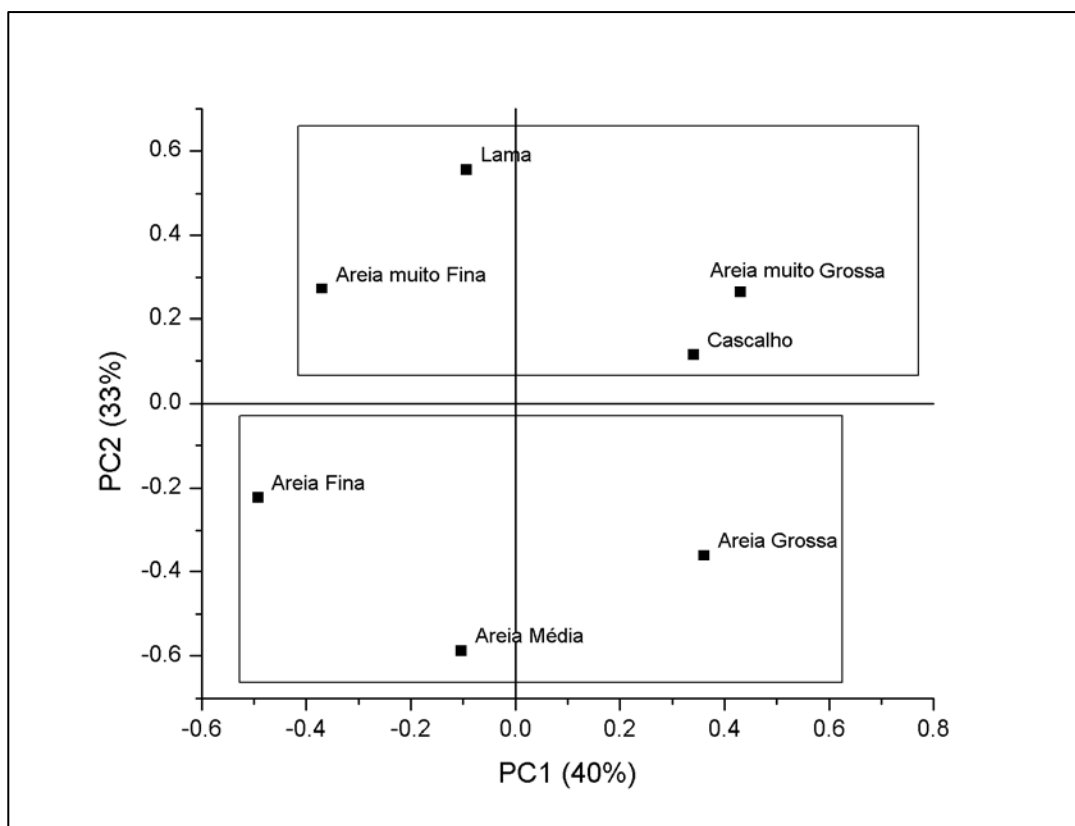


Figura 4.17 - Gráfico dos parâmetros sedimentológicos obtidos pelo ACP.

Tabela 4.1 - Dados sedimentológicos da Bacia do Rio Botafogo e a relação Lama/Areia Média.

ponto	Cascalho	Areia muito Grossa	Areia Grossa	Areia Média	Areia Fina	Areia muito Fina	Lama	altitude R	Lama / A. Média
RV-03-A1	3,029	9,004	7,95	5,932	6,004	5,169	62,928	71,5	10,61
RV-03-A2	4,635	13,656	10,765	6,558	4,82	4,831	54,783	72	8,35
RV-03-B2	2,356	11,856	13,272	9,568	6,252	3,402	53,311	74	5,57
RV-03-B1	5,716	17,733	14,591	9,833	5,577	3,015	43,554	73	4,43
RV-02-C2	4,007	7,006	20,467	21,252	9,811	3,653	33,792	84,5	1,59
RV-02-A2	29,313	13,619	14,974	14,253	4,897	1,784	21,11	81	1,48
RV-02-B3	12,846	15,414	27,051	16,436	4,121	1,665	22,431	83,5	1,36
RV-04-C1	0	2,938	11,127	25,599	26,507	6,182	27,608	15	1,08
RV-06-B2	5,472	7,626	25,509	25,725	7,383	1,543	26,697	44,5	1,04
RV-04-C3	1,743	5,183	15,051	28,603	20,81	3,617	24,995	16	0,87
RV-04-B	0,284	2,869	8,116	27,265	34,586	3,852	23,006	14	0,84
RV-01-B3	4,917	10,052	17,647	29,765	10,875	3,285	23,456	40	0,79
RV-02-D1	1,635	8,032	25,066	25,709	15,006	4,899	19,658	46	0,76
RV-01-C3	2,292	10,454	22,026	28,815	11,121	3,58	21,619	40,5	0,75
RV-01-B1	1,447	12,277	22,73	29,524	11,15	2,986	19,88	39,5	0,67
RV-01-A2	4,902	11,885	21,575	29,008	10,541	3,365	18,711	38,5	0,65
RV-01-A3-b	10,499	11,789	19,205	27,542	10,205	3,151	17,571	39	0,64
RV-01-A3-a	8,882	13,008	21,716	27,756	8,905	2,874	16,936	39	0,61
RV-06-C	0,113	0,742	10,561	41,694	19,794	1,794	25,392	45,5	0,61
RV-05-A	1,612	7,446	25,505	32,838	10,274	3,37	18,911	65	0,58
RV-06-D2	3,034	10,874	34,936	32,388	5,846	1,185	11,639	47	0,36
phi	-1	0	1	2	3	4	5		

4.1.2 Análise geoquímica

Dentro do aspecto geoquímico, muitos sistemas da Terra podem ser considerados fechados, desde bacias hidrográficas até unidades geológicas, porquanto não há perdas significativas de espécies químicas dentro do sistema. Desta forma, o comportamento de tais espécies nestes sistemas se mantém praticamente constante, uma vez que, os processos que regem sua disponibilidade e mobilidade estão sujeitos às mesmas condições ambientais. O estudo da composição geoquímica de sedimentos de bacias hidrográficas, consideradas isoladamente, pode fornecer características da disposição de seus elementos químicos em função do intemperismo, erosão e transporte sofrido pelo material.

Para a elaboração do estudo geoquímico da bacia do rio Botafogo, foram coletadas 21 amostras de afloramentos sedimentares, das quais 10 amostras foram analisadas para 35 elementos químicos, sendo em seguida seus dados submetidos à análise estatística pelo método Análise de Componentes Principais (PCA).

De acordo com o gráfico das amostras coletadas dos perfis estratigráficos, existe uma separação entre dois grupos, onde o primeiro contém os pontos coletados na Unidade Infra-Barreiras, e o segundo grupo contém os pontos coletados na Formação Barreiras (Figura 4.18).

Os parâmetros químicos analisados para cada ponto de coleta (SiO_2 , Al_2O_3 , $\text{Fe}_2\text{O}_{3(\text{T})}$, MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , TiO_2 , P_2O_5 , LOI , Ba, Be, Co, Cr, Cs, Hf, Rb, Sb, Sc, Se, Sr, Ta, Th, U, V, Y, Zr, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Yb, Lu) mostram-se separados por máxima variância, constituindo dois grupos distintos, segundo mostra o gráfico obtido por PCA (Figura 4.19). Assim, o primeiro grupo seleciona os parâmetros mais correlacionados com os argilominerais, representado pelo Al, onde se observa clara interdependência ou variância deste elemento com a maioria das espécies químicas analisadas, servindo como indicador da sua capacidade de adsorção dos elementos disponíveis. No segundo grupo, encontra-se apenas a sílica (livre), indicando que os sedimentos da seção inferior da Formação Barreiras na área, contêm material retrabalhado, limpo, quartzoso, sem componentes sedimentares com capacidade sortiva, onde os teores das espécies químicas encontram-se conseqüentemente depletados.

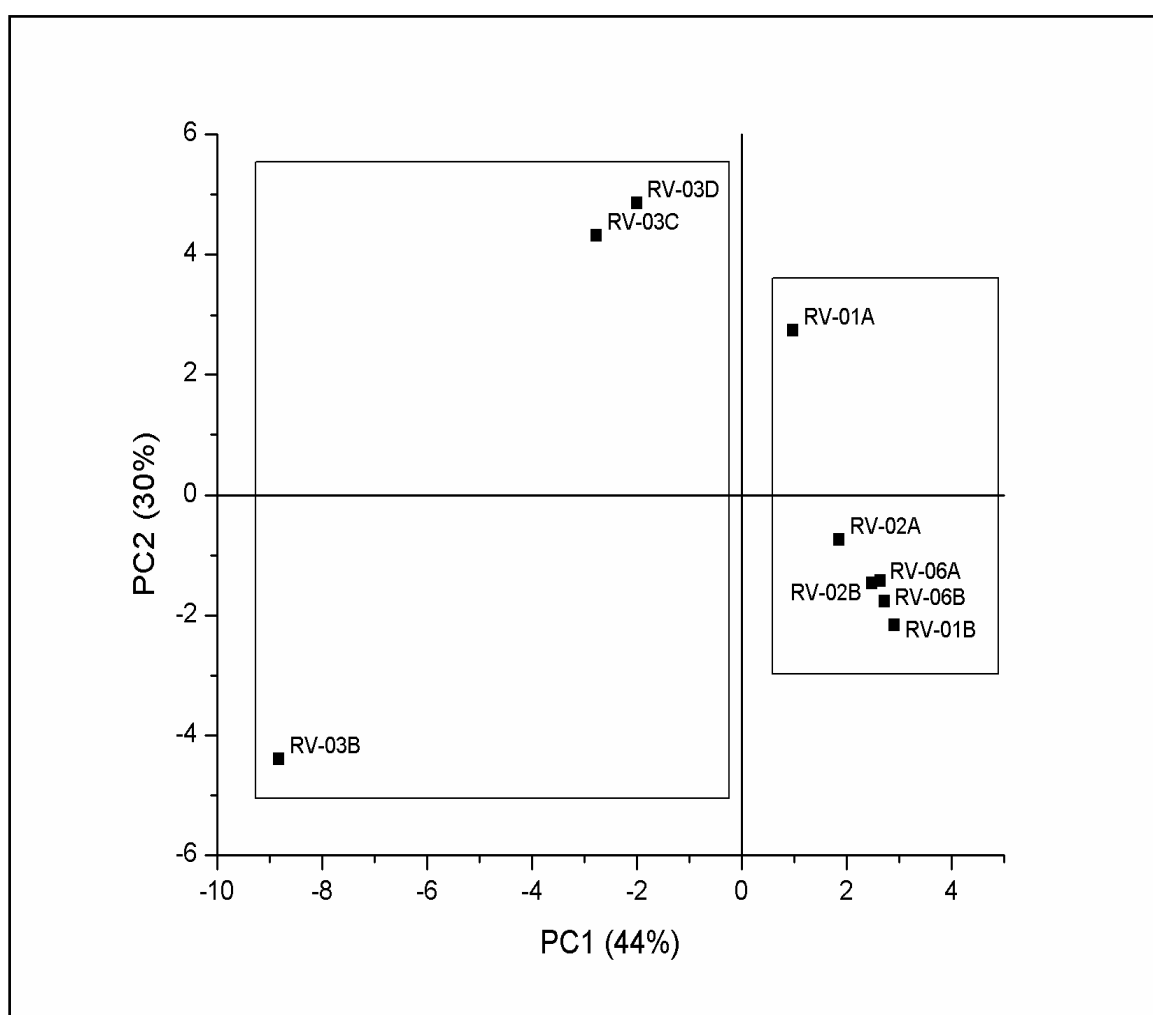


Figura 4.18 - Gráfico dos pontos de coletas obtidos por PCA.

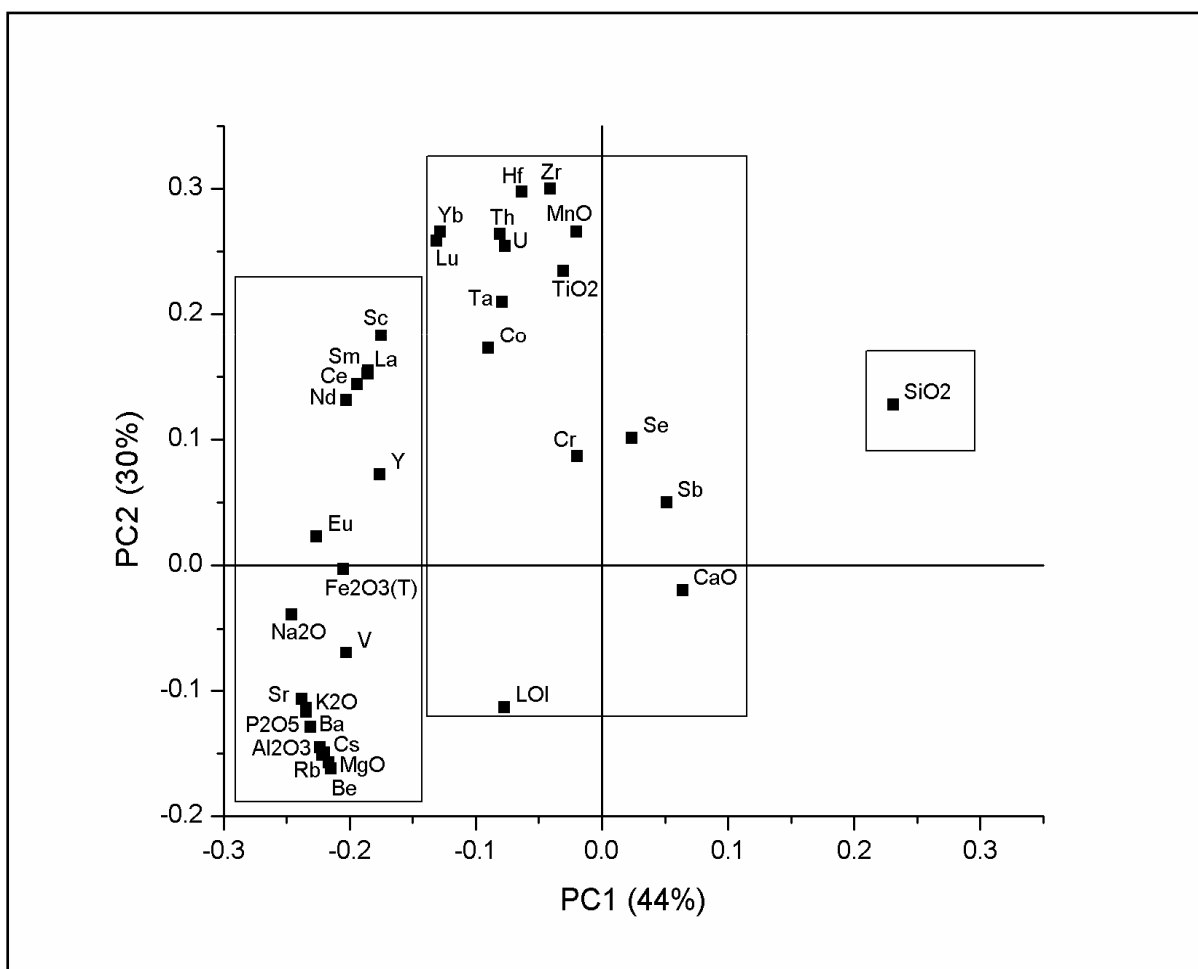


Figura 4.19 - Gráfico dos parâmetros geoquímicos obtidos por PCA.

A razão sílica/alumínio é um bom índice para avaliar a dimensão dos grãos quartzosos correlacionando o maior teor de sílica em relação ao menor teor de alumínio nos sedimentos (Pettijohn, 1957).

Como a sílica (quartzo) e o alumínio (argilominerais) apresentaram-se como parâmetros bem individualizados nestas unidades, foi utilizada a razão sílica/alumínio, ficando evidenciado que para valores abaixo de 80 (oitenta), esta razão é caracteriza as amostras da Unidade Infra-Barreiras, e para valores acima de 80, caracteriza todas as amostras coletadas na Formação Barreiras (Figura 4.20), indicando ser esta última mais quartzosa, onde os grãos apresentam-se com maiores dimensões.

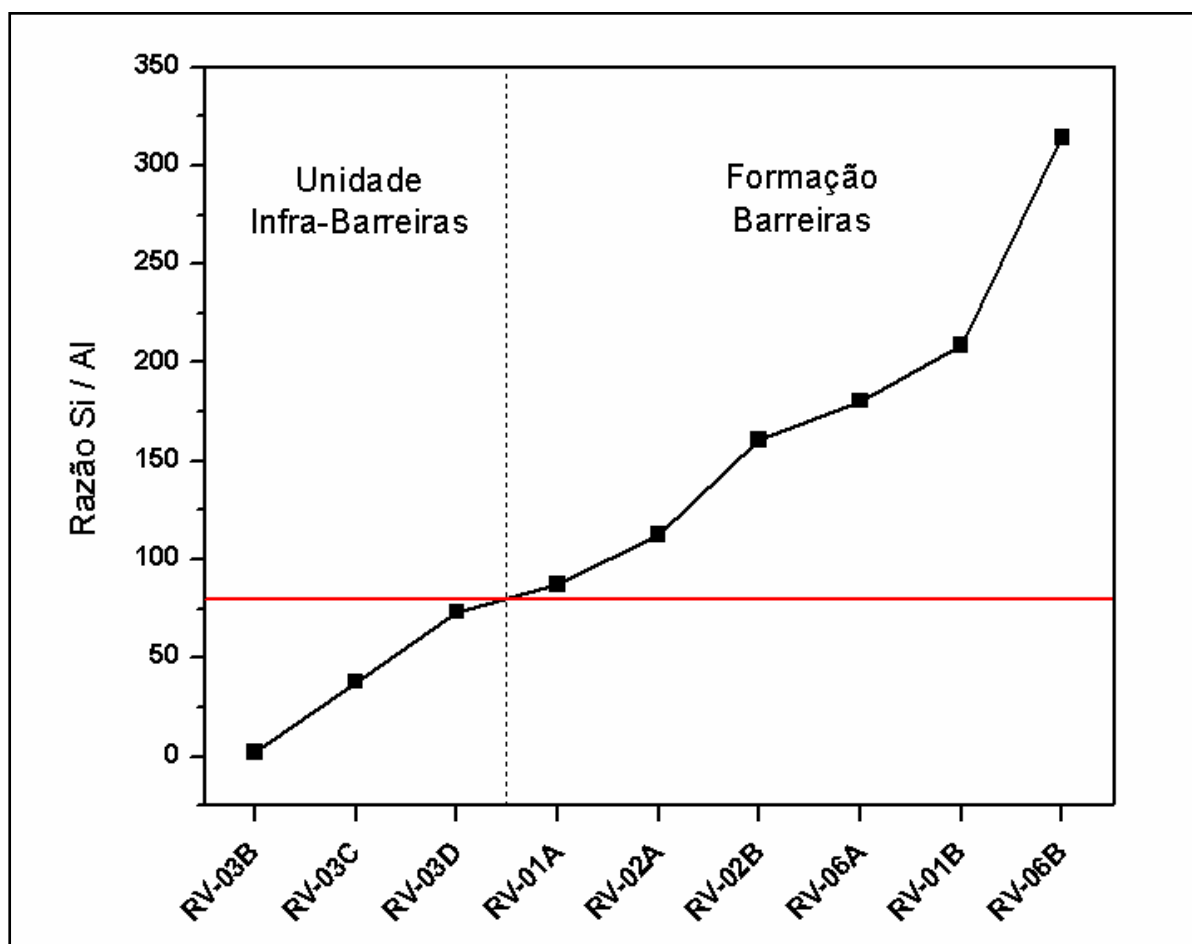


Figura 4.20 - Razão Sílica/Alumínio

4.1.3 Análise morfoscópica

Neste item serão apresentados os resultados das análises morfoscópicas das areias (granulometrias 0,5 mm e 0,25 mm) selecionadas da Unidade Infra-Barreiras (RV-03-A2, RV-03-B1 e RV-03-B2), da Formação Barreiras (RV-01-A2, RV-01-B1, RV-04-B, RV-06-B2 e RV-06-C) e do afloramento que se encontra em posição intermediária dos dois anteriores (RV-02-A2 e RV-02-B3). Foram estudadas as feições microscópicas e submicroscópicas, observadas na superfície das areias, para ajudar na determinação do agente e/ou ambiente de deposição. As principais feições estudadas foram: grau de arredondamento, esfericidade, textura superficial e composição.

As tabelas 4.2 a 4.11 apresentam os resultados das características morfoscópicas das amostras selecionadas para este estudo.

Tabela 4.2 – Análise morfooscópica da amostra RV-01-A2.

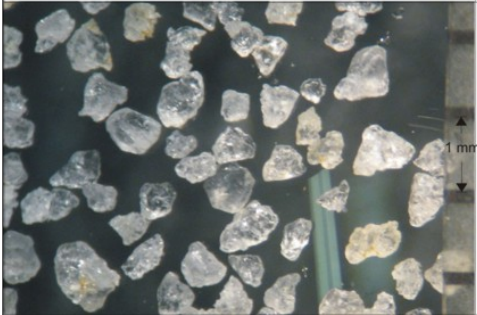
	Nº da amostra: RV-01-A2	
Fração 0.25 mm	Características Morfooscópicas	Fração 0.50 mm
Subanguloso	Grau de Arredondamento	Anguloso
Baixa	Esfericidade	Baixa
Pouco desgastado	Textura Superficial	Pouco desgastado
Brilhante	Brilho	Brilhante
Quartzo	Composição Predominante	Quartzo
		

Tabela 4.3 – Análise morfooscópica da amostra RV-01-B1.

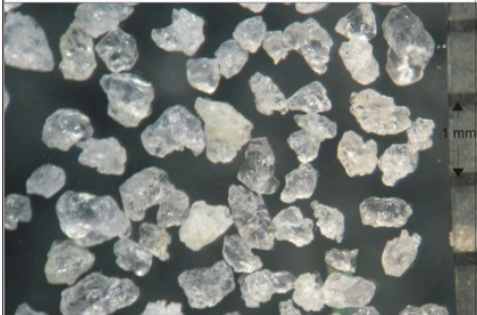
	Nº da amostra: RV-01-B1	
Fração 0.25 mm	Características Morfooscópicas	Fração 0.50 mm
Subanguloso	Grau de Arredondamento	Subanguloso
Baixa	Esfericidade	Baixa
Pouco desgastado	Textura Superficial	Pouco desgastado
Brilhante	Brilho	Brilhante
Quartzo	Composição Predominante	Quartzo
		

Tabela 4.4 – Análise morfooscópica da amostra RV-02-A2.

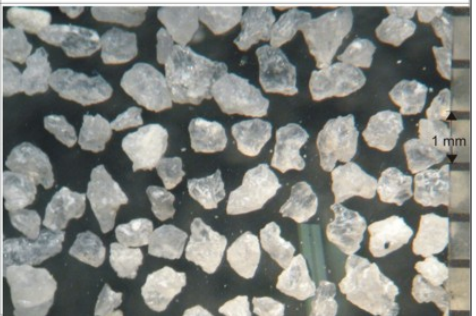
	Nº da amostra: RV-02-A2	
Fração 0.25 mm	Características Morfooscópicas	Fração 0.50 mm
Anguloso	Grau de Arredondamento	Anguloso
Baixa	Esfericidade	Baixa
Pouco desgastado	Textura Superficial	Pouco desgastado
Brilhante	Brilho	Brilhante
Quartzo hialino	Composição Predominante	Quartzo hialino
		

Tabela 4.5 – Análise morfooscópica da amostra RV-02-B3.

	Nº da amostra: RV-02-B3	
Fração 0.25 mm	Características Morfooscópicas	Fração 0.50 mm
Anguloso	Grau de Arredondamento	Anguloso
Baixa	Esfericidade	Baixa
Pouco desgastado	Textura Superficial	Pouco desgastado
Brilhante	Brilho	Brilhante
Quartzo hialino	Composição Predominante	Quartzo hialino
		

Tabela 4.6 – Análise morfooscópica da amostra RV-03-A2.

	Nº da amostra: RV-03-A2	
Fração 0.25 mm	Características Morfooscópicas	Fração 0.50 mm
Subanguloso	Grau de Arredondamento	Subanguloso
Baixa	Esfericidade	Baixa
Pouco desgastado	Textura Superficial	Pouco desgastado
Fosco	Brilho	Fosco
Quartzo leitoso	Composição Predominante	Quartzo leitoso
		

Tabela 4.7 – Análise morfooscópica da amostra RV-03-B1.

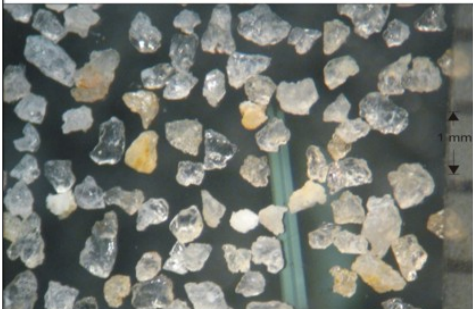
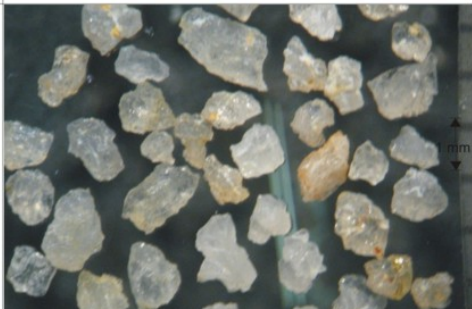
	Nº da amostra: RV-03-B1	
Fração 0.25 mm	Características Morfooscópicas	Fração 0.50 mm
Subanguloso	Grau de Arredondamento	Anguloso
Baixa	Esfericidade	Baixa
Desgastado	Textura Superficial	Desgastado
Brilhante	Brilho	Brilhante
Quartzo hialino	Composição Predominante	Quartzo hialino
		

Tabela 4.8 – Análise morfoscópica da amostra RV-03-B2.

	Nº da amostra: RV-03-B2	
Fração 0.25 mm	Características Morfoscópicas	Fração 0.50 mm
Anguloso	Grau de Arredondamento	Anguloso
Baixa	Esfericidade	Baixa
Pouco desgastado	Textura Superficial	Pouco desgastado
Brilhante	Brilho	Brilhante
Quartzo hialino	Composição Predominante	Quartzo hialino
		

Tabela 4.9 – Análise morfoscópica da amostra RV-04-B.

	Nº da amostra: RV-04-B	
Fração 0.25 mm	Características Morfoscópicas	Fração 0.50 mm
Subarredondado	Grau de Arredondamento	Subarredondado
Baixa	Esfericidade	Baixa
Desgastado	Textura Superficial	Desgastado
Brilhante	Brilho	Brilhante
Quartzo hialino	Composição Predominante	Quartzo hialino
		

Tabela 4.10 – Análise morfoscópica da amostra RV-06-B2.

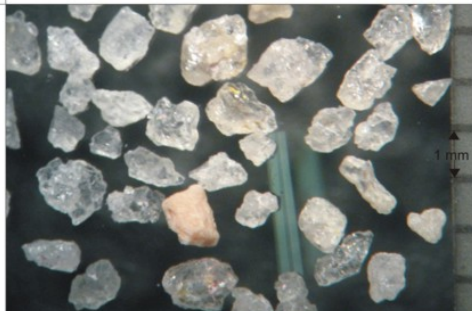
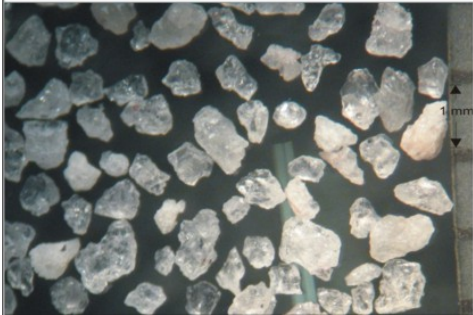
	Nº da amostra: RV-06-B2	
Fração 0.25 mm	Características Morfoscópicas	Fração 0.50 mm
Anguloso	Grau de Arredondamento	Anguloso
Baixa	Esfericidade	Baixa
Pouco desgastado	Textura Superficial	Pouco desgastado
Brilhante	Brilho	Brilhante
Quartzo	Composição Predominante	Quartzo
		

Tabela 4.11 – Análise morfooscópica da amostra RV-06-C.

	Nº da amostra: RV-06-C	
Fração 0.25 mm	Características Morfooscópicas	Fração 0.50 mm
Anguloso	Grau de Arredondamento	Anguloso
Baixa	Esfericidade	Baixa
Pouco desgastado	Textura Superficial	Pouco desgastado
Brilhante	Brilho	Brilhante
Quartzo hialino	Composição Predominante	Quartzo hialino
		

Foi observada uma baixa esfericidade para os grãos em todas as amostras estudadas, indicando o pouco transporte sofrido e, assim, os sedimentos estariam próximos à área fonte. O grau de arredondamento anguloso e subanguloso vêm a corroborar esta hipótese. Ademais, todas as amostras apresentaram grãos com aspecto brilhante, ratificando que o pouco transporte sofrido foi em meio aquoso.

A composição predominante é de quartzo (hialino e raramente leitoso), cujos grãos mostram uma textura superficial pouco desgastada, e somente duas amostras apresentaram um desgaste maior, sugerindo neste caso, que os grãos sofreram um transporte pouco mais acentuado.

4.1.4 Curvas cumulativas

A curva cumulativa mostra a soma das percentagens das frações granulométricas representada num intervalo de zero até 100%, onde o resultado delineia uma curva em forma de S que pode ser mais vertical ou mais suavizada, mediante as características do sedimento ser bem ou mal selecionado. Nos gráficos que evidenciam as curvas cumulativas das amostras coletadas nos perfis da bacia do rio Botafogo, estão dispostos os teores das frações granulométricas separadas por perfil estratigráfico, sendo as figuras 4.21A, 4.21b, 4.21c, 4.21d, 4.21e e 4.21f indicando respectivamente os perfis RV-01, RV-02, RV-03, RV-04, RV-05 e RV-06.

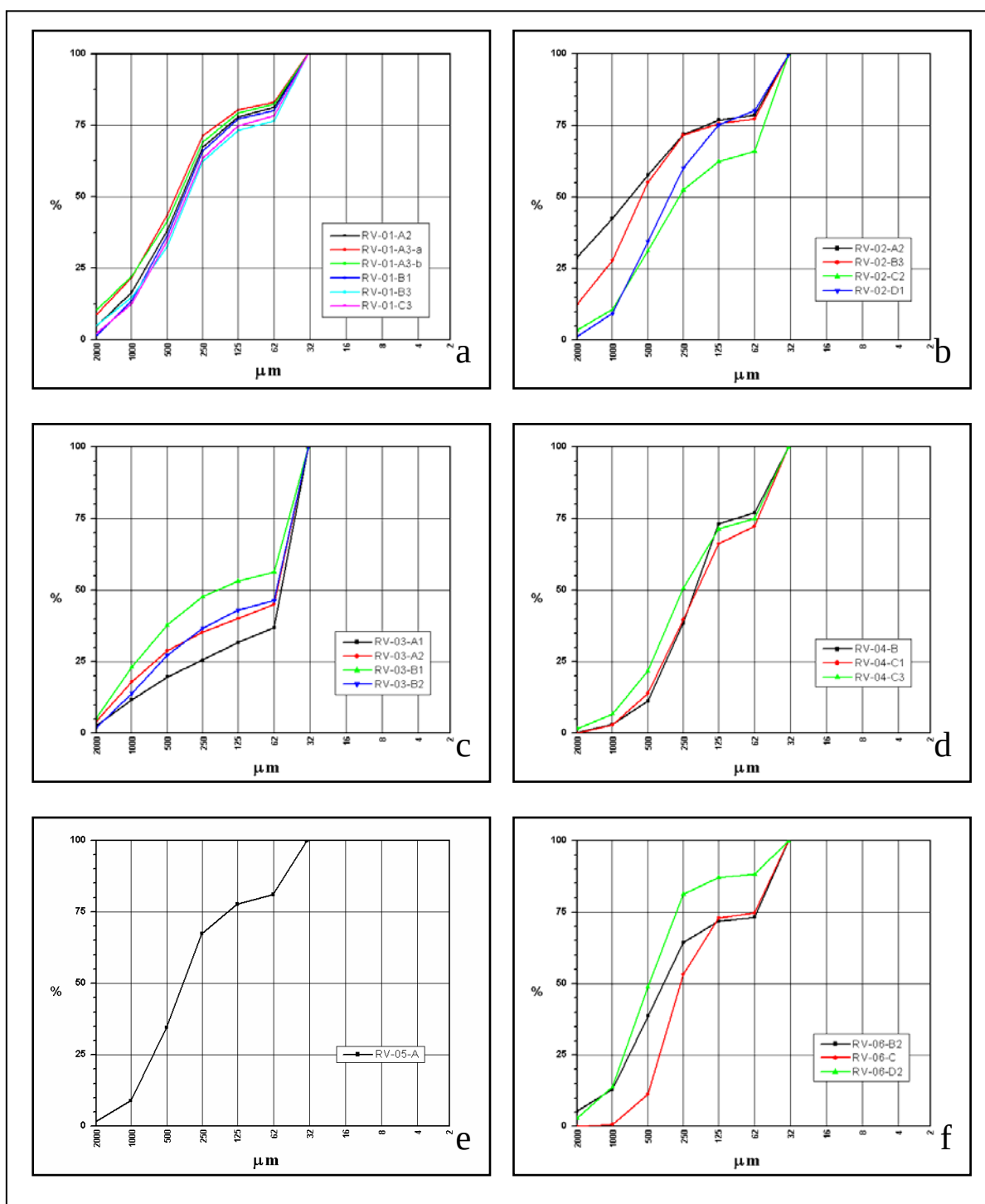


Figura 4.21 Curvas cumulativas das frações granulométricas

O gráfico dos teores médios das amostras em cada perfil (Figura 4.22a) mostra o comportamento do perfil RV-03 contrastando com os demais, uma vez que sua curva cumulativa possui um declive acentuado no sentido das frações mais finas. Representando a média dos teores das amostras dos perfis RV-01, RV-02, RV-04, RV-05 e RV-06 em apenas uma curva, e comparando com a curva cumulativa das amostras do perfil RV-03, obtém-se o

Diagrama de Zonas de Distribuição granulométricas, indicando o contraste existente no comportamento dos sedimentos da Formação Barreiras, por ser mais grosso, dos sedimentos da Unidade Infra-Barreiras, que é mais fino (Figura 4.22b).

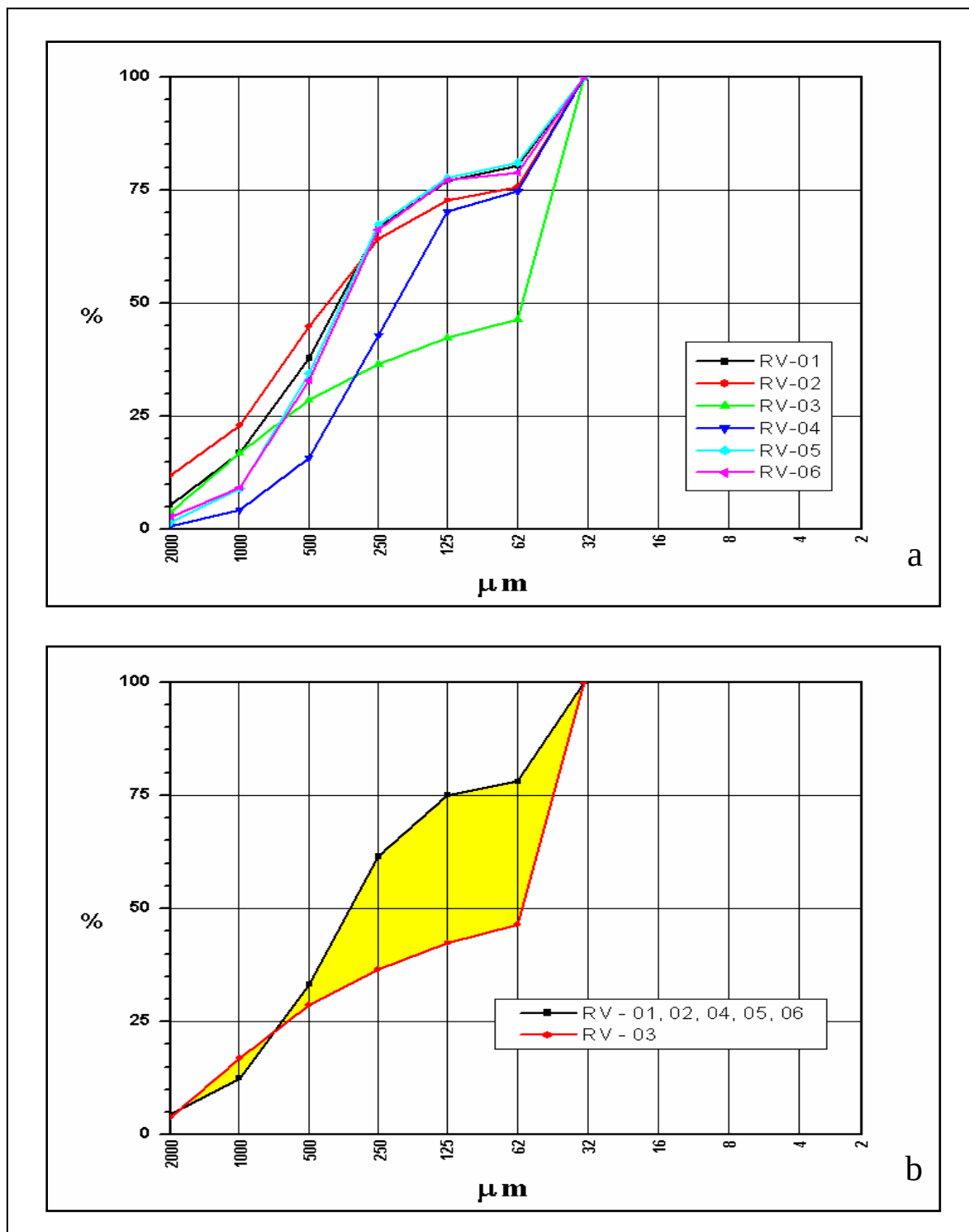


Figura 4.22 (a) Curvas cumulativas da distribuição granulométrica das amostras coletadas nos perfis. (b) Diagrama de zonas das distribuições granulométricas das amostras coletadas nos perfis (segundo Mabesoone, 1959).

4.2 PRODUTOS CARTOGRÁFICOS

Os produtos cartográficos resultantes desta pesquisa, alicerçados com trabalhos de campo e laboratoriais, são apresentados e discutidos a seguir:

4.2.1 Mapa de curvas de nível

O mapa de curvas de nível (Figura 4.23), com equidistância de 10 metros, serviu de base para a geração do modelo digital do terreno. O nível de detalhamento das cartas bases, na escala de 1:25.000, de onde se obteve as curvas, permitiu a geração de um modelo compatível com um mapa geomorfológico de detalhe. O escaneamento e o georeferenciamento das cartas bases, se mostrou eficiente como produto para a geração das curvas de nível, pois permitiu a digitalização das mesmas em tela, o que otimiza seu uso, minimizando os erros quando se procede a digitalização em mesas com malhas magnéticas.

4.2.2 Mapa do modelo digital do terreno (MDT)

O MDT, resultante da aplicação do interpolador TIN - interpolação por rede de triangulação, é uma representação vetorial, onde os arcos se conectam através de pontos, formando uma malha triangular. Na modelagem da superfície por meio de grade irregular triangular, cada polígono que forma uma face do poliedro é um triângulo. Os vértices do triângulo são geralmente os pontos amostrados da superfície. Esta modelagem, considerando as arestas dos triângulos, permite que as informações morfológicas importantes, como as discontinuidades representadas por feições lineares de relevo (cristas) e drenagem (vales), sejam consideradas durante a geração da grade triangular, possibilitando assim, modelar a superfície do terreno, preservando as feições geomórficas da superfície. O MDT em formato vetorial foi transformado em formato *raster* (*grid*), formando uma imagem em níveis de cinza, considerando o intervalo entre 0 (preto) e 255 (branco), resultando no mapa do modelo digital do terreno (Figura 4.24).

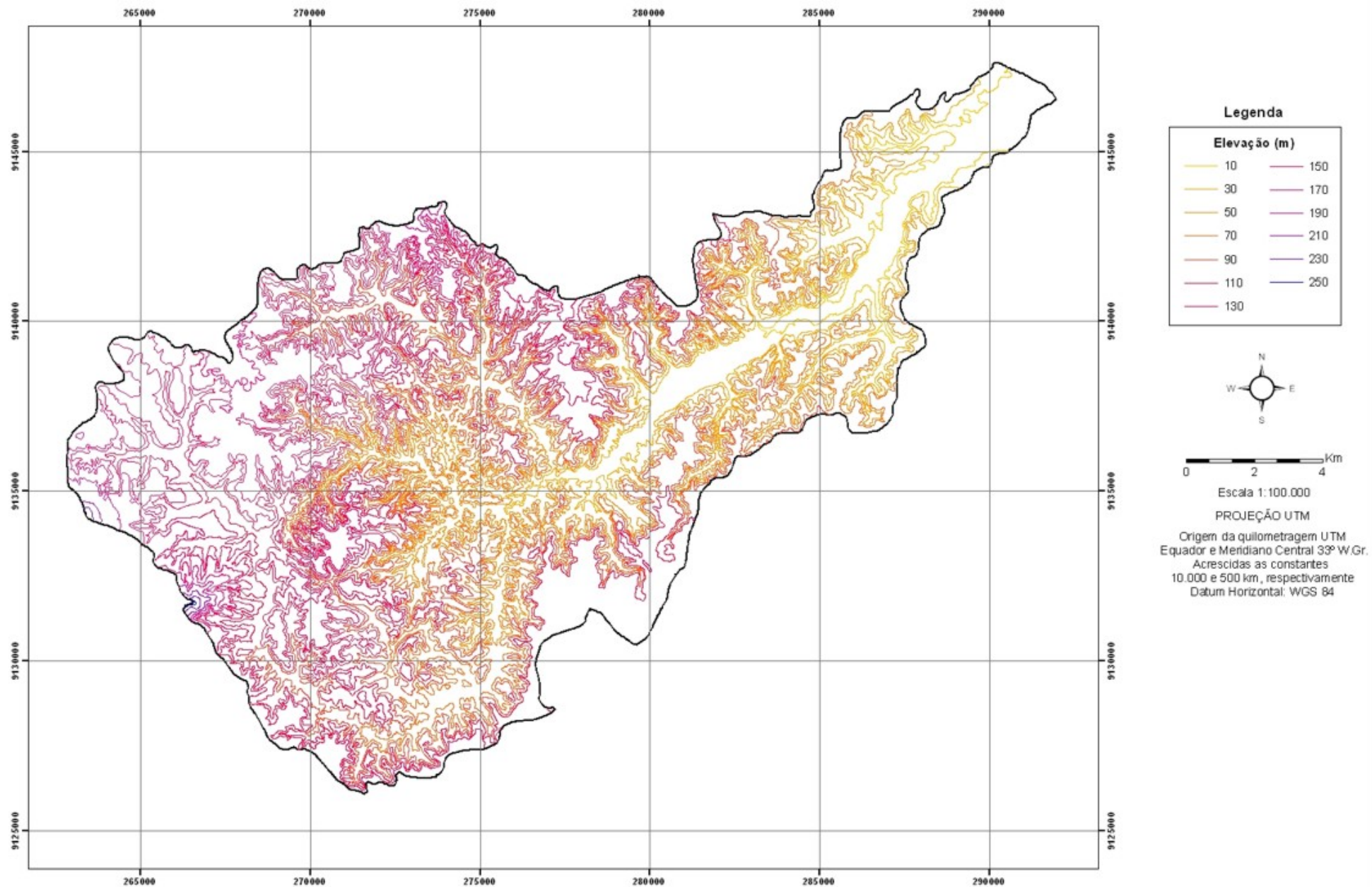
4.2.3 Mapa do relevo sombreado

Um recurso muito utilizado para a visualização tridimensional do relevo é a imagem do MDT sombreada, ou mapa do relevo sombreado (Figura 4.25), onde se considera o ângulo azimutal e de elevação de uma fonte luminosa hipotética.

Para esta Imagem sombreada, foram fornecidos alguns parâmetros de iluminação:

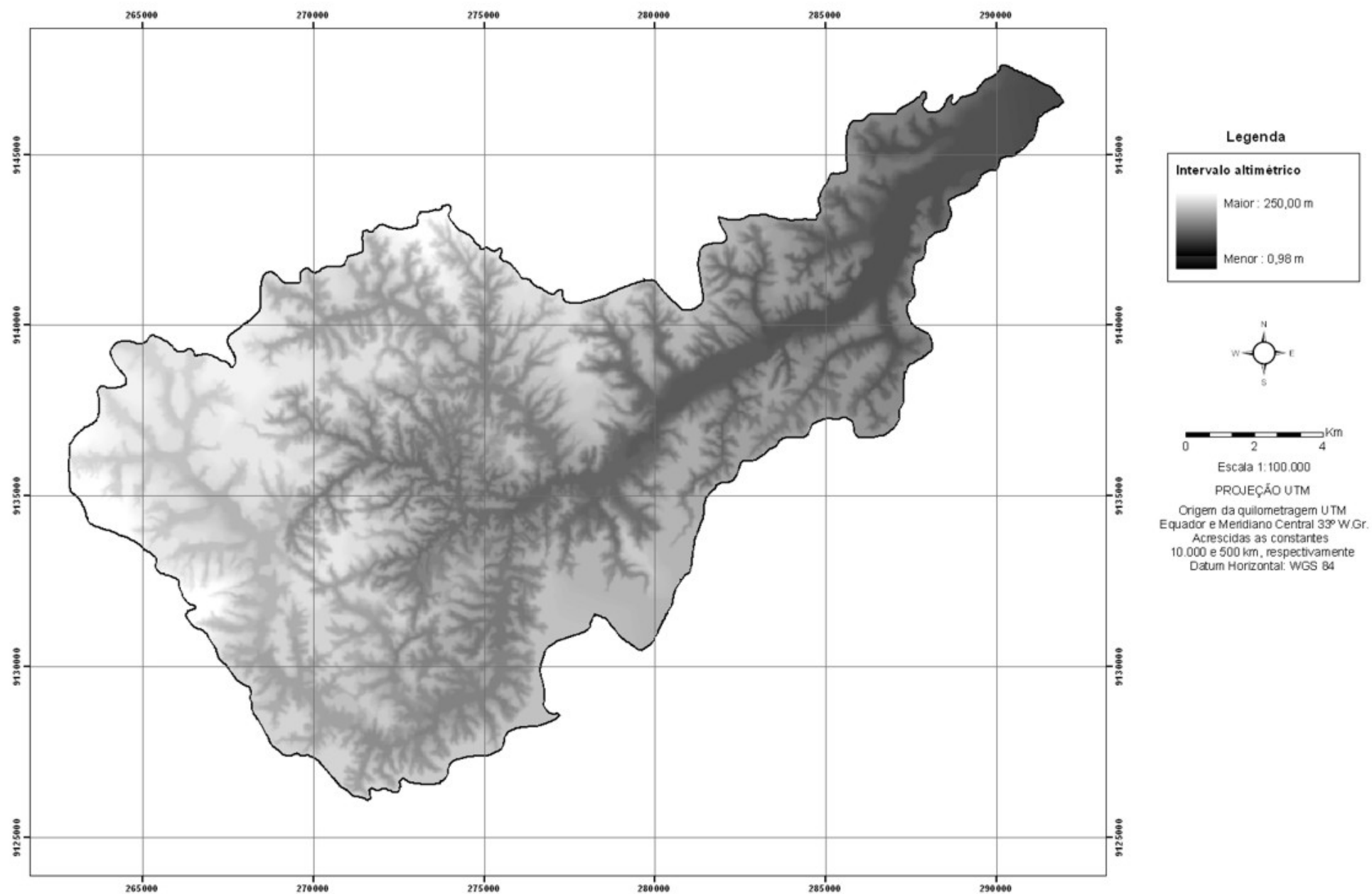
- Azimute - que corresponde à posição da fonte luminosa, a partir do Sul (eixo y), variando de 0° a 360°, no sentido anti- horário. Foi arbitrado o valor de 315°;

Figura 4.23: Mapa de Curvas de Nivel da Bacia Hidrográfica do Rio Botafogo - PE



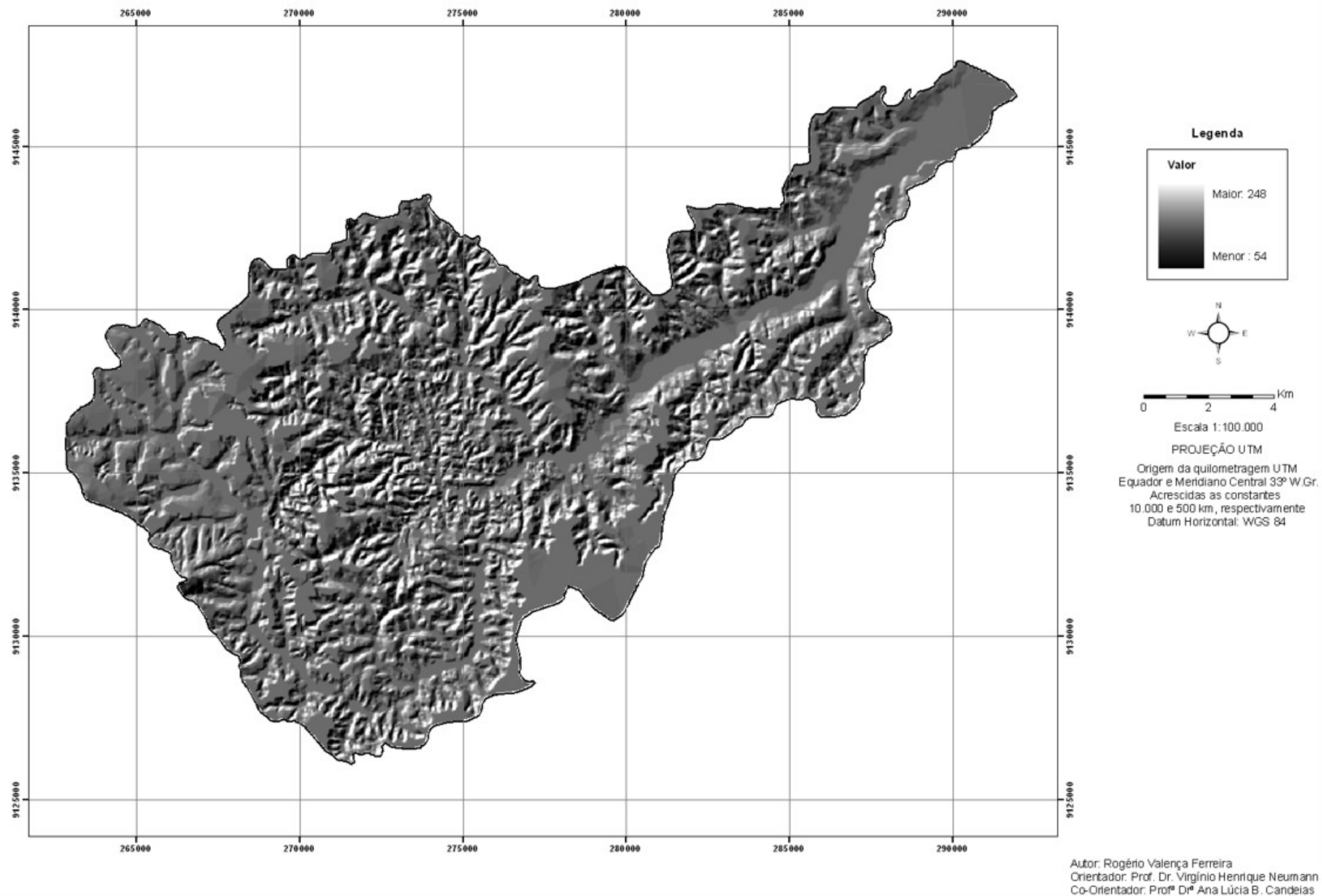
Autor: Rogério Valença Ferreira
Orientador: Prof. Dr. Virgínio Henrique Neumann
Co-Orientador: Profª Drª Ana Lúcia B. Candeias

Figura 4.24: Mapa do Modelo Digital do Terreno da Bacia Hidrográfica do Rio Botafogo - PE



Autor: Rogério Valença Ferreira
Orientador: Prof. Dr. Virgínio Henrique Neumann
Co-Orientador: Profª Drª Ana Lúcia B. Candeias

Figura 4.25: Mapa do Relevo Sombreado da Bacia Hidrográfica do Rio Botafogo - PE



- Elevação - que corresponde ao ângulo entre a fonte luminosa e o plano da superfície, variando de 0° a 90°. Foi escolhido o valor de 45°;
- Exagero vertical - que é o valor de acréscimo na escala vertical da superfície, em relação à escala horizontal. Foi atribuído o valor de 1,5.

Este processo possibilita ao fotointerprete, uma melhor observação sobre todos os aspectos referentes à composição, distribuição e organização espacial do relevo, permitindo análises mais acuradas.

4.2.4 Mapa hipsométrico

A hipsometria é uma técnica de representação do relevo, na qual se utiliza de uma paleta de cores graduais, matizadas, que representa diferentes intervalos altimétricos, e quando sobreposta ao relevo sombreado, transmite ao observador uma visão sinótica da superfície, exibindo uma idéia da tridimensionalidade do relevo. Na compartimentação do relevo, auxilia na delimitação de patamares escalonados, que muitas vezes representam superfícies de erosão.

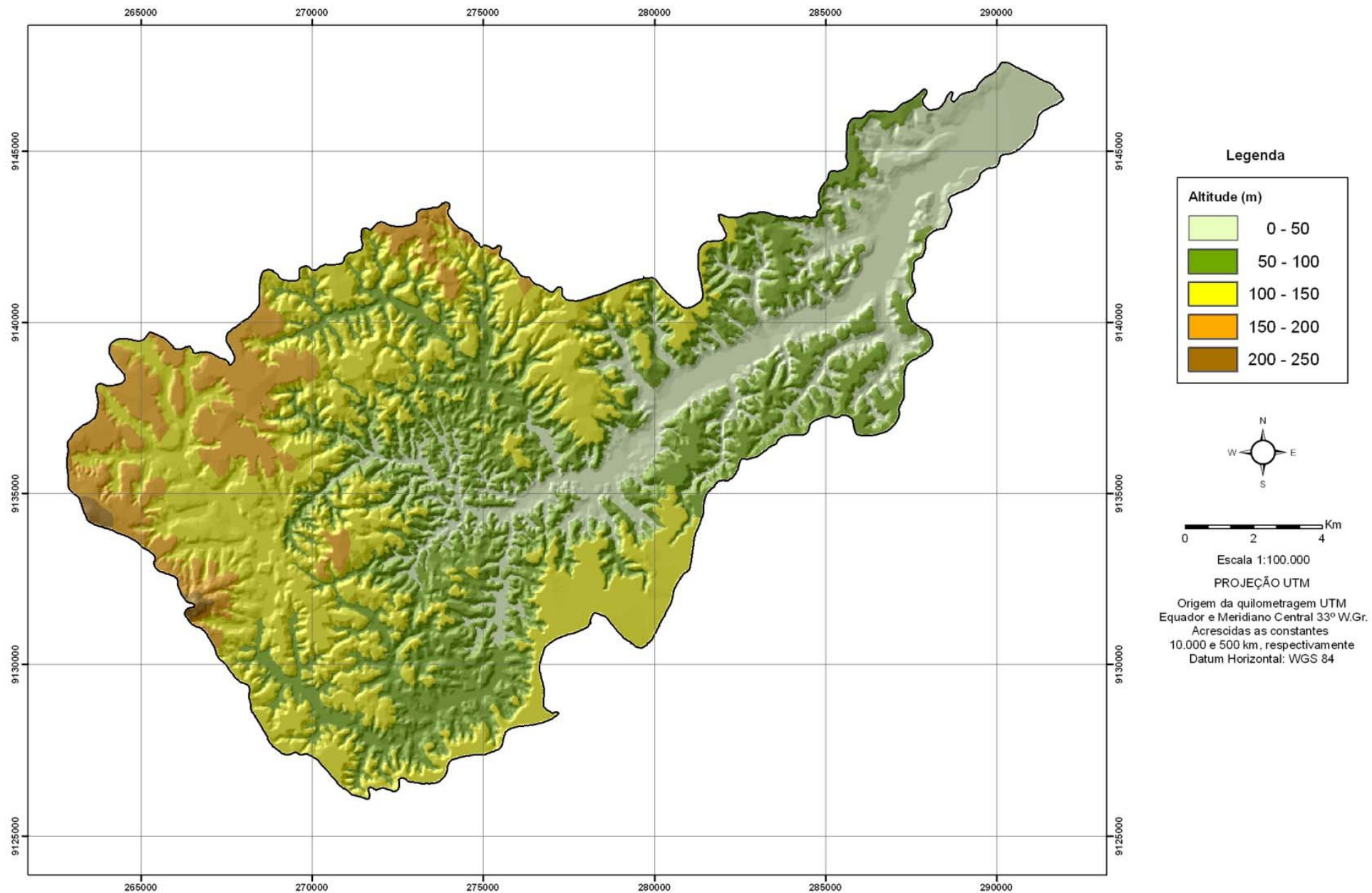
Às classes altimétricas estabelecidas para o mapa hipsométrico (Figura 4.26) 0 a 50; 50 a 100; 100 a 150; 150 a 200; e 200 a 250, foram atribuídas cores segundo normas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 1993).

O intervalo entre as cotas de 50 e 150 m representa cerca de 70% da área da bacia, onde predominam formas de vertentes, relevos colinosos e tabulares. A classe de intervalo de 0-50 m, que corresponde ao vale principal da bacia, direção SW-NE, ocupa quase 20% da sua área total. As classes de 150-200 e 200-250 m, perfazem aproximadamente 10% da área, localizadas na parte oeste, indicam os patamares mais elevados, como pode ser observado no mapa hipsométrico e na Tabela 4.1.

Tabela 4.12 - Classes hipsométricas e áreas de abrangência

Classes Hipsométricas (m)	Área (Km ²)	Área (%)
0 a 50	51,9	18,8
50 a 100	94,7	35,6
100 a 150	92,8	35,0
150 a 200	24,6	10,2
200 a 250	1,1	0,4
Total	265.413	100

Figura 4.26: Mapa Hipsométrico da Bacia Hidrográfica do Rio Botafogo - PE



Autor: Rogério Valença Ferreira
Orientador: Prof. Dr. Virgínio Henrique Neumann
Co-Orientador: Profª Drª Ana Lúcia B. Candeias

4.2.5 Mapa de declividade

As classes obtidas para o mapa de declividade (Figura 4.27), foram os intervalos de 0 - 2% , correspondente às áreas planas dos vales e superfícies tabulares; de 2 – 6%, que representa os sopés de vertentes suavizadas; e os intervalos de 6 – 20%, 20 – 50% e maior que 50% , que constitui as vertentes mais inclinadas e escarpadas, classificadas conforme a Tabela 4.12.

Tabela 4.13 – Classes de declividade

Clas. Declividade (%)	Área (Km ²)	Área (%)	Classificação	Relevo
0 – 2	95,9	36,3	Muito baixa	Áreas planas dos vales e superfícies tabulares
2 - 6	60,3	22,7	Baixa	Sopés de vertentes suavizadas
6 – 20	98,4	37,1	Média	Vertentes inclinadas
20 – 50	10,4	3,9	Alta	Vertentes escarpadas
> 50	0	0	Muito alta	Vertentes escarpadas

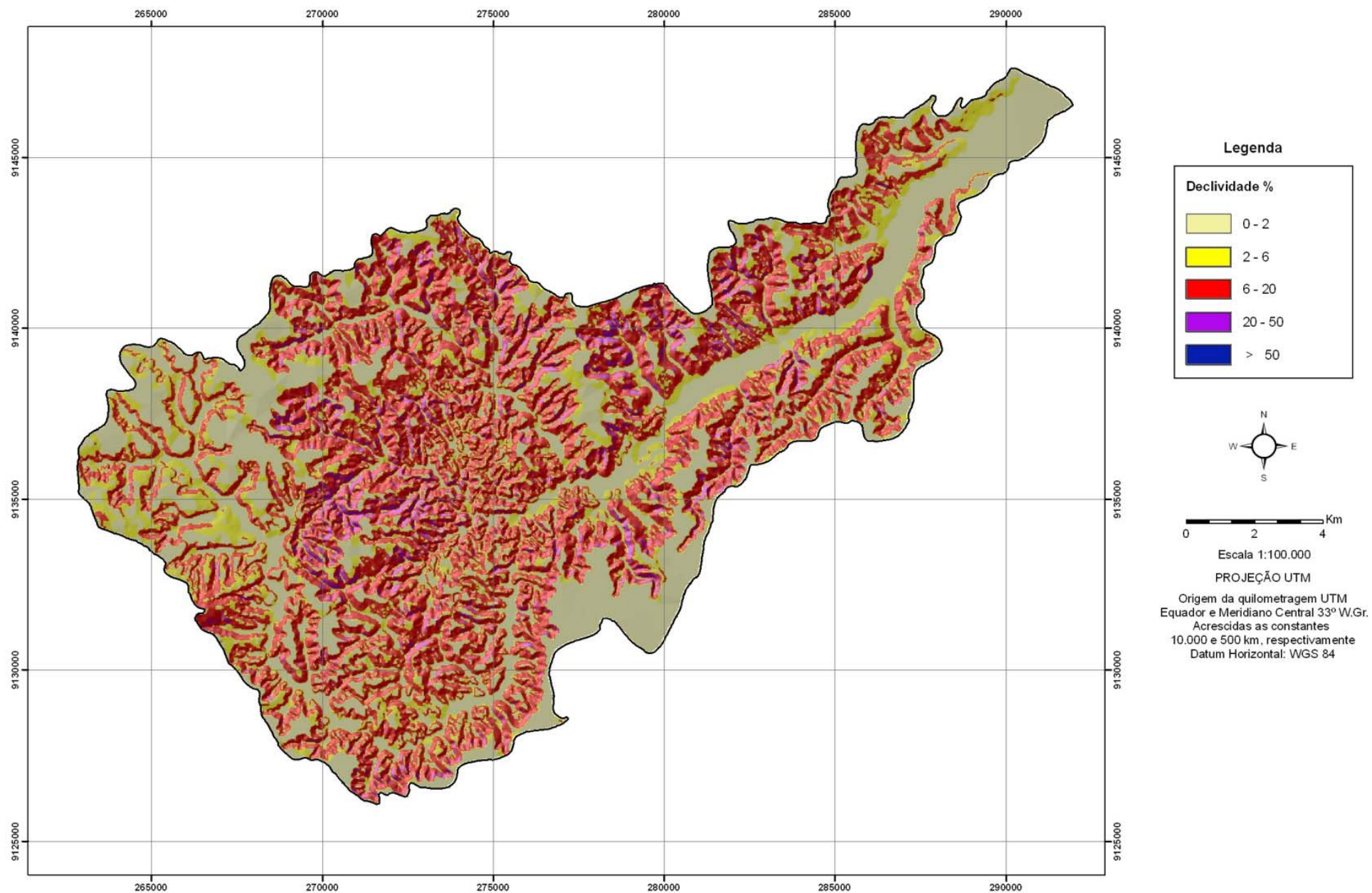
4.2.6 Mapa de curvaturas

Descrita por meio de seus perfis longitudinais e transversais, que definem a sua geometria, a vertente consiste basicamente de arranjos espaciais dos perfis convexos, retilíneos e côncavos, resultando em tipos relacionados a determinados processos erosivos predominantes, tais como: erosão laminar, nos segmentos convexos; erosão em ravinas e movimentos de massa nos segmentos retilíneos; e movimentos de massa nos segmentos côncavos, se em estado de desequilíbrio. Nos estados de equilíbrio nos segmentos côncavos, predomina a deposição do material proveniente do transporte a montante (Selby, 1993). As três possíveis formas: linear (L), convexa (V) e côncava (C), ao longo do comprimento e largura da vertente, produz em combinação novas geometrias básicas, totalizando nove arranjos, representados no mapa de curvaturas (Figura 4.28), segundo metodologia proposta por Huhe em 1975 *apud* Romão e Souza (2004).

4.2.7 Mapa hidrográfico

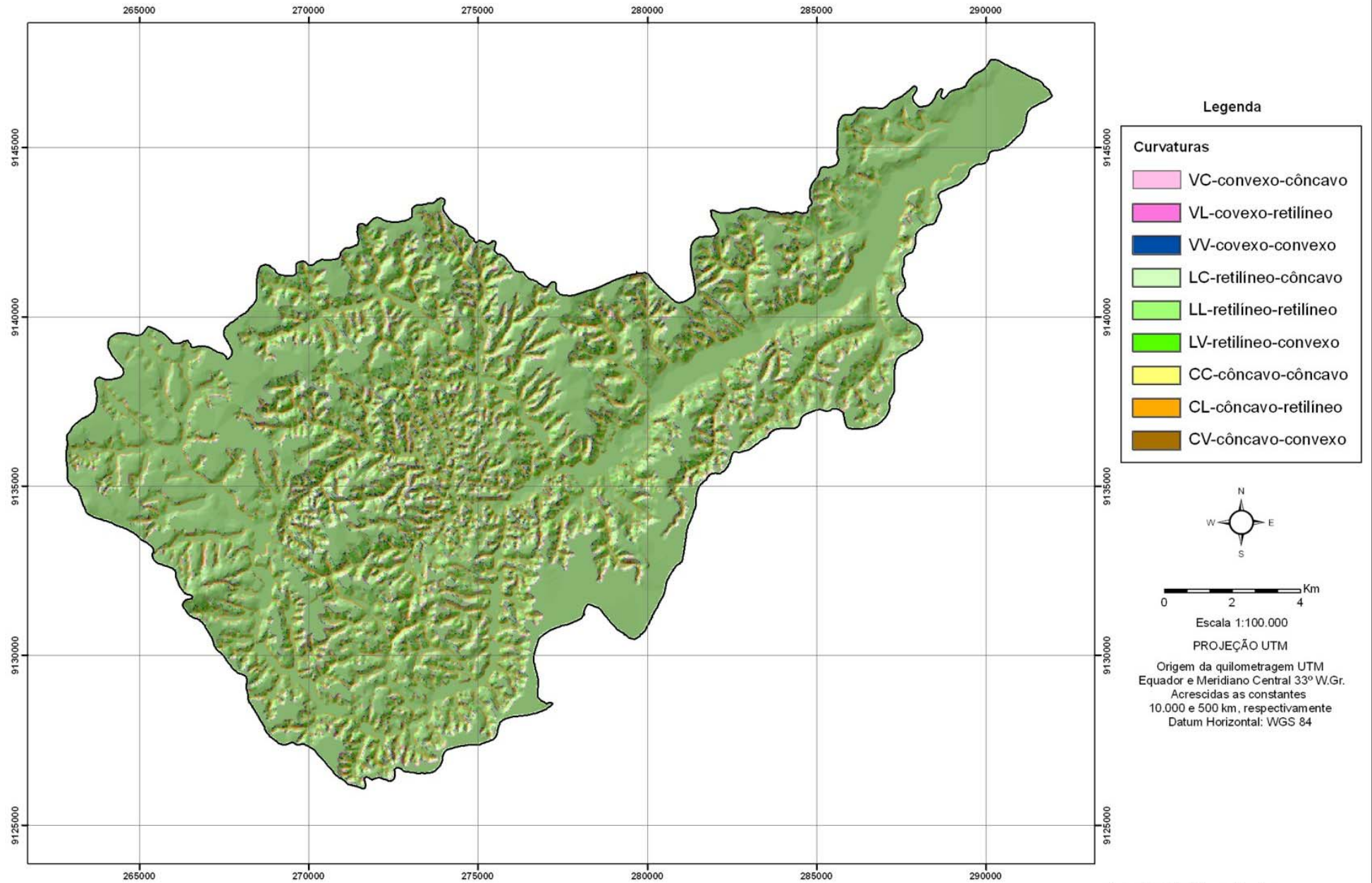
A BHRB compreende uma área drenada de 265 Km², perímetro de 102,3 Km, comprimento axial de 29,7 Km, com o comprimento total dos canais medindo 1.018 Km de extensão. A área total é compartimentada em três sub-bacias: sub-bacia do rio Catucá, com 129 Km² e 532 Km de canais, que escoam as águas da porção WSW da bacia; sub-bacia do rio

Figura 4.27: Mapa de Declividade da Bacia Hidrográfica do Rio Botafogo - PE



Autor: Rogério Valença Ferreira
Orientador: Prof. Dr. Virgínio Henrique Neumann
Co-Orientador: Profª Drª Ana Lúcia B. Candeias

Figura 4.28: Mapa de Curvaturas da Bacia Hidrográfica do Rio Botafogo - PE



Autor: Rogério Valença Ferreira
Orientador: Prof. Dr. Virgínio Henrique Neumann
Co-Orientador: Profª Drª Ana Lúcia B. Candeias

Cumbe, com 39 Km² e 174 Km de canais, que drena a parte NNW da bacia; e sub-bacia do rio Botafogo, no curso inferior, com 97 Km² e 302 Km de canais, que drena a porção NE da bacia, além de receber os afluentes das sub-bacias descritas acima. O conjunto das sub-bacias está representado no mapa hidrográfico (Figura 4.29)

A análise morfométrica da BHRB foi baseada na metodologia constante no trabalho de Villela & Mattos (1975), onde foram definidos os seguintes parâmetros: coeficiente de compacidade, fator de forma, índice de circularidade, densidade de drenagem e ordem dos cursos d'água, que são descritos a seguir:

O coeficiente de compacidade determina a relação da forma da bacia com um círculo. É dado pela relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual à da bacia. O coeficiente é um número adimensional que varia com a forma da bacia, qualquer que seja o seu tamanho. Quanto mais irregular for a figura geométrica que representa a bacia, maior será o coeficiente de compacidade. Valores que tendem para a unidade correspondem a uma bacia de forma mais circular; já os valores que se afastam da unidade, representam uma bacia de forma mais alongada. As bacias de forma circular são mais vulneráveis a enchentes, enquanto as de forma alongada são menos vulneráveis. O valor do coeficiente de compacidade foi determinado com base na seguinte equação:

$$Kc = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (1)$$

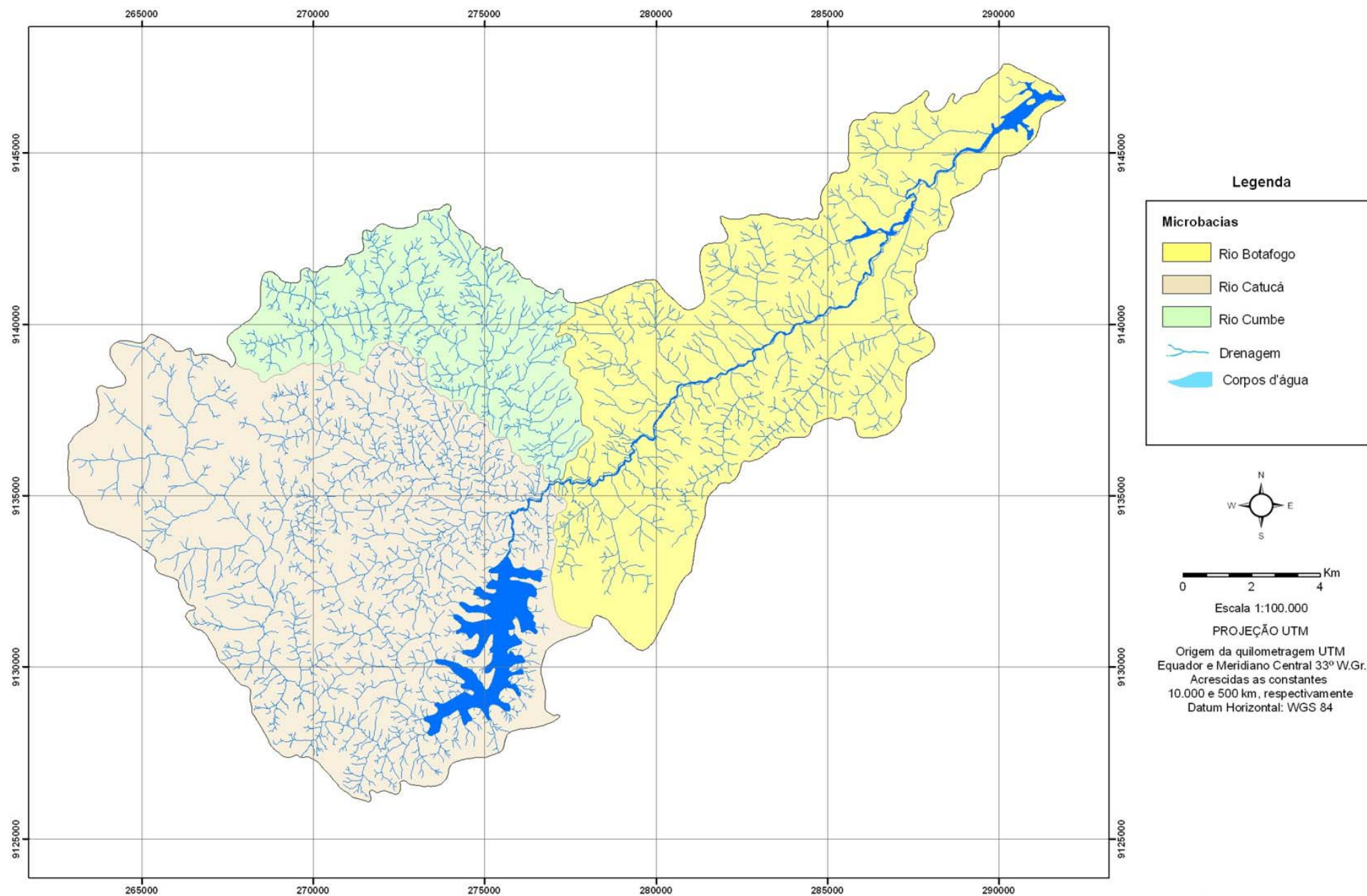
Onde: Kc é o coeficiente de compacidade; P é o perímetro da bacia; e A é área de drenagem.

O fator de forma determina a relação da forma geométrica da bacia com a de um retângulo, correspondendo à razão entre a largura média e o comprimento axial da bacia, que vai do exutório ao ponto mais extremo. O contorno da bacia, bem como o formato do sistema de drenagem, pode ser influenciado pela geologia. Podem atuar também sobre o feitiço, alguns processos hidrológicos ou sobre o comportamento hidrológico da bacia. Uma bacia com um fator de forma baixo é menos sujeita as enchentes que outra de mesmo tamanho, porém com fator de forma maior. O fator de forma (F) foi determinado, utilizando-se a seguinte equação:

$$F = \frac{A}{L^2} \quad (2)$$

Onde: F é o fator de forma; A é área de drenagem; e L o comprimento do eixo da bacia.

Figura 4.29: Mapa Hidrográfico da Bacia do Rio Botafogo - PE



Autor: Rogério Valença Ferreira
Orientador: Prof. Dr. Virgínio Henrique Neumann
Co-Orientador: Profª Drª Ana Lúcia B. Candeias

Assim como o coeficiente de compacidade, o índice de circularidade tende para a unidade quando a bacia se aproxima da forma circular e diminui à medida que a forma se torna alongada. Para tanto, utilizou-se a seguinte equação:

$$IC = \frac{12,57 * A}{P^2} \quad (3)$$

Onde: IC é o índice de circularidade; A é a área de drenagem; e P o perímetro da bacia.

O índice que exprime a relação entre o comprimento total dos cursos de água de uma bacia (perenes e intermitentes) e a área total da mesma, é denominado de densidade de drenagem. Ele dá indicação da eficiência da drenagem natural de uma bacia, e consequentemente a tendência para a ocorrência de cheias.

A densidade de drenagem da BHRB foi calculada utilizando-se a equação:

$$Dd = \frac{L_t}{A} \quad (4)$$

Onde: Dd é a densidade de drenagem; L_t é o comprimento total de todos os canais; e A a área de drenagem.

O ordenamento da drenagem da BHRB foi feito seguindo os critérios definidos por Strahler (1957), onde os canais sem tributários (cabeceiras de drenagem) são denominados de primeira ordem. Os canais de segunda ordem são resultados da confluência de dois canais de primeira ordem. Já os canais de terceira ordem resultam da confluência de dois canais de segunda ordem, podendo receber canais de segunda e primeira ordens, e assim por diante.

Tendo como base os resultados obtidos com a aplicação das formulas acima descritas, pode-se afirmar que a BHRB tem baixa suscetibilidade à ocorrência de cheias em condições normais de precipitação, devido ao coeficiente de compacidade apresentar um valor afastado da unidade (1,759), e também ao seu fator de forma resultar num valor pequeno (0,3). Portanto, os resultados indicam que a bacia tem uma forma alongada, significando um elevado índice de escoamento. Outro dado que vem corroborar com a forma alongada da bacia é o índice de circularidade obtido, que foi de 0,318.

Para a BHRB foi calculada uma densidade de drenagem de 3,841 km/km², indicando assim, que a bacia em estudo possui alta capacidade de drenagem. Segundo Villela & Mattos

(1975), esse valor pode variar num intervalo de 0,5 km/km², para bacias com drenagem incipiente, a 3,5 km/km², ou maiores, para bacias bem drenadas. Tal fato pode ser atribuído às condições litológicas aflorantes na área, onde predomina o embasamento cristalino (Complexos Gnáissico-Migmatítico e Vertentes), o que induz a um maior escoamento superficial, resultando num relevo bastante dissecado.

O ordenamento da rede de drenagem da BHRB, teve como resultado uma bacia de sexta ordem, com os canais de 1ª ordem representando as cabeceiras de drenagem e o de 6ª ordem, o rio principal. Indica, portanto, um sistema de drenagem muito ramificado.

O padrão de drenagem da bacia é subparalelo nos canais maiores que entalham os relevos tabulares da borda, e dendrítico na área colinosa que domina a área central e cabeceiras de drenagem, com direção do curso principal SW-NE acompanhando a direção do maior falhamento observado na área.

A sub-bacia do rio Catucá, principal afluente da bacia do Botafogo, tem as nascentes em torno de 200 m de altitude, na parte oeste da área. Tem dois sistemas de drenagem, um que drena na direção NW-SE e depois toma o rumo SW-NE, indicando possível controle estrutural, com padrão de drenagem predominantemente subparalelo, e fundo de vales planos; e um outro com direção W-E, cujo padrão de drenagem é dendrítico, refletindo a litologia do embasamento cristalino, com fundos de vales incisos. Nessa sub-bacia, está localizada a barragem do Botafogo, reservatório que abastece a parte norte da Região Metropolitana do Recife.

A sub-bacia do rio Cumbe, que drena a parte noroeste da BHRB, tem as nascentes em torno de 100 m de altitude, tomando primeiro a direção SW-NE e depois a direção NW-SE. O padrão de drenagem é subparalelo, com fundo de vales incisos no curso superior, e fundo planos no inferior.

Olhando o mapa hidrográfico, percebe-se que os cursos dos rios Catucá e Cumbe têm formas circulares (meia-lua), contornando a área mais dissecada da bacia, formando no seu encontro a sub-bacia do rio Botafogo, curso inferior. Essa sub-bacia está caracterizada por um vale de fundo plano, que vai se ampliando a jusante, drenando cursos com padrão subparalelo e apresentando no canal principal um padrão meandrante.

4.2.8 Mapa imagem Landsat TM+

A composição TM 4 5 7 da imagem Landsat (Figura 4.30), se mostrou a mais indicada para fins de interpretação do relevo da área de estudo. A rede de drenagem foi traçada inicialmente com a utilização da banda 7, onde o canal principal aparece em tonalidade escura. A rede secundária foi traçada com a superposição da banda 5 ao relevo sombreado, possibilitando a identificação das cabeceiras de drenagem (1ª ordem) e os canais subseqüentes. A identificação dos padrões de textura é feita, utilizando-se a banda 7 e separação das unidades geomorfológicas homogêneas, com a composição das bandas 4, 5 e 7, associada ao relevo sombreado.

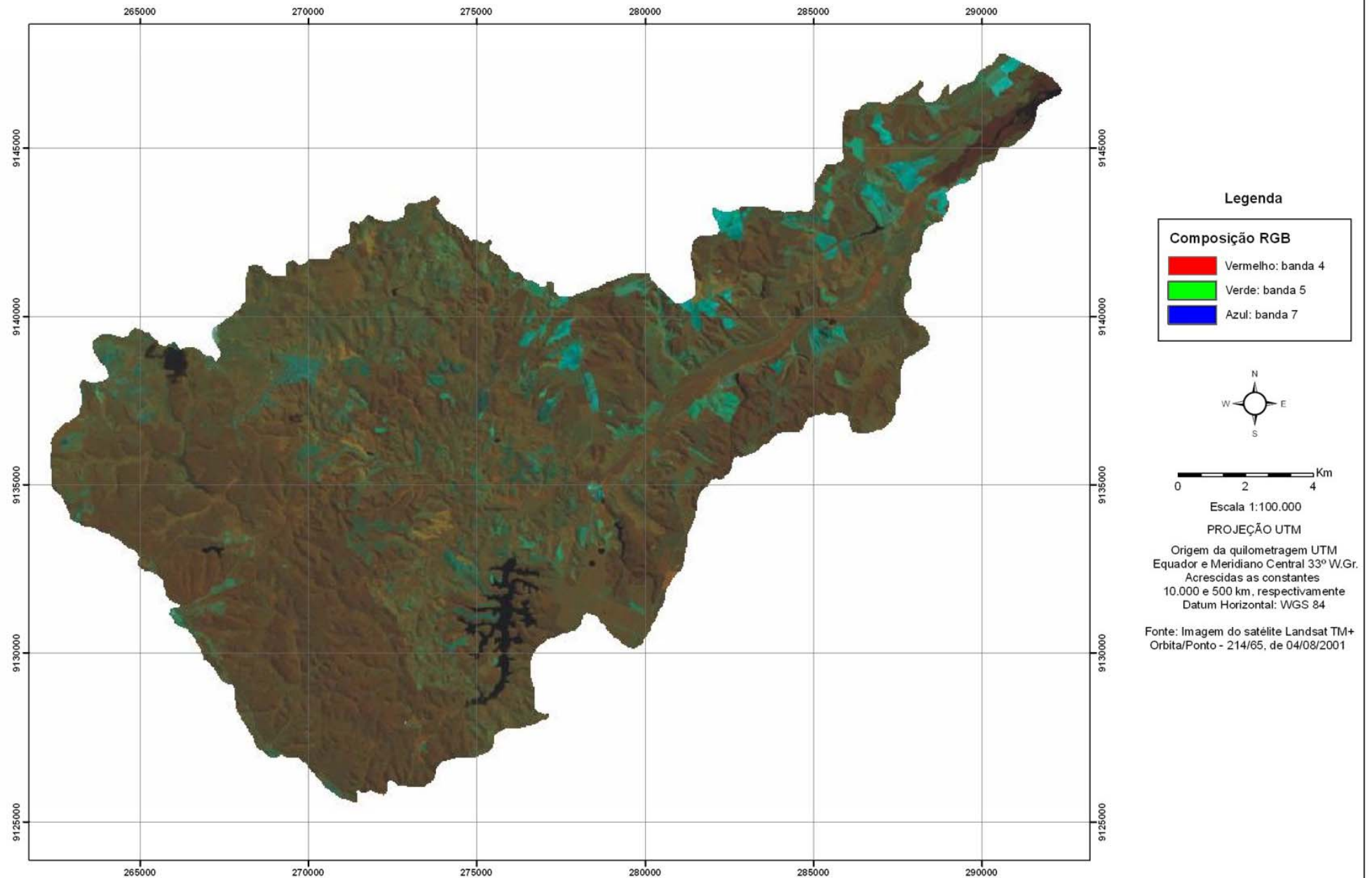
4.2.9 Mapa de uso do solo

A classificação é o processo de extração de informações em imagens para reconhecer padrões e objetos homogêneos. Os classificadores *pixel a pixel* utilizam apenas a informação espectral isoladamente de cada *pixel* para achar regiões homogêneas. O resultado final de um processo de classificação é uma imagem digital que constitui um mapa de pixels classificados, representados por cores.

Para a elaboração do mapa de uso do solo da BHRB (Figura 4.31), foi utilizada a classificação máxima verossimilhança – MAXVER (*Maximum likelihood*) que considera a ponderação das distâncias entre médias dos níveis digitais das classes, utilizando parâmetros estatísticos. Para que a classificação por máxima verossimilhança seja precisa o suficiente, é necessário um número razoavelmente elevado de *pixels*, para cada conjunto de treinamento. Os conjuntos de treinamento definem o diagrama de dispersão das classes e suas distribuições de probabilidade, considerando a distribuição de probabilidade normal para cada classe do treinamento (Mather, 1999)

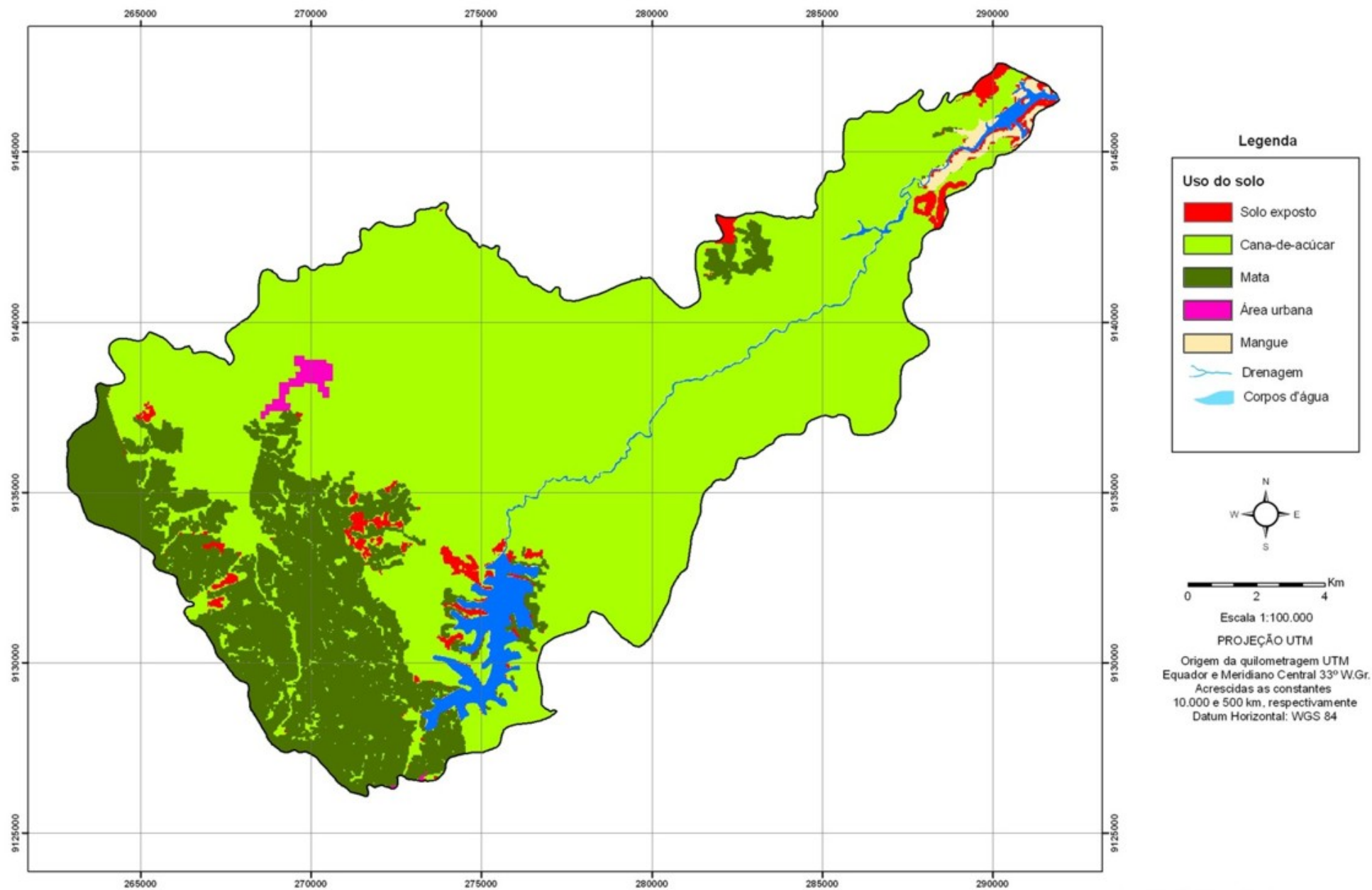
Como resultado da classificação, obteve-se as seguintes classes de uso do solo: solo exposto, representado por áreas desprovidas de cobertura vegetal; cana-de-açúcar, que corresponde ao cultivo predominante na área da bacia; mata, que diz respeito a uma grande cobertura de vegetação nativa preservada na parte sudoeste da área da bacia e pequenas áreas no setor nordeste; área urbana, que corresponde a cidade de Araçoiaba; mangue, representando uma área com este tipo de vegetação na região do exutório da bacia.

Figura 4.30: Mapa Imagem Landsat TM+ da Bacia Hidrográfica do Rio Botafogo



Autor: Rogério Valença Ferreira
Orientador: Prof. Dr. Virgínio Henrique Neumann
Co-Orientador: Profª Drª Ana Lúcia B. Candeias

Figura 4.31: Mapa de Uso do Solo da Bacia Hidrográfica do Rio Botafogo - PE



Autor: Rogério Valença Ferreira
Orientador: Prof. Dr. Virgínio Henrique Neumann
Co-Orientador: Profª Drª Ana Lúcia B. Candeias

4.2.10 Mapa de solos

O mapa de solos (Figura 4.32) foi compilado de EMBRAPA (2000), folhas Itamaracá e Limoeiro (1:100.000), em formato vetorial, sendo posteriormente transformado em *grid* (imagem raster), o qual foi utilizado como um dos fatores para a elaboração do mapa do potencial de vulnerabilidade a erosão, descrito adiante.

4.3 MAPA GEOMORFOLÓGICO E DE PROCESSOS EROSIVOS

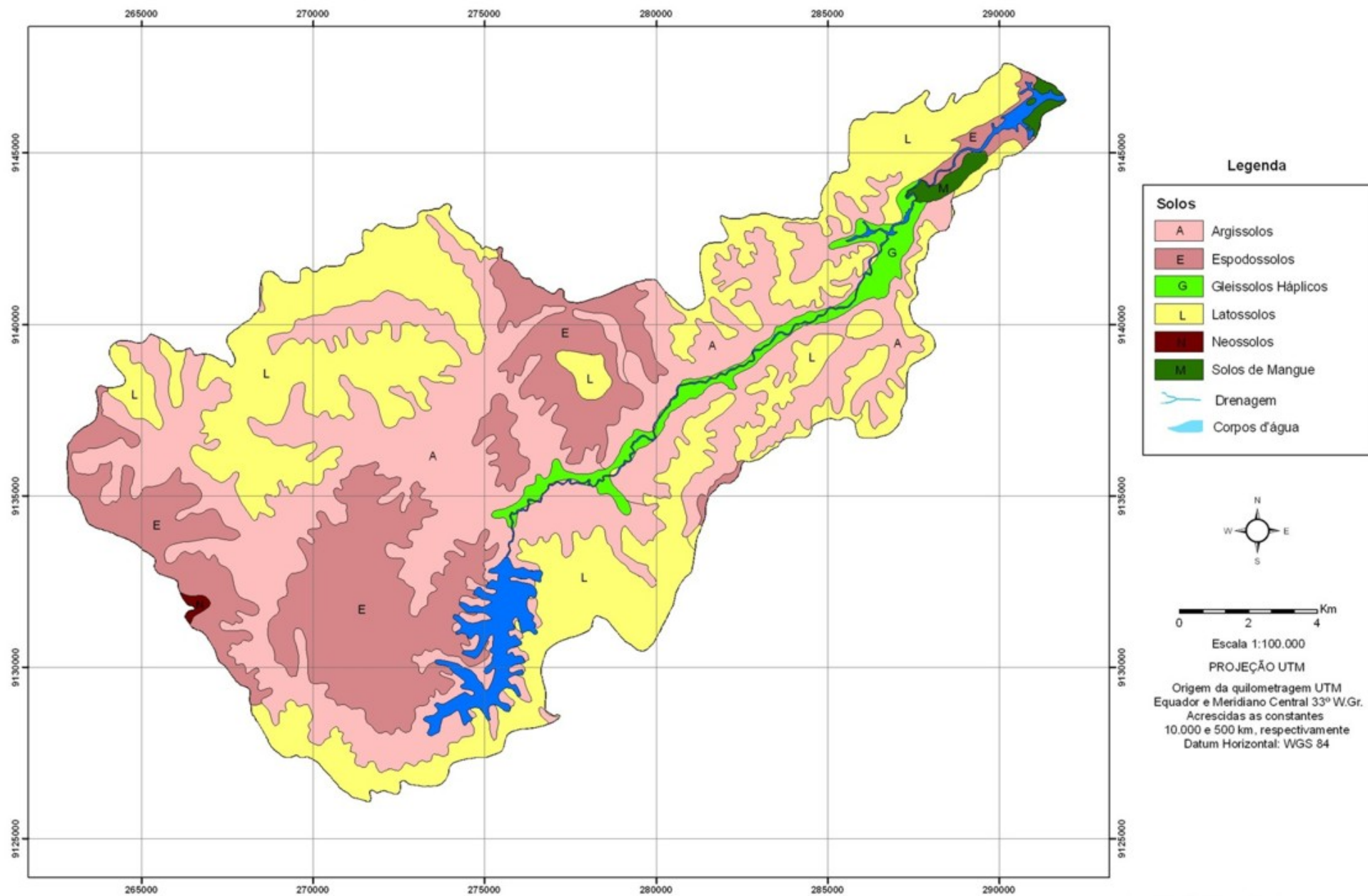
4.3.1 Compartimentação do relevo

Utilizando técnicas de geoprocessamento, fotointerpretação e controle de campo, o relevo da BHRB foi ordenado conforme a taxonomia proposta por Ross (1992), sendo subdividido em cinco tipos de formas de relevo de degradação: colinas em rochas cristalinas; tabuleiros em sedimentos da Unidade Infra-Barreiras; tabuleiros em sedimentos da Formação Barreiras; vertentes; vales incisos; três tipos de formas de agradação: vales de fundo plano; planícies fluviais; e planícies intertidais (mangues) (4º taxon); nove tipos de formas de vertentes, representadas pela combinação das formas côncavas, convexas e retilíneas (5º taxon), apresentado em mapa específico (Figura 4.28); e quatro formas de processos erosivos: ravinas, voçorocas, deslizamentos e cicatriz erosiva por retirada de material (6º taxon). Na Tabela 4.3 estão representadas as áreas de abrangência de cada unidade mapeada. A seguir, estão descritos os compartimentos de relevo obtidos para o mapa geomorfológico e de processos erosivos (AnexoIII).

Tabela 4.14 – Formas de relevo e áreas de abrangência

	Formas de Relevo	Área (Km²)	%
Relevos de Degradação	Colinas em rochas cristalinas	2,6	1
	Tb em sedimentos Unidade Infra-Barreiras	45,0	17
	Tb em sedimentos Formação Barreiras	11,8	4
	Vertentes	165,9	63
	Vales incisos	2,9	1
	Vales de fundo plano	23,2	9
Relevos de Agradação	Planícies fluviais	10,5	4
	Planícies intertidais (mangues)	3,6	1
Totais		265	100

Figura 4.32: Mapa de Solos da Bacia Hidrográfica do Rio Botafogo - PE



Fonte: modificado de EMBRAPA (2000)

Autor: Rogério Valença Ferreira
Orientador: Prof. Dr. Virgínio Henrique Neumann
Co-Orientador: Profª Drª Ana Lúcia B. Candeias

4.3.1.1 Formas de relevo de degradação

4.3.1.1.1 Colinas em rochas cristalinas

Essa unidade apresenta colinas individualizadas de topos plano-arredondados a aguçados, com vertentes convexo-côncavas de declives médios (6 a 20%), com cabeceiras de drenagem em anfiteatro, feições típicas de relevo cristalino. Correspondem geologicamente ao embasamento cristalino (Complexos Gnáissico Migmatítico e Vertentes), apresentando predominantemente processos de intemperismo químico. São formas que foram individualizadas por ação intensa da drenagem, provocando o recuo das vertentes e pelo escoamento superficial, devido à ação do clima úmido atuante na área (Foto 4.1).



Foto 4.1 Colinas em rochas cristalinas, com topos convexos
(Coord: 279.940 E – 9.136.201 N)

No perfil geomorfológico A-A', as colinas individualizadas são, provavelmente, resultado de falhamentos no embasamento cristalino e estão localizadas na região central da bacia, numa faixa de transição para a planície fluvial no vale principal do rio Botafogo, que aparece como maior receptor dos sedimentos provenientes desta unidade.

Os solos predominantes na área são os argissolos, aparecendo secundariamente espodosolos. Nas vertentes dessa área (tratadas no presente trabalho, como uma unidade geomorfológica, devido a sua importância na compreensão dos processos erosivos) ocorrem processos de formação de rampas de colúvio com extensões que variam em dezenas de metros. Segundo Mabesoone & Silva (1989), nessas vertentes dominam os processos de

rastejamento e coluvionamento. A vegetação predominante é a cultura da cana-de-açúcar, com áreas degradadas por processos erosivos provocados pelo uso intensivo do solo, onde podem ser observadas áreas com voçorocas.

4.3.1.1.2 Tabuleiros em sedimentos da Unidade Infra-Barreiras

Essa unidade foi mapeada com base no trabalho de campo, onde se observou que as superfícies dos topos tabulares que se encontram na porção central e mais a oeste da bacia, com cotas acima de 100 m, apresentam uma litologia semelhante à descrita por Kegel (1957), “camadas de argila ou areia caolínica, por vezes com seixos de quartzo”, resultado do retrabalhamento, transporte e redeposição, que formam estratos de pequena espessura com visível discordância em cima do embasamento cristalino. Kegel (1957) denominou esses estratos que antecedem a deposição da Formação Barreiras, de Formação Infra-Barreiras. A presença da Unidade Infra-Barreiras nos topos tabulares acima descritos, parece indicar que não houve deposição da Formação Barreiras em cotas superiores a 100 m nessa área, conforme analisado no item 4.1 deste trabalho.

Essas superfícies tabulares, que atingem cotas entre 100 e 250 m, na quebra de relevo fazem contato com a unidade Vertentes. Nos topos tabulares a vegetação nativa foi substituída por cultivos, predominantemente de cana-de-açúcar, com exceção da porção sudoeste, onde se encontra uma considerável reserva de Mata Atlântica que serve de área de proteção de mananciais. Representam 17% da área da bacia, com uma extensão de 45 Km² (Foto 4.2).



Foto 4.2 – Tabuleiros em sedimentos da Unidade Infra-Barreiras
(Coord: 277.837 E – 9.131.944 N)

4.3.1.1.3 Tabuleiros em sedimentos da Formação Barreiras

Os tabuleiros em sedimentos da Formação Barreiras, foram delimitados com base nas superfícies planas ou quase planas dos interflúvios. Aham-se limitados pela unidade denominada de vertentes, que está localizada entre os tabuleiros, os vales de fundo plano e incisos e as planícies aluviais. Apresentam-se com uma forma alongada na direção geral SW-NE, obedecendo a direção geral da rede de drenagem, que forma um padrão subparalelo, consequência de provável controle estrutural. Os vales resultantes dessa drenagem, apresentam-se bem encaixados, com vertentes abruptas. As altitudes desses topos tabulares variam de cotas em torno de 100 m, na parte central da bacia, até cotas em torno de 40 m, a este.

Geologicamente, essa unidade representa a Formação Barreiras, constituída de sedimentos plio-pleistocênicos areno-argilosos, pouco consolidados, de coloração variegada, com níveis lateritizados e caulínicos, encontrando-se bastante dissecada na área. Apresentam regolito com espessura variando de 2 a 6 m, onde estão desenvolvidos latossolos bem drenados. Nos topos dos tabuleiros é cultivada a cana-de-açúcar. (Foto 4.3).



Foto 4.3 Tabuleiros em sedimentos da Formação Barreiras
(Coord: 284.839 E – 9.139.936 N)

4.3.1.1.4 Vertentes

Na área de estudo as vertentes retratam uma evolução influenciada principalmente pela ação climática. A litologia constitutiva é dos sedimentos da Formação Barreiras, onde na área leste, as vertentes se desenvolvem a partir dos topos tabulares, sendo na área oeste, desenvolvidas a partir do embasamento cristalino.

Essa unidade vai da quebra de relevo dos tabuleiros até os limites com os vales de fundos planos e incisos, as planícies fluviais e as colinas em rochas do embasamento cristalino. Os declives suavizados predominam nas áreas que estão voltadas para as planícies aluviais dos principais cursos d'água da área, onde os vales são abertos e de fundo plano. Nessas áreas, observa-se a ocorrência de rampas de colúvio. Bigarella & Mousinho(1965), introduziram o termo usado para a descrição de segmentos suavizados das vertentes, formados por acumulação de detritos provenientes do topo ou parte superior da vertente. Meis & Machado (1975) *apud* Moura & Silva (1998), ampliaram o termo rampa de colúvio, sendo definidos segmentos erosivos e deposicionais.

As vertentes foram classificadas quanto as suas formas, pela combinação das curvaturas dos perfis e das superfícies (Figura 1.2), resultando em nove arranjos geométricos das formas convexas, retilíneas e côncavas, apresentadas no mapa de curvaturas da Figura 4.28, cujo detalhamento pode ser visto na Figura 4.33. A unidade vertentes é a maior em extensão da bacia, ocupando 63% de sua área, com 165,9 Km² (Foto 4.4).

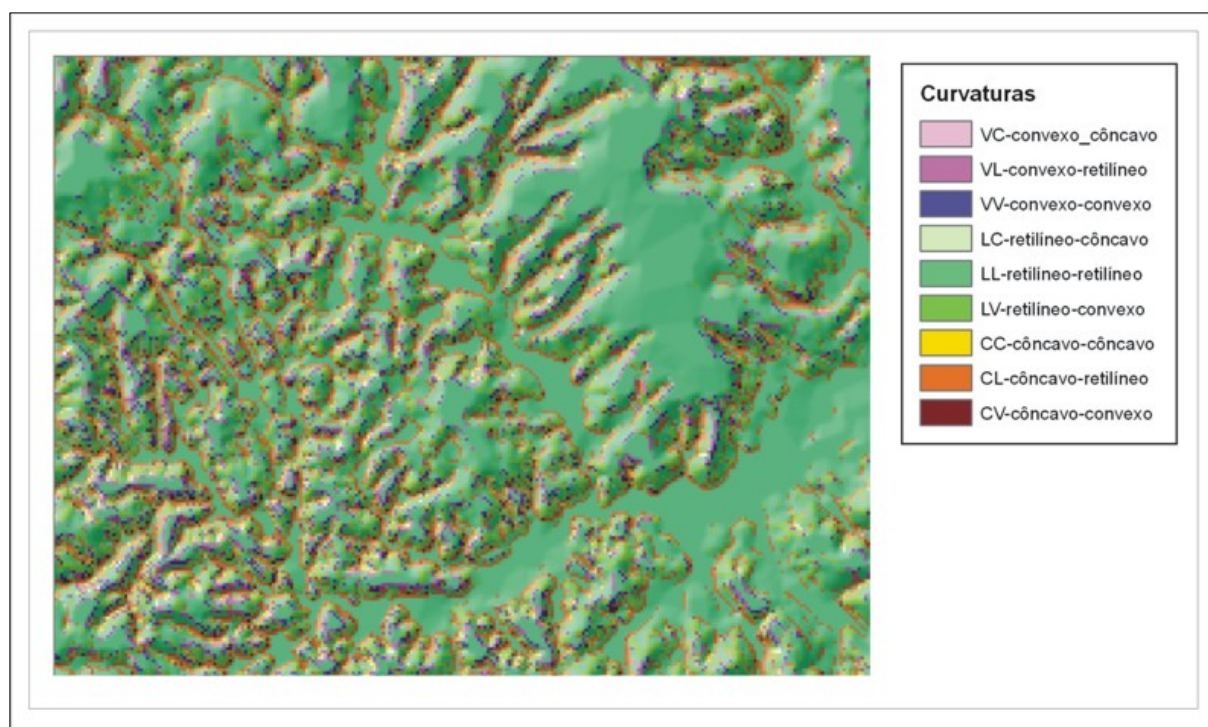


Figura 4.33 Classificação das vertentes quanto às formas

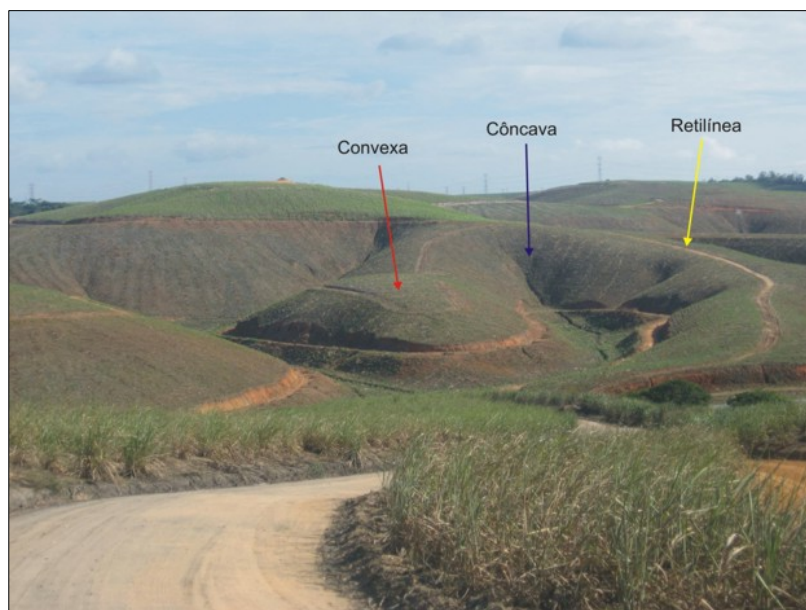


Foto 4.4 – Formas das vertentes (Coord: 277.276 E – 9.135.622 N)

4.3.1.1.5 Vales incisos

Essa unidade ocorre em sua grande maioria, na parte central da área, coincidindo com a unidade de colinas em rochas do embasamento cristalino, formando vales incisos em forma de “V” com baixa acumulação de sedimentos, devido a maior energia utilizada no transporte, provocada pelo gradiente altimétrico. Ocupam pequena extensão da bacia, com apenas 1% da área (Foto 4.5).



Foto 4.5 Vale inciso em terrenos cristalinos.
(Coord: 271.396 E – 9.136.724 N)

4.3.1.2 Formas de relevo de agradação

4.3.1.2.1 Vales de fundo plano

Essa unidade é encontrada ao longo dos principais canais fluviais da bacia, onde os rios têm maior competência em dissecar e aprofundar seu leito, produzindo vales mais entalhados e escavados sobre os tabuleiros da Formação Barreiras. Essa unidade pode ser caracterizada por vales profundos e escavados, por vezes escarpados ou recobertos por sedimentos fluviais.

Os vales apresentam vertentes com declividades médias, em sua maioria, entre 6-20 % e forte entre 20– 505 %, com desnivelamentos da ordem de 30 a 50m Os vales de fundo plano ocupam uma área de 23,2 Km², representando 9% da bacia do rio botafogo (Foto 4.6).



Foto 4.6 Vale de fundo plano. (Coord: 276.959 E – 9.135.286 N)

4.3.1.2.2 Planícies fluviais

Essa unidade corresponde às superfícies planas que ocorrem ao longo dos vales dos rios Botafogo e Cumbe, onde a declividade é muito baixa (0-3%). Está limitada pela unidade vertentes, dentro dos vales ao longo da bacia, e pela planície intertidal na área estuarina. As planícies fluviais consistem de depósitos arenosos ou argiloarenosos. No vale do rio Botafogo a planície fluvial encontra sua maior extensão. O canal principal é meandrante no seu curso inferior, refletindo um gradiente baixo. As planícies fluviais ocupam 4%, que corresponde a 10,5 Km² da área da bacia (Foto 4.7).



Foto 4.7 Planície fluvial do rio Botafogo (Coord: 284.166 E – 9.139.824 N)

4.3.1.2.3 Planícies intertidais (mangues)

Essa unidade compreende um conjunto de formas de relevo de agradação geradas durante o Pleistoceno superior e o Holoceno por uma interação de processos fluviais, lagunares e marinhos determinada pelos ciclos transgressivos-regressivos atuantes na costa brasileira (Suguio et al., 1985). Localiza-se na área do exutório da



Foto 4.8 Planície intertidal (manguezais) em área próxima ao exutório da BHRB.
(Coord: 289.357 E – 9.144.641 N)

bacia, fazendo parte da área estuarina do canal de Santa Cruz, que recebe as águas de vários rios da parte norte da Região Metropolitana do Recife. A unidade planícies flúvio-marinhas representa apenas 1% da área da bacia, com uma extensão de 3,6 Km² (Foto 4.8).

4.3.2 Perfil geomorfológico

O perfil geomorfológico A-A' do mapa geomorfológico e de processos erosivos (Anexo III), exhibe as seguintes feições:

Na porção oeste da bacia hidrográfica o relevo é modulado sobre o manto de intemperismo das rochas do embasamento cristalino, onde nos topos tabulares ocorrem delgadas camadas de sedimentos inconsolidados atribuídos a Unidade Infra-Barreiras, situando-se preferencialmente em cotas em torno de 150 m.

No trecho intermediário do perfil, observam-se cotas mais baixas, entre 50 e 150 m, onde se sobressaem colinas isoladas de topos plano-areondados e encostas convexas.

A partir do rio Botafogo para leste, observa-se os sedimentos da Formação Barreiras, que repousam discordantemente sobre as rochas sedimentares subjacentes da Bacia Paraíba. Esta unidade plio-pleistocênica, exhibe relevo tabular dissecado, com amplitude altimétrica de 40 a 100 m.

4.3.3 Morfogênese

Mabesoone & Castro (1975), em trabalho sobre a evolução do relevo do Nordeste brasileiro, reconstituem a história geomorfológica da região desde o Jurássico Médio-Inferior até o presente, integrando a visão de diversos autores. Os referidos autores dividem a evolução do relevo em quatro fases de aplainamento:

“(1) aplainamento geral da região, durante o Jurássico inferior e Médio, antes do início da Reativação Wealdeniana, notável como discordância regional, chamado de Superfície Gondwana;

(2) aplainamento desenvolvido entre o Albiano e Oligoceno, durante um levantamento epirogênico lento, com o final abaulamento e deposição de sedimentos correlativos, chamado de Superfície Sulamericana, em dois níveis: Cariris Velhos e Borborema;

(3) dissecação da Superfície Sulamericana e elaboração da superfície geral da região, exumando grandes áreas da Superfície Gondwana, durante o Pleistoceno

Inferior, chamada de Superfície Sertaneja no interior e Superfície dos Tabuleiros na costa;

(4) encaixamento de um novo ciclo, polifásico, Ciclo Paraguaçu, nesta superfície mais jovem, com duas fases de pedimentos e terraços.”.

A evolução do modelado da área pode ser reconstituída no Neógeno (Plio-Pleistoceno), em decorrência do levantamento epirogênico da Superfície Sulamericana, quando ocorreu a deposição de sedimentos continentais correspondentes ao nível de aplainamento que King (1956) denominou de Superfície Velhas e Bigarella & Ab’Sáber (1964) denominaram de Pd1. Constitui, portanto, a terceira fase de aplainamento acima referida, formando assim, a Superfície dos Tabuleiros que ocorre na área de estudo, e que corresponde à Superfície Sertaneja definida por Ab’Sáber (1969) *apud* Mabesoone & Castro (1975). A reconstituição da evolução do relevo a partir desse período, está condicionada ao fato de ter sido ali que ocorreu a deposição da Formação Barreiras, que constitui uma das unidades que caracterizam o relevo da área leste da bacia hidrográfica do Botafogo.

Após a deposição dos sedimentos da Formação Barreiras, oriundos da dissecação do manto de alteração formado até o Mioceno, sob condições de clima úmido, e exumados sob condições de clima semi-árido, segue-se um novo ciclo, denominado por Mabesoone & Castro (1975) de Ciclo Polifásico Paraguaçu, baseado nas idéias de King (1956), que seria o último estágio de desenvolvimento do relevo nordestino, que corresponde às fases de pedimentação denominadas P2 e P1 de Bigarella & Ab’Sáber (1964) *apud* Mabesoone & Castro (1975).

O Ciclo Polifásico Paraguaçu está inserido na superfície dos tabuleiros litorâneos e na Superfície Sertaneja, no interior do continente. No litoral estão configurados por terraços fluviais e costeiros com patamares de cotas entre 15-16 m e 7-8 m, os mais antigos, e 2-3 m os mais recentes. Na área de estudo estão presentes os patamares mais antigos localizados nos vales fluviais e planície flúvio-marinha.

Do ponto de vista estrutural, há indicações de que na área de estudo tenha havido reativações tectônicas durante o Neógeno (neotectônica). O comportamento paralelo a subparalelo da rede de drenagem representada pelos alinhamentos dos principais rios da área (SW-NE), parece estar associada à existência de falhamentos que foram recentemente reativados, quando então, a rede de drenagem se instalou contribuindo para uma intensa dissecação do relevo.

4.3.4 Processos erosivos

Os processos erosivos que ocorrem na bacia hidrográfica do Botafogo, estão localizados em sua grande maioria na unidade vertentes e foram acentuados, principalmente pela atividade antrópica. Nas áreas onde foi retirada a vegetação natural para o cultivo da cana de açúcar, foram levantadas em trabalho de campo a ocorrência de 93 ravinas (Foto 4.9) e 7 voçorocas (Foto 4.10). As ravinas são processos erosivos provocados pelo escoamento superficial concentrado, face à retirada da cobertura vegetal do solo, onde aparecem pequenos sulcos escavados pelo fluxo de água. Por sua vez, a formação de voçorocas é devido ao escoamento subsuperficial intenso, através de dutos ou túneis, que provocam o colapso da superfície localizada na parte mais superior. Foram registrados 37 pontos de deslizamentos (Foto 4.11) nas vertentes mais abruptas desprovidas de vegetação, principalmente nos cortes das estradas de serviço que servem de acesso aos canaviais.

Outro processo erosivo presente na área da bacia, são as cicatrizes de erosão por retirada de material, num total de 6 pontos levantados (Foto 4.12). Nas margens da rodovia PE-48, que liga a BR-101 à cidade de Araçoiaba, estão localizadas cicatrizes erosivas por retiradas de material areno-argiloso, provalmente para uso em aterros. Na porção oeste da bacia, às margens da estrada que liga Araçoiaba a Aldeia, em área de preservação de mananciais, estão localizadas tais cicatrizes por retiradas de areias quatzosas, com uso inclusive de carregadeiras mecânicas, caracterizando uma danosa extração clandestina de material para a construção civil.



Foto 4.9 Ravina desenvolvida sobre sedimentos da F. Barreiras.
(Coord: 270.368 E – 9.138.610 N)



Foto 4.10 Voçoroca de grande porte em sedimentos da F. Barreiras
(Coord: 286.258 E – 9.142.027 N)



Foto 4.11 Deslizamento em vertente das colinas no cristalino, provocado por corte de estrada na base da encosta. (Coord: 271.563 E – 9.135.604 N)



Foto 4.12 Cicatriz erosiva por retirada de material. Margem da estrada que liga Araçoiaba a Aldeia. (Coord: 266.409 E – 9.131.869 N)

4.3.4.1 Mapa do potencial de vulnerabilidade a erosão

O mapa do potencial de vulnerabilidade a erosão, foi elaborado a partir da sobreposição dos fatores que influenciam a erosão: geologia, solos, isoietas, declividade, curvaturas das vertentes e uso do solo, aos quais foram atribuídos os pesos 1, 2 e 3 , para classificar o risco potencial de vulnerabilidade a erosão de cada unidade dos referidos mapas em baixo, médio e alto, respectivamente. Os pesos atribuídos foram baseados em Crepani *et al* (2001), utilizando a metodologia de Pedraza (1996).

Para o fator geologia os pesos atribuídos a cada unidade foram: sedimentos de manguesal (peso 1); Complexo Gnáissico Migmatítico e Formação Beberibe (2); Complexo Vertentes, Formação Barreiras e sedimentos aluvionares (3).

Ao fator solos, os pesos atribuídos a cada unidade foram: solos de mangue e latossolos (1); argissolos e espodossolos (2); gleissolos ápicos e neossolos (3).

Já ao fator clima, foi atribuído peso 2 para toda a bacia, que tem índice pluviométrico médio anual de 1800 mm, o que não afeta o resultado da superposição, por se tratar de um valor constante.

Às classes de declividade os pesos atribuídos foram: 0-2 e 2-6 (1); 6-20 (2); 20-50 e > 50 (3).

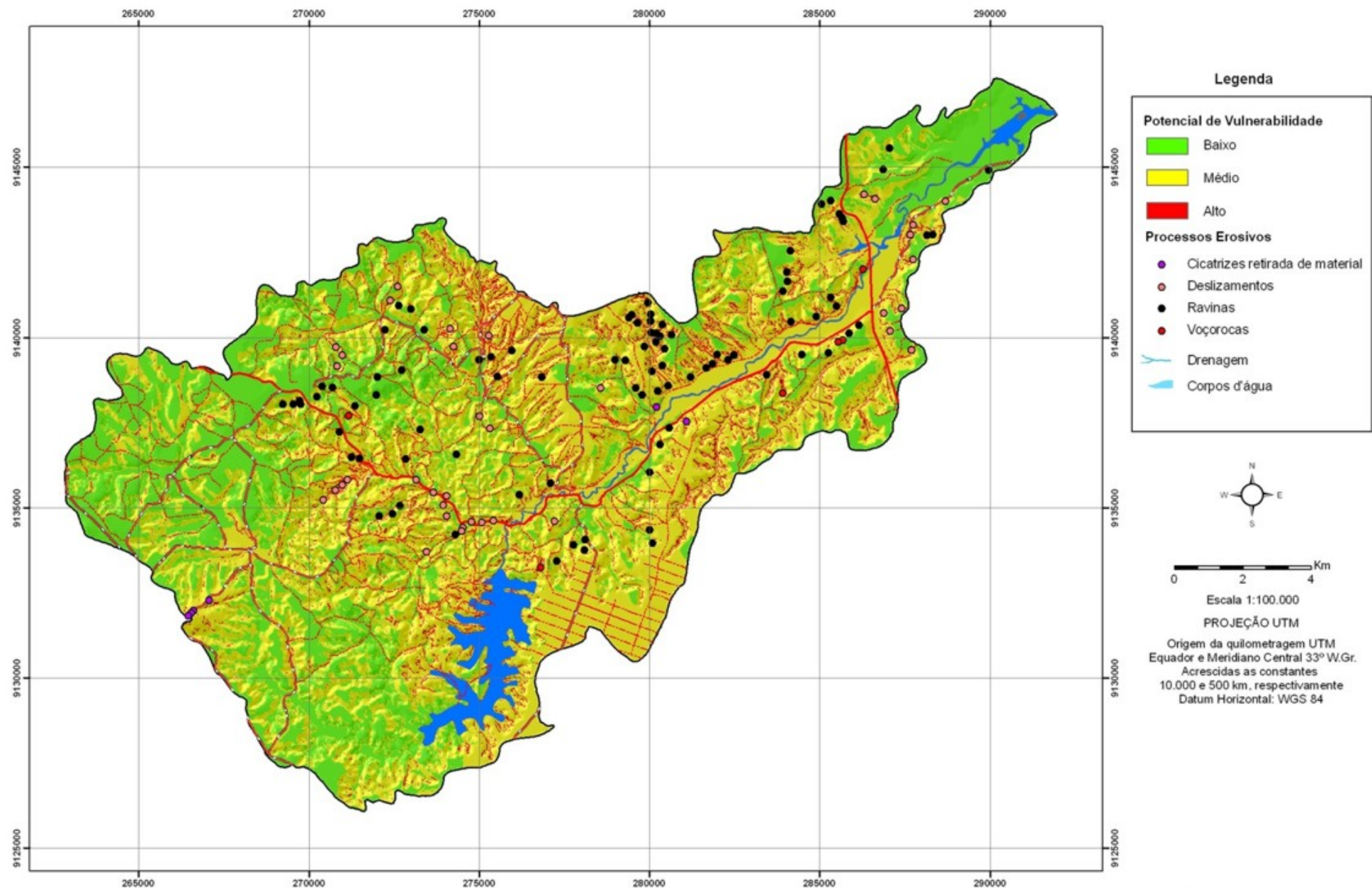
Para as 9 classes de curvaturas das vertentes, foram atribuídos os seguintes pesos: retilíneo-côncavo, retilíneo-retilíneo e retilíneo-convexo (1); convexo-côncavo, convexo-retilíneo e convexo-convexo (2); côncavo-côncavo, côncavo-retilíneo e côncavo-convexo (3).

Por último, para o fator uso do solo foram atribuídos os pesos: mata (1); cana de açúcar, mangue e área urbana (2); solo exposto (3).

O mapa do potencial de vulnerabilidade a erosão resultante (Figura 4.34) apresenta três classes de potencial a erosão: baixo, perfazendo uma área de 90,5 Km², que representa 35% da área da BHRB; médio, cuja área é a maior, com 154,5 Km² (60%); e alto, com apenas 11,8 Km² (6%) da área da bacia (Figura 4.35).

No mapa do potencial de vulnerabilidade a erosão foram plotados os pontos correspondentes às ocorrências erosivas levantadas em campo, no intuito de correlacioná-las as áreas classificadas do mapa. Observa-se que do total de 143 pontos levantados, a maioria (76 pontos) está localizada em áreas de alto potencial de vulnerabilidade a erosão, correspondendo a 53% do valor total. Para as áreas de médio potencial, foram plotados 61 pontos, que equivalem a 43% da área. No caso das áreas de baixo potencial, foram localizadas apenas seis ocorrências erosivas (Figura 4.36). Estes resultados apontam para uma boa associação entre as áreas de alto e médio risco com os dados de campo.

Figura 4.34: Mapa do Potencial de Vulnerabilidade a Erosão da Bacia Hidrográfica do Rio Botafogo - PE



Autor: Rogério Valença Ferreira
Orientador: Prof. Dr. Virgínio Henrique Neumann
Co-Orientador: Profª Drª Ana Lúcia B. Candeias

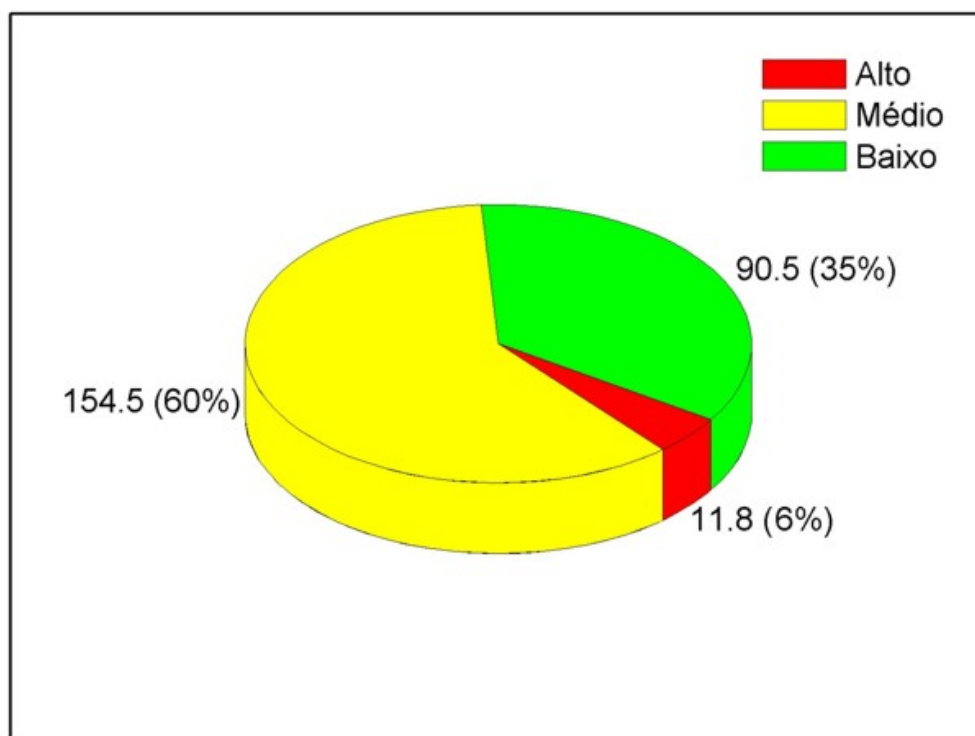


Figura 4.35 - Diagrama com as áreas de abrangência das classes do potencial de vulnerabilidade a erosão da BHRB

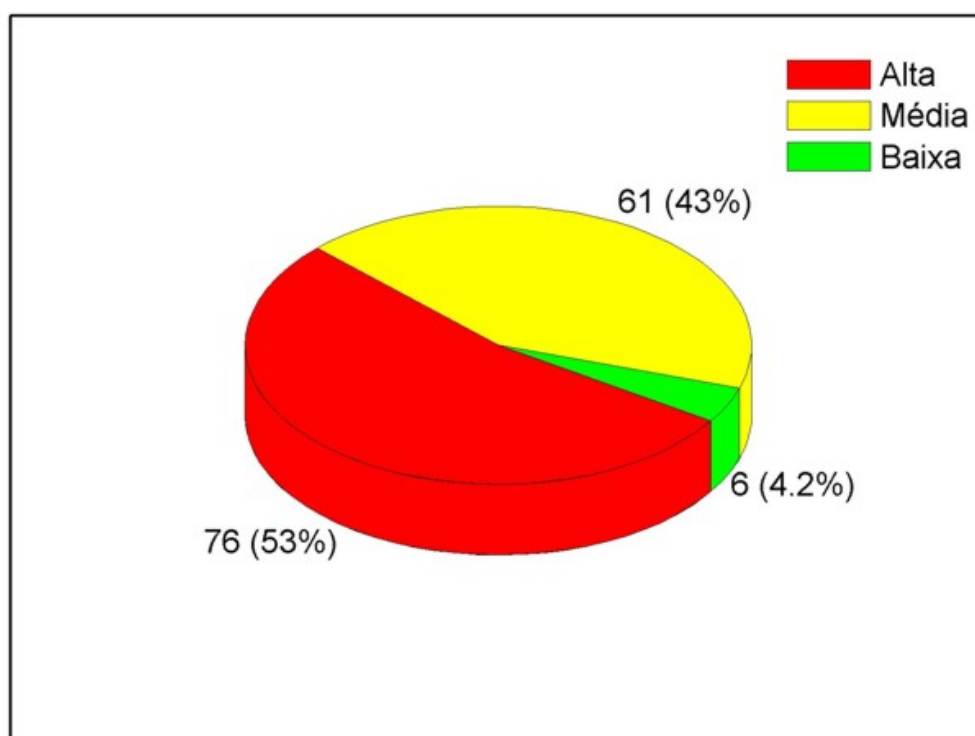


Figura 4.36 - Diagrama com a correlação entre as classes do potencial de vulnerabilidade a erosão, com as ocorrências erosivas levantadas em campo.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

Para elaboração da cartografia geomorfológica da bacia hidrográfica do rio Botafogo (BHRB), foram executados trabalhos de fotointerpretação sobre imagens de sensores remotos para a delimitação das formas de relevo, correspondente ao quarto táxon da classificação adotada nesta pesquisa. Para consecução deste objetivo, mostrou-se imprescindível a utilização combinada de técnicas de geoprocessamento, visando um melhor entendimento dos processos erosivos naturais e antrópicos que atuaram no modelado do relevo.

O uso do modelo digital do terreno (MDT), mostrou-se plenamente satisfatório na obtenção dos parâmetros para a caracterização morfométrica e na geração dos demais produtos que foram usados no estudo da geomorfologia e dos processos erosivos, contemplando assim, o quinto e sexto táxons.

A caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Botafogo indica uma bacia de forma alongada, comprovada pelo índice de circularidade, coeficiente de compacidade e fator de forma. Tais informações evidenciaram um forte controle estrutural da drenagem, que pode ser observado pela predominância de um padrão paralelo a subparalelo dos canais fluviais.

Por ser classificada como de sexta ordem, com uma densidade de drenagem de 3,8 km/km², e ainda alimentada por um elevado índice pluviométrico, pode-se afirmar que o relevo da bacia estudada apresenta uma dissecação acentuada.

A geomorfologia da BHRB pode ser entendida como resultado da conjunção de vários fatores que conduziram à elaboração do relevo atual, a começar pelo retrabalhamento do manto intemperizado do embasamento cristalino, gerando depósitos sedimentares denominado neste trabalho como Unidade Infra-Barreiras, formados em épocas anteriores à deposição no Plio-Pleistoceno da Formação Barreiras. O substrato cristalino encontra-se profundamente alterado, mais conspicuamente em núcleos de maior fraturamento, formando indistintamente compartimentos colinosos. Tal modelado, nas cotas mais elevadas e situadas mais à montante da BHRB, é capeado por delgadas camadas de sedimentos que emprestam ao relevo uma forma tabular, caracterizando a ocorrência dos sedimentos inconsolidados da Unidade Infra-Barreiras. Situados na porção leste da área de estudo, ocorrem os sedimentos da Formação Barreiras exibindo topos aplainados na forma de extensos tabuleiros, recobrando em discordância erosiva tanto o embasamento

cristalino como as unidades rochosas da Bacia Paraíba. Na porção de curso mediano e mais à jusante da BHRB, também depositados em cotas mais reduzidas sobre o manto de alteração do embasamento ou sobre estratos sedimentares mais antigos, ocorrem os sedimentos neógenos, presentes nos vales como rampas de colúvio, e nas planícies como aluviões e sedimentos de manguesal. As mudanças do nível de base regional durante as flutuações climáticas no Neógeno, afetaram a dinâmica hidrológica da bacia, que sofreu uma dissecação generalizada nesse período.

As recentes ocorrências erosivas encontradas na BHRB devem ser creditadas, principalmente, à ação antrópica, onde a substituição da cobertura vegetal natural pela atividade agrícola da cana-de-açúcar, tem desencadeado intensos processos erosivos observados ao longo de toda a área de pesquisa.

Apesar da aparente similitude macroscópica e morfológica da Unidade Infra-Barreiras com a seção inferior da Formação Barreiras na área de pesquisa, notadamente quanto as suas individualizações na cartografia geológica, foram constatadas neste trabalho, inéditas características diferenciais de natureza mineralógica, sedimentológica e geoquímica, ou seja:

- Em ambas as unidades os dados morfoscópicos indicaram ter havido pouco retrabalhamento e transporte para os sedimentos, entretanto, os grãos quartzosos da unidade Infra-Barreiras apresentaram-se menos desgastados e com matriz significativamente mais argilosa, indicativa de menor transporte em meio aquoso e deposição a mais curta distância. A razão Si/Al evidenciou parâmetros que distinguem estas unidades, indicando que os sedimentos da Formação Barreiras apresentam grãos quartzosos de maiores dimensões e com pouca matriz argilosa, depositados sob condições de alta energia hidrodinâmica, tais como em leques aluviais. Como consequência, as frações granulométricas classificadas como Lama e Areia Média são mais representativas na Unidade Infra-Barreiras, tendo sido obtidos parâmetros resultantes da razão matemática entre Lama e Areia Média, que caracterizam cada unidade estratigráfica.

- Os resultados mostrados nas curvas cumulativas de distribuição granulométrica ratificam que a Unidade Infra-Barreiras possui um grau de seleção das populações granulométricas que a diferenciam da seção inferior da Formação Barreiras. Tais dados apontam para a existência de um material originário com acentuadas diferenças texturais e mineralógicas derivada de significativas variações no tipo de transporte, bem como nas taxas de distribuição /fornecimento dos sedimentos e dos regimes hidráulicos.

- Do ponto de vista geoquímico, os elementos traço apresentam-se mais depletados nos sedimentos da seção inferior da Formação Barreiras, porque estes são geralmente muito limpos, com pouca fração argilomineral com capacidade sortiva. Em contrapartida, nos sedimentos da Unidade Infra-Barreiras quase todas as espécies químicas encontram-se apresentando boa variância com o Al.

CAPÍTULO 6

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdon, M. de M. 2004. *Os impactos ambientais no meio físico – erosão e assoreamento na Bacia Hidrográfica do Rio Taquari, MS, em decorrência da pecuária*. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, Tese. 322p.
- Ab`Saber, A. N. 1970. Províncias geológicas e domínios morfoclimáticos do Brasil. São Paulo: *Geomorfologia*. v. 20, 26pp.
- Alheiros, M. M.; Lima Filho, M. F.; Monteiro, F. A. J.; Oliveira Filho, J. S. 1988. *Sistemas deposicionais na Formação Barreiras no Nordeste oriental*. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 35, 1988, Belém. *Anais*. Belém: SBG. 6v. v.2 p.753 –760.
- Argento, M.S.F. 1994. Mapeamento Geomorfológico. In: *Geomorfologia – Uma Atualização de Bases e Conceitos*. A.J.T. Guerra e S.B Cunha (orgs.). Rio de Janeiro, Editora Bertrand Brasil, pp. 365-391.
- Barbosa, G.V.; Silva, T.C.; Natali Filho, T; Del’Arco, D.M.; Costa, R.C.R. 1984. Evolução da metodologia para mapeamento geomorfológico do Projeto Radambrasil. *Boletim Técnico, Série Geomorfologia*. Salvador n. 1. 187p.
- Barbosa, J.A. 2007. *A deposição carbonática na faixa costeira Recife-Natal: aspectos estratigráficos, geoquímicos e paleontológicos*. Recife: Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, tese, 256p.
- Bazzan, T.; Robaina, L. E. S.; Pires, C. A. F. 2006. *Mapeamento de unidades geológico-geomorfológicas da bacia hidrográfica do arroio Curuçu-RS*. VI Simpósio Nacional de Geomorfologia. Goiânia: UGB. *Anais*
- Bertoni, J. e Lombardi Neto, F. 2005. *Conservação do Solo*. São Paulo: Editora Ícone, 5ª ed. 355p.
- Beurlen, K. 1967. Estratigrafia da faixa sedimentar costeira Recife-João Pessoa. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, 16(1): 43-53.
- Bigarella, J. J. 2003. *Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais*. Florianópolis: Editora da UFSC. 1436p.
- Bigarella, J.J. 1975. The Barreiras Group in Northeast Brasil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. Porto Alegre – RS, n 47, p. 365-393.
- Bigarella, J.J; Andrade, G.O. 1964 Considerações sobre a estratigrafia dos sedimentos cenozóicos em Pernambuco (Grupo Barreiras). Recife. *Arquivo do Instituto de Ciências da Terra* 2:2-14.
- Bigarella, J. J. & Mousinho, M. R. 1965. Considerações a respeito dos terraços fluviais, rampas de colúvio e várzeas. Curitiba: *Boletim Pananaense de Geografia*, 16/17:153-198.

- Botelho, R.G.M. 1999. Planejamento Ambiental em Microbacia Hidrográfica. In: *Erosão e Conservação dos Solos – Conceitos, temas e aplicações*. Guerra, A.J.T., Silva, A.S. e Botelho, R.G.M. (orgs.). Rio de Janeiro, Editora Bertrand Brasil, pp. 269-300.
- Botelho, R.G.M. e Silva, A.S. da. 2004. Bacia Hidrográfica e Qualidade Ambiental. In: *Reflexões Sobre a Geografia Física no Brasil*. A.C. Vitte e A.J.T. Guerra (orgs.). Rio de Janeiro, Editora Bertrand Brasil, pp. 153-192.
- Burrough, P. A and McDonnell, R. A. 1998. *Principles of Geographical Information Systems*. Oxford: Oxford University Press. 333 p.
- Campos, A. B. 1998. *Análise morfoestrutural e cartografia geomorfológica da bacia do rio Candonga - zona do alto São Francisco - Arcos/MG*. São Paulo: USP, Dissertação.
- Campos, S.; Araújo Júnior, A.A.; Barros, Z.X.; Cardoso, L.G. e Piroli, E.L. 2004. Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Uso da Terra em Microbacias Hidrográficas, Botucatu – SP. In: *Eng. Agríc.*, Jaboticabal, v.24, n.2, p.431-435, maio/ago.
- Campos e Silva, A.1966. O grupo Barreiras na região de Natal. Natal: UFRN, Instituto de Antropologia, *Rel e Comum*. 1: 1-4. 3p.
- Castro, J.F.M. 1998. Mapa Morfodinâmico: uma abordagem metodológica de uso de Sistemas de Informações Geográficas(SIG). São Paulo: *Geociências*, 17(n.1): 161-185.
- Christofoletti, A. 1980. *Geomorfologia*. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher.176p
- Christofoletti, A. 1981. *Geomorfologia Fluvial*. São Paulo: Edgard Blucher. 313p.
- Collares, E. G. 2000. *Avaliação de alterações em redes de drenagem de microbacias como subsídio ao zoneamento geoambiental de bacias hidrográficas: aplicação na bacia hidrográfica do rio Capivari –SP*. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, Tese. 193p.
- CPRM. 2003. *Sistema de Informações Geoambientais da Região Metropolitana do Recife*. Recife: CPRM – Serviço Geológico de Brasil (Relatório). 134p.
- Crepani, E. & Medeiros, J. S. 2004. *Imagens fotográficas derivadas de MNT do projeto SRTM para fotointerpretação na geologia, geomorfologia e pedologia*. São José dos Campos: INPE.
- Crepani, E.; Medeiros, J. S.;Hernandez Filho, P.; Florenzano, T. G.; Duarte, V.; Barbosa, C. C. F. 2001. *Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial*. São José dos Campos: INPE. 124p.
- Cruden, D.M. 1990. Suggested nomenclature for a landslide summary. *Bull. IAEG*, n.41, p.13-16.

- Cunha, C. M. L.; Mendes, I. A.; Sanchez, M. C. 2003. Técnicas de elaboração, possibilidades e restrições de cartas morfométricas na gestão ambiental. Rio Claro: *Geografia*, v. 28, n. 3, p. 415-429.
- Dantas, M. E. 2001. Geomorfologia do Estado do Rio de Janeiro. In: *Estudo Geoambiental do Estado do Rio de Janeiro*. Brasília: CPRM. CR-ROM.
- Demek, J. 1972. *Manual of detailed geomorphological mapping*. Praga: Academy of Sciences. 343p.
- Drew, D. 2002. *Processos Interativos Homem-Meio Ambiente*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 206p.
- Dymond, J. R.; Derosé, R. C.; Harmsworth, G. R. 2006. Automated mapping of land components from digital elevation data. *Earth Surface Processes and Landforms*. Volume 20, Issue 1, Pages 131-137.
- EMBRAPA. 2000. *Zoneamento Agroecológico do Estado de Pernambuco*. Recife: Embrapa Solos. CD-ROM.
- Felgueiras, C. A. 2001. *Modelagem numérica do terreno*. São José dos Campos: INPE. 38p.
- Ferreira, F. R. B. 2003. Métodos e técnicas de geoprocessamento aplicados à obtenção de parâmetros geomorfológicos fluviais. Rio Claro: *Geografia*, v. 28, n.1, p. 45-62.
- Florenzano, T. G. 1998. Imagens TM-Landsat e HRV-SPOT na elaboração de cartas geomorfológicas de uma região do rio Taquari, MS. Brasília: *Pesq. Agropec. Brasileira*. v.33, Número Especial, p.1721-1727.
- Folk, R. L. & Ward, W. C. 1957. Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. *J. Sediment. Petrol.* 27: 3-26.
- Fujihara, A.K. 2002. *Predição de Erosão e Capacidade de Uso do Solo numa Microbacia do Oeste Paulista com Suporte de Geoprocessamento*. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Dissertação. 136p.
- Garbossa, R. A. 2003. *O controle litoestrutural na organização espacial da bacia do rio Tagaçaba (Paraná): uma análise morfométrica da rede de drenagem*. Curitiba: Pós-Graduação em Geologia, UFPR, Dissertação. 123p.
- Goiás. 2005. Mapa Geomorfológico do Estado de Goiás. Goiânia: Secretaria de Indústria e Comércio - Superintendência de Geologia e Mineração. Relatório Final.. 81 p.:il
- Guerra, A.J.T. 1999. O Início do Processo Erosivo. In: *Erosão e Conservação dos Solos – Conceitos, temas e aplicações*. A.J.T. GUERRA, A.S. SILVA e R.G.M. BOTELHO (orgs.). Rio de Janeiro, Editora Bertrand Brasil, pp. 17-55.

- Hancock, G. R. and Willgoose, G. 2001. The production of digital elevation models for experimental model landscapes. *Earth Surface Processes and Landforms*. Volume 26, Issue 5, Pages 475-490.
- Hancock, G. R. 2005. The use of digital elevation models in the identification and characterization of catchments over different grid scales. *Hydrological Processes*. Volume 19, Issue 9, Pages 1727 - 1749.
- Hancock, G. R. and Evans, K.G. 2006. Gully position, characteristics and geomorphic thresholds in an undisturbed catchment in Northern Australia. *Hydrological Processes*. Volume 20, Issue 14, Pages 2935 - 2951.
- Hancock, G. R. 2007. The impact of depression removal on catchment geomorphology, soil erosion and landscape evolution. *Earth Surface Processes and Landforms*. Volume 33, Issue 3, Pages 459-474.
- Hutchinson, M. F. & Gallant, J. C. 2000. Digital elevation models and representation of terrain shape. In: Wilson, J. P. & Gallant, J. C. (Eds.). *Terrain analysis: principles and applications*. New York: John Wiley & Sons. p.29-50.
- IBGE. 2004. *Vocabulário Básico de Recursos Naturais e Meio Ambiente*. Rio de Janeiro: IBGE, 2ª ed. 332p.
- Infanti Jr., N. & Fornasari Filho, N. 1998. Processos de dinâmica superficial. In: Oliveira, A. M.; Brito, S.N.A (Ed.) *Geologia de engenharia*. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE). p 131-152.
- IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. 1981. *Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo. Escala 1:500.000*. IPT, São Paulo. Vol. I. Programa de Desenvolvimento de Recursos Minerais, São Paulo.
- Jacques, P.D. & Carvalho, C.N. 1997. *Susceptibilidade à erosão na Bacia do Rio Ubatiba, Maricá, Rio de Janeiro: uma Avaliação por Geoprocessamento*. Rio de Janeiro: 2nd Pan-Am. Symp. Landslides, 2nd COBRAE, pp 75-82.
- Kegel, W. 1954. Nota sobre os microfósseis do fosfato Cretáceo de Pernambuco. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*. 3(1): 73-76.
- Kegel, W. 1957. Contribuição ao estudo da Bacia Costeira do Rio Grande do Norte. Rio de Janeiro: DNPM – Boletim nº 170. 52p.
- King, L. C. 1956 - A geomorfologia do Brasil Oriental. Rio de Janeiro: IBGE - *Revista Brasileira de Geografia*, 18(2):147-265, abr./jun.
- Kohler, H. C. 2001. A Escala na Análise Geomorfológica. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, Volume 2, Nº1, P. 21-33.
- Longley, P.A., Goodchild, M.F., Maguire, D.J. e Rhind, D.W. 2001. *Geographic information: Systems and Science*. England: Wiley.454p.

- Lima, A. G. 1999. Caracterização geomorfológica da bacia do do rio das Pedras, Guarapuava – PR. Rio Claro: *Geografia*, Vol. 24(2):37-51.
- Lima Filho, M. F. 1998. *Análise Estratigráfica e Estrutural da Bacia Pernambuco*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 180 p.
- Lima Filho, M. F., Monteiro, A. B., Souza, E. M. 1998. *Carbonate sections of the Paraíba and Pernambuco Basins, Northeastern Brazil: Implications for the late stages of opening of Southern Atlantic Ocean*. In: International Congress of Sedimentology, 15th, Alicante, *Abstracts*, 504–505.
- Mabesoone, J. M. 1983. *Sedimentologia*. Recife: Editora Universitária. UFPE. 475p.
- Mabesoone, J. M (Coord.). 1991. Revisão geológica da faixa sedimentar costeira de Pernambuco, Paraíba e parte do Rio Grande do Norte. *Estudos Geológicos*, Série B.10:33-43.
- Mabesoone, J. M. 1995. *Novos estudos na bacia sedimentar Pernambuco – Paraíba – Rio Grande do Norte*. In: Simpósio de geologia do Nordeste, 16, 1995, Recife. Atas. Recife: SBG. 2v. (Boletim do Núcleo Nordeste da SBG, 14) v.1 p.254-256.
- Mabesoone, J. M.; Campos e Silva, A.; Beurlen, K. 1972. Estratigrafia e origem do grupo Barreiras em Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v.2, n.3, p.173-188.
- Mabesoone, J. M.; Castro, C. de. 1975. Desenvolvimento geomorfológico do Nordeste brasileiro. Recife: SBG. Bol.3 p.5-36.
- Mabesoone, J. M.; Silva, J. C. 1989. *Geomorfologia da faixa sedimentar costeira Pernambuco-Paraíba*. . In: Simpósio de Geologia do Nordeste, 13, Fortaleza, 1989. Atas. . Sociedade Brasileira Geologia, Núcleo Nordeste, Boletim v.11, p.5-9.
- Mabesoone, J.M & Alheiros, M.M. 1988. Origem da Bacia Sedimentar Costeira Pernambuco/Paraíba. *Revista Brasileira de Geociências*, 18: 476-482.
- Mabesoone, J. M. & Alheiros, M. M. 1993. Evolution of the Pernambuco-Paraíba-Rio Grande do Norte Basin and the problem of the South Atlantic conection. *Geologie en Mijnbouw Kluwer*, Academic Publishers. 71:351-362.
- Magalhães, R. A. 2001. *Erosão: definições, tipos e formas de controle*. In: Simpósio Nacional de Controle de Erosão, 7o, 2001, Goiânia. Anais... Goiânia: ABGE.
- Mather, P. M. 1999. *Computer Processing of Remotely-Sensed Images: an introduction*. England: Wiley. 292p.
- Moura, J. R. S. & Silva, T. M. 1998. Complexos de rampas de colúvio. In: Cunha, S. B & Guerra, A. J. T (Org.). *Geomorfologia do Brasil*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. p143-180.

- Murray, K.S., and Rogers, D.T. 1999. Groundwater vulnerability, brownfield redevelopment and land use planning. *J. Environ. Plann. Manage.* 42:801–810.
- Neumann, V. H. ; Barbosa, J. A. ; Lima Filho, M. F. ; Souza, E. M. 2004. *The Stratigraphic Evolution of the Paraíba Basin, NE Brasil: a Basic Analysis Using Sequence Stratigraphy Tools*. In: AAPG Annual Meeting. Dallas. CD_ROOM.
- Neumann, V. H. ; Barbosa, J. A.; Lima Filho, M. F. de; Moreno, E. S. 2006. *Carbonatos da Formação Maria Farinha (Daniano da Bacia da Paraíba): Estudos petrográficos e diagenéticos*. In: 7 Simposio sobre o Cretáceo do Brasil e 1º Simposio sobre o Terciário do Brasil, 2006, Serra Negra. Boletim dos Resumos. V. único. p. 95-95.
- Nóbrega, V. A. & Alheiros, M. M. 1991. *Petrografia do arenito Beberibe, Bacia Pernambuco – Paraíba*. In: Simpósio de Geologia do Nordeste, 14, 1991, Recife. Atas. Recife: SBG. 383p. (Boletim do Núcleo Nordeste da SBG,12) p.75 - 77.
- Oliveira, A.M.M. 2004. *Aplicação de geotecnologias e do modelo EUPS como subsídio ao planejamento do uso da terra: estudo de caso no alto curso da microbacia hidrográfica do ribeirão Cachoeirinha, Iracemápolis, S.P.* Rio Claro: UNESP, Tese. 114p.
- Oliveira, A.M S. 1994. *Depósitos Tectogênicos e Assoreamento de Reservatórios. Exemplo do Reservatório de Capivara, Rio Paranapanema, SP/PR*. São Paulo: USP – FFLCH – Departamento de Geografia, Tese, vol. 1, texto. 211p.
- Oka-Fiori, C. 2002. *Geomorfologia e dinâmica temporo-espaial da bacia do rio Itiquira: Pantanal Matogrossense – MS*. Rio Claro: UNESP. Tese de Doutorado. 209p.
- Oka-Fiori, C. ; Santos, L. C. ; Canali, N. E. ; Fiori, A. P. ; Silveira, C. T. ; Felipe, R. S. ; Briski, S. J.; Silva, J. M. F. 2006. *Mapa Geomorfológico do Estado do Paraná - 1:650.000*. Curitiba: Minerais do Paraná S/A. Carta Impressa.
- Parsons, A. J. 1988. *Hillslope Form*. London: Routledge. 212p.
- Pedraza, J. 1996. *Geomorfología: principios, métodos y aplicaciones*. Madrid: Editorial Ruenda. 414p.
- Pernambuco. 2006. *Atlas de bacias hidrográficas de Pernambuco*. Recife: Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente. 104p.
- Pettijohn, F. J. 1957. *Sedimentary Rocks*. Harper and Row Publishers. New York. 718p.
- Pfaltzgraff, P. A. S. 2007. *Mapa de suscetibilidade a deslizamentos da Região Metropolitana do Recife*. Recife: Programa de Pós-Graduação em Geociências – UFPE. Tese, 116p.
- Primavesi, A M. 1987. *Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais*. 9o ed. São Paulo: Nobel.

- Queiroz Neto, J.P. 2001. *Erosão dos solos tropicais e seu controle: o exemplo do Estado de São Paulo*. In: Simpósio Nacional de Controle de Erosão, 7o, 2001, Goiânia. Anais. Goiânia: ABGE.
- RADAMBRASIL. 1981. Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. *Projeto RADAMBRASIL SB.24/25 Jaguaribe/Natal; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra*. Rio de Janeiro: MME. 740p.
- Robinson, A.H.; Morrison, J. L.; Muehrcke, P.C.; Kimerling, A.J.; Guptill, S.C. 1995. *Elements of Cartography*, Sixth Edition. John Wiley & Sons: New York, USA.
- Romão, P.A. e Souza, N.M. 2004. *Informações morfométricas na compartimentação do terreno – Goiânia (GO)*. São Carlos: 5º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, pp. 41-50.
- Ros, D.D & Borga, M. 1998. Use of digital elevation model data for the derivation of the geomorphological instantaneous unit hydrograph. *Hydrological Processes*. Volume 11, Issue 1, Pages 13 - 33.
- Ross, J.L.S. 1985. Relevo Brasileiro: uma nova proposta de classificação. *Revista do Departamento de Geografia*, n. 4, USP, p. 25-39.
- Ross, J.L.S. 1990. *Geomorfologia: Ambiente e planejamento*. São Paulo: Editora Contexto. 85p.
- Ross, J.L.S. 1992. O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. *Revista do Departamento de Geografia*, São Paulo; FFLCH/USP, v.6, p.17-29.
- SAE. 1991. *Diretrizes metodológicas e patamar mínimo para o zoneamento ecológico-econômico do território nacional*. Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. Brasília: SAE.
- Salomão, F.X.T. & Iwasa, O.Y. 1995. Erosão e ocupação rural e urbana. In: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. *Curso de Geologia aplicada ao meio ambiente*. São Paulo. IPT. cap.3, p.31-57.
- Salomão, F.X.T. 1999. Controle e Prevenção dos Processos Erosivos. In: GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S.; BOTELHO, R.G.M. (orgs.). *Erosão e Conservação dos Solos – Conceitos, temas e aplicações*. Rio de Janeiro, Editora Bertrand Brasil, pp. 229-267.
- Santos, A.R. 2005. A importância da camada superficial de solos para a sociedade brasileira. www.ecoterrabrasil.com.br. Visitado em 17/06/05.
- Selby, M. J. 1993. *Hillslope materials and processes*. Oxford: Oxford University Press. 2 ed. 451p.

- Smith, M. J. & Clark, C.D. 2005. Methods for the visualization of digital elevation models for landform mapping. *Earth Surface Processes and Landforms*. Volume 30, Issue 7, Pages 885-900.
- Souza, E.M. 2006. *Estratigrafia da seqüência clástica inferior (andares Coniaciano-Maastrichtiano Inferior) da Bacia da Paraíba, e suas implicações paleogeográficas*. Tese de Doutorado, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, 350p.
- Shepard, F. P. 1954. Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. *Journal of Sedimentary Petrology*, Tulsa, Okla, 24 (3): 151-158p.
- Suguio, K.; Martin, L.; Bittencourt, A.C.S.P.; Dominguez, J.M.L.; Flexor, J.M.; Azevedo, A.E.G. 1985. Flutuações do nível relativo do mar durante o quaternário superior ao longo do litoral brasileiro e suas implicações na sedimentação costeira. *Revista Brasileira de Geociências*, 15(4). p. 273- 286.
- Tricart, J. 1977. *Ecodinâmica*. Rio de Janeiro: IBGE-SUPREN. 91p.
- Valentin, C.; Poesen, J.; Yong, L. 2005. Gully erosion: Impacts, factors and control. *Catena* N° 63. P 132–153.
- Valeriano, M. M. 2007. *Visualização de imagens topográficas*. Florianópolis: Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. INPE. p. 1377-1384.
- Valeriano, M. M. 2004. *Modelo digital de elevação com dados SRTM disponíveis para a América do Sul*. São José dos Campos: INPE. 72 p.
- Villela, S.M. & Mattos, A. 1975. *Hidrologia aplicada*. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245p.
- Wilson, J. P.; Gallant, J. C. 2000. Digital terrain analysis. In: Wilson, J. P. & Gallant, J. C. (eds.). *Terrain analysis: principles and applications*. New York: John Wiley & Sons. p.4-27.
- Wischmeier, W.H. e Smith, D.D. 1978. Predicting rainfall erosion losses. Guide to Conservation Farming. US Department of Agriculture Handbook, 537. 58p.

ANEXO I

ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS

LGGM – Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha

ANEXO I - ANÁLISE GRANULOMETRICA–

Amostra: RV-01-B3	Coordenadas: 9.143.320 N; 287.817 O
Data da análise: 27/09/2007	
Responsável Técnico: () Elida (x) Daniel () André () Outros	

PENEIRAMENTO ÚMIDO

PESO SECO	≥ 2 mm	< 2 mm ≥ 0,062 mm	< 0,062mm
100g	4.917g	71.627g	23.456g

PENEIRAMENTO SECO

SEDIMENTO	VALOR Φ	VALOR mm	g
Seixo	-2,0	4,000	
	-1,5	2,830	
Granulo	-1,0	2,000	4.917g
Areia muito Grossa	-0,5	1,410	
	0,0	1,000	10.052g
Areia Grossa	0,5	0,710	
	1,0	0,500	17.647g
Areia Média	1,5	0,354	
	2,0	0,250	29.765g
Areia Fina	2,5	0,177	
	3,0	0,125	10.875g
Areia muito Fina	3,5	0,088	
	4,0	0,062	3.285g
SG	5,0	0,032	
SM	6,0	0,016	
SF	7,0	0,008	
SMF	8,0	0,004	
ARGILA	9,0	0,002	

LGGM – Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha

- ANÁLISE GRANULOMETRICA -

Amostra: RV-01-A2 (MORFOSCOPIA)	Coordenadas: 9.143.320 N; 287.817 O
Data da análise: 27/09/2007	
Responsável Técnico: () Elida (x) Daniel () André () Outros	

PENEIRAMENTO ÚMIDO

PESO SECO	≥ 2 mm	< 2 mm ≥ 0,062 mm	< 0,062mm
100g	4.902g	76.387g	18.711g

PENEIRAMENTO SECO

SEDIMENTO	VALOR Φ	VALOR mm	g
Seixo	-2,0	4,000	
	-1,5	2,830	
Granulo	-1,0	2,000	4.902g
Areia muito Grossa	-0,5	1,410	
	0,0	1,000	11.885g
Areia Grossa	0,5	0,710	
	1,0	0,500	21.575g
Areia Média	1,5	0,354	
	2,0	0,250	29.008g
Areia Fina	2,5	0,177	
	3,0	0,125	10.541g
Areia muito Fina	3,5	0,088	
	4,0	0,062	3.365g
SG	5,0	0,032	
SM	6,0	0,016	
SF	7,0	0,008	
SMF	8,0	0,004	
ARGILA	9,0	0,002	

LGGM – Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha

- ANÁLISE GRANULOMETRICA -

Amostra: RV-02-C2	Coordenadas: 9.137.938 N; 280.056 O
Data da análise: 27/09/2007	
Responsável Técnico: () Elida (x) Daniel () André () Outros	

PENEIRAMENTO ÚMIDO

PESO SECO	≥ 2 mm	< 2 mm ≥ 0,062 mm	< 0,062mm
100g	4.007g	62.201g	33.792g

PENEIRAMENTO SECO

SEDIMENTO	VALOR Φ	VALOR mm	g
Seixo	-2,0	4,000	
	-1,5	2,830	
Granulo	-1,0	2,000	4.007g
Areia muito Grossa	-0,5	1,410	
	0,0	1,000	7.006g
Areia Grossa	0,5	0,710	
	1,0	0,500	20.467g
Areia Média	1,5	0,354	
	2,0	0,250	21.252g
Areia Fina	2,5	0,177	
	3,0	0,125	9.811g
Areia muito Fina	3,5	0,088	
	4,0	0,062	3.653g
SG	5,0	0,032	
SM	6,0	0,016	
SF	7,0	0,008	
SMF	8,0	0,004	
ARGILA	9,0	0,002	

LGGM – Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha

- ANÁLISE GRANULOMETRICA –

Amostra: RV-02-B3 (MORFOSCOPIA)	Coordenadas: 9.137.938 N; 280.056 O
Data da análise: 27/09/2007	
Responsável Técnico: () Elida (x) Daniel () André () Outros	

PENEIRAMENTO ÚMIDO

PESO SECO	≥ 2 mm	< 2 mm ≥ 0,062 mm	< 0,062mm
100g	12.846g	64.723g	22.431g

PENEIRAMENTO SECO

SEDIMENTO	VALOR Φ	VALOR mm	g
Seixo	-2,0	4,000	
	-1,5	2,830	
Granulo	-1,0	2,000	12.846g
Areia muito Grossa	-0,5	1,410	
	0,0	1,000	15.414g
Areia Grossa	0,5	0,710	
	1,0	0,500	27.051g
Areia Média	1,5	0,354	
	2,0	0,250	16.436g
Areia Fina	2,5	0,177	
	3,0	0,125	4.121g
Areia muito Fina	3,5	0,088	
	4,0	0,062	1.665g
SG	5,0	0,032	
SM	6,0	0,016	
SF	7,0	0,008	
SMF	8,0	0,004	
ARGILA	9,0	0,002	

LGGM – Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha**- ANÁLISE GRANULOMETRICA**

Amostra: RV-02-D1	Coordenadas: 9.137.938 N; 280.056 O
Data da análise: 27/09/2007	
Responsável Técnico: () Elida (x) Daniel () André () Outros	

PENEIRAMENTO ÚMIDO

PESO SECO	≥ 2 mm	< 2 mm ≥ 0,062 mm	< 0,062mm
100g	1.635g	78.707g	19.658g

PENEIRAMENTO SECO

SEDIMENTO	VALOR Φ	VALOR mm	g
Seixo	-2,0	4,000	
	-1,5	2,830	
Granulo	-1,0	2,000	1.635g
Areia muito Grossa	-0,5	1,410	
	0,0	1,000	8.032g
Areia Grossa	0,5	0,710	
	1,0	0,500	25.066g
Areia Média	1,5	0,354	
	2,0	0,250	25.709g
Areia Fina	2,5	0,177	
	3,0	0,125	15.006g
Areia muito Fina	3,5	0,088	
	4,0	0,062	4.899g
SG	5,0	0,032	
SM	6,0	0,016	
SF	7,0	0,008	
SMF	8,0	0,004	
ARGILA	9,0	0,002	

LGGM – Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha

- ANÁLISE GRANULOMETRICA –

Amostra: RV-03-A1	Coordenadas: 9.137.386 N; 279.975 O
Data da análise: 27/09/2007	
Responsável Técnico: () Elida (x) Daniel () André () Outros	

PENEIRAMENTO ÚMIDO

PESO SECO	≥ 2 mm	< 2 mm ≥ 0,062 mm	< 0,062mm
100g	3.029g	34.043g	62.928g

PENEIRAMENTO SECO

SEDIMENTO	VALOR Φ	VALOR mm	g
Seixo	-2,0	4,000	
	-1,5	2,830	
Granulo	-1,0	2,000	3.029g
Areia muito Grossa	-0,5	1,410	
	0,0	1,000	9.004g
Areia Grossa	0,5	0,710	
	1,0	0,500	7.950g
Areia Média	1,5	0,354	
	2,0	0,250	5.932g
Areia Fina	2,5	0,177	
	3,0	0,125	6.004g
Areia muito Fina	3,5	0,088	
	4,0	0,062	5.169g
SG	5,0	0,032	
SM	6,0	0,016	
SF	7,0	0,008	
SMF	8,0	0,004	
ARGILA	9,0	0,002	

LGGM – Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha

- ANÁLISE GRANULOMETRICA -

Amostra: RV-03-A2 (MORFOSCOPIA)	Coordenadas: 9.137.386 N; 279.975 O
Data da análise: 22/09/2007	
Responsável Técnico: () Elida (x) Daniel () André () Outros	

PENEIRAMENTO ÚMIDO

PESO SECO	≥ 2 mm	< 2 mm ≥ 0,062 mm	< 0,062mm
100g	4.635g	40.582g	54.783g

PENEIRAMENTO SECO

SEDIMENTO	VALOR Φ	VALOR mm	g
Seixo	-2,0	4,000	
	-1,5	2,830	
Granulo	-1,0	2,000	4.635g
Areia muito Grossa	-0,5	1,410	
	0,0	1,000	13.656g
Areia Grossa	0,5	0,710	
	1,0	0,500	10.765g
Areia Média	1,5	0,354	
	2,0	0,250	6.558g
Areia Fina	2,5	0,177	
	3,0	0,125	4.820g
Areia muito Fina	3,5	0,088	
	4,0	0,062	4.831g
SG	5,0	0,032	
SM	6,0	0,016	
SF	7,0	0,008	
SMF	8,0	0,004	
ARGILA	9,0	0,002	

LGGM – Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha**- ANÁLISE GRANULOMETRICA –**

Amostra: RV-01-C3	Coordenadas: 9.143.320 N; 287.817 O
Data da análise: 27/09/2007	
Responsável Técnico: () Elida (x) Daniel () André () Outros	
Observações:	

PENEIRAMENTO ÚMIDO

PESO SECO	≥ 2 mm	< 2 mm ≥ 0,062 mm	< 0,062mm
100g	2.292g	76.089g	21.619g

PENEIRAMENTO SECO

SEDIMENTO	VALOR Φ	VALOR mm	g
Seixo	-2,0	4,000	
	-1,5	2,830	
Granulo	-1,0	2,000	2.292g
Areia muito Grossa	-0,5	1,410	
	0,0	1,000	10.454g
Areia Grossa	0,5	0,710	
	1,0	0,500	22.026g
Areia Média	1,5	0,354	
	2,0	0,250	28.815g
Areia Fina	2,5	0,177	
	3,0	0,125	11.121g
Areia muito Fina	3,5	0,088	
	4,0	0,062	3.580g
SG	5,0	0,032	
SM	6,0	0,016	
SF	7,0	0,008	
SMF	8,0	0,004	
ARGILA	9,0	0,002	

LGGM – Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha

- ANÁLISE GRANULOMETRICA –

Amostra: RV-03-B2 (MORFOSCOPIA)	Coordenadas: 9.137.386 N; 279.975 O
Data da análise: 27/09/2007	
Responsável Técnico: () Elida (x) Daniel () André () Outros	

PENEIRAMENTO ÚMIDO

PESO SECO	≥ 2 mm	< 2 mm ≥ 0,062 mm	< 0,062mm
100g	2.356g	44.325g	53.311g

PENEIRAMENTO SECO

SEDIMENTO	VALOR Φ	VALOR mm	g
Seixo	-2,0	4,000	
	-1,5	2,830	
Granulo	-1,0	2,000	2.356g
Areia muito Grossa	-0,5	1,410	
	0,0	1,000	11.856g
Areia Grossa	0,5	0,710	
	1,0	0,500	13.272g
Areia Média	1,5	0,354	
	2,0	0,250	9.568g
Areia Fina	2,5	0,177	
	3,0	0,125	6.252g
Areia muito Fina	3,5	0,088	
	4,0	0,062	3.402g
SG	5,0	0,032	
SM	6,0	0,016	
SF	7,0	0,008	
SMF	8,0	0,004	
ARGILA	9,0	0,002	

LGGM – Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha**- ANÁLISE GRANULOMETRICA –**

Amostra: RV-03-B1 (MORFOSCOPIA)	Coordenadas: 9.137.386 N; 279.975 O
Data da análise: 27/09/2007	
Responsável Técnico: () Elida (x) Daniel () André () Outros	

PENEIRAMENTO ÚMIDO

PESO SECO	≥ 2 mm	< 2 mm ≥ 0,062 mm	< 0,062mm
100g	5.716g	50.730g	43.554g

PENEIRAMENTO SECO

SEDIMENTO	VALOR Φ	VALOR mm	g
Seixo	-2,0	4,000	
	-1,5	2,830	
Granulo	-1,0	2,000	5.716g
Areia muito Grossa	-0,5	1,410	
	0,0	1,000	17.733g
Areia Grossa	0,5	0,710	
	1,0	0,500	14.591g
Areia Média	1,5	0,354	
	2,0	0,250	9.833g
Areia Fina	2,5	0,177	
	3,0	0,125	5.577g
Areia muito Fina	3,5	0,088	
	4,0	0,062	3.015g
SG	5,0	0,032	
SM	6,0	0,016	
SF	7,0	0,008	
SMF	8,0	0,004	
ARGILA	9,0	0,002	

LGGM – Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha

- ANÁLISE GRANULOMETRICA –

Amostra: RV-01-A3-a	Coordenadas: 9.143.320 N; 287.817 O
Data da análise: 27/09/2007	
Responsável Técnico: () Elida (x) Daniel () André () Outros	

PENEIRAMENTO ÚMIDO

PESO SECO	≥ 2 mm	< 2 mm ≥ 0,062 mm	< 0,062mm
100g	8.882g	74.182g	16.936g

PENEIRAMENTO SECO

SEDIMENTO	VALOR Φ	VALOR mm	g
Seixo	-2,0	4,000	
	-1,5	2,830	
Granulo	-1,0	2,000	8.882g
Areia muito Grossa	-0,5	1,410	
	0,0	1,000	13.008g
Areia Grossa	0,5	0,710	
	1,0	0,500	21.716g
Areia Média	1,5	0,354	
	2,0	0,250	27.756g
Areia Fina	2,5	0,177	
	3,0	0,125	8.905g
Areia muito Fina	3,5	0,088	
	4,0	0,062	2.874g
SG	5,0	0,032	
SM	6,0	0,016	
SF	7,0	0,008	
SMF	8,0	0,004	
ARGILA	9,0	0,002	

LGGM – Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha

- ANÁLISE GRANULOMETRICA –

Amostra: RV-02-A2 (MORFOSCOPIA)	Coordenadas: 9.137.938 N; 280.056 O
Data da análise: 27/09/2007	
Responsável Técnico: () Elida (x) Daniel () André () Outros	

PENEIRAMENTO ÚMIDO

PESO SECO	≥ 2 mm	< 2 mm ≥ 0,062 mm	< 0,062mm
100g	29.313g	49.577g	21.110g

PENEIRAMENTO SECO

SEDIMENTO	VALOR Φ	VALOR mm	g
Seixo	-2,0	4,000	
	-1,5	2,830	
Granulo	-1,0	2,000	29.313g
Areia muito Grossa	-0,5	1,410	
	0,0	1,000	13.619g
Areia Grossa	0,5	0,710	
	1,0	0,500	14.974g
Areia Média	1,5	0,354	
	2,0	0,250	14.253g
Areia Fina	2,5	0,177	
	3,0	0,125	4.897g
Areia muito Fina	3,5	0,088	
	4,0	0,062	1.784g
SG	5,0	0,032	
SM	6,0	0,016	
SF	7,0	0,008	
SMF	8,0	0,004	
ARGILA	9,0	0,002	

LGGM – Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha

- ANÁLISE GRANULOMETRICA -

Amostra: RV-01-B1 (MORFOSCOPIA)	Coordenadas: 9.143.320 N; 287.817 O
Data da análise: 27/09/2007	
Responsável Técnico: () Elida (x) Daniel () André () Outros	

PENEIRAMENTO ÚMIDO

PESO SECO	≥ 2 mm	< 2 mm ≥ 0,062 mm	< 0,062mm
100g	1.447g	78.673g	19.880g

PENEIRAMENTO SECO

SEDIMENTO	VALOR Φ	VALOR mm	g
Seixo	-2,0	4,000	
	-1,5	2,830	
Granulo	-1,0	2,000	1.447g
Areia muito Grossa	-0,5	1,410	
	0,0	1,000	12.277g
Areia Grossa	0,5	0,710	
	1,0	0,500	22.730g
Areia Média	1,5	0,354	
	2,0	0,250	29.524g
Areia Fina	2,5	0,177	
	3,0	0,125	11.150g
Areia muito Fina	3,5	0,088	
	4,0	0,062	2.986g
SG	5,0	0,032	
SM	6,0	0,016	
SF	7,0	0,008	
SMF	8,0	0,004	
ARGILA	9,0	0,002	

LGGM – Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha**- ANÁLISE GRANULOMETRICA –**

Amostra: RV-01-A3-b	Coordenadas: 9.143.320 N; 287.817 O
Data da análise: 27/09/2007	
Responsável Técnico: () Elida (x) Daniel () André () Outros	

PENEIRAMENTO ÚMIDO

PESO SECO	≥ 2 mm	< 2 mm ≥ 0,062 mm	< 0,062mm
100g	10.499g	71.930g	17.571g

PENEIRAMENTO SECO

SEDIMENTO	VALOR Φ	VALOR mm	g
Seixo	-2,0	4,000	
	-1,5	2,830	
Granulo	-1,0	2,000	10.499g
Areia muito Grossa	-0,5	1,410	
	0,0	1,000	11.789g
'Areia Grossa	0,5	0,710	
	1,0	0,500	19.205g
Areia Média	1,5	0,354	
	2,0	0,250	27.542g
Areia Fina	2,5	0,177	
	3,0	0,125	10.205g
Areia muito Fina	3,5	0,088	
	4,0	0,062	3.151g
SG	5,0	0,032	
SM	6,0	0,016	
SF	7,0	0,008	
SMF	8,0	0,004	
ARGILA	9,0	0,002	

LGGM – Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha

- ANÁLISE GRANULOMETRICA –

Amostra: RV-06-D2	Coordenadas: 9.139.308 N; 283.610 O
Data da análise: 10/10/2007	
Responsável Técnico: () Elida (x) Daniel () André () Outros	

PENEIRAMENTO ÚMIDO

PESO SECO	≥ 2 mm	< 2 mm ≥ 0,062 mm	< 0,062mm
100g	3.034g	85.327g	11.639g

PENEIRAMENTO SECO

SEDIMENTO	VALOR Φ	VALOR mm	g
Seixo	-2,0	4,000	
	-1,5	2,830	
Granulo	-1,0	2,000	3.034g
Areia muito Grossa	-0,5	1,410	
	0,0	1,000	10.874g
Areia Grossa	0,5	0,710	
	1,0	0,500	34.936g
Areia Média	1,5	0,354	
	2,0	0,250	32.388g
Areia Fina	2,5	0,177	
	3,0	0,125	5.846g
Areia muito Fina	3,5	0,088	
	4,0	0,062	1.185g
SG	5,0	0,032	
SM	6,0	0,016	
SF	7,0	0,008	
SMF	8,0	0,004	
ARGILA	9,0	0,002	

LGGM – Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha

- ANÁLISE GRANULOMETRICA –

Amostra: RV-06-C (MORFOSCOPIA)	Coordenadas: 9.139.308 N; 283.610 O
Data da análise: 10/10/2007	
Responsável Técnico: () Elida (x) Daniel () André () Outros	

PENEIRAMENTO ÚMIDO

PESO SECO	≥ 2 mm	< 2 mm ≥ 0,062 mm	< 0,062mm
100g	0.113g	74.495g	25.392g

PENEIRAMENTO SECO

SEDIMENTO	VALOR Φ	VALOR mm	g
Seixo	-2,0	4,000	
	-1,5	2,830	
Granulo	-1,0	2,000	0.113g
Areia muito Grossa	-0,5	1,410	
	0,0	1,000	0.742g
Areia Grossa	0,5	0,710	
	1,0	0,500	10.561g
Areia Média	1,5	0,354	
	2,0	0,250	41.694g
Areia Fina	2,5	0,177	
	3,0	0,125	19.794g
Areia muito Fina	3,5	0,088	
	4,0	0,062	1.794g
SG	5,0	0,032	
SM	6,0	0,016	
SF	7,0	0,008	
SMF	8,0	0,004	
ARGILA	9,0	0,002	

LGGM – Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha**- ANÁLISE GRANULOMETRICA –**

Amostra: RV-05-A	Coordenadas: 9.143.764 N; 285.628 O
Data da análise: 10/10/2007	
Responsável Técnico: () Elida (x) Daniel () André () Outros	

PENEIRAMENTO ÚMIDO

PESO SECO	≥ 2 mm	< 2 mm ≥ 0,062 mm	< 0,062mm
100g	1.612g	79.477g	18.911g

PENEIRAMENTO SECO

SEDIMENTO	VALOR Φ	VALOR mm	g
Seixo	-2,0	4,000	
	-1,5	2,830	
Granulo	-1,0	2,000	1.612g
Areia muito Grossa	-0,5	1,410	
	0,0	1,000	7.446g
Areia Grossa	0,5	0,710	
	1,0	0,500	25.505g
Areia Média	1,5	0,354	
	2,0	0,250	32.838g
Areia Fina	2,5	0,177	
	3,0	0,125	10.274g
Areia muito Fina	3,5	0,088	
	4,0	0,062	3.370g
SG	5,0	0,032	
SM	6,0	0,016	
SF	7,0	0,008	
SMF	8,0	0,004	
ARGILA	9,0	0,002	

LGGM – Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha

- ANÁLISE GRANULOMETRICA –

Amostra: RV-04-C3	Coordenadas: 9.142.066 N; 286.395 O
Data da análise: 10/10/2007	
Responsável Técnico: () Elida (x) Daniel () André () Outros	

PENEIRAMENTO ÚMIDO

PESO SECO	≥ 2 mm	< 2 mm ≥ 0,062 mm	< 0,062mm
100g	1.743g	73.262g	24.995g

PENEIRAMENTO SECO

SEDIMENTO	VALOR Φ	VALOR mm	G
Seixo	-2,0	4,000	
	-1,5	2,830	
Granulo	-1,0	2,000	1.743g
Areia muito Grossa	-0,5	1,410	
	0,0	1,000	5.183g
Areia Grossa	0,5	0,710	
	1,0	0,500	15.051g
Areia Média	1,5	0,354	
	2,0	0,250	28.603g
Areia Fina	2,5	0,177	
	3,0	0,125	20.810g
Areia muito Fina	3,5	0,088	
	4,0	0,062	3.617g
SG	5,0	0,032	
SM	6,0	0,016	
SF	7,0	0,008	
SMF	8,0	0,004	
ARGILA	9,0	0,002	

LGGM – Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha

- ANÁLISE GRANULOMETRICA –

Amostra: RV-04-C1	Coordenadas: 9.142.066 N; 286.395 O
Data da análise: 10/10/2007	
Responsável Técnico: () Elida (x) Daniel () André () Outros	

PENEIRAMENTO ÚMIDO

PESO SECO	≥ 2 mm	< 2 mm ≥ 0,062 mm	< 0,062mm
100g	0g	72.392g	27.608g

PENEIRAMENTO SECO

SEDIMENTO	VALOR Φ	VALOR mm	g
Seixo	-2,0	4,000	
	-1,5	2,830	
Granulo	-1,0	2,000	0g
Areia muito Grossa	-0,5	1,410	
	0,0	1,000	2.938g
Areia Grossa	0,5	0,710	
	1,0	0,500	11.127g
Areia Média	1,5	0,354	
	2,0	0,250	25.599g
Areia Fina	2,5	0,177	
	3,0	0,125	26.507g
Areia muito Fina	3,5	0,088	
	4,0	0,062	6.182g
SG	5,0	0,032	
SM	6,0	0,016	
SF	7,0	0,008	
SMF	8,0	0,004	
ARGILA	9,0	0,002	

LGGM – Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha

- ANÁLISE GRANULOMETRICA –

Amostra: RV-06-B2 (MORFOSCOPIA)	Coordenadas: 9.139.308 N; 283.610 O
Data da análise: 10/10/2007	
Responsável Técnico: () Elida (x) Daniel () André () Outros	

PENEIRAMENTO ÚMIDO

PESO SECO	≥ 2 mm	< 2 mm ≥ 0,062 mm	< 0,062mm
100g	5.472g	67.831g	26.697g

PENEIRAMENTO SECO

SEDIMENTO	VALOR Φ	VALOR mm	g
Seixo	-2,0	4,000	
	-1,5	2,830	
Granulo	-1,0	2,000	5.472g
Areia muito Grossa	-0,5	1,410	
	0,0	1,000	7.626g
Areia Grossa	0,5	0,710	
	1,0	0,500	25.509g
Areia Média	1,5	0,354	
	2,0	0,250	25.725g
Areia Fina	2,5	0,177	
	3,0	0,125	7.383g
Areia muito Fina	3,5	0,088	
	4,0	0,062	1.543g
SG	5,0	0,032	
SM	6,0	0,016	
SF	7,0	0,008	
SMF	8,0	0,004	
ARGILA	9,0	0,002	

LGGM – Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha

- ANÁLISE GRANULOMETRICA –

Amostra: RV-04-B (MORFOSCOPIA)	Coordenadas: 9.142.066 N; 286.395 O
Data da análise: 10/10/2007	
Responsável Técnico: () Elida (X) Daniel () André () Outros	

PENEIRAMENTO ÚMIDO

PESO SECO	≥ 2 mm	< 2 mm ≥ 0,062 mm	< 0,062mm
100G	0.284g	76.710g	23.006g

PENEIRAMENTO SECO

SEDIMENTO	VALOR Φ	VALOR mm	g
Seixo	-2,0	4,000	
	-1,5	2,830	
Granulo	-1,0	2,000	0.284g
Areia muito Grossa	-0,5	1,410	
	0,0	1,000	2.869g
Areia Grossa	0,5	0,710	
	1,0	0,500	8.116g
Areia Média	1,5	0,354	
	2,0	0,250	27.265g
Areia Fina	2,5	0,177	
	3,0	0,125	34.586g
Areia muito Fina	3,5	0,088	
	4,0	0,062	3.852g
SG	5,0	0,032	
SM	6,0	0,016	
SF	7,0	0,008	
SMF	8,0	0,004	
ARGILA	9,0	0,002	

ANEXO II

ANÁLISES QUÍMICAS

ANEXO II: Tabela de resultados das análises químicas

	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ (T) %	MnO %	MgO %	CaO %	Na ₂ O %	K ₂ O %	TiO ₂ %	P ₂ O ₅ %	LOI %	Ba ppm	Be ppm
RV-01A	96.21	1.1	1.37	0.03	0.02	0.03	0.06	0.54	0.892	0.03	0.26	50	0.5
RV-01B	98.11	0.47	0.93	0.01	0.02	0.05	0.02	0.005	0.385	0.02	0.86	39	0.5
RV-02A	97	0.86	0.91	0.01	0.02	0.02	0.04	0.52	0.242	0.02	0.03	15	0.5
RV-02B	97.95	0.61	0.51	0.005	0.005	0.01	0.02	0.64	0.194	0.02	0.2	14	0.5
RV-03B	61	27.48	2.22	0.005	0.35	0.02	0.16	6.53	0.291	0.18	0.64	2900	2
RV-03C	93.5	2.46	1.14	0.02	0.02	0.02	0.07	1.56	0.563	0.05	0.32	476	0.5
RV-03D	94.55	1.29	1.52	0.03	0.02	0.02	0.06	0.84	0.59	0.03	0.14	166	0.5
RV-06A	97.39	0.54	1.48	0.02	0.02	0.03	0.02	0.54	0.235	0.02	0.03	37	0.5
RV-06B	97.38	0.31	0.63	0.005	0.02	0.02	0.04	0.005	0.364	0.02	0.35	10	0.5

	Co ppm	Cr ppm	Cs ppm	Hf ppm	Rb ppm	Sb ppm	Sc ppm	Se ppm	Sr ppm	Ta ppm	Th ppm	U ppm	V ppm
RV-01A	6	119	0.25	18.3	10	2.3	1.7	3	12	2	3	4.9	25
RV-01B	5	9	0.25	7.3	10	1.4	0.9	1.5	10	1	1.3	2.2	17
RV-02A	7	112	0.6	6.1	10	0.2	0.8	1.5	3	0.5	5.4	1.8	7
RV-02B	5	3	0.25	4.2	10	0.1	0.6	1.5	1	0.5	4.5	1.1	6
RV-03B	9	64	6.4	5.8	280	0.2	1.5	1.5	271	1	2.5	2	42
RV-03C	21	11	0.25	23.8	30	0.1	1.6	1.5	70	1	15.4	4.5	12
RV-03D	13	124	0.8	24.9	10	0.1	1.5	1.5	25	2	15.6	4.1	15
RV-06A	13	128	0.25	6.6	10	0.1	0.6	1.5	5	0.5	2.1	0.9	8
RV-06B	10	3	0.25	9.7	10	0.1	0.6	1.5	1	0.5	3.3	1.3	10

	Y ppm	Zr ppm	La ppm	Ce ppm	Nd ppm	Sm ppm	Eu ppm	Yb ppm	Lu ppm
RV-01A	8	935	2.6	6	2.5	0.3	0.05	1.6	0.27
RV-01B	2	365	1.9	3	2.5	0.3	0.3	0.7	0.13
RV-02A	8	293	10.6	20	9	1.3	0.4	1.2	0.22
RV-02B	4	222	8.5	15	5	1	0.3	0.7	0.1
RV-03B	22	202	27.4	53	24	3	1.1	1.2	0.21
RV-03C	17	1066	44.7	79	33	4.6	0.8	2.1	0.37
RV-03D	22	1336	32.9	57	23	3.7	0.8	2.1	0.36
RV-06A	6	363	2.9	5	2.5	0.3	0.3	0.7	0.1
RV-06B	21	509	4.9	10	2.5	0.7	0.05	0.7	0.12

ANEXO III

MAPA GEOMORFOLÓGICO E DE PROCESSOS EROSIVOS DA BACIA DO RIO BOTAFOGO - PE

MAPA GEOMORFOLÓGICO E DE PROCESSOS EROSIVOS
DA BACIA DO RIO BOTAFOGO - PE
2008



Programa de Pós-Graduação em Geociências
Área de Concentração em Geologia Sedimentar e Ambiental

LEGENDA

FORMAS DE RELEVO

RELEVOS DE DEGRADAÇÃO

- COLINAS EM ROCHAS CRISTALINAS**
Colinas convexo-côncavas com vertentes de declives médios (6 a 20%) e topos plano-arredondados a aguçados, com amplitude de relevo entre 50 e 150 m. Densidade de drenagem média a elevada e padrão dendrítico.
- TABULEIROS EM SEDIMENTOS DA UNIDADE INFRA-BARREIRAS**
Tabuleiros de topos planos, dissecados, com amplitude de relevo entre 100 e 150 m, cortados por rede de canais de rede a densidade de drenagem e padrão sulcado a dendrítico; vales incisos de peguena extensão e média profundidade (10 a 50 m e gradientes médios (6 a 20%) a altos (> 20%).
- TABULEIROS EM SEDIMENTOS DA FORMAÇÃO BARREIRAS**
Tabuleiros de topos planos, dissecados, com amplitude de relevo entre 50 e 100 m, sulcados por rede de canais de rede a densidade de drenagem e padrão sulcado a dendrítico; vales de fundo plano de peguena extensão e baixa profundidade (10 a 30 m e gradientes médios (6 a 20%).
- VERTENTES**
Vertentes suavizadas na base, declives baixos (2 a 6%) a médios (6 a 20%), ocorrendo predominantemente nos vales mais amplos de fundo plano, e íngremes com declives altos (> 20%), ocorrendo nos vales incisos. No segmento basal das vertentes, situam-se rampas de colúvio, originadas por movimentos de massa, predominantemente sedimentos de natureza areo-argilosa, com traço argiloso subredondado.
- VALES INCISOS**
Vales incisos em forma de "V", profundos e escavados, ocorrendo predominantemente em litologia cristalina, com baixa acumulação de sedimentos, devido a maior competitividade no transporte, relacionada a altas declividades das vertentes (> 20%).

RELEVOS DE AGRADEÇÃO

- VALES DE FUNDO PLANO**
Vales amplos, de fundo plano, com declives suavizados (2 a 6%), onde predomina acumulação de sedimentos.
- PLANÍCIES FLUVIAIS**
Superfícies subhorizontais, com declives suaves (0 a 2%), constituídas de depósitos predominantemente areo-argilosa.
- PLANÍCIES INTERTIDIAIS (MANGUES)**
Superfícies planas constituídas de depósitos argilosos orgânicos, localizadas na zona de influência de marés de baixa.

PROCESSOS EROSIVOS

- CICATRIZES EROSIVAS POR RETIRADA DE MATERIAL**
Cicatrizes erosivas por retirada de material arenoso, para utilização na construção civil.
- DESLIZAMENTOS**
Ruptura e deslocamento de massas de solo e rochas associadas em encostas íngremes.
- RAVINAS**
Cicatrizes erosivas em forma de sulcos de largura reduzida, ocasionados pela concentração das águas de escoamento superficial.
- VOÇOROCAS**
Cicatrizes erosivas de grande porte, em consequência da ampliação das dimensões dos ravinamentos e formação de dutos pelo escoamento do lençol freático na base da voçoroca.

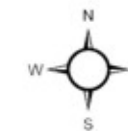
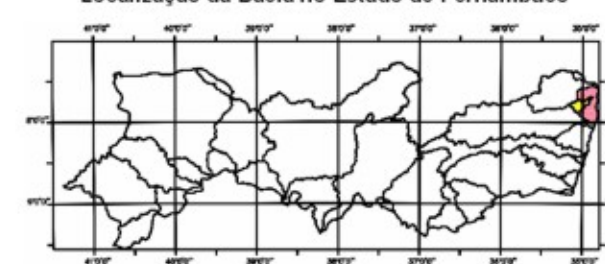
ESTRUTURAS

- FALHA SINISTRAL**
- FALHA SINISTRAL ENCOBERTA**
- FALHA INFERIDA**

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Caminho**
- Estrada não pavimentada**
- Estrada pavimentada**
- Área Urbana**
- Drenagem**
- Corpos d'água**

Localização da Bacia no Estado de Pernambuco

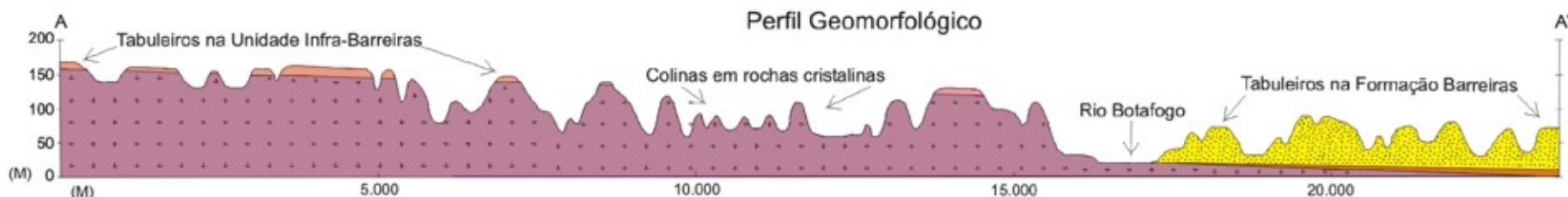


0 1.000 2.000 4.000
Metros
Escala: 1:50.000

PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR

Origem da quilometragem UTM Equador e Meridiano Central 33° W.Gr.
Acrescidas as constantes 10.000 e 500 km, respectivamente
Datum Horizontal: WGS-84

Perfil Geomorfológico



- Formação Barreiras**
- Unidade Infra-Barreiras**
- Fm Beberibe/Gramame/M. Farinha Indiviso**
- Complexo Gnáissico Migmatítico**

Autor: Rogério Valença Ferreira
Orientador: Prof. Dr. Virgínio Henrique Neumann
Co-Orientador: Profª Drª Ana Lúcia B. Candeias