

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E GEOQUÍMICA**

TESE DE DOUTORADO

**USO DE FERRAMENTAS MULTIDISCIPLINARES NA AVALIAÇÃO
DE VULNERABILIDADE E RISCO A SUBSIDÊNCIA NO MEIO
CÁRSTICO NA CIDADE DE CASTANHAL, NORDESTE DO PARÁ-
BRASIL.**

Tese apresentada por:

ANA VALÉRIA DOS REIS PINHEIRO

**BELÉM
2009**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca Geólogo Raimundo Montenegro Garcia de Montalvão

Pinheiro, Ana Valéria dos Reis
P654u Uso de ferramentas multidisciplinares na avaliação de
vulnerabilidade e risco a subsidência no meio cárstico na cidade de
Castanhal, Nordeste do Pará - Brasil. / Ana Valéria dos Reis Pinheiro
– 2009
xix, 211 f.: il.

Tese (Doutorado em Geologia) – Programa de Pós-Graduação em
Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade
Federal do Pará, Belém, 2009.

Orientador; Francisco de Assis Matos de Abreu, Coorientador;
José Luiz Gouveia.

1. Geologia estrutural - Pará. 2. Meio cárstico. 3. Neotectônica. 4.
Hidrogeologia. 5. Castanhal (PA). I. Universidade Federal do Pará. II.
Abreu, Francisco de Assis Matos de, Orient. III. Gouveia, José Luiz,
Coorient. IV. Título.

CDD 20. ed.: 551.8098115



Universidade Federal do Pará
Instituto de Geociências
Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica

**USO DE FERRAMENTAS MULTIDISCIPLINARES NA AVALIAÇÃO
DE VULNERABILIDADE E RISCO A SUBSIDÊNCIA NO MEIO
CÁRSTICO NA CIDADE DE CASTANHAL, NORDESTE DO PARÁ-
BRASIL.**

TESE APRESENTADA POR

ANA VALÉRIA DOS REIS PINHEIRO

Como requisito parcial à obtenção do Grau de Doutor em
Ciências na Área de GEOLOGIA.

Data de Aprovação: 06/11/2009

Comitê de Tese:

FRANCISCO DE ASSIS MATOS DE ABREU (Orientador)

JOSÉ GOUVÊA LUIZ (Co-orientador)

ITABARACI NAZARENO CAVALCANTE

CLAUDIO FABIAN SZLAFSZTEIN

MAURÍCIO DA SILVA BORGES

MARCELO CANCELA LISBÔA COHEN

Belém

Aos meus filhos, Renata e Jonas.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao Deus de meu coração e de minha compreensão pelo Dom da Vida.

Ao Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica do Instituto de Geociências da UFPA pela oportunidade que me deu de crescer acadêmica e cientificamente.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de doutorado.

À FEMAC Geosolo Ltda., na pessoa do Eng. Felisberto Centeno Jr. pela informação verbal prestada e por ceder seus relatórios de construção de poços da cidade de Castanhal.

À COSANPA por ceder seu cadastro de poços de Castanhal.

À ADA, na pessoa do geólogo Pedro Rolim por ceder imagens do satélite Landsat e à bibliotecária Georgete pela incansável busca pelas fotografias aéreas em seu acervo.

À biblioteca da CPRM por ceder as informações do PLGB de Castanhal e pelo empréstimo das fotografias aéreas.

À Secretaria Municipal de Obras e Urbanismo de Castanhal por ceder uma cópia do mapa do município de Castanhal e da Planta Polivisual da Grande Castanhal.

Aos meus orientadores Prof. Dr. Francisco de Assis Matos de Abreu e Prof. Dr. José Gouvêa Luiz pelo grande apoio no início deste trabalho e pelas valiosas instruções no decorrer do mesmo.

Aos membros de minha banca de qualificação pelas contribuições dadas naquele momento e desde então no decorrer deste trabalho: Prof. Dr. Itabaraci Nazareno Cavalcante, Prof. Dr. Om Prakash Verma (*In memorian*) e Prof. Dr. Maurício da Silva Borges.

Aos membros de minha banca examinadora pela disponibilidade e dedicação que deram a este trabalho: Prof. Dr. Claudio Fabian Szlafsztein e Prof. Dr. Marcelo Lisboa Cancela Cohen.

Ao Prof. Dr. Roberto Vizeu de Lima Pinheiro e Profa. Dra. Eliene Lopes de Souza, pelo precioso auxílio prestado em suas respectivas áreas de atuação.

Ao Prof. Dr. Vladimir de Araújo Távora, Profa. Dra. Odete Machado da Silveira e Profa. Dra. Rosemery da Silva Nascimento por todo o apoio e incentivo dados durante este trabalho.

Ao Prof. Dr. Pedro Walfir Martins e Souza Filho coordenador do LAIT e aos técnicos Lourival Gomes da Silva Jr, Helenice de Araújo Silva, Paulo José Alves e Wilson da Rocha

Nascimento Jr., pelo apoio constante durante os trabalhos neste laboratório, assim como Glenda Carvalho e Karla Silva.

Ao Dr. Mário Ivan Cardoso de Lima, geólogo do IBGE, por todas as nossas conversas, sempre muito instrutivas.

Ao MSc. Robério Bôto de Aguiar, geólogo da CPRM-Fortaleza, pelo material de “carste” gentilmente enviado.

Ao Laboratório de Prospecção Geofísica pelo empréstimo dos equipamentos e ao técnico Afonso Quaresma, à geóloga Íris Bandeira e aos estudantes de geofísica Allex Raiol, de geologia Eric Silveira e de engenharia de pesca Maurício Lima pelo apoio de campo nos levantamentos geofísicos.

Ao Prof. MSc. Fernando Pina Assis pelo empréstimo de GPS e altímetro.

À Biblioteconomista Lúcia Imbiriba, Diretora da Biblioteca do IG e suas prestimosas estagiárias.

Aos meus amigos geólogos Prof. MSc. Francisco Ribeiro da Costa, pelo valioso auxílio, MSc. Sheila Gatinho Teixeira, MSc. Messiana Beatriz Malato Boulhosa, MSc. Elem Cristina da Silva Lopes e MSc. Gisele Anjos, pela troca de informações e companheirismo. E ao estudante de geologia Daniel de Lima Gonçalves pelos perfis litoestratigráficos.

À geógrafa Ana Karla dos Reis Vieira pelas sugestões, sempre embasadas.

A Alfredo Pinheiro pelas figuras no Corel DRAW e auxílio nos assuntos de informática, *software* e *hardware*.

Ao meu pai, engenheiro MSc. Carlos Moura dos Reis, pelo exemplo como pesquisador ético e responsável.

Aos meus familiares e amigos que de uma forma ou outra sempre apoiaram o meu trabalho, especialmente minha mãe, D. Ivete Gama dos Reis, sem a qual nada teria sido possível.

E aos meus filhos Renata Cybele, 9 anos, e Jonas Hermano, 8 anos, por entenderem minhas ausências e meus atrasos e ainda me apoiarem durante este trabalho.

SUMÁRIO

	p.
DEDICATÓRIA.....	i
AGRADECIMENTOS.....	ii
RESUMO.....	1
ABSTRACT.....	3
1 – INTRODUÇÃO.....	5
1.1 – OBJETIVOS.....	6
1.1.1 – Geral.....	6
1.1.2 – Específicos.....	7
1.2 - A ÁREA DE ESTUDO.....	8
1.2.1 - Localização e acesso.....	8
1.2.2 - Aspectos socioeconômicos.....	8
1.2.3 – Clima.....	10
1.2.4 – Solos.....	11
1.2.5 – Vegetação.....	12
1.2.6 – Hidrografia.....	12
1.3 – METODOLOGIA.....	14
1.3.1 - Sensoriamento remoto.....	14
1.3.1.1 - Fotografias aéreas.....	15
1.3.1.2 - Imagens Landsat.....	17
1.3.1.3 - Imagens SRTM.....	24
1.3.1.4 - Extração de informações.....	26
1.3.1.5 - Confecção de mapas, blocos diagramas e perfis.....	27
1.3.2 - Levantamento de campo.....	28
1.3.2.1 - Caracterização geológica.....	29
1.3.2.2 - Caracterização hídrica (superficial e subterrânea).....	29
1.3.2.3 - Caracterização socioambiental.....	29
1.3.2.4 - Levantamento geofísico.....	30
1.3.2.4.1- Gravimetria.....	31

<i>1.3.2.4.2 - Resistividade elétrica (SEV).....</i>	<i>33</i>
<i>1.3.2.4.3 - Perfilação de poços.....</i>	<i>34</i>
1.3.3 - Fundamentos teóricos utilizados.....	34
1.3.3.1 – Geomorfologia.....	35
1.3.3.2 - Estruturas tectônicas.....	36
1.3.3.3 – Neotectônica.....	37
1.3.3.4 – Hidrogeologia.....	38
<i>1.3.3.4.1 - Interações com a geomorfologia.....</i>	<i>40</i>
<i>1.3.3.4.2 - Hidrogeologia de meio cárstico.....</i>	<i>41</i>
1.3.3.5 – Geofísica.....	42
2 - SINOPSE DE TRABALHOS ANTERIORES NA REGIÃO.....	46
2.1 – GEOLOGIA.....	46
2.1.1 – Geomorfologia.....	47
2.1.2 – Estratigrafia.....	48
2.1.3 – Neotectônica.....	51
2.1.4 – Sismicidade.....	52
2.2 – HIDROGEOLOGIA.....	54
2.2.1 - Hidroquímica e hidrogeoquímica.....	54
2.3 – GEOFÍSICA.....	57
3 - TRABALHOS ANTERIORES EM CASTANHAL.....	59
3.1 – Geologia.....	59
3.1.1 – Geomorfologia.....	60
3.1.2 – Neotectônica.....	60
3.2 - MEIO AMBIENTE.....	61
3.3 – SOCIOECONOMIA.....	63
4 - ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS PRODUTOS DE SENSORIAMENTO REMOTO.....	65
4.1 - FOLHA CASTANHAL (SA.23-V-C-I).....	65
4.1.1 – Drenagem.....	65
4.1.2 – Relevo.....	70
4.1.3 - Resultado da análise e interpretação.....	78

4.2 - CIDADE DE CASTANHAL.....	79
4.2.1 – Drenagem.....	79
4.2.2 – Relevo.....	81
4.2.3 - Resultado da análise e interpretação.....	82
5 – GEOLOGIA.....	85
5.1 – GEOMORFOLOGIA.....	85
5.1.1 - Planícies aluvionares.....	85
5.1.2 - Colinas pequenas.....	85
5.1.3 - Colinas amplas.....	89
5.1.4 - Colinas de topos aplainados.....	89
5.2 – ESTRATIGRAFIA.....	89
5.2.1 - Formação Pirabas.....	89
5.2.2 - Grupo Barreiras.....	91
5.2.3 - Sedimentos Pós-Barreiras.....	91
5.2.4 - Sedimentos Holocênicos.....	92
5.2.5 - Correlação litoestratigráfica.....	92
5.3 – NEOTECTÔNICA.....	95
6 – GEOFÍSICA.....	103
6.1 – GRAVIMETRIA.....	103
6.1.1 - Interpretação da gravimetria.....	106
6.2 – RESISTIVIDADE.....	106
6.2.1 - Interpretação da resistividade.....	110
6.3 - PERFILAGEM DE POÇO.....	113
6.4 - INTEGRAÇÃO DOS DADOS GEOFÍSICOS.....	116
7 - RECURSOS HÍDRICOS.....	118
7.1 – HIDROGRAFIA.....	118
7.2 - HIDROGEOLOGIA LOCAL.....	120
7.2.1 - Balanço hídrico.....	120
7.2.2 - Sistemas hidrogeológicos.....	120
7.2.3 - Dados de poços.....	123
7.2.4 - Análise geométrica dos aquíferos.....	125

7.2.5 – Hidroquímica.....	130
8 - OCUPAÇÃO DO MEIO FÍSICO E SUAS IMPLICAÇÕES AMBIENTAIS.....	134
8.1 – SOCIOECONOMIA.....	134
8.2 - CARACTERIZAÇÃO DO NÚCLEO URBANO.....	135
8.3 - MEIO AMBIENTE.....	135
8.4 – SOCIOECONOMIA.....	152
9 - RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	145
9.1 - ANÁLISE DO ARRANJO ESPACIAL DOS CORPOS GEOLÓGICOS.....	145
9.2 - AVALIAÇÃO DE VULNERABILIDADE HIDROGEOLÓGICA.....	148
9.3 - AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA.....	150
9.4 - AVALIAÇÃO DO RISCO RELATIVO DOS COMPARTIMENTOS.....	153
10 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	156
11 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	161
ANEXO I.....	169
ANEXO II.....	170
ANEXO III.....	171
ANEXO IV.....	178
ANEXO V.....	186
ANEXO VI.....	187
ANEXO VII.....	194
ANEXO VIII.....	196
ANEXO IX.....	197
ANEXO X.....	204

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

p.

Figura 1 - Localização e acesso a Castanhal.....	9
Figura 2 - Média histórica mensal de temperatura, umidade relativa do ar e insolação, no período de 1931 a 1990.....	11
Figura 3 - Rede hidrográfica principal na Folha Castanhal SA.23-V-C.....	13
Figura 4 - Propriedades de drenagem.....	15
Figura 5 - Hierarquia de classes.....	16
Figura 6 - Padrões de drenagem: A) Dendrítico; B) Treliça; C) Radial; D) Centrípeto; E) Drenagem interna; e F) Trançado.....	16
Figura 7 - Espectro eletromagnético mostrando a posição relativa das regiões do ultravioleta (UV), visível, infravermelho (IV) e microondas (radar), convencionalmente associadas ao Sensoriamento Remoto.....	20
Figura 8 - A: Histograma original da banda 3 do Landsat-5/TM de 1999. B: Histograma corrigido da banda 3 do Landsat-5/TM de 1999.....	21
Figura 9 - A: Histograma original da banda 4 do Landsat-5/TM de 1999 B: Histograma corrigido da banda 4 do Landsat-5/TM de 1999.....	22
Figura 10 - A: Histograma original da banda 5 do Landsat-5/TM de 1999 B: Histograma corrigido da banda 5 do Landsat-5/TM de 1999.....	22
Figura 11 - Modelo de distorção usando pontos de controle no terreno.....	23
Figura 12 - Esfera do sistema de cores IHS em relação ao sistema RGB.....	25
Figura 13 - Localização dos perfis gravimétricos, das sondagens elétricas verticais, e das perfilagens de poços.....	32
Figura 14 - Arranjo de eletrodos de corrente AB e de potencial MN.....	33
Figura 15 - Ciclo hidrológico.....	39
Figura 16 - Resistividade das rochas mais importantes.....	44
Figura 17 - Mapa geológico – Folha Castanhal (SA.23-V-C).....	49
Figura 18 - Sismo de 12 de janeiro de 1970 em Belém-PA.....	53

Figura 19 - Esboço gravimétrico da porção centro norte do Brasil.....	58
Figura 20 - Mapa de drenagem com hierarquização de classes segundo método de Strahler (1952) – Folha Castanhal (SA.23.V-C-I).....	66
Figura 21 - Mapa de descontinuidades de drenagem com alinhamentos – Folha Castanhal (SA.23-V-C-I).....	68
Figura 22 - Mapa de descontinuidades de drenagem com landformes tectônicos primários – Folha Castanhal (SA.23-V-C-I).....	69
Figura 23 - Modelo digital de elevação da Folha Castanhal, SA.23-V-C-I.....	71
Figura 24 - Relevo sombreado da Folha Castanhal, SA.23-V-C-I.....	72
Figura 25 - Fusão do modelo digital de elevação com o relevo sombreado da Folha Castanhal, SA.23-V-C-I.....	73
Figura 26 - Mapa geomorfológico – Folha Castanhal (SA.23.V-C-I).....	74
Figura 27 - Mapa morfoestrutural – Folha Castanhal (SA.23-V-C-I).....	75
Figura 28 - Mapa de Landformes tectônicos primários no modelo digital de terreno – Folha Castanhal (SA.23.V-C-I).....	76
Figura 29 - Mapa geológico – Folha Castanhal (SA.23-V-C-I).....	77
Figura 30 - Diagrama esquemático da compartimentação tectônica na Folha Castanhal.....	78
Figura 31 - Mapa de drenagem da cidade de Castanhal-Pará.....	80
Figura 32 - Mapa topográfico com drenagens e área urbana de Castanhal-Pará.....	82
Figura 33 - Modelo digital de terreno com a cidade de Castanhal delimitada.....	83
Figura 34 - Mapa da cidade de Castanhal com a divisão em blocos tectônicos.....	85
Figura 35 - Mapa geológico da cidade de Castanhal-Pará.....	86
Figura 36 - Mapa geomorfológico da cidade de Castanhal-Pará.....	87
Figura 37 - Fotografia da Planície aluvionar, no final da Passagem Cônego Luís Leitão, no bairro Cariri.....	88
Figura 38 - Fotografia do Relevo de colinas pequenas na estrada que dá acesso à UFRA – Castanhal.....	88
Figura 39 - Relevo de colinas amplas visto da Rua Francisco Pereira da Silva, bairro Rouxinol (ao fundo bairro Jaderlândia).....	90
Figura 40 - Relevo de colinas de topos aplainados ao fundo, visto da sede da UFRA- Castanhal.....	91

Figura 41 - Coluna estratigráfica da região nordeste do Pará.....	106
Figura 42 - Mapa de localização dos poços da COSANPA em Castanhal, que deram origem aos perfis litoestratigráficos.....	93
Figura 43 - Correlação litoestratigráfica demonstrada pelo perfil litológico dos poços da COSANPA em Castanhal-PA, seção A-B.....	94
Figura 44 - Correlação litoestratigráfica demonstrada pelo perfil litológico dos poços da COSANPA em Castanhal-PA, seção C-D.....	96
Figura 45 - Correlação litoestratigráfica demonstrada pelo perfil litológico dos poços da COSANPA em Castanhal-PA, seção E-F.....	97
Figura 46 - Correlação litoestratigráfica demonstrada pelo perfil litológico dos poços da COSANPA em Castanhal-PA, seção G-H.....	98
Figura 47 - Vista da mudança do solo arenoso e branco em relevo de colinas de topos aplainados, em primeiro plano e areno-argiloso avermelhado com seixos de laterira que sustentam o relevo de colinas pequenas, ao fundo. No centro vê-se tubulões para futuro saneamento do igarapé do Quatro, em frente ao terreno da COSANPA, no bairro Milagres.....	99
Figura 48 - Rosácea mostrando as principais direções dos alinhamentos de drenagem: N 80° E e N 10° W.....	99
Figura 49 - Rosácea mostrando as principais direções dos landformes tectônicos primários: N 30°-40° E e N 20°-30° W.....	100
Figura 50 - Componentes de Riedel do sistema transcorrente dextral.....	100
Figura 51 - A : Perfil simplificado AB, B : Perfil simplificado DC, C : Perfil simplificado EF, D : Perfil simplificado GH com a localização dos poços (em preto) em relação ao relevo, evidenciando os landformes tectônicos primários (em vermelho).....	102
Figura 52 - Perfil gravimétrico 1.....	104
Figura 53 - Mapa Bouguer construído a partir dos dados dos perfis 2, 3, 4, 5, 6 e 7, mostrando os valores das isolinhas em mGal e a linha tracejada em vermelho que representa um alinhamento sugere falha geológica.....	105
Figura 54 - Mapa Bouguer construído a partir dos dados obtidos nos sete perfis gravimétricos, mostrando os valores das isolinhas em mGal e os tracejados em vermelho representam alinhamentos sugeridos pelos contornos de isovalores.....	105

Figura 55 - Mapa Bouguer integrado na cidade de Castanhal, mostrando os alinhamentos sugeridos pelas anomalias.....	107
Figura 56 - Interpretação das SEV 1 (A) e SEV 2 (B). O modelo interpretativo das SEV's está representado pela linha cheia em formato de degrau.....	108
Figura 57 - Interpretação das SEV 3 (A) e SEV 4 (B). O modelo interpretativo das SEV's está representado pela linha cheia em formato de degrau.....	109
Figura 58 - Interpretação das SEV 5 (A) e SEV 6 (B). O modelo interpretativo das SEV's está representado pela linha cheia em formato de degrau.....	111
Figura 59 - Interpretação das SEV 7 (A) e SEV 8 (B). O modelo interpretativo das SEV's está representado pela linha cheia em formato de degrau.....	112
Figura 60 - Poço Jaderlândia 3: perfil construtivo, perfil litológico e perfilagem geofísica (raios γ , potencial espontâneo e resistividade, respectivamente).....	113
Figura 61 - Mapa de Castanhal com os alinhamentos sugeridos pelos contornos de isovalores, dividindo a cidade em cinco partes.....	117
Figura 62 - Mapa hidrográfico da cidade de Castanhal-Pará.....	119
Figura 63 - Balanço hídrico de Castanhal, concebido a partir dos dados de Lima, Quaresma e Nóbrega (1994).....	122
Figura 64 - Distribuição dos poços utilizados para abastecimento público e particular em Castanhal-Pará.....	124
Figura 65 - Mapa de profundidade de água na cidade de Castanhal, mostrando as linhas equipotenciais do nível estático.....	127
Figura 66 - Mapa de carga hidráulica na cidade de Castanhal, mostrando as linhas equipotenciais de carga hidráulica.....	128
Figura 67 - Mapa de carga hidráulica e fluxo subterrâneo com os poços estudados.....	129
Figura 68 - Mapa de carga hidráulica com os poços estudados sobre a drenagem na cidade de Castanhal-Pará.....	131
Figura 69 - Frente da área de captação da COSANPA no bairro Milagres, situada à Avenida José Bertino da Silva, com o igarapé do Quatro em segundo plano. Note-se Ao fundo tubulões de concreto para futuro saneamento do referido igarapé (julho/2007).....	132
Figura 70 - Sistema de aeração no bairro Jaderlândia (julho/2007).....	132
Figura 71 - Evolução urbana de Castanhal entre 1984 e 2001.....	136

Figura 72 - Aspecto de um igarapé com lixo (bairro Milagres, julho/2007).....	145
Figura 73 - Lixo jogado por moradores, às vezes queimado, em terrenos baldios (Bairro Bom Jesus, julho/2007).....	137
Figura 74 - Igarapé eutrofizado visto da ponte na Passagem Minondas, bairro Jaderlândia (julho/2007).....	139
Figura 75 - Trecho do igarapé supracitado, na porção sem vegetação (julho/2007).....	139
Figura 76 - Sistema de captação de água da COSANPA para abastecimento público (julho/2007).....	140
Figura 77 - Sanitário precário ao lado do igarapé com o sistema de captação da COSANPA (julho/2007).....	140
Figura 78 - Vista do final da Passagem Cônego Luís Leitão, no bairro Cariri, onde se vê um desnível de cerca de 10 m. Note-se o muro de arrimo à direita (julho/2007).....	141
Figura 79 - Vista do lado esquerdo da Passagem Cônego Luís Leitão, à esquerda uma palafita (julho/2007).....	141
Figura 80 - Vista da parte rebaixada da Passagem Cônego Luís Leitão, ao fundo um morro de topo aplainado (julho/2007).....	142
Figura 81 - Vista da área de extração de areia no distrito de Apeú (julho/2007).....	142
Figura 82 - Outra vista da área de extração de areia no distrito de Apeú.....	143
Figura 83 - Localização de problemas ambientais na cidade de Castanhal.....	144
Figura 84 - Bloco diagrama concebido a partir da seção AB, com os poços.....	146
Figura 85 - Bloco diagrama concebido a partir da seção DC, com os poços.....	147
Figura 86 - Bloco diagrama concebido a partir da seção EF, com os poços.....	147
Figura 87 - Bloco diagrama concebido a partir da seção HG, com os poços.....	147
Figura 88 - Bloco diagrama da área da cidade de Castanhal evidenciando os blocos tectônicos.....	149
Figura 89 - Mapa da distribuição de fontes de riscos ambientais, na cidade de Castanhal.....	151
Figura 90 - Diagramas de Stiff para águas de áreas do domínio sedimentar arreiras e Pirabas; valores em meq/L. Cor rosa representa estações secas; azul, estações chuvosas. Para cada local de coleta considerou-se a média dos valores obtidos.....	152
Figura 91 - Riscos geológicos em blocos tectônicos, associados a dados geofísicos e litoestratigráficos na cidade de Castanhal-Pará.....	154

LISTA DE TABELAS

	p.
TABELA 1 - Média e desvio padrão da PCA – Landsat-5/TM 1999.....	18
TABELA 2 - Matriz de covariância – Landsat-5/TM 1999.....	19
TABELA 3 - Matriz de correlação – Landsat-5/TM 1999.....	19
TABELA 4 - Cálculo de OIF – Landsat-5/TM 1999.....	20
TABELA 5 - Características dos poços da COSANPA em Castanhal.....	135
TABELA 6 - Parâmetros físico-químicos da água dos poços da COSANPA em Castanhal.....	141

LISTA DE QUADROS

	p.
QUADRO 1 - Descrição dos elementos de drenagem da Folha Castanhal (SA. 23-V-C-I).....	65
QUADRO 2 - Descrição dos dados da perfilagem do poço Jaderlândia 3.....	113
QUADRO 3 - Descrição dos dados da perfilagem do poço Milagre 2.....	115
QUADRO 4 - Descrição dos dados da perfilagem do poço Imperador.....	115
QUADRO 5 - Balanço hídrico de Castanhal.....	121
QUADRO 6 - Características dos poços da COSANPA em Castanhal.....	125
QUADRO 7 - Parâmetros físico-químicos da água dos poços da COSANPA em Castanhal.....	133

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A: Amper (unidade de corrente elétrica)
AC: *Alternative Current* (Corrente alternada)
ADA: Agência de Desenvolvimento da Amazônia
AM: Amplitude modulada (onda de rádio)
BANPARÁ: Banco do Estado do Pará
BASA: Banco da Amazônia S.A.
BB: Banco do Brasil
CEF: Caixa Econômica Federal
COHAB: Companhia de Habitação do Pará
COSANPA: Companhia de Saneamento do Estado do Pará
CNPQ: Conselho Nacional de Pesquisa tecnológica
CPRM: (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais) Serviço Geológico do Brasil
DEM: *Digital Elevation Model* (Modelo digital de elevação)
DC: *Direct Current* (Corrente contínua)
DNPM: Departamento Nacional de Produção Mineral
DSG: Divisão de Serviço Geográfico do Exército Brasileiro
EBCT: Empresa Brasileira de Correios e Telégrafos
EMBRATEL: Empresa Brasileira de Telecomunicação
FM: Frequência modulada (onda de rádio)
Funrural: Fundo de Assistência ao Trabalhador Rural
GLCF: *Global Land Cover Facility* (Facilidade de Cobertura Global do Terreno)
GPS: *Global Position System* (Sistema de posicionamento global)
IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IG: Instituto de Geociências
IHS: *Intensity Hue Saturation* (Sistema de cores Intensidade Matiz Saturação)
INPE: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IV: Infra vermelho
K: Potássio
L: litro

LAIT: Laboratório de Análise de Imagens do Trópico Úmido do IG/UFPA
m: metro
NASA: Agência Nacional Espacial dos Estados Unidos da América
NUMA: Núcleo de Meio Ambiente da UFPA
OIF: *Optimun Index Factor* (Fator – índice de otimização)
PAC: Programa de Aceleração do Crescimento
PLGB: Programa Levantamentos Geológicos Básicos
PPGG: Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica
PPGF: Programa de Pós-graduação em Geofísica
ppm: Parte por milhão
Rede Celpa: Centrais Elétricas do Pará S.A.
RGB: *Red Green Blue* (sistema de cores: vermelho verde azul)
SECTAM: Secretaria de Tecnologia e Meio Ambiente do Estado do Pará
SESPA: Secretaria de Saúde do Estado do Pará
SEV: Sondagem Elétrica Vertical
SUS: Sistema Único de Saúde
SRTM: *Shuttle Radar Topography Mission* (Missão topográfica por varredura de radar)
Th: Tório
TM: *Tematic Mapper* (Mapeador temático)
U: Urânio
U.C.: Unidade de cor
UFBA: Universidade Federal da Bahia
UFPA: Universidade Federal do Pará
UFRA: Universidade Federal Rural da Amazônia
USGS: *United State Geological Survey* (Serviço Geológico dos Estados Unidos da América)
USP: Universidade de São Paulo
UV: Ultra violeta
V: Volt (unidade de tensão, diferença de potencial)

RESUMO

Castanhal é uma das cidades de maior crescimento demográfico do estado do Pará e tem o abastecimento público de água feito a partir do sistema aquífero Pirabas, cuja característica principal é ser formado por rochas carbonáticas. A hipótese levantada neste trabalho é a de que a presença de edifícios cársticos subsuperficialmente explicaria a perda de fluido bentonítico de perfuração ocorrida durante a construção de três poços no bairro Jaderlândia, naquela cidade. Isto representaria uma situação de risco ambiental, por se tratar de área sujeita a colapso por afundamento de solo devido à desestabilização em subsuperfície. Geologicamente a região nordeste do Pará, onde Castanhal está inserida, é composta pelos sedimentos Pós-Barreiras e por rochas do Grupo Barreiras, que recobrem irregularmente a Formação Pirabas, cuja constituição calcária possibilita o desenvolvimento de edifício cárstico. Para a execução deste trabalho foi criada uma metodologia própria na qual são utilizadas diversas metodologias e aplicadas várias técnicas em diversas áreas do conhecimento, com destaque para sensoriamento remoto, geomorfologia, estratigrafia, neotectônica, geofísica e hidrogeologia, para análise ambiental. A partir de imagens do satélite Landsat-5/TM, imagens da SRTM, fotografias aéreas pancromáticas em escala 1: 70.000 e mosaico de ortofotos em escala 1: 10.000 foram gerados os mapas temáticos que junto com os perfis litoestratigráficos concebidos a partir de perfis litológicos dos poços da COSANPA possibilitaram a elaboração de perfis e blocos diagramas, que deram origem ao mapa de risco ambiental da cidade de Castanhal. Para complementar os dados geológicos usou-se métodos geofísicos de gravimetria, resistividade e de perfilagem de poços: raios γ , potencial espontâneo e resistência elétrica. O estudo hidrogeológico da cidade de Castanhal foi feito utilizando-se principalmente dados de poços para abastecimento público, complementados por poços particulares. A interpretação da rede de drenagem indica que ela está estruturalmente ordenada, representada por padrão em treliça, com direção principal NE-SW e NW-SE e assimetria forte, utilizada para evidenciar os landformes tectônicos primários, cujo significado permitiu a compartimentação tectônica da Folha Castanhal SA.23-V-C-I e da cidade de Castanhal. A organização geométrica foi confirmada pelos perfis litoestratigráficos dos poços e pelos perfis de resistividade. Esta estruturação tectônica é congruente com o sistema transcorrente dextral de Riedel, e ainda contém *relay ramps*, que são favoráveis à recarga dos sistemas aquíferos, por serem estruturas abertas. Quanto à análise da qualidade das águas foram

observados altos teores de ferro total e turbidez em vários poços e de carbonato de cálcio nos poços abastecidos pelo sistema Pirabas. A carga hidráulica e o fluxo subterrâneo apresentam uma zona de recarga no centro da cidade e outra na Vila de Apeú, e indicam drenagens efluentes, subordinadas a falhas e fraturas abertas, que podem ser áreas de recarga. Isto aumenta a vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos, fato preocupante, tanto pela contaminação em si como pela penetração de águas superficiais levemente ácidas que proporcionam a dissolução do calcário, desenvolvendo a construção de edifícios cársticos. O levantamento gravimétrico mostrou uma anomalia positiva no centro da cidade, indicando a proximidade do embasamento cristalino em subsuperfície, corroborado pelas SEV's. Já nos bairros Jaderlândia e Bom Jesus ocorrem anomalias negativas, concordantes com alinhamentos de drenagem com direção NNE-SSW, as quais indicam a construção de dois edifícios cársticos entre 60 m e 100 m de profundidade com uma extensão de 200 m e 400 m, representando alto risco de colapso nestes bairros. A interação das informações supracitadas possibilitou delinear a geometria das formações geológicas assim como a definição dos padrões estruturais geométrico e cinemático, o que permitiu estabelecer modelos tridimensionais. Quanto à hidrogeologia, foram indicadas as áreas de recarga, áreas de vulnerabilidade à contaminação, e ainda as áreas com risco de colapso por afundamento, devido ao desenvolvimento de edifícios cársticos, sendo sugeridos procedimentos para minorar e/ou evitar tais problemas.

Palavras Chave: Meio Cárstico. Neotectônica. Hidrogeologia. Castanhal-PA.

ABSTRACT

Castanhal was chosen for this work for being one of the cities with the most demographic growth and also for having its public water supply taken from the Pirabas aquiferous system, whose main characteristic is the fact that it is formed by carbonaceous rocks. The hypothesis suggested in this work is that this lithology explains the loss of drilling fluid that occurred during the drilling of the three wells in the Jaderlândia district, what can yield a subsurface collapse. The methodology applied in this work consisted of several techniques: remote sensing, geomorphology, neotectonics, hydrogeology, geophysics and environmental analysis. The maps were prepared utilizing Landsat-5/TM satellite images, SRTM images, aerial photos in 1:70.000 scale and orthophotos mosaics in 1:10.000 scale. To enhance the geological data, geophysical methods such as gravimetry, resistivity, and well logging: γ rays, spontaneous potential and resistance were applied. The hydrogeological study of Castanhal city was conducted mainly by using data from wells intended for public water supply and from private wells. Geologically, the northeast region of Pará state, where Castanhal city is located, is composed by Pós-Barreiras sediments and Barreiras Group rocks, that are underlied by Pirabas Formation, of calcareous constitution which is the focus of this work. The drainage system is structurally ordered and is represented by a stockwork pattern striking mainly NE-SW and NW-SE, with strong asymmetry, which allowed to visualize a tectonic sectioning of the Sheet Castanhal SA.23-V-C-I including the Castanhal city, identifying in this way high and low blocks that were confirmed by lithostratigraphic profiles of the wells and by the geophysical survey. The tectonic structure is congruous with the dextral system transcurrent of Riedel, and still contains *relay* structures found in all the Sheet of Castanhal, favoring to the recharge of the water-bearing systems; however, this increases its vulnerability to contamination. The hydraulic load and the underground flow present a zone of recharge in the center of the Castanhal city and another one in the Village of Apeú, and indicate effluent draining. The analysis of the quality of the waters showed high contents of total iron and turbidness in some wells and of calcium carbonate in the wells supplied by the Pirabas aquifer system. The gravity survey showed a positive anomaly in the center of the city, indicating a less deep basement, what was corroborated by the resistivity survey. In Jaderlândia and Bom Jesus quarters in the city of Castanhal negative anomalies lined up, concordant with drainage alignments of NW direction indicating the construction of two

karstics buildings between 60 m and 100 m of depth and 200 m and 400 m of extension representing a high risk of collapse in these quarters to occur. The interaction of the above-mentioned information made possible the elaboration of geological sections, blocks diagrams and thematic maps that gave origin to the map of environmental risk for the city of Castanhal.

Keywords: Karst. Neotectonic. Hydrogeology. Castanhal-PA

1 – INTRODUÇÃO

O município de Castanhal é um dos municípios do Pará que mais cresce. Surgiu por volta de 1874, quando da abertura de um caminho que fazia a ligação entre Belém e Bragança, consolidando-se em torno de 1889, devido à implantação da estrada de ferro que passou a fazer a ligação entre essas duas cidades.

O fortalecimento do município como pólo regional e centro prestador de serviços, ocasionou grande migração para a cidade de Castanhal, refletida no crescimento desordenado da cidade, com o surgimento de grande número de habitações em situações físicas inadequadas e sem saneamento básico.

Segundo Lima *et al.*(1994) e dados da COSANPA (2007), o serviço de abastecimento de água neste município é o mais precário dos serviços públicos, pois não possui rede de distribuição que atinja toda a população urbana, apenas cerca de 50%, o que mostra que este quadro muito pouco mudou ao longo dos anos. Somente os bairros localizados em terrenos de cotas mais baixas e as áreas mais próximas aos pontos de captação têm abastecimento permanente; os demais, inclusive o centro, o tem sem regularidade.

O abastecimento de água, público e particular, na cidade de Castanhal provém, de forma fundamental, da captação a partir de poços tubulares, sobretudo com profundidades entre 50 e 200 m.

Os sistemas aquíferos explotados pertencem a duas unidades litoestratigráficas de distribuição regional. A superior é o Grupo Barreiras e a inferior é a Formação Pirabas. Nessa última unidade ocorrem litotipos carbonáticos (calcários, margas, cálcio-arenitos), em profundidades em média a partir de aproximadamente 70 m.

O assentamento de concentrações populacionais sobre áreas que subsuperficialmente encerram formações carbonáticas comporta riscos. Dentre eles podem ser destacados naturalmente o afundamento de ruas e o desabamento de edificações, com aumento do risco quando associado a exploração de água subterrânea sem qualquer controle. Nestes casos, as camadas aquíferas servem de suporte às camadas superiores, desestabilizando o sistema quando da super exploração, ocasionando o colapso em superfície.

A cidade de Castanhal posiciona-se em uma área onde formações carbonáticas ocorrem em subsuperfície e, por isso mesmo, precisa ter uma avaliação de risco estabelecida para que

sejam feitas as devidas recomendações e/ou remediações, quando for o caso, sobretudo no que se refere à racionalização do uso dos recursos hídricos subterrâneos, que são captados a partir dos aquíferos da Formação Pirabas, onde essas camadas carbonáticas ocorrem.

Como exemplo de áreas de riscos semelhantes, tem-se a cidade de Cajamar-SP, que teve alguns episódios de colapsos, com afundamento de ruas e desabamento de várias edificações no bairro Lavrinhas e recalques e trincas em imóveis no bairro Vila Branca, nos anos de 1986 e 1987, segundo a Prefeitura Municipal de Cajamar (2003).

No ano 2000, na cidade de Teresina-PI ocorreu um colapso de um quarteirão da rua Simpício Mendes, centro da cidade, devido à super exploração de água subterrânea, de acordo com a Prefeitura Municipal de Teresina (2005).

Alguns municípios da Região Metropolitana de Curitiba também têm este mesmo problema. Em 2007 houve um colapso que deu origem a uma dolina com 50 m de comprimento, 40 m de largura e 30 m de profundidade na cidade de Almirante Tamandaré (MINEROPAR, 2007).

A causa dos acidentes nas citações acima se deve à super exploração de água subterrânea, em aquífero cárstico, sem o prévio estudo técnico e as devidas prevenções. Pela semelhança com as situações dos locais descritos, constatou-se que Castanhal é uma cidade que precisa ter uma avaliação geoambiental, a fim de analisar os riscos deste tipo de acidente e evitar problemas desta natureza.

1.1 – OBJETIVOS

Tendo em vista a situação geoambiental da cidade de Castanhal, este trabalho apresenta o objetivo geral e os objetivos específicos a seguir:

1.1.1 – Geral

A cidade de Castanhal necessita de uma avaliação de vulnerabilidade e risco de colapso, relativo à ocorrência de edifícios cársticos. Devido a isto, este trabalho tem como objetivo geral

delinear, a partir do estudo da geometria das formações geológicas presentes nesta área, as camadas carbonáticas suscetíveis de desenvolverem essas estruturas subsuperficiais, utilizando ferramentas multidisciplinares.

1.1.2 – Específicos

- Definir a distribuição superficial e subsuperficial das camadas geológicas e suas inter-relações, no que se refere aos aspectos geométricos e composicionais, destacando blocos tectônicos;

- Definir padrões estruturais geométricos e cinemáticos regionais com vistas a estabelecer as áreas de recargas dos aquíferos rasos e suas relações com a alimentação daqueles mais profundos, assim como a repartição de tensões tectônicas nos vários compartimentos em que a área se divide;

- Estabelecer modelos geométricos tridimensionais da cidade de Castanhal;

- Avaliar as tendências qualitativas das águas subterrâneas e dos problemas ambientais advindos das possíveis contaminações e/ou poluições detectadas;

- Avaliar o grau de risco que representa a ocorrência das rochas da Formação Pirabas em níveis subsuperficiais, para as edificações que estão assentadas no perímetro urbano da cidade de Castanhal;

- Indicar procedimentos para minorar e/ou eventualmente evitar os problemas ambientais, naturais ou antrópicos, identificados durante este estudo e apresentar sugestões de metodologias aplicáveis;

- Indicar situações de menor risco para a construção de novos poços, a fim de evitar acidentes ambientais como colapsos no terreno e contaminação dos aquíferos mais profundos;

- Disponibilizar os resultados obtidos à Prefeitura de Castanhal e órgãos afins, para que os mesmos conheçam a situação da área e possam providenciar as medidas necessárias à recuperação e/ou remediação do problema.

1.2 – A ÁREA DE ESTUDO

A área alvo deste trabalho é a cidade de Castanhal, sede do município homônimo, localizado na Folha Castanhal SA.23-V-C-I, escala de 1: 100.000, do corte internacional.

1.2.1 – Localização e acesso

Situado no nordeste do estado do Pará, o município de Castanhal está localizado entre as coordenadas de 1°00'S e 1°30'S, 47°30'W e 48°00'W. Possui extensão territorial de 1.029,191 km² e sua sede está a 70 km de Belém, capital do Estado, com acesso pela rodovia BR-316, a qual se liga a rodovia BR-010, a Belém – Brasília, e a outras rodovias estaduais como a PA-136 que conecta Castanhal a Curuçá, a PA-320 até São Francisco do Pará e Igarapé-Açu e a PA-422 que a liga a Inhangapi (Figura 1).

1.2.2 – Aspectos socioeconômicos

A cidade de Castanhal serve de entreposto comercial para os municípios da zona Bragantina e a capital do Estado, intermediando a compra e venda de mercadorias. Este fato ocasionou alguns problemas, como o aumento populacional que gerou um crescimento desordenado da sua sede e vizinhanças e, com isso, o surgimento de grande número de habitações em situações precárias, o que denota a baixa qualidade habitacional existente. Segundo o IBGE (2007), a população de Castanhal é de 152.126 habitantes.

Sua sede possui escolas de ensino fundamental, ensino médio e ensino pré-escolar com administração municipal, estadual ou particular; uma Escola Agrícola Profissionalizante e o Campus Avançado da UFPA (IBGE, 2004).

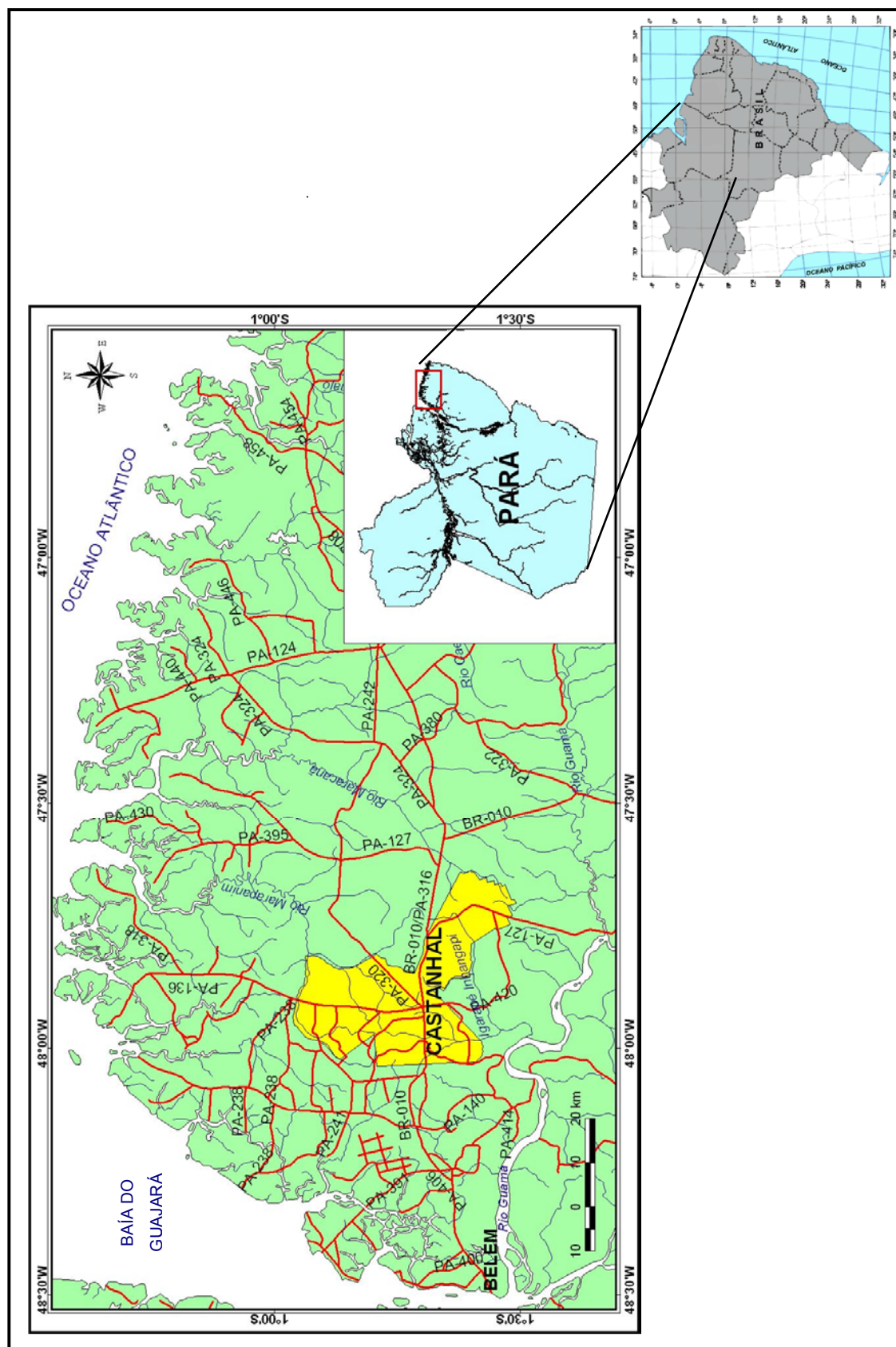


Figura 1 – Localização e acesso a Castanhal, adaptado de Costa (2000) e Guia Quatro Rodas (2006).

Quanto à saúde, segundo IBGE (2005) a cidade de Castanhal é servida pelas redes municipais, conveniadas ao SUS, Funrural e pela SESPA, além de atendimentos particulares. Conta com um hospital público que atende pelo SUS (335 leitos) e outro municipal (46 leitos), e seis hospitais particulares (343 leitos, no total)

A Rede Celpa supre de energia elétrica o município, com algumas subestações instaladas. Quanto ao item comunicação, o município conta com serviços de telefonia fixa e móvel, televisão via repetidoras da EMBRATEL, EBCT e emissoras de radiodifusão AM e FM.

Segundo IBGE (2005), o setor financeiro conta com sete agências de instituições financeiras, sendo três de bancos estatais (BB, CEF e BASA), um estadual (BANPARÁ) e três particulares (Bradesco, HSBC, Real).

1.2.3 – Clima

A classificação do clima e a série histórica da normal climatológica de uma região são dados muito úteis para o estudo hidrogeológico, pois a partir deles se estabelece o balanço hídrico da área de estudo, que é de grande importância para a avaliação do processo de carstificação.

O clima de Castanhal pertence ao subtipo Amw, segundo a classificação de Köppen, caracterizado por ser quente e úmido, com período seco marcante de julho a novembro e estação chuvosa acentuada de janeiro a maio (Costa, 2000). A menor evaporação foi registrada em fevereiro (34,8 mm) e a máxima verificada em outubro (95,4 mm), segundo Lima *et al.* (1994).

Na Figura 2 mostra-se os dados históricos, a partir dos quais se tem a temperatura média anual de 25,9°C, média das máximas de 31,4°C e das mínimas de 22,15°C. A precipitação média anual é de 2.827,15 mm. A umidade relativa do ar varia entre 81,8 e 91,0%, sendo a menor no mês de novembro e a maior nos meses de fevereiro, março e abril. As tabelas completas com os dados históricos encontram-se no ANEXO I deste trabalho. Os dados climatológicos disponíveis são referentes à Belém e vão de 1931 a 1990, por serem feitas as normais climatológicas em séries históricas de trinta anos. De acordo com o meteorologista L.C.B. Mollion (informação verbal, 2005), os dados históricos da estação de Belém podem ser utilizados para Castanhal, por se tratar de distância pequena, aproximadamente 70 km entre a estação e a área de interesse, e no

período de dezoito anos (de 1990 até 2008) não há alteração nos valores climatológicos. Por isso estes dados foram utilizados na falta de informação histórica da cidade de Castanhal.

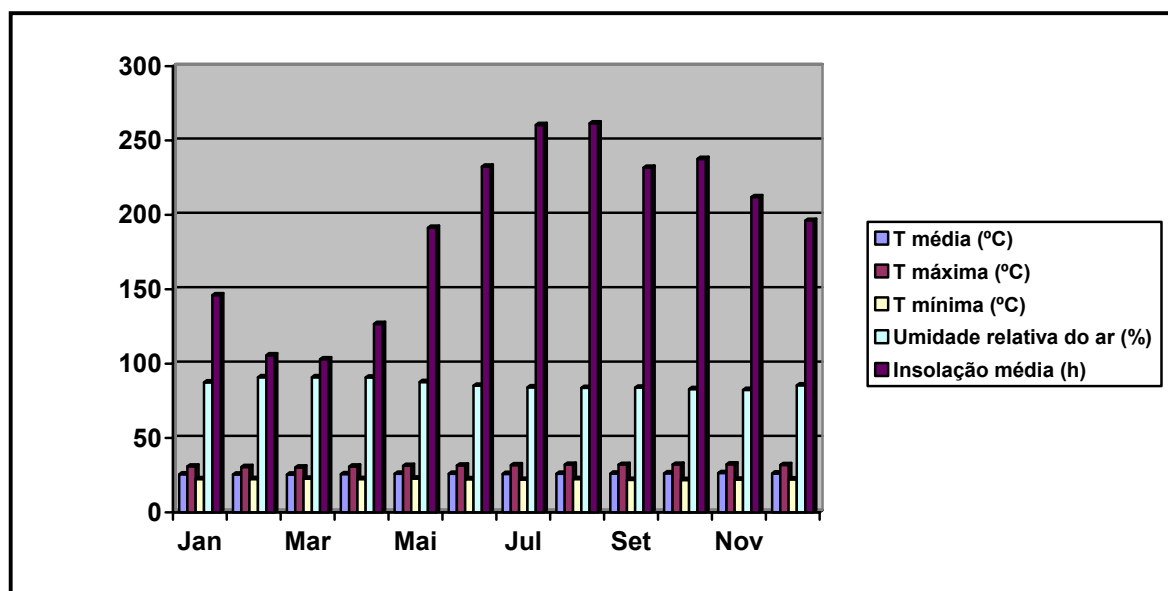


Figura 2 – Média mensal de temperatura, umidade relativa do ar e insolação – Normal Climatológica de 1931 a 1990. Dados do Serviço de Meteorologia do Ministério da Agricultura – Estação Belém.

1.2.4 – Solos

Os tipos de solos indicam a maior ou menor facilidade de infiltração de águas pluviais, necessária para a avaliação de vulnerabilidade à contaminação e/ou poluição dos aquíferos livres.

Segundo Costa (2000), na região nordeste do estado do Pará foram individualizados alguns tipos pedológicos, além dos já descritos no Projeto RADAMBRASIL (1973) e por Costa *et al.* (1975, 1977), são eles: latossolo amarelo, concrecionário laterítico, podzólico vermelho-amarelo, plintossolo, areias quartzosas, solos hidromórficos gleizados e solos de mangue.

Porém, na área de Castanhal, ocorrem os latossolos amarelos muito ácidos associados à concrecionários lateríticos, caracterizados por mistura de grãos finos e concreções de areias ferruginosas; o plintossolo, com alternância de processo de laterização e podzolização; e solos hidromórficos gleizados desenvolvidos a partir de sedimentos aluviais; depósitos de baixadas e acumulações residuais que no período chuvoso ficam alagados e próximos ao nível freático (Souza Jr *et al.*, 1992).

Há que se considerar que com o crescimento da cidade, ocorre a impermeabilização do solo em vários lugares, porém nas áreas reconhecidas neste trabalho como sendo de recarga, os solos ainda estão expostos, possibilitando a recarga dos aquíferos.

1.2.5 – Vegetação

A vegetação também é um fator importante no estudo geoambiental, pois o tipo de vegetação indica as condições de solo e a influência do clima, bem como a ausência de vegetação é determinante para o desmoronamento de encostas e a erosão do solo.

A cobertura vegetal primitiva na região de Castanhal era formada por floresta hileiana de terra firme, constituída de árvores altas de troncos grossos, por vezes medindo mais de 50 m de altura (Nikkei-Kochi, 2003).

Atualmente, porém, onde havia floresta primitiva há floresta secundária, e uma paisagem configurada por grandes pastagens, vastas plantações de pimenta-do-reino, laranja, maracujá e outras culturas. Nas áreas onde as plantações foram abandonadas ocorre vegetação de capoeira (Costa, 2000).

1.2.6 – Hidrografia

A rede de drenagem principal da região (Figura 3) insere-se na bacia hidrográfica do rio Guamá, principal curso navegável, e em parte das bacias dos rios Capim, Maracanã, Quatipuru, Caeté e Marapanim. Ao longo desses cursos de água localizam-se diversos núcleos populacionais devido à facilidade de transporte de mercadorias pelos rios e de atividades pesqueiras (Costa, 2000).

O rio Guamá tem nascente a sul de Boa Nova – PA com direção sul-norte. Este rio tem inflexão para oeste e corre predominantemente nesta direção, passando por Ourém, São Miguel do Guamá, São Domingos do Capim e Bujaru, até desaguar na baía do Guajará.

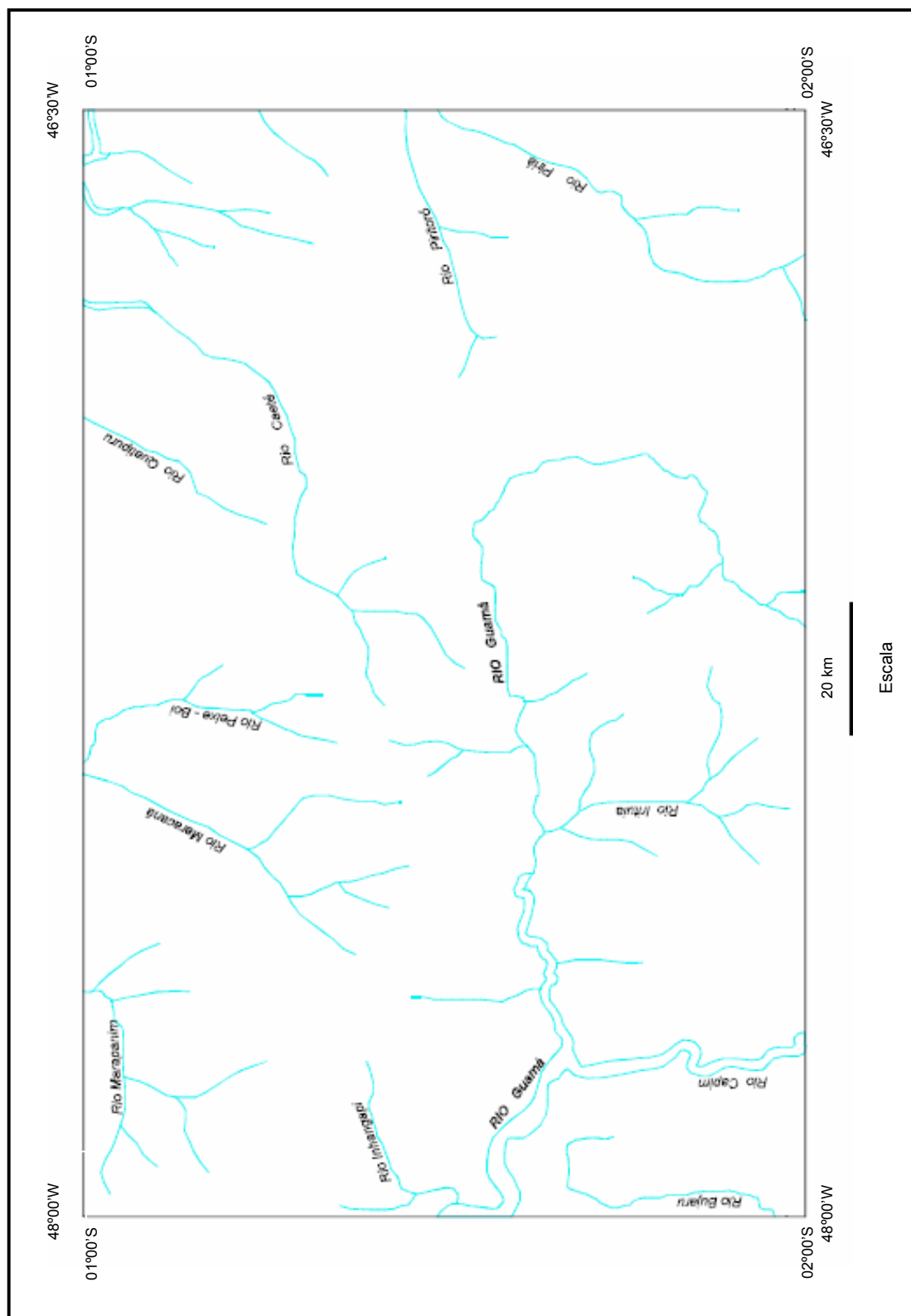


Figura 3 – Rede hidrográfica principal na Folha Castanhal SA.23-V-C, (Costa, 2000).

Na área de Castanhal existem três bacias principais: a do rio Marapanim, do rio Maracanã e do rio Apeú. O rio Marapanim tem sua nascente próxima à cidade de Igarapé-Açu, flui com direção aproximadamente norte-sul e deságua no oceano Atlântico, nas proximidades da cidade de Marapanim. O rio Maracanã tem origem ao sul da cidade de Nova Timboteua, com direção nordeste e deságua na baía de Maracanã, próximo à cidade de mesmo nome. O rio Apeú se inicia ao norte do distrito de Apeú, segue em direção sul até desaguar no rio Inhangapi, que por sua vez tem nascente a leste de Castanhal, na cidade homônima, e prossegue até desaguar na margem direita do rio Guamá. Vários afluentes destes rios drenam a área de Castanhal, como por exemplo, os igarapés Castanhal, do Moura, do Quatro e Pitimandeu.

Importante frisar que a característica principal destes rios é apresentar grandes trechos retilíneos, formando cotovelos e afluentes ortogonais a seu leito ou com ângulos agudos, o que indica forte controle tectônico na região.

1.3 – METODOLOGIA

Neste trabalho foram utilizadas ferramentas multidisciplinares nas quais foram desenvolvidas etapas distintas, que serão descritas detalhadamente neste item, com materiais e métodos inerentes a cada uma das etapas.

1.3.1 – Sensoriamento Remoto

Com o objetivo de fazer o reconhecimento regional da área de Castanhal foram utilizadas fotografias aéreas em escala 1: 70.000, cobrindo a Folha Castanhal (SA.23-V-C-I), imagens do satélite Landsat e da SRTM (USGS e NASA), recortadas nas coordenadas da Folha Castanhal. Posteriormente, foi utilizado um mosaico de ortofotos em escala 1:10.000, da cidade de Castanhal.

Para análise e interpretação destes produtos sensores foram utilizados o método de lógica e sistemática de Soares & Fiori (1976), a hierarquia de classes de drenagem de Strahler (1952) e como apoio a interpretação da drenagem os trabalhos de Howard (1967) e Lima (2002).

1.3.1.1 – Fotografias aéreas

Primeiramente foram utilizadas fotografias aéreas em escala de 1: 70.000 obtidas em filme infravermelho preto e branco em novembro de 1976 e setembro de 1977 pela Serviços Aerofotogramétricos Cruzeiro do Sul S.A. para o Projeto Capim-Gurupi DNPM/CPRM, foto índice 385 em escala 1: 250.000, adquiridas na biblioteca da CPRM. Posteriormente foi utilizado um mosaico de ortofotos em escala 1: 10.000, cujo levantamento aerofotogramétrico foi realizado pela Aerocarta em 1996 para a COHAB e Prefeitura Municipal de Castanhal, adquirida junto à Secretaria de Obras do Município de Castanhal.

Para análise e interpretação da rede de drenagem e dos elementos de relevo, utilizaram-se as propriedades inerentes à drenagem (Figura 4), consideradas as mais importantes por caracterizarem um determinado contexto geológico, a partir das quais foram estabelecidos os alinhamentos que mostraram a estruturação tectônica da Folha Castanhal.

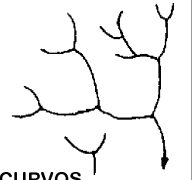
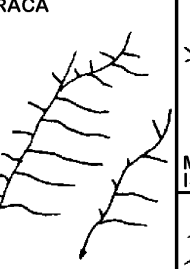
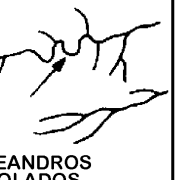
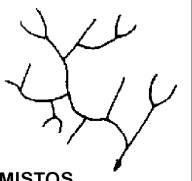
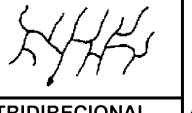
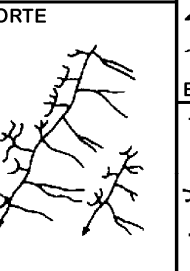
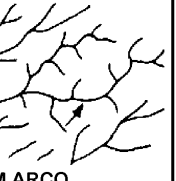
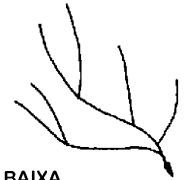
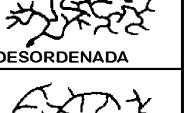
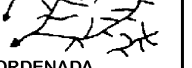
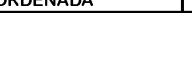
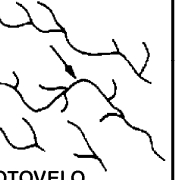
A-DENSIDADE	B-SINUOSIDADE	C-ANGULARIDADE	D-TROPIA	E-ASSIMETRIA	F - FORMAS ANÔMALAS
 ALTA	 CURVOS	 ALTA	UNIDIRECIONAL 	FRACA 	 MEANDROS ISOLADOS
 MÉDIA	 MISTOS	 MÉDIA	BIDIRECIONAL 		
			TRIDIRECIONAL 	FORTE 	 EM ARCO
 BAIXA	 RETILÍNEOS	 BAIXA	MULTIDIRECIONAL 		
			DESORDENADA 		
			ORDENADA 		 COTOVELO

Figura 4 — Propriedades de drenagem, segundo Soares & Fiori (1976).

Para a interpretação da drenagem foi aplicado ainda, o sistema de hierarquia de classes de Strahler (1952), no qual se consideram nascentes as drenagens de primeira ordem; quando duas drenagens de primeira ordem se encontram a resultante passa a ser de segunda ordem; quando duas drenagens de segunda ordem se encontram passam a ser de terceira ordem e assim sucessivamente (Figura 5). Para complementar o estudo da drenagem utilizou-se os padrões de drenagem de Howard (1967) apresentados na Figura 6.

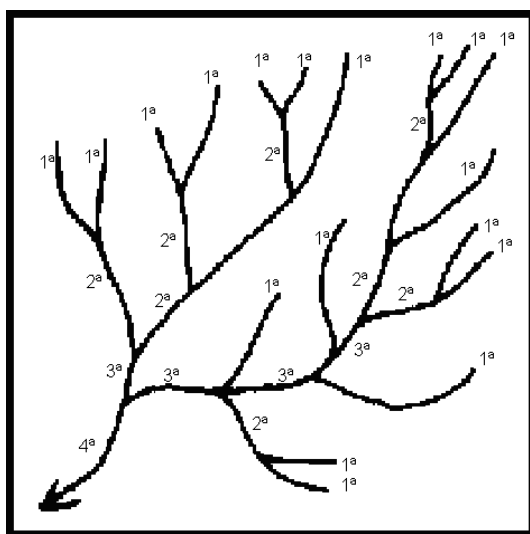


Figura 5 – Hierarquia de classes, segundo Strahler (1952).

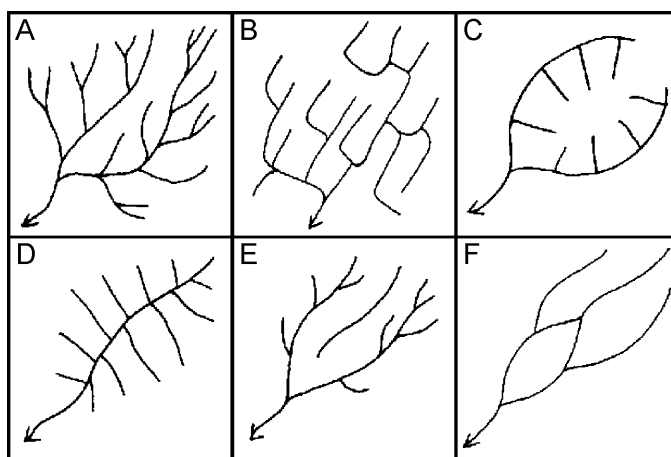


Figura 6 — Padrões de drenagem: A) Dendrítico; B) Treliça; C) Radial; D) Centrípeto; E) Drenagem interna; e F) Trançado (Howard, 1967).

Deffontaines e Chorowicz (1991) relacionaram os fatores morfológicos que influenciam diretamente nos padrões de drenagem, dividindo-os em: interno, externo e composto.

Os fatores internos derivam do comportamento da rocha, controlado pela litologia e estrutura. A litologia tem influência através das propriedades físicas e químicas, enquanto os aspectos estruturais estão ligados aos fatores intrínsecos das camadas (espessura, mergulho, direção, intercalação, etc.), movimentos tectônicos e deformações recentes (neotectônica).

Dentre os fatores externos o clima desempenha importante papel no intemperismo e ciclo de erosão. A vegetação, por sua vez, está ligada ao clima e sua influência pode ser local. Assim como os solos. O homem também é um modificador muito importante da paisagem, principalmente quando da construção de grandes obras, como hidrelétricas, por exemplo.

Os fatores compostos correspondem à combinação desses efeitos, onde se tem as mudanças na topografia, variação dos níveis eustáticos, fatores hidrológicos e feições palimpsésticas (herança).

Diferenças no padrão de drenagem podem sugerir variações de natureza litológica ou ainda, uma alteração na drenagem pode ter controle estrutural. Portanto, a análise do padrão de drenagem é muito importante para estabelecer o quadro geológico/geomorfológico de uma área.

1.3.1.2 – Imagens Landsat

Para georreferenciar as informações extraídas das fotografias aéreas foram utilizadas imagens do satélite Landsat-5/TM de 1986 e Landsat-7/ETM de 1999, adquiridas no Setor de Recursos Renováveis da ADA, e processadas nos *softwares* SPRING 4.1, do INPE e PCI Geomatics 9.1 em computadores do LAIT, no IG/UFGA. Também foram utilizadas imagens do satélite Landsat-5/TM de 1984 e Landsat-7/ETM de 2001, pré-processadas pela Universidade de Maryland, adquiridas no sítio www.glcg.umiacs.umd.edu/datageocover.

No início do trabalho foi feito o recorte da área de estudo nas cenas completas das imagens do satélite Landsat, órbita/ponto 223/65, utilizando o *software* SPRING 4.1, seguido dos seguintes passos:

1 – Estatística pela PCA e cálculo de OIF

Para utilizar imagens de satélite é usual calcular-se a estatística univariante e multivariante de dados de sensores remotos multiespectrais. Isto normalmente envolve os valores mínimo e máximo computados para cada banda de imageamento, a taxa, o significado e o desvio padrão entre a matriz de variância-covariância, matriz de correlação e valores de frequência de brilho em cada banda, que são usadas para produzir histogramas. Cada estatística provê informação de valores necessários para mostrar e analisar dados de sensoriamento remoto (Jahne, 1991; Jensen, 1993).

Assim sendo, para efetuar a estatística das imagens usadas neste trabalho foram feitos o relatório PCA e o cálculo de OIF de imagens Landsat-5/TM dos anos de 1986 e 1999 nas bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7, pois a banda 6 é termal, por isso não sendo utilizada neste trabalho. Nas imagens de 1984 e 2001 não foi necessário aplicar estes cálculos, por se tratar de imagens processadas pela Universidade de Maryland.

Os cálculos do relatório PCA foram efetuados pelo *software* PCI 9.1, após recorte feito para delimitação da área de estudo (ver relatório gerado pelo *software* no ANEXO II). Estes cálculos, para a imagem Landsat-5/TM de 1999, serão mostrados como exemplo, exibindo todas as parcelas envolvidas nesta operação, nas TABELAS 1, 2 e 3. A PCA aplicada às seis bandas do satélite é usada para comprimir a informação contida nelas para somente duas ou três transformadas pela principal componente da imagem, o que significa uma importante economia, especialmente se a informação potencial de recobrimento transformada se mostra melhor do que a imagem original, devido ao espalhamento espectral para todos os valores de brilho associado a cada pixel de cada banda, por exemplo.

TABELA 1 – Média e desvio padrão da PCA – Landsat-5/TM 1999.

Banda	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão
1	51	242	65.163137	10.231356
2	17	115	25.797593	5.956048
3	14	131	23.958016	8.469890
4	5	105	26.550666	15.690054
5	0	193	32.014001	24.296417
7	102	124	110.734372	4.305065

TABELA 2 - Matriz de covariância – Landsat-5/TM 1999.

Bandas	1	2	3	4	5	7
1	104.680654					
2	58.797907	35.474507				
3	82.602381	48.644220	71.739034			
4	69.603136	45.539546	76.954037	246.177785		
5	142.947000	90.661412	149.566052	342.523400	590.315858	
7	24.464596	14.812886	23.827418	46.815767	82.994241	18.533586

TABELA 3 – Matriz de correlação – Landsat-5/TM 1999.

Bandas	1	2	3	4	5	7
1	1.000000					
2	0.964874	1.000000				
3	0.953195	0.964263	1.000000			
4	0.433582	0.487311	0.579068	1.000000		
5	0.575042	0.626501	0.726797	0.898511	1.000000	
7	0.555425	0.577699	0.653461	0.693087	0.793462	1.000000

A partir dos resultados anteriores foi feito o cálculo de OIF para identificar a melhor combinação de bandas, pois as parcelas envolvidas são três bandas do satélite, combinadas de todas as formas possíveis e reamostradas estatisticamente, mostradas na TABELA 4, conforme a equação a seguir.

$$OIF_{B1B2B3} = \frac{(B1+B2+B3)}{(B12+B13+B23)} , \quad (1)$$

onde: B1, B2 e B3 são bandas do satélite.

De acordo com o resultado dos cálculos de OIF, a melhor combinação é das bandas 3, 4 e 5 = 21981894,65; assim sendo, adotou-se a composição 5R4G3B, por ser a melhor para análise visual para estudo da drenagem, do relevo e das estruturas tectônicas. Suas características espectrais e espaciais são, respectivamente: faixa espectral 630-690 nm, 760-900 nm e 1550-1750 nm, que correspondem à região espectral do vermelho, IV próximo e IV médio; resolução espectral 60 nm, 140 nm e 200 nm e resolução espacial de 30 m (Figura 7).

TABELA 4 – Cálculo de OIF – Landsat-5/TM 1999.

Banda	Desvio Padrão	Combinações	Coef. de correção.	Σ desvio padrão	OIF=(Σ desv.pad.)/coef.corr.
1	10.231.356	B123	2,882332	24.657.294	8554633,54
2	5.956.048	B124	1,885767	31.877.458	16904240,03
3	8.469.890	B125	2,166417	40.483.821	18686993,78
4	15.690.054	B127	2,097998	20.492.469	9767630,379
5	24.296.417	B234	2,030642	30.115.992	14830773,72
7	4.305.065	B235	2,317561	38.722.355	16708235,51
		B237	2,195412	18.731.003	8531885,131
		B345	2,204376	48.456.361	21981894,65
		B347	1,925616	28.465.009	14782287,33
		B457	2,38506	44.291.536	18570407,45

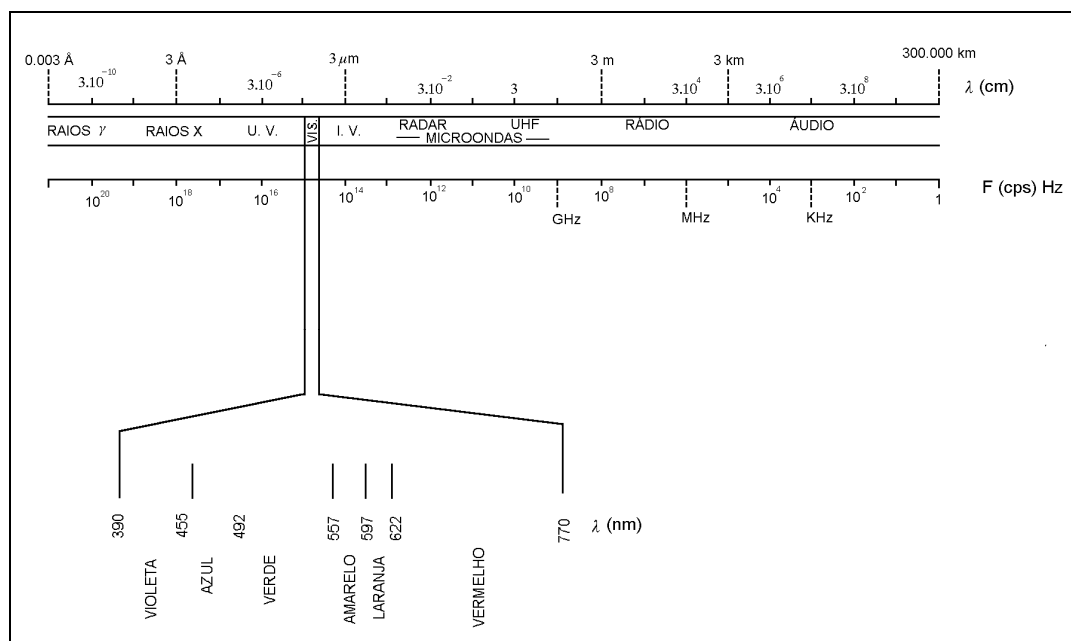


Figura 7 – Espectro eletromagnético mostrando a posição relativa das regiões do ultravioleta (UV), visível, infravermelho (IV) e microondas (radar), convencionalmente associadas ao Sensoriamento Remoto (Steffen *et al.*, 1981).

2 – Correção radiométrica por ajuste de histogramas

Os erros radiométricos podem ser introduzidos pelo próprio sensor quando um detector individual não funciona apropriadamente ou não são bem calibrados (Tellet, 1986). A intervenção atmosférica e topográfica entre o terreno de interesse e o sistema sensor também pode contribuir muito, de modo que a energia registrada pelo sensor não se assemelha ao que está refletido ou emitido pelo terreno.

A correção radiométrica pode ser feita pela normalização de imagem simples utilizando ajuste de histograma, pelo fato de os dados do infravermelho serem amplamente livres do efeito do espalhamento atmosférico, enquanto que a região do visível é fortemente influenciada por ele.

Neste trabalho utilizou-se a correção pelo ajuste de histogramas, sendo a mesma suficiente para a análise e interpretação das imagens para geração de mapas. O método envolve avaliação de histogramas de várias bandas da cena desejada. Normalmente o dado coletado no comprimento de onda do visível, tem um valor mínimo mais alto, porque os incrementos do espalhamento atmosféricos tomam lugar nestes comprimentos de onda. (Figuras 8, 9 e 10).

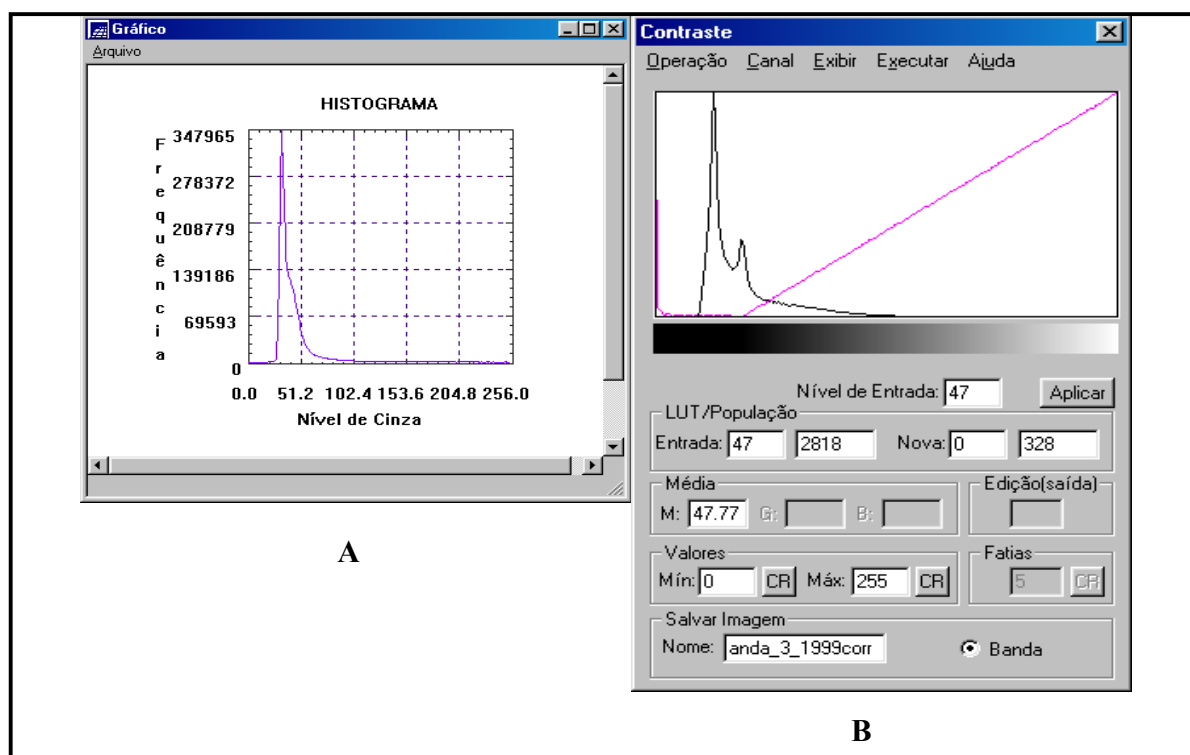


Figura 8 – A: Histograma original da banda 3 de 1999; B: Histograma corrigido da banda 3 de 1999.

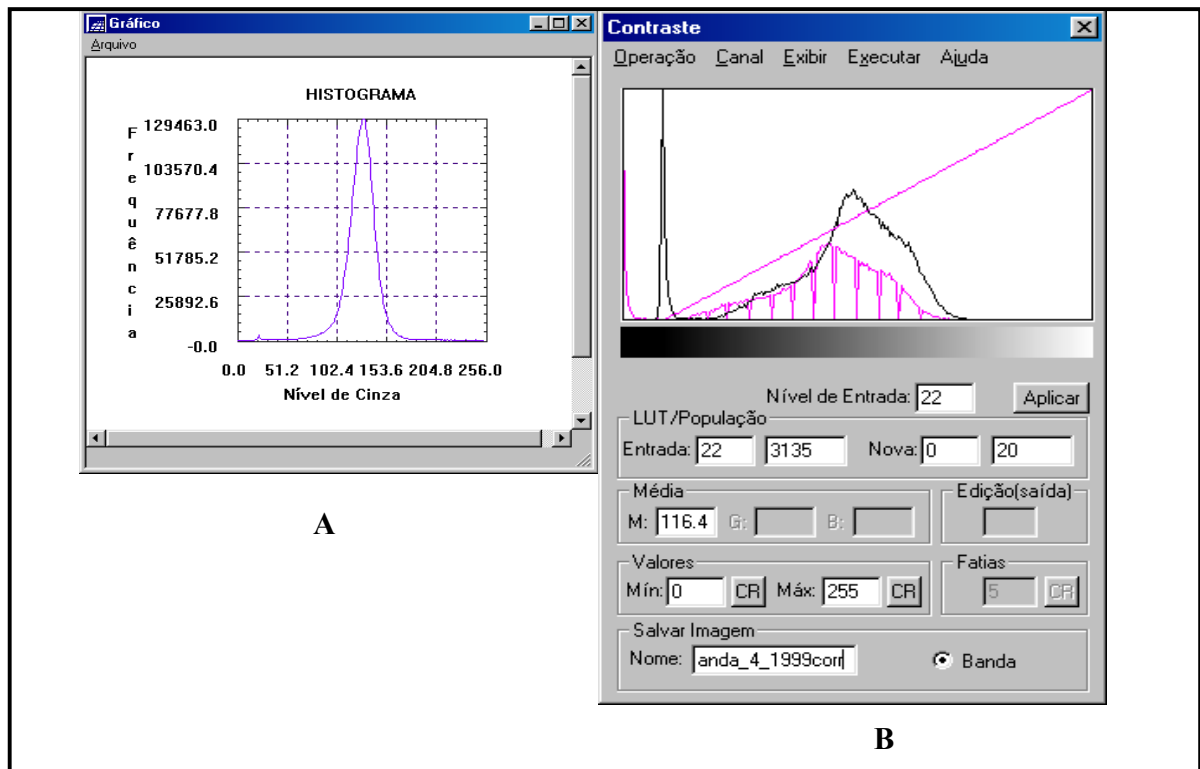


Figura 9 – A: Histograma original da banda 4 de 1999; B: Histograma corrigido da banda 4 de 1999.

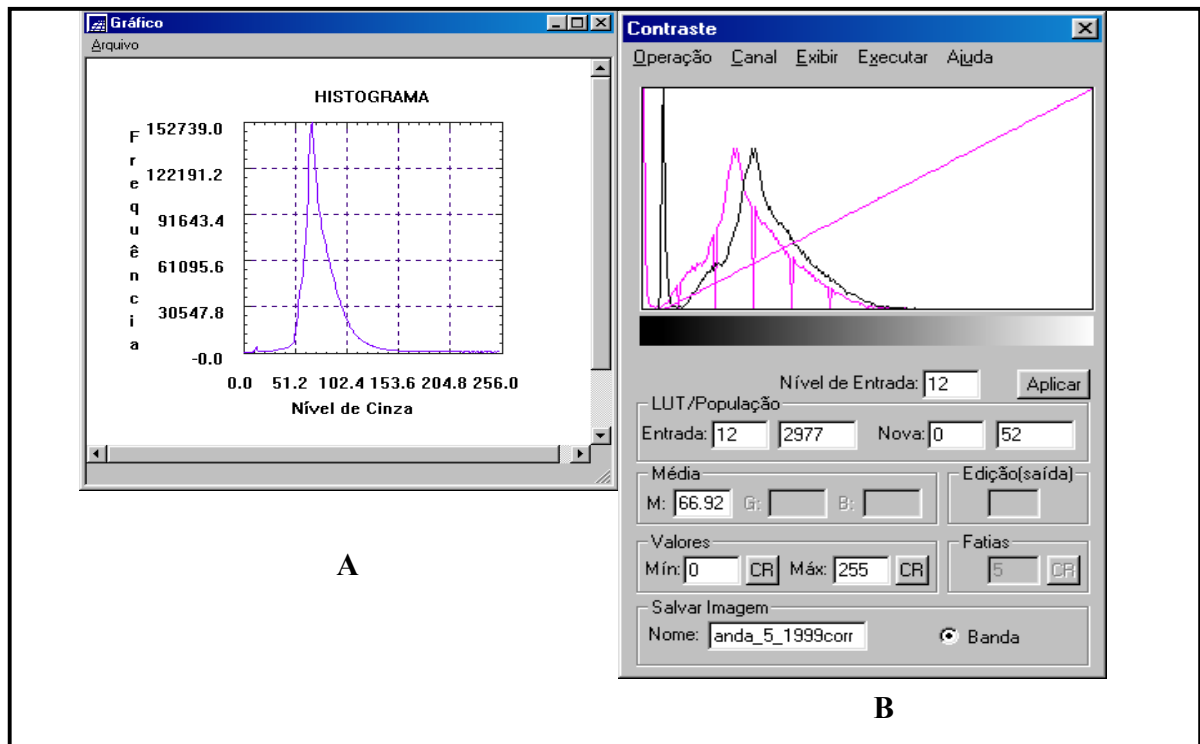


Figura 10 – A: Histograma original da banda 5 de 1999; B: Histograma corrigido da banda 5 de 1999.

O histograma é uma representação gráfica da informação contida em imagens remotamente sensoreadas. Bandas individuais de dados de sensoriamento remoto são tipicamente quantificadas (gravadas digitalmente) com valores de brilho variando de 2^8 a 2^{12} . A variação do valor quantificado na banda da imagem, $quant_k$, é mostrada na abscissa (eixo x), enquanto que a frequência de ocorrência de cada um destes valores é mostrada nas ordenadas (eixo y).

3 – Correção geométrica por pontos de controle no terreno

As imagens geradas por sensores remotos, sejam elas fotografias aéreas ou imagens de satélite, são sujeitas a uma série de distorções espaciais, não possuindo precisão cartográfica quanto ao posicionamento dos objetos, superfícies ou fenômenos nelas representados. Para que a precisão cartográfica seja introduzida nas imagens é necessário que elas sejam georreferenciadas ou corrigidas segundo um sistema de coordenadas.

Com fins de correção, a relação entre os dois sistemas de coordenadas, mapa e imagem, pode ser calculada através do conhecimento exato dos parâmetros geométricos da órbita do satélite e de outras variáveis ou por meio da definição de pontos de controle no terreno, que têm de ser reconhecidas tanto no mapa como na imagem (Figura 11). Neste caso, o procedimento usualmente adotado envolve a identificação de, no mínimo, 6 a 10 pontos de controle em uma imagem de 1.000×1.000 pixels e no mapa correspondente.

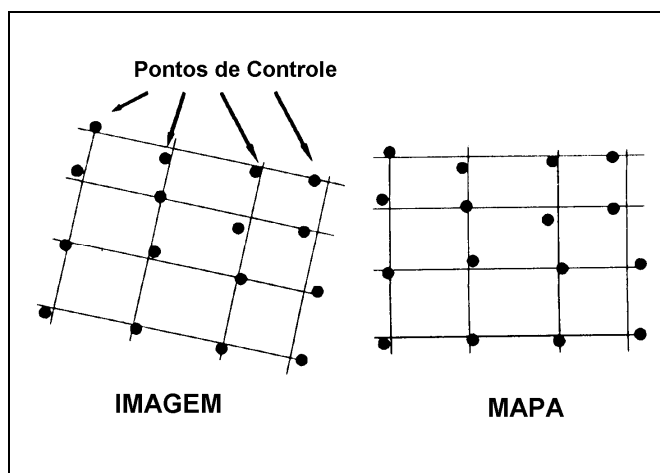


Figura 11 – Modelo de distorção usando pontos de controle no terreno (Crósta, 1993).

Para as correções geométricas foram utilizados além das imagens de satélite, o mapa planimétrico da Folha Castanhal SA.23-V-C-I, em escala 1:100. 000, elaborado pela DSG em 1977 e o Mapa Geológico (SA.23-V-C) feito pelo PLGB da CPRM, em escala 1:250. 000, no ano de 2000.

1.3.1.3 – Imagens SRTM

Os dados da SRTM também foram tratados em computadores do LAIT, no IG/UFGA, tendo sido recortados digitalmente no *software* Global Mapper 5.0, com o objetivo de restringir os dados à área de interesse. Posteriormente, os dados foram processados no *software* PCI 9.1, no qual as seguintes etapas foram seguidas:

1 – Subtração de ruídos

Para analisar imagens multiespectrais e/ou multitemporais, várias operações matemáticas simples também são usadas. De modo geral, a adição e a multiplicação servem para realçar similaridades espectrais entre bandas ou diferentes imagens, enquanto a subtração e a divisão servem para realçar diferenças espectrais.

Neste trabalho foi feita a subtração de ruídos em corpos de água, operação esta efetuada pixel a pixel, criando uma máscara que enfatiza as diferenças de relevo. No *software* PCI 9.1 as operações são feitas pela seleção de operação e identificação da informação espectral a ser realçada ou suprimida.

2 – Extração automática do DEM

A paleta de cores foi gerada pelo DEM acrescido da máscara processada no Surfer 8.0, onde foi aplicado a este a paleta de cores *ChromaDepth* (Toutin, 1997), na qual se tem os tons variando de acordo com a topografia.

3 – Elaboração do relevo sombreado

Neste trabalho foram utilizados filtros com ângulo de direção 70° e ângulo de inclinação de 30°, para acentuar a textura da imagem a fim de melhorar a visualização do relevo, gerando um relevo sombreado no qual se pode observar nas diferenças de tons de cinza e diferentes

texturas, a variação no relevo. A textura mais lisa representa a cota mais alta, enquanto que a mais enrugada, representa um relevo baixo; por estar mais dissecada.

4 – Realce linear do relevo sombreado

Existem várias maneiras de se realçar imagens, porém neste trabalho o recurso utilizado foi a aplicação de realce linear, que teve por objetivo sobressaltar as feições topográficas.

5 – Fusão do DEM com o relevo sombreado

No sistema que utiliza os princípios das cores primárias *Red-Green-Blue* (RGB) de Thomas Young (1773–1829), é possível representar quantitativamente qualquer cor com um grupo de três números ou coeficientes que podem ser plotados em um conjunto de eixos tridimensionais, onde cada eixo representa uma cor. Os três coeficientes vão definir o quanto de cada cor primária será necessário para produzir qualquer tonalidade (Crósta, 1993).

Na Figura 12 tem-se a esfera de cores IHS, mostrando no eixo vertical a Intensidade (I), que não está associada a nenhuma cor e varia do preto (0) ao branco (255); a circunferência da esfera representa a Matiz (H), que é o comprimento de onda da cor dominante e a Saturação (S) representa a pureza da cor e as classifica desde 0 no centro da esfera de cor até 255 na circunferência (Sabins, 1987).

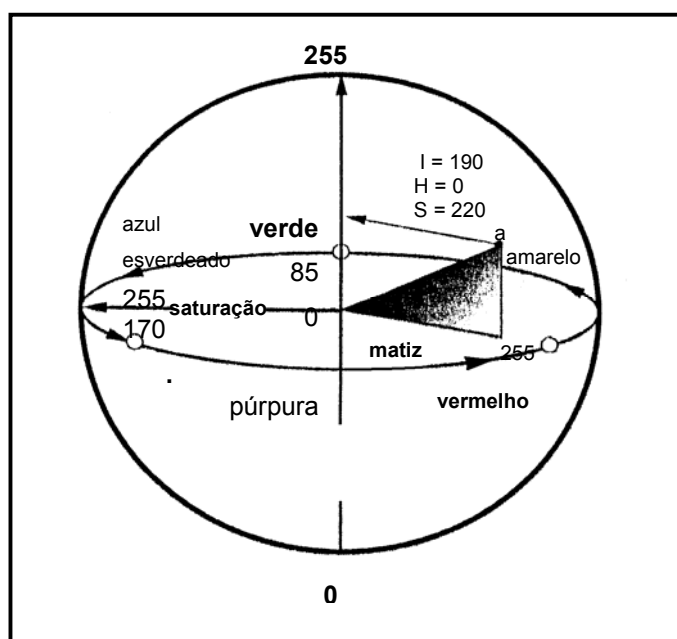


Figura 12 – Esfera do sistema de cores IHS em relação ao sistema RGB (adaptado de Jensen, 1996).

Neste trabalho, fez-se primeiramente o relevo sombreado, para posteriormente fazer o produto integrado, relevo sombreado e paleta de cores, utilizando a transformação RGB-IHS (Harris *et al.*, 1994), na qual as bandas da paleta foram colocadas nos canais de cores RGB e transformadas para o sistema IHS através do modelo cilíndrico.

Posteriormente foi aplicada a transformação reversa IHS-RGB, onde o canal I foi substituído pelo relevo sombreado sendo mantidos os canais H e S.

Algumas cores percebidas são descritas como um único conjunto de valores IHS, que podem ser derivadas de valores RGB. Esta transformação pode ser utilizada para melhorar a interpretação de composições coloridas multiespectrais. Quando três bandas multiespectrais são combinadas no sistema RGB, a composição de cor da imagem freqüentemente precisa de saturação, até mesmo quando as bandas foram esticadas por contraste.

Assim sendo, alguns analistas efetuam a transformação RGB para IHS, esticam o contraste da saturação da imagem resultante e convertem a imagem IHS novamente para imagem RGB, usando o inverso da equação supracitada. O resultado é usualmente, uma composição colorida aperfeiçoada.

1.3.1.4 – Extração de informações

Concluído o processamento das imagens de satélite realizou-se a correlação com as informações extraídas da análise e interpretação das fotografias aéreas, do mosaico de ortofotos, das imagens de satélite e da imagem de radar, o que mostrou pela interpretação visual, que era possível juntar as informações de diversos produtos sensores em um só mapa temático.

Também foram utilizados o Mapa Planimétrico da Folha Castanhal SA.23-V-C-I, em escala 1: 100.000, elaborado pela DSG em 1977 e o Mapa Geológico (SA.23-V-C) feito pelo PLGB da CPRM, em escala 1: 250.000, no ano de 2000, a fim de correlacionar as informações extraídas dos produtos sensores utilizados e os mapas acima.

1.3.1.5 – Confeção de mapas, blocos diagramas e perfis

Depois de processadas as imagens, foram feitos os mapas regionais apresentados neste trabalho em computadores do LAIT, IG/UFPA, utilizando o *software* GLOBAL Mapper 5.0 para as imagens SRTM, da NASA e o *software* SPRING 4.3, do INPE, para as imagens do satélite Landsat-5/TM, confeccionados no módulo SCARTA, do *software* SPRING 4.3.

O mapa de drenagem foi feito a partir de fotografias aéreas pancromáticas em escala de 1: 70.000, utilizando o método Lógica e Sistemática de Soares & Fiori (1976). Posteriormente, este mapa foi digitalizado com apoio no mapa fotointerpretado com georreferenciamento, feito pelo método de imagem a imagem. Sua interpretação deu origem ao mapa de landformes tectônicos primários e ao mapa de alinhamentos, a partir dos quais foram concebidos os blocos diagramas que foram confeccionados no *software* Corel DRAW 11. As rosáceas referentes a estes mapas foram feitos a partir de banco de dados armazenados no SPRING 4.3, durante a vetorização dos elementos lineares de drenagem e de relevo.

O mapa geológico foi feito a partir de imagens do satélite Landsat-5/TM e o mapa geomorfológico de imagem SRTM, ambos com apoio no relatório PLGB, da CPRM. Da junção e interpretação destes dois mapas e com base no mapa de drenagem foi obtido o mapa morfoestrutural. O mapa da evolução urbana de Castanhal foi concebido a partir da sobreposição de duas passagens do satélite Landsat, uma em 1984 e outra em 2001, no *software* ESRI Arc Map 9.2.

Para a geração do modelo digital de elevação foram utilizados os dados de elevação da SRTM, pela extração de curvas de nível equidistantes de 2m. Posteriormente, as curvas de nível foram exportadas em extensão dxf, e em seguida para o formato xyz, com o *software* DXF2XYZ. E, por fim, as curvas de nível foram exportadas para o *software* Surfer 8.0 para a geração do modelo digital de elevação, as quais foram interpoladas pelo método de Krigagem e com exagero vertical de 0,45.

Para o detalhamento da cidade de Castanhal foram feitos mapas obtidos do mosaico de ortofotos em escala 1: 10.000, a partir de banco de dados gerados no *software* ESRI Arc Map 9.2, a saber: o mapa de drenagem, o topográfico, de localização dos poços e dos levantamentos geofísicos, os mapas de risco de colapso e vulnerabilidade à contaminação. Os mapas de profundidade de água e de carga hidráulica com fluxo foram feitos no *software* Surfer 8, a partir

de tabela do Microsoft Office Excel 2003, e sobrepostos ao mapa da cidade de Castanhal no *software* ESRI Arc Map 9.2.

Os perfis litoestratigráficos foram feitos a partir de tabela do Microsoft Office Excel 2003, com base nos perfis litológicos dos poços da COSANPA.

Os perfis gravimétricos foram feitos no Laboratório de Prospecção Geofísica, da Faculdade de Geofísica, IG/UFGA, utilizando *software* Grapher 4 a partir de tabela do Microsoft Office Excel 2003 com base nos dados do levantamento gravimétrico, e os seus respectivos mapas confeccionados no *software* Surfer 8. Os perfis de resistividade foram feitos pelo *software* Zohdy & Bisdorf (1989) do U.S.G.S, o mesmo que processou os dados, no referido laboratório.

Todos estes dados foram primeiro processados e avaliados, depois analisados e interpretados de forma isolada e posteriormente correlacionados entre si, a fim de propiciar uma melhor visualização geral da área de Castanhal para maior entendimento regional, seguido de análise e interpretação mais detalhados, para caracterização da cidade de Castanhal do ponto de vista geológico, geomorfológico e hidrogeológico.

1.3.2 – Levantamento de campo

Os trabalhos de campo tiveram como objetivo a caracterização geológica, hídrica e socioambiental da cidade de Castanhal. Nesta ocasião foram executados levantamentos geofísicos que consistiram de oito sondagens elétricas verticais e sete perfis gravimétricos.

A localização dos poços e dos perfis geofísicos foi feita via GPS Garmin 12 e a leitura de cotas topográficas com altímetro Thommen 19 jewels (até 6000m) tanto nos poços, como nos pontos de leitura geofísica. Como referência para as cotas topográficas e os níveis de água foi utilizado como datum o nível do mar, com o qual foi aferido o altímetro, no RN 840 U do IBGE, localizado no pátio de hasteamento da bandeira da Escola Agrotécnica de Castanhal.

1.3.2.1 – Caracterização geológica

O levantamento geológico consistiu de confirmação dos dados de relevo e estruturas tectônicas interpretados nas imagens do satélite Landsat e da SRTM, e correlação com os perfis litológicos dos poços da COSANPA.

1.3.2.2 – Caracterização hídrica (superficial e subterrânea)

Foi feito o levantamento dos corpos hídricos superficiais e dos pontos de captação de água subterrânea pela COSANPA, para caracterizar os sistemas hidrogeológicos e superficiais da cidade de Castanhal.

Quanto ao estudo da qualidade de água foram utilizadas as análises realizadas nos laboratórios da COSANPA, que tomou por base os padrões do Ministério da Saúde, portaria nº 036 de 19/01/1990. Trata-se de duas análises físico-químicas em amostras de água produzida por cada um dos sete poços desta companhia, em Castanhal. A primeira amostra, coletada durante o teste de vazão, logo após a limpeza do poço. Após mais alguns dias de bombeamento do poço, foi coletada uma segunda amostra. Foram avaliados: odor a frio e a quente, aspecto, pH, cor, turbidez, nitrogênio amoniacal, nitratos, nitritos, cloretos, dureza total, cálcio, magnésio, alcalinidade a fenolftaleína, ferro total, matéria orgânica - O₂ consumido.

1.3.2.3 – Caracterização socioambiental

Com apoio no mosaico de ortofotos foi feito o levantamento de campo que se constituiu em identificar e localizar pontos de interferência humana no ambiente, para análise e caracterização socioambiental, utilizando os critérios de Zuquette (1993) e Marsh (1997), com adaptações.

Segundo Zuquette (*op. cit*) a geologia ambiental é aplicada para avaliar os problemas ambientais causados pela exploração e ocupação humana, e se utiliza da topografia e

hidrogeologia, entre outros, para reduzir ao máximo o impacto negativo que pode ser provocado pela intervenção humana na natureza. Para que esta avaliação seja feita é necessária a análise de vulnerabilidade e risco ao qual a área de estudo está sujeita. Entenda-se por vulnerabilidade “*a característica intrínseca de um ‘sujeito’, ‘ sistema’ ou elemento (linhas vitais), que estão expostos a um evento perigoso (hazard) e que corresponde a sua predisposição em ser afetado ou estar susceptível a sofrer perdas (danos)*” (Zuquette, *op.cit*).

E o risco, segundo este mesmo autor “*é a probabilidade de que ocorram perdas (econômicas, sociais, ambientais), além de um valor limite (considerado normal ou aceitável), para um lugar específico, durante um período de tempo determinado*”.

A análise e avaliação da vulnerabilidade devem considerar os aspectos técnicos, que tratam as condições físicas e funcionais, e os socioeconômicos, relacionados a fatores econômicos, educativos, culturais e ideológicos. Como o risco é o resultado da relação entre o evento e a vulnerabilidade dos elementos sob risco, sua avaliação deve determinar as consequências sociais, econômicas e ambientais.

E segundo Marsh (1997), os métodos utilizados para o estudo do planejamento e desenvolvimento em áreas de risco diferem de um lugar para o outro. De acordo com a situação, porém, existem parâmetros comuns a áreas distintas, que devem ser consideradas no inventário ambiental, a saber: o mapa topográfico, o mapa de solos, imagens aéreas, dados climáticos e registro de eventos como deslizamentos, colapso, ou como no caso em questão, perda de fluido bentonítico durante a perfuração de poços para abastecimento de água.

1.3.2.4 – Levantamento geofísico

Durante este trabalho foram realizadas na área medidas do campo gravitacional e medidas de resistividade elétrica. Foram também analisados dados de medidas geofísicas de perfilagem de poço, coletadas anteriormente em poços para abastecimento público.

1.3.2.4.1 – Gravimetria

O estudo gravimétrico consistiu de levantamento com gravímetro La Coste & Rosenberg G628, de propriedade do Laboratório de Prospecção Geofísica, da Faculdade de Geofísica - IG/UFGA.

As medidas do campo gravitacional foram realizadas ao longo de sete perfis (Figura 13):

Perfil 1 – na BR-316, da Escola Agrotécnica de Castanhal até a entrada para o bairro Bom Jesus;

Perfil 2 – na Rua 04 de Julho, no Bairro Bom Jesus;

Perfil 3 – na Rua dos Inconfidentes, no Bairro Bom Jesus;

Perfil 4 – na Rua Francisco Pereira Lago, no Bairro Jaderlândia;

Perfil 5 – na Rua Francisco Pereira da Silva, no Bairro Jaderlândia;

Perfil 6 – na Rua Santa Terezinha (Vasco da Gama), no Bairro Bom Jesus;

Perfil 7 – na Passagem Minondas, no Bairro Jaderlândia.

O perfil 1 foi realizado em uma extensão de 8 km com medidas espaçadas de 500 m, na BR-316, desde a Escola Agrotécnica de Castanhal até a entrada para o bairro Jaderlândia, na Rua Francisco Pereira da Silva. Nos perfis 2 a 7, com extensões de 1 km, foram feitas medidas a cada 100 m, totalizando 85 leituras. Os bairros Jaderlândia e Bom Jesus foram escolhidos para o detalhamento gravimétrico devido à informação anterior a este trabalho, de que houvera perda de fluido bentonítico durante a perfuração de dois dos três poços da COSANPA no bairro Jaderlândia.

Para as correções e cálculo das anomalias Bouguer foi utilizado o *software* BOUGUER2.EXE, última modificação 13/01/2004, de autoria do Prof. Dr. José Gouvêa Luiz, chefe do Laboratório de Prospecção Geofísica da Faculdade de Geofísica – IG/UFGA.

Em seguida foram feitas as interpretações dos dados gravimétricos levantados, cujos resultados foram plotados em perfis e mapas. A caderneta com a locação dos pontos de gravimetria e suas leituras é apresentada no ANEXO III.

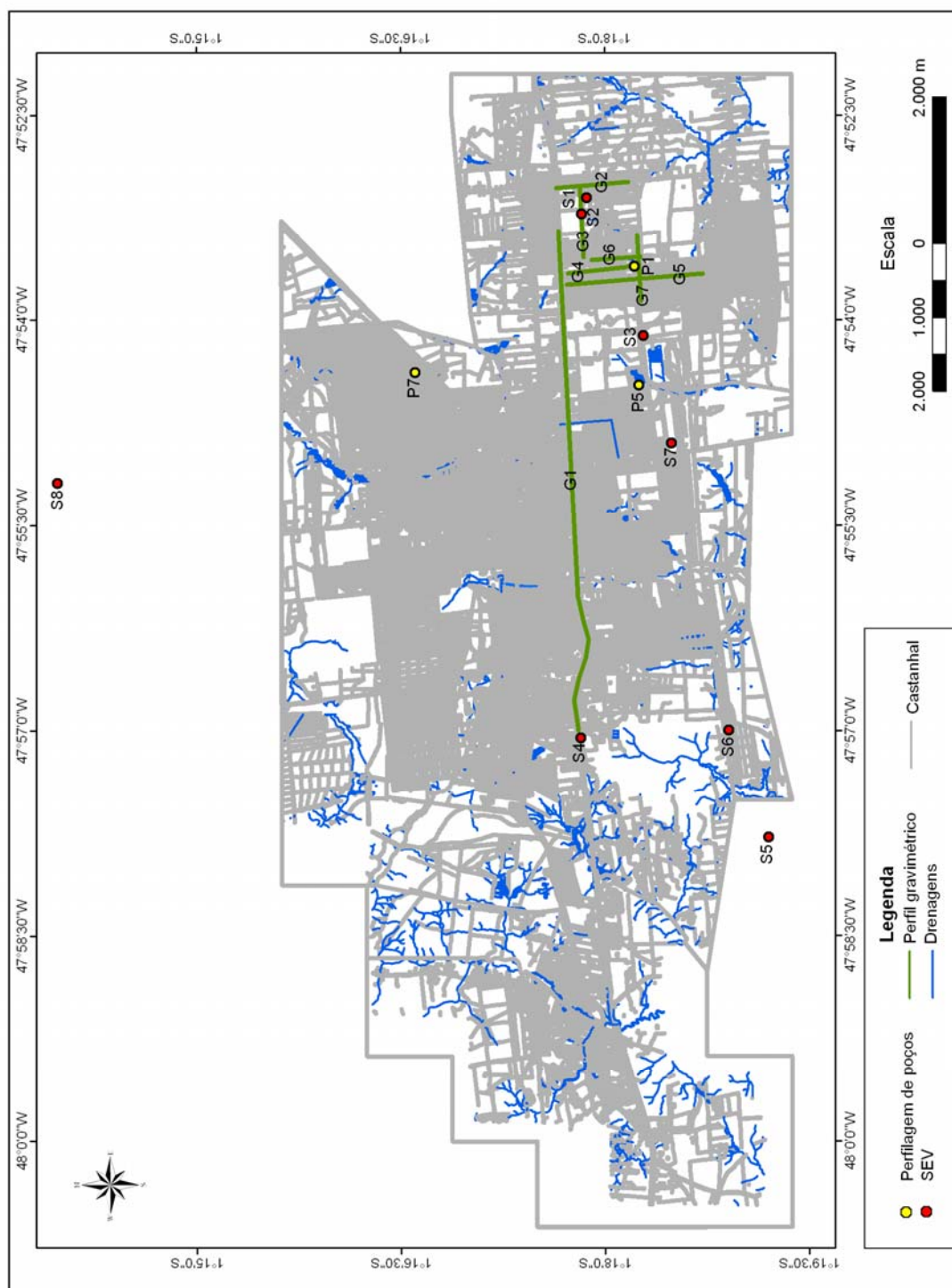


Figura 13 – Localização dos perfis gravimétricos, das sondagens elétricas verticais e das perfilagens de poços.

1.3.2.4.2 – Resistividade elétrica (SEV)

Para o levantamento por resistividade elétrica foram executadas sondagens elétricas verticais (SEV), utilizando-se o resistivímetro GeoTest RD-1000 (Tx-Rx), de propriedade do Laboratório de Prospecção Geofísica, da Faculdade de Geofísica do IG/UFPA. Este equipamento funciona com corrente contínua (DC) e consiste de fonte de energia, instrumentos de medida voltímetro e amperímetro, eletrodos, cabos e acessórios. Neste caso usaram-se cabos 18, por serem leves e flexíveis e com isolamento bem resistente, marcados em intervalos que correspondem às distâncias dos eletrodos usados na tomada das leituras, o que elimina a necessidade de utilizar a trena na linha de observação.

As SEV's foram feitas usando arranjo Schlumberger (Figura 14) com separação máxima entre os eletrodos de corrente igual a 640 m, o que produz aproximadamente entre 60 e 190 m de profundidade de investigação.

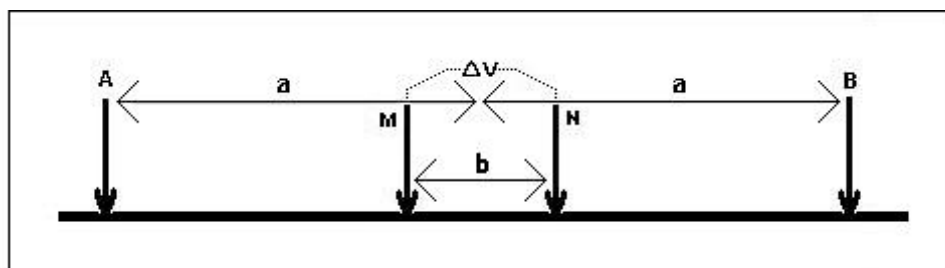


Figura 14 – Arranjo Schlumberger: eletrodos de corrente AB e de potencial MN, com $a \gg b$.

Na cidade de Castanhal foram executadas oito sondagens elétricas verticais para as medidas de resistividade elétrica (Figura 13):

SEV 1 – na Rua 04 de Julho, no Bairro Bom Jesus;

SEV 2 – na Rua dos Inconfidentes, no Bairro Jaderlândia;

SEV 3 – na Avenida José Bertino da Silva, atrás do Campus da UFPA;

SEV 4 – na BR-316, em frente à Escola Agrotécnica de Castanhal;

SEV 5 – Estrada que dá acesso ao Campus da UFPA;

SEV 6 – Rua Canaã, em frente à COSANPA, no Bairro Pantanal;

SEV 7 – em um campo aberto na Rua Major Passarinho, no Bairro Milagres;

SEV 8 – na Rua José de Alencar, no km-07 da PA-136.

Neste levantamento as operações de trabalho foram feitas com MN constante = 0,5 m, e as medidas para as distâncias AB/2 de 1,0 a 4,2 m. Então MN é aumentada para 2 m, sendo feitas medições para AB/2 de 5,5 a 24 m. A seguir MN aumentada para 5 m, sendo feitas medidas para AB/2 de 32 a 240 m e assim por diante. Este procedimento foi continuado até que a distância AB/2 tenha sido suficientemente grande para a profundidade máxima de penetração da ordem de 180 m, ou seja $AB/2 = 320$ m.

O esquema da locação dos eletrodos usados e as leituras feitas foram anotados em caderneta de SEV para o arranjo Schlumberger, mostrada no ANEXO IV.

Para processar estes dados a fim de se obter modelos de distribuição vertical da resistividade utilizou-se o *software* “Schlumberger Sounding Data Processing and Interpretation Program” – versão 1.8, de 1989 de Zohdy, A.A.R. & Bisdorf, R.J., da U.S. Geological Survey, Denver, Co., traduzido pelo Prof. Dr. José Gouvêa Luiz, da Faculdade de Geofísica – IG/UFPA.

1.3.2.4.3 – Perfilagem de poços

Neste trabalho, a perfilagem de poços consistiu de medidas de resistência elétrica, potencial espontâneo e raios γ (ANEXO V), obtidas em três poços da COSANPA (Figura 13). As perfilagens foram realizadas com perfilador Mount Sopris 1000C, que permite perfilar poços de até 300 m de profundidade. Os registros das perfilagens foram cedidos pelo Laboratório de Prospecção Geofísica da UFPA:

Poço 1 – na área da COSANPA Jaderlândia situada à Rua Francisco Pereira da Silva;

Poço 5 – na área da COSANPA Milagres situada à Avenida José Bertino da Silva;

Poço 7 – na área da COSANPA Imperador situada à Avenida Romualdo de Seixas esquina com Travessa Grão Pará.

1.3.3 – Fundamentos teóricos utilizados

Para a interpretação dos dados levantados nas etapas anteriores foram utilizados alguns conceitos fundamentais para o entendimento dos estudos efetuados na área de Castanhal.

Primeiramente foi feita uma análise morfológica e posteriormente as interpretações tectônico-estruturais, com ênfase na neotectônica, seguida da interação destas áreas do conhecimento com a hidrogeologia.

1.3.3.1 – Geomorfologia

Segundo Burbank & Anderson (2001) os melhores marcadores geomórficos conhecidos são as paisagens, superfícies e alinhamentos principais que mostram a geometria antes da deformação e indicam idade da deformação pela alta preservação de suas feições. Porém, freqüentemente, apenas uma destas características pode ser determinada como um marcador, dispensando as demais. Assim sendo, foi feita a interpretação morfológica da área a partir dos alinhamentos de drenagem e de relevo (Soares & Fiori, 1976).

Para o estudo geomorfológico foi aplicado o conceito de sistemas de relevo de Summerfield (1993) e para a compartimentação do relevo (Stewart & Perry, 1953) os princípios que Ponçano *et al.* (1979) utilizaram no estado de São Paulo.

Segundo Summerfield (1993), para determinar os sistemas de relevo é necessário identificar os elementos, seus atributos e suas relações. Neste trabalho foram utilizados os sistemas de processos-respostas que resultam em um ajuste entre processo e forma, os quais são representados por interações entre os sistemas morfológicos e os elementos de relevo, e os sistemas sequenciais, descritos por movimentos de massa e fluxo de energia através da paisagem.

De acordo com Ponçano *et al.* (1979), compartimentos de relevo “*são áreas em uma determinada região cujos atributos físicos sejam distintos das áreas adjacentes. Isto leva a subdivisão da região em apreço em áreas de dimensões variáveis desde dezenas até algumas centenas de km², onde é comum existir um padrão recorrente de topografia, solos e vegetação*”. A topografia e os solos dependem da natureza das rochas subjacentes, dos processos erosivos e deposicionais que teriam produzido a topografia atual e do clima sob o qual atuaram estes processos.

As unidades de relevo são partes menores que constituem os sistemas. Têm formas simples e ocorrem normalmente sobre um mesmo tipo de rocha ou depósito superficial e encerram solos cuja variação quando há, é desprezível. De algum modo, sempre se pressupõe haver certa homogeneidade das propriedades físicas das unidades de relevo semelhantes. Quando

ocorrem desvios locais de uma ou outra dessas propriedades, reconhecem-se variedades dessas unidades. Como exemplo de unidades tem-se escarpas, morros, leques aluviais e colinas.

Os elementos de relevo são partes menores que compõem as referidas unidades, como por exemplo, uma escarpa, que é composta por uma crista, flanco e um sopé.

A delimitação dos sistemas de relevo com base em critérios morfoestruturais procura levar em consideração as formas de relevo e a geologia. O resultado é um mapa preliminar que deve ser então analisado, à luz de dados sobre solos, recursos hídricos, processos erosivos e deposicionais, vegetação e clima. Tal análise integrada leva a uma caracterização precisa de cada sistema de relevo (Ponçano *et al.*, 1979).

1.3.3.2 – Estruturas tectônicas

A partir da extração dos elementos de drenagem e de relevo segundo a metodologia de Soares & Fiori (1976), foi feita a análise da drenagem com ênfase na assimetria e nos seus alinhamentos concordantes com os alinhamentos de relevo, com a finalidade de estabelecer o quadro tectônico-estrutural da área.

Como base para este estudo aplicou-se a origem de escarpas de falhas segundo Stewart & Hancock (1990), que explicaram que uma escarpa de falha é definida como uma paisagem tectônica coincidente com um plano de falha que deslocou a superfície do terreno. Diferentes estilos de movimentos de falhas criam diversos tipos de escarpas, embora algumas falhas geradoras de paisagens sejam morfologicamente indistinguíveis de outras.

A geomorfologia tectônica é uma vertente recente da geomorfologia, que utiliza índices morfométricos para estabelecer a evolução tectono-estrutural, através do estudo da evolução da paisagem. Por meio de indicadores de estilo, magnitude e taxa de movimento tectônico, feições geomórficas ou superfícies que apresentam uma estrutura de referência para medir deformações diferenciais ou absolutas, são identificáveis e expressam pelas feições topográficas os landformes tectônicos primários ou secundários (Stewart & Hancock, 1994).

Os landformes primários são os que se formam como resultado direto da movimentação na superfície e os secundários são decorrentes de conjuntos de fenômenos geomorfológicos deformados, modificados ou preservados por subsequente atividade tectônica. Porém, muitas

vezes eles não são distintos e ambos podem preservar registros de atividade tectônica numa região (Stewart & Hancock, *op. cit.*).

A análise e interpretação dos elementos de drenagem e de relevo neste trabalho indicam além das escarpas de falhas mencionadas acima, a segmentação de falhas caracterizadas por zonas de segmentos inclinados desenvolvidos de forma mais ou menos complexa em estruturas *relay ramps*. Estas estruturas têm sido amplamente descritas por diversos autores (Larssen 1988, Peacock & Sanderson 1994, Childs *et al.* 1995, Cartwright & Mansfield 1998, Walsh *et al.* 1999, Maerten *et al.* 1999 *apud* Benedicto, 2003).¹

1.3.3.3 – Neotectônica

A neotectônica foi um termo introduzido por Obruchev (1948), para o estudo de movimentos antigos e recentes que ocorreram a partir do final do Terciário e da primeira metade do Quaternário. Hoje, se diz que a neotectônica estuda os últimos movimentos tectônicos que ocorreram até então, deixando de ser tectônica holocênica, quaternária ou neógeno-quaternária.

Seu uso implica em a estrutura ser interpretada como tendo se propagado ou sido reativada no campo esforço/deformação, que persistiu sem mudança significativa de orientação nos dias atuais (Stewart & Hancock, 1994). Estes autores consideram a neotectônica uma ramificação da tectônica, concernente ao entendimento dos movimentos da terra que ocorrem no presente dia e sua extensão no passado.

Os atributos para estudos neotectônicos são multidisciplinares. Trabalham com modelos atualísticos para paleo reconstrução, obtêm inferências importantes nos sítios arqueológicos e têm importância econômica e social. No escopo de investigação observam-se as estruturas recentes e os landformes tectônicos, dá-se enfoque ao campo de tensão geológico contemporâneo e à geotectônica.

Segundo Mörner (1989) a fase neotectônica inicia-se em diferentes tempos, em diferentes lugares, dependendo do registro tectônico. Por exemplo, no norte do Canadá a neotectônica é caracterizada por movimentos verticais, de alívio, relacionados a deglaciação e datam de 10 mil anos até hoje. Aqui no Brasil a neotectônica é marcada por regime transcorrente, decorrente da

1-BENEDICTO, A.; SCHULTZ, R.; SOLIVA, R. Layer thickness and shape of faults, **Geophysical Research Letters**, 30 (20), 2076, 10.1029/2003GL018237.

deriva da placa sul americana para oeste, em colisão com a placa de Nazca desde o Neógeno (25 milhões de anos).

Devido ao seu caráter de reativação, a única direção de movimento puramente neotectônica é leste-oeste, as demais direções são reativações da paleotectônica. Por isso, as estruturas e tramas neotectônicas ocorrem com a profundidade máxima de 1000 a 2000 m.

Segundo M.S. Borges (informação verbal, 2004), a Formação Pirabas tem reflexos da deformação intraplaca ocorrida no Terciário, caracterizadas por deformações hidroplásticas, devido à presença de água nos sedimentos terciários.

1.3.3.4 – Hidrogeologia

A ocorrência de água subterrânea em uma região depende de diversos fatores, tais como o contexto geológico, condições climáticas, relevo, solo e vegetação. Os fatores geológicos determinam as formas de recarga, estocagem, circulação e descarga de água subterrânea. As condições de ocorrência das águas subterrâneas dependem da interação de fatores geológicos e climáticos, variáveis no tempo e no espaço e devem dar condições para o relevo, solo e vegetação tornarem-se propícios à retenção de água (Rebouças, 1996).

Os fatores climáticos regulam o balanço hídrico da região pelo índice e pela distribuição pluviométrica, que são imprescindíveis para o funcionamento do ciclo hidrológico (Figura 15), assim como a temperatura, que é um condicionante da evaporação e da evapotranspiração, da infiltração, além da radiação solar, da umidade relativa do ar e da velocidade do vento (Moraes, 1996).

Geologicamente, os sistemas aquíferos são controlados pelos litotipos, pelas unidades estratigráficas e pela estrutura das formações que os contêm. Dos litotipos depende o grau de saturação da rocha, a permeabilidade e a porosidade, devido à granulação, grau de compactação e composição mineral, que ainda, influencia na qualidade da água. Os aquíferos podem ser encontrados em sedimentos inconsolidados, em rochas sedimentares e em rochas ígneas e metamórficas. Na área de estudo são encontradas apenas os dois primeiros tipos.

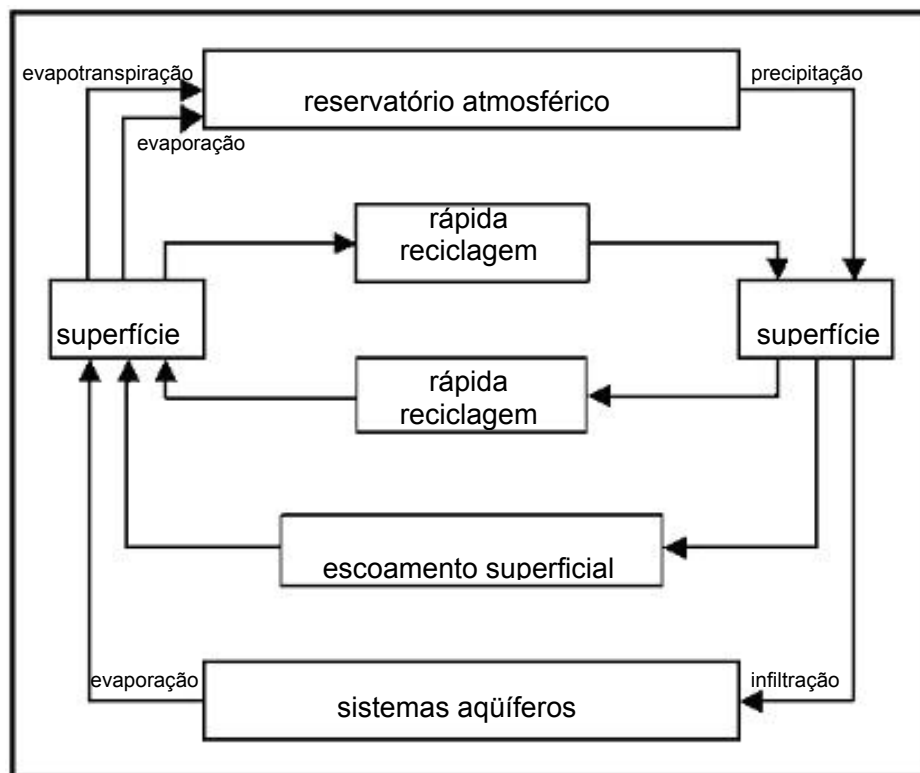


Figura 15 – Ciclo hidrológico (modificado de Pinheiro, 2000).

- **Sedimentos inconsolidados:** geralmente possuem alta capacidade de infiltração potencial, maior porosidade efetiva e maior permeabilidade do que as formações compactas. São encontrados em vales e em áreas onde os níveis de água subterrânea estão pouco profundos.

- **Rochas sedimentares:** neste contexto as rochas mais importantes como aquíferos são as que apresentam permeabilidade boa a regular, como os arenitos, que formam aquíferos regionais, armazenando grandes quantidades de água, mas dependem do grau de compactação e da cimentação, que são inversamente proporcionais à porosidade, permeabilidade e condutividade hidráulica. As rochas carbonáticas também pertencem a este contexto, mas sua condutividade hidráulica depende de fraturas, resultantes de movimentos tectônicos, por onde circulam as águas, dissolvendo a calcita e a dolomita e aumentando assim a zona de circulação.

O estudo da estratigrafia mostra a configuração espacial das unidades em relação à profundidade e lateralmente, indicando contatos concordantes e discordantes, sendo estes muito

importantes em hidrogeologia, pois mostram meios com permeabilidade e porosidade diferentes, que podem estar associados a aquíferos.

As estruturas caracterizam a geometria dos compartimentos configurados, após a formação das rochas, por deformações que são formadoras de juntas, fraturas, falhas e dobras. Estas feições são extremamente importantes em áreas de rochas cristalinas e em ambientes cársticos, pois nestas situações a porosidade é secundária, ou seja, a água subterrânea encontra-se nas fraturas e/ou falhas abertas, interconectadas e ligadas a uma área de recarga (Siqueira, 1963).

1.3.3.4.1 – Interações com a geomorfologia

A geomorfologia e a hidrogeologia são áreas que estão intimamente ligadas. Isso está implícito na compreensão de ciclo hidrológico, mas, tradicionalmente, têm sido estudadas separadamente. Destaque se dê a Chorley *et al.*, (1973) que reconheceram o papel da geomorfologia no fluxo de base a partir de nascentes. Porém, a continuidade da abordagem sobre esse tema demorou alguns anos. Em 1984, Lafleur publicou o livro *Água Subterrânea como Agente Geomórfico (Groundwater as a Geomorphic Agent)* dedicado à importância da geomorfologia em água subterrânea, no qual metade dos artigos enfocava o carste. Mais tarde, Higgins & Coates (1990) publicaram *Água Subterrânea Geomorfológica (Groundwater Geomorphology)*, que se preocupou principalmente com a água subterrânea em zona vadosa e hidrologia subterrânea.

A importância da interação entre a geomorfologia e a hidrogeologia tem sido demonstrada no desenvolvimento de modelos hidrológicos que incluem ligações entre informações geológicas e dados de descarga para aperfeiçoar a previsão de baixo fluxo (Gustard *et al.*, 1992; Clausen & Romer Rasmussen, 1993).

O trabalho geomorfológico e biofísico que a água de subsuperfície faz dependem da taxa de fluxo, caminhos e desequilíbrio com que circunda sedimentos ou rochas. A modelagem do fluxo de água subterrânea é, por conseguinte, não só necessária para a determinação do fluxo de retorno e zonas de infiltração, mas também, potencialmente para erosão de túneis, padrão de recarga e relação de condições de aquíferos rasos, desde linhas de fluxo e lagos suspensos, a mudanças ambientais.

1.3.3.4.2– Hidrogeologia de meio cárstico

A região onde a cidade de Castanhal está situada possui os sistemas aquíferos Barreiras e Pirabas, cuja constituição carbonática do Pirabas confere a este aquífero características cársticas.

O termo carste é utilizado para terrenos com características geomorfológicas e hidrogeológicas especiais, resultantes de um processo de dissolução da rocha carbonática pela água nas fraturas e planos de acamamento, ocasionando depressões na superfície e cavidades em subsuperfície, possibilitando grande rapidez de infiltração devido a entradas de água em sumidouros.

Por apresentar características geomorfológicas e hidrogeológicas variadas, os resultados de pesquisas anteriores não podem ser diretamente aplicados em outras áreas, pois cada caso deve ser cuidadosamente estudado com adaptações às condições geológicas, geomorfológicas, hidrológicas e hidrogeológicas de cada região, o que por vezes torna o entendimento do carste muito difícil, haja vista a circulação e o armazenamento das águas subterrâneas neste meio, estar condicionada à dissolução aleatória e ao fraturamento das rochas carbonáticas, que muitas vezes é de difícil identificação.

Porém, as superfícies cársticas não apresentam relevos caóticos, e sim um padrão organizado e estruturalmente condicionado. Segundo Silva (2004), as unidades morfológicas permitem estabelecer diferentes estágios evolutivos do relevo cárstico, partindo de uma paisagem fluvial estruturalmente condicionada, gradativamente segmentada pela implantação de bacias de drenagem fechada, originando uma feição fluviocárstica. A paisagem fluvial gradativamente dá lugar a depressões que evoluem, aumentando o grau de segmentação da rede fluvial, através da instalação de novos pontos de absorção vertical, rebaixando o fundo das dolinas preexistentes e desenvolvendo divisores topográficos entre estas, até a formação de um carste evoluído, fechado e sem drenagem superficial.

As principais características do terreno cárstico são a ausência de drenagens ou em pouca quantidade por extensas áreas, inclusive em climas úmidos; a ocorrência de depressões, cuja drenagem é subterrânea, devido à presença de simas ou cavernas; rapidez de infiltração das águas de chuva.

Quanto às características hidrogeológicas, os terrenos carbonáticos apresentam complexa circulação de águas subterrâneas, tanto nas zonas saturadas como acima da superfície

potenciométrica do aquífero; anomalias na direção do fluxo de água em relação ao gradiente potenciométrico regional; grande variação nos valores do coeficiente de armazenamento e da transmissividade em um mesmo aquífero; não há porosidade primária, sua porosidade é secundária, ou seja, as águas subterrâneas circulam por fraturas e/ou falhas geológicas interconectadas, ligadas a uma área de recarga.

A dissolução e lixiviação de minerais carbonáticos pela água de percolação, ao longo destas descontinuidades, podem ocasionar a construção de edifício cárstico de forma aleatória. Isso dá uma conotação hidrogeológica ímpar a este sistema aquífero, tornando a sua caracterização muito difícil (Costa & Silva, 1997). Os principais fatores que dificultam o entendimento dos terrenos cársticos são a heterogeneidade da textura das diversas camadas de rochas carbonáticas; a alternância destas camadas com outras não cársticas, permeáveis ou não; a anisotropia da fissuração destas rochas; as fases de carstificação pretéritas à etapa recente do atual desenvolvimento geomorfológico.

O modelamento da paisagem sobre rochas carbonáticas é feito pelo escoamento fluvial condicionado ao tectonismo pretérito, no qual se ampliam as dolinas de dissolução, fragmentando as drenagens pela instalação de divisores topográficos entre as sub-bacias (Monroe, 1974).

Apesar de existirem carstes mais antigos, a maioria deles se desenvolveu no quaternário, durante as intensas mudanças climáticas, aliadas aos fenômenos neotectônicos. A evolução das formas cársticas requer água ligeiramente ácida e a circulação desta, o que é possibilitado pela presença de falhas e fraturas abertas. Pela atuação concomitante destes fatores tem-se a origem da paisagem cárstica superficial e dos condutos de dissolução subterrâneos. Por isso, o estudo dos eventos tectônicos precedentes é fundamental para o conhecimento do modelo hidrogeológico.

1.3.3.5 – Geofísica

O método gravimétrico tem como fundamento a Lei da Gravitação de Newton (1684), concebida a partir do estudo das leis empíricas de Kepler, sobre o movimento dos planetas. A lei de Newton expressa a força de atração mútua entre duas partículas de matéria, em termos da distância que as separa e de suas respectivas massas. Essa força é dada por:

$$F = G \frac{m_1 \times m_2}{r^2}, \quad (2)$$

em que: F é a força de atração (dinas);

G é a constante universal gravitacional = $6,67 \times 10^{-8}$ dina.cm²/g²;

m_1 e m_2 as massas das partículas (gramas) e

r a distância que as separa (centímetros).

As massas são atraídas entre si com uma determinada aceleração g , por isso fala-se mais em “aceleração” da gravidade do que em “força” da gravidade. Como consequência disso, a gravidade da Terra e suas anomalias são expressas na unidade de aceleração. No sistema CGS essa unidade é 1 cm/s, que é denominada **gal** em homenagem a Galileu. Esta unidade é, no entanto, muito grande para a exploração geofísica, razão pela qual o **miligal** foi escolhido como unidade de geofísica prática: 1miligal $\rightarrow$ 1mgal = 0,001gal = 0,001cm/s. A aceleração gravitacional normal sobre a superfície da Terra é aproximadamente 980gal. Portanto, 1mgal é aproximadamente 1 parte por milhão da gravidade da Terra.

A lei da gravitação é única em sua ampla aplicação, seja para o movimento dos corpos celestes, seja para o movimento das partículas elementares. Ela é válida para sólidos, líquidos ou gases. Sua ação não pode ser eliminada pela interposição de material entre os dois corpos em questão, e independe da temperatura dos corpos considerados. Porém, o valor da gravidade em qualquer ponto da superfície da Terra depende da latitude, altitude, topografia ao redor da área pesquisada, efeitos das marés, causados pela atração do sol e da lua, e distribuição da densidade das rochas em subsuperfície.

É justamente a distribuição de densidades o objetivo das investigações gravimétricas, sendo necessário, todavia, corrigir os valores medidos da influência dos quatro primeiros efeitos supracitados.

A resistividade elétrica mede a capacidade de um determinado material de conduzir a corrente elétrica. No ambiente geológico, a corrente é normalmente conduzida por íons presentes na água que preenche os poros das rochas. O método da resistividade se baseia nos valores de resistividade elétrica dos constituintes da crosta, que variam de 10^{-8} a 10^{15} ohm.m. Do ponto de vista prático, eles costumam ser classificados em:

- Bons condutores: grafita, pirita, pirrotita, galena, calcopirita, bornita = 10^{-8} a 10^{-1} ohm.m
- Condutores: magnetita, ilmenita, às vezes specularita e piroluzita = 10 a 10^7 ohm.m
- Não condutores: diamante, âmbar, enxofre, sal, quartzo, calcita, micas = 10^8 a 10^{15} .ohm.m

Com relação às rochas comuns, pode-se dizer que em geral as sedimentares são melhores condutores que as rochas cristalinas; que argilas e areias argilosas são melhores condutoras que areias puras e que rochas máficas são melhores condutoras que rochas félsicas. A variação da resistividade dos tipos mais importantes de rochas pode ser vista na Figura 16.

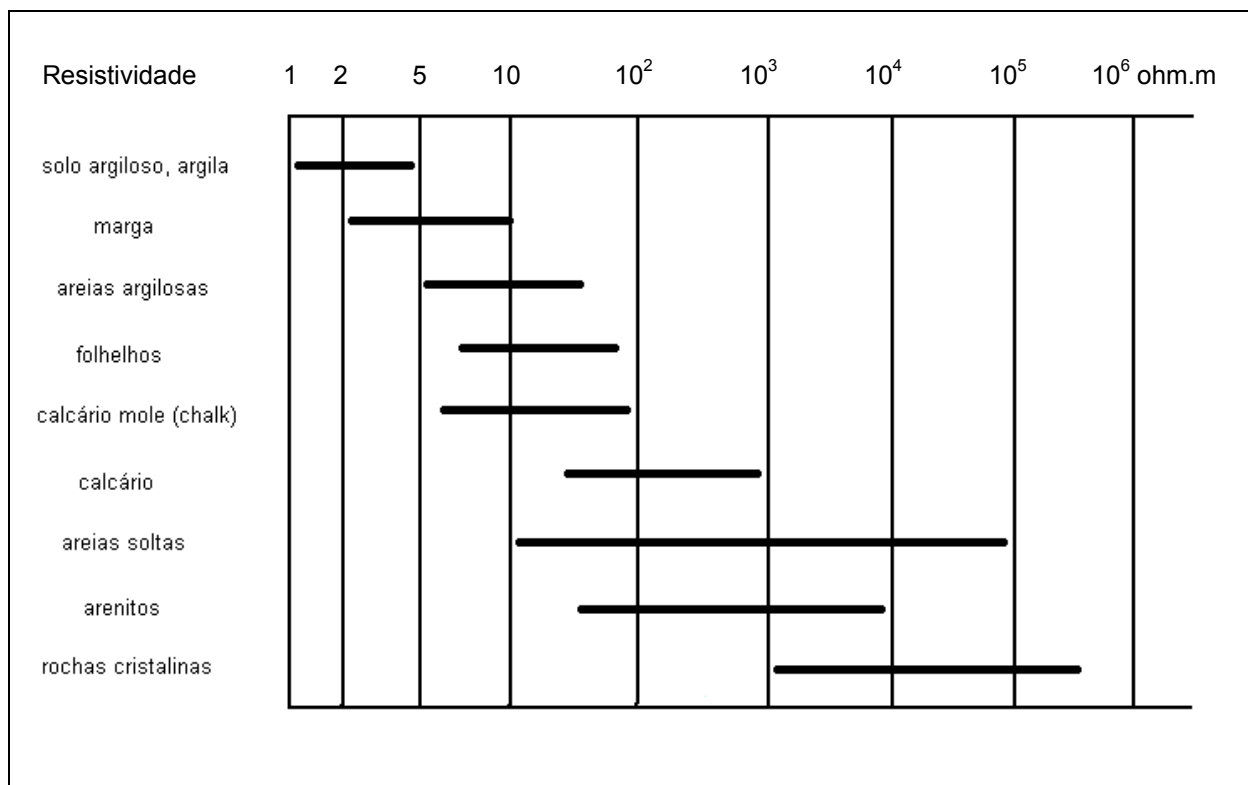


Figura 16 – Resistividade das rochas mais importantes.

Este gráfico mostra claramente a larga variação do valor de resistividade para o mesmo tipo de rocha e a considerável variação do valor de resistividade para os vários tipos de rochas. Devido a isto, é impossível identificar as rochas por suas resistividades. Em consequência disso, a aplicabilidade dos métodos é baseada mais na diferença entre as resistividades do material da crosta, do que na resistividade absoluta em si. Na prospecção elétrica sempre devem ser levadas em conta as condições locais de petrografia e hidrologia, requisitos estes que primariamente causaram o desenvolvimento do grande número de métodos elétricos, no esforço de resolver os mais variados problemas.

A perfilagem de poços fornece um conjunto de medições físicas contínuas que dependem de propriedades elétricas, nucleares e elásticas das rochas. Neste trabalho foram utilizadas medidas de raios γ , potencial espontâneo e resistência elétrica.

Resistência elétrica. As sondas de resistência elétrica consistem de um eletrodo metálico que desce no poço, através do qual uma corrente constante é transmitida para o fluido da perfuração e dele para a formação. E de um segundo eletrodo, deixado na superfície para fechar o circuito. Como a corrente é constante, variações de voltagem medidas entre os dois eletrodos são causadas por variações na resistência elétrica. Embora os métodos galvânicos sejam considerados como sendo de corrente contínua, na prática os sinais se alternam em uma frequência entre 10 a 1000 Hz para evitar problemas de polarização de eletrodos e captação de voltagens de potencial espontâneo. Em uma sequência sedimentar constituída por intercalações de material arenoso e argiloso os valores mais elevados de resistência ocorrem sobre o material arenoso.

Potencial Espontâneo. Se um eletrodo for colocado em um poço, uma diferença de potencial pode ser observada entre ele e outro eletrodo na superfície. Nenhuma corrente é introduzida na formação; a medição é completamente passiva, por isso é conhecida como *potencial espontâneo* (SP) ou potencial secundário. O registro SP pode ser usado para diferenciar entre folhelho (material argiloso) e outras formações que são porosas e permeáveis (material arenoso), com a condição de que as concentrações de sal do fluido da formação e da lama de perfuração sejam diferentes. Normalmente, os valores mais elevados são devidos ao material argiloso. O registro de SP pode ser usado para determinar o valor de R_w (resistividade da água da formação) se o valor de R_{mf} (resistividade do filtrado da lama) for conhecido.

Raios γ . Alguns minerais contêm os elementos K, Th e U que são fontes naturais de radiação γ . Uma sonda de perfilagem raios γ é freqüentemente usada para estimar a distribuição de emissão de raios γ naturais em rochas. Dois tipos de sondas são usados: sonda de raios γ total, que conta toda a radiação γ sem discriminação, e uma sonda de raios γ espectral, que conta as radiações separando-as de acordo com a sua energia em contagens de U, K e Th. O mais comum em poços de água subterrânea é contar a radiação total sem discriminá-la. Maior contagem é obtida sobre os materiais argilosos do que sobre os materiais arenosos, já que os argilosos possuem mais K.

2 – SINOPSE DE TRABALHOS ANTERIORES

Para melhor entendimento da área de estudo apresenta-se uma síntese sobre a geologia da região amazônica e o estado da arte do conhecimento, considerando os aspectos fisiográficos, geológicos e hidrogeológicos da região nordeste do Pará, a que pertence a cidade de Castanhal. Discutem-se adicionalmente estudos realizados em outras áreas geológica e/ou hidrogeologicamente semelhantes à área em questão, com o objetivo de compará-la, nas suas questões fundamentais com outras melhor conhecidas na literatura geológica.

2.1 – GEOLOGIA

Em seu estudo sobre a evolução da bacia amazônica, Hasui (1990) constatou que há um controle estrutural dos alinhamentos de drenagem da região amazônica, cujo fator causador é a tectônica ressurgente.

Bemerguy & Costa (1991) observaram pelo estudo dos principais alinhamentos de drenagem, que as falhas e zonas de cisalhamento da região amazônica tiveram origem no Pré-Cambriano, sofrendo reativações no Paleozóico, Mesozóico e Cenozóico. E Cunha (1991), baseado em dados geofísicos e geológicos, ratificou esta idéia e acrescentou que as estruturas herdadas do Pré-Cambriano vêm sendo reativadas até o presente.

Para Borges *et al* (1995), as estruturas e os principais elementos da paisagem da região nordeste do Pará resultam de dois movimentos principais ocorridos no Mioceno-Plioceno e no Pleistoceno Superior-Holoceno. A primeira com individualização de falhas normais que favoreceram a ingressão do mar em uma extensa área, resultando na seqüência carbonática Pirabas e a segunda de progressão da movimentação ao longo das falhas normais, com a deposição da seqüência siliciclástica Barreiras.

Porém, Costa & Hasui (1997) esclareceram que o compartimento transtensivo ao qual o nordeste do Pará pertence, teve sua bacia como resultado de uma estrutura de afastamento, que foi preenchida pelos sedimentos da Formação Pirabas e do Grupo Barreiras, e não pelo pulso extensional no continente, do evento que abriu o oceano Atlântico. As falhas-mestras normais têm orientação preferencial NW-SE, mergulham para NE e têm perfis lítricos e planares, que no

entanto, só foram observadas em linhas sísmicas. Vários feixes de falhas transcorrentes de direção NE-SW seccionam algumas das estruturas acima, o que evidencia a última ação tectônica na região e estão intimamente ligados à reativação das falhas transcorrentes que operaram no Terciário Superior, e orientam o baixo rio Tocantins, a Baía do Marajó, de forma geral o rio Gurupi e caracteriza o litoral na forma de rias.

2.1.1 – Geomorfologia

Costa *et al* (1991) estudando a região do Salgado, no nordeste do Pará, concluíram que um sistema direcional dextral E-W explicaria o arranjo morfoestrutural das unidades terciárias e controlaria a erosão e deposição quaternária. E Igreja (1992) interpretou, a partir dos elementos morfoestruturais da região nordeste do Pará, um padrão distensivo com eixo principal de estiramento NE-SW.

Costa *et al* (1996) descreveram na região nordeste do Pará várias evidências da atuação dos deslocamentos verticais ao longo das falhas normais, tais como as exposições isoladas dos carbonatos da Formação Pirabas em meio aos sedimentos siliciclásticos do Grupo Barreiras, devido às altas taxas de erosão das partes externas das capas soerguidas e ainda, pelo forte controle da dissecação do sistema colinoso, assim como na rede de drenagem, com elementos na forma de arcos, cotovelos, segmentos retos, capturas e segmentos meandrantés. Estes autores concluíram que *“a complexidade dos aspectos morfo-lito-estruturais estão em perfeita consonância com as variações geométricas e cinemáticas observadas em contextos de regime tectônico direcional”*.

Segundo Costa (2000), a morfologia da região nordeste do Pará é o resultado da atuação de diversos ciclos de erosão que causaram uma profunda denudação, formando paisagens monótonas, representadas por uma superfície pediplanizada, na qual se destacam em alguns locais, zonas com relevo mais expressivo. Costa (*op. cit*) classificou o relevo da Folha Castanhal (SA.23-V-C) em: planície alúvio-coluvionar, zonas de platôs, pediplano e relevo residual.

Planície alúvio-coluvionar: superfície plana, de baixa altitude, composta por sedimentos inconsolidados que representam as aluviões e colúvios, sujeitos à ação das marés, nas

proximidades do litoral e por terraços que se desenvolvem ao longo das superfícies planas dos principais cursos de água no interior do continente, nas proximidades de Castanhal.

Zonas de platôs: estão representadas por pequenas formas reliquias, com altitudes ao redor de 50 m. São formas tabulares, esculpidas sobre terrenos terciários, considerados testemunhos de uma antiga superfície de erosão, da qual restam alguns morros de forma alongada com bordos abruptos e fortemente ravinados, que se destacam na paisagem monótona do pediplano regional.

Pediplano: é a unidade de maior distribuição na área da folha, formada por uma superfície plana a suavemente ondulada, esculpida indiscriminadamente, tanto em rochas pré-cambrianas como nas formações do Fanerozóico. As cotas estão entre 50 e 100 m, decrescentes no sentido SW-NE. É representada por uma sucessão de morros convexos, em forma de meia-laranja, morfogênese monótona, com colinas de topos suavemente arredondados, distribuídas aleatoriamente, sugerindo a presença do embasamento subaflorante.

Relevos residuais: correspondem às maiores elevações topográficas da região, geralmente constituindo morros estreitos e alongados, orientados NW-SE. Essa morfologia está diretamente associada às rochas supracrustais do Grupo Gurupi e, mais raramente, às intrusões graníticas do tipo Tracuateua, Mirasselas, Ney Peixoto, etc. Na Folha Castanhal esse tipo de relevo é melhor observado no quadrante sudeste e representa o testemunho de uma antiga superfície de erosão suavemente inclinada para norte, possivelmente formada a partir do final do Cretáceo ou início do Terciário (Costa *et al*, 1975).

2.1.2 – Estratigrafia

As unidades litoestratigráficas da região nordeste do Pará apresentam rochas que vão desde o Arqueano até o Quaternário (Figura 17). Porém, neste trabalho será dada ênfase apenas às unidades terciárias e quaternárias, por serem estas as unidades que constituem os sistemas aquíferos na área de estudo.

O Terciário é representado pelos argilitos, siltitos, arenitos e conglomerados do Grupo Barreiras, que fazem contato, ora concordante ora discordante, com os calcários, argilitos e arenitos fossilíferos da Formação Pirabas (Ackermann, 1964, 1969).

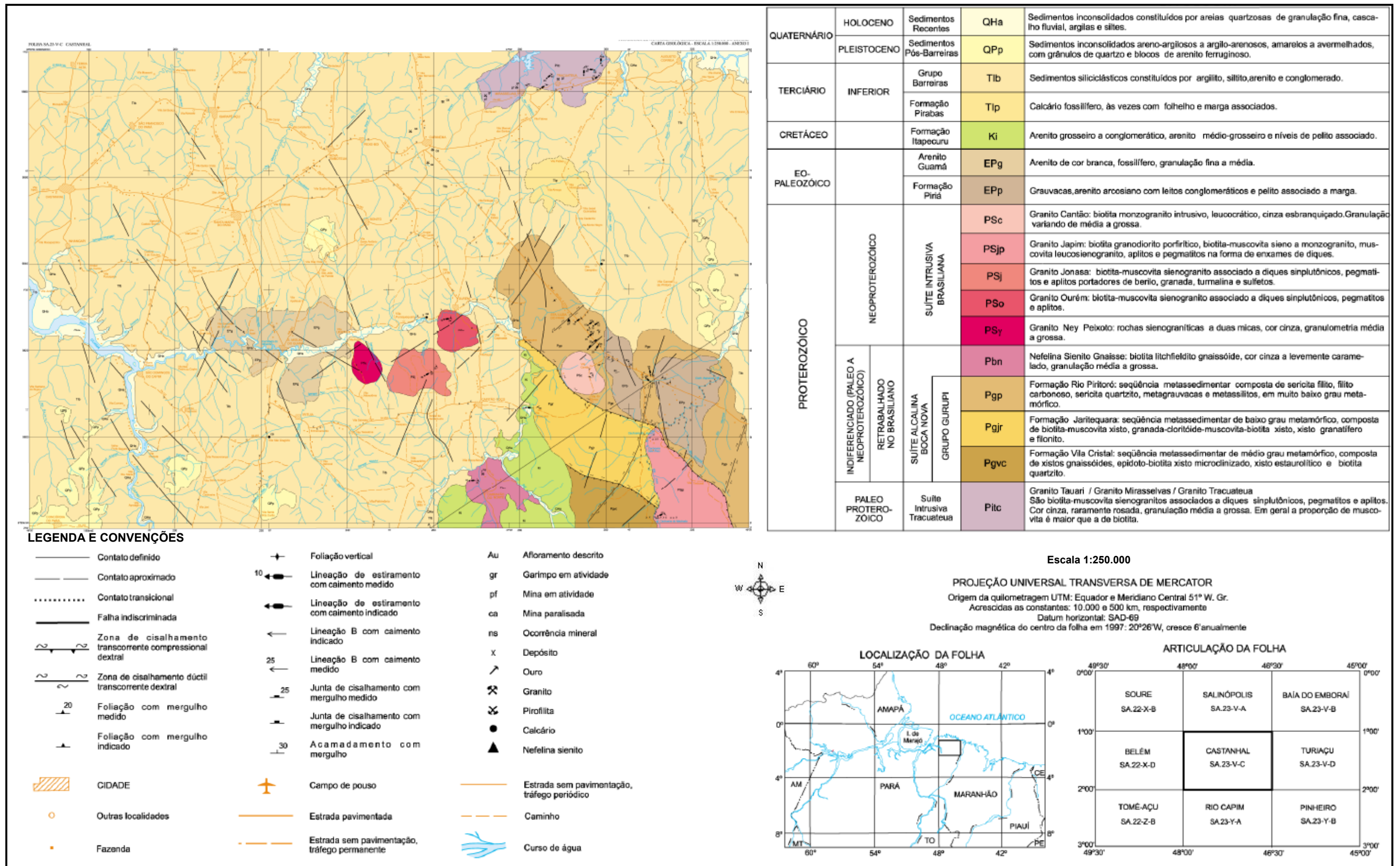


Figura 17 – Mapa Geológico da Folha Castanhal SA.23-V-C (adaptado de Costa & Ricci, 2000)

A Formação Pirabas aflora nas proximidades da cidade de Capanema, sendo observada também, nas rodovias PA-253, PA-124, e PA-112 e na BR-316, próximo a BR-010. Apresenta camadas de calcário, com espessura variando de 2 a 5 m, chegando a 11 m nas proximidades de Capanema (Costa & Ricci, 2000). Ackermann (1976) encontrou em perfurações próximas de Capanema, camadas de calcário com espessuras de 28 a 30m.

Várias fácies estudadas no estado do Pará têm mostrado que a Formação Pirabas e o Grupo Barreiras registram uma variedade de pacotes deposicionais transicionais, desde o marinho raso ao estuarino (Ferreira, 1977; Urdinínea, 1977; Rossetti *et al.*, 1989; Rossetti *et al.*, 1990; Góes *et al.*, 1990; Rossetti, 2000).

Igreja (1992), de acordo com análise sismoestratigráfica na bacia de Bragança-Vizeu, nordeste do Pará, definiu entre outras a seqüência sedimentar Pirabas-Barreiras, pela união da Formação Pirabas com o Grupo Barreiras (Oligo-Mioceno – Plioceno), dividida em Fácies Carbonática e Fácies Siliciclástica, que representam evento deposicional transgressivo e regressivo. Segundo este autor, “*esta seqüência ocorre nos blocos rebaixados das grandes falhas regionais do setor ocidental da Bacia Bragança-Vizeu com espessuras de até 400 m, acunhando-se para nordeste. Na parte central do setor ocidental, sobre uma grande estrutura ‘roll-over’, ocorrem os melhores afloramentos da unidade carbonática.*”

Segundo Rossetti *et al.* (2001) a Formação Pirabas e a parte inferior do Grupo Barreiras são de idade oligocênica superior e miocênica inferior e incluem calcários terrígenos, folhelhos pretos carbonáceos e arenitos calcíferos, interdigitados com argilitos e arenitos variegados. Estes depósitos são interpretados como sendo de ambientes de plataforma externa, plataforma restrita / laguna e mangues / planícies de lama, que representam um sistema marinho marginal progradacional. A porção intermediária do Grupo Barreiras é de idade miocênica média, constituída de argilitos e arenitos variegados, depositados em ambientes que variam de leques aluviais a marinho transicional dominado por maré (canal de maré, planície de maré e mangue), com características estuarinas (ROSSETTI *et al.*, 2001).

O Quaternário compreende o denominado Pós-Barreiras, o qual é formado por sedimentos inconsolidados, avermelhados pela presença de ferro, e pelos sedimentos recentes, referentes ao Holoceno. O Quaternário é caracterizado pelos depósitos aluvionares siliciclásticos areno-argilosos da unidade Pós-Barreiras (Sá, 1969), que Francisco *et al.* (1971) dividem em

Quaternário Antigo, formado por sedimentos inconsolidados argilo-arenosos a areno-argilosos e Quaternário Recente, constituído de areias, siltes, argilas e cascalhos.

Rossetti *et al.* (2001) definiram três intervalos estratigráficos nos sedimentos Pós-Barreiras, estudados em Salinópolis, no litoral nordeste do Pará, separados por descontinuidades, baseado nas análises dos padrões de reflexões eletromagnéticas, que sugerem que estes depósitos podem ser litologicamente mais variados, incluindo padrões típicos de rochas argilosas. Segundo os autores supracitados os depósitos pliocênicos e os mais jovens designados como Pós-Barreiras, ainda têm reconstituição de ambiente deposicional imprecisa, mas existe uma parte de depósitos formados por processos eólicos.

2.1.3 – Neotectônica

Igreja (1992), de acordo com estudos tectono-sedimentares do Fanerozóico do nordeste do Pará e noroeste do Maranhão, concluiu que as duas bacias da área resultaram da articulação de nove grandes blocos do embasamento cristalino, preenchidas por cinco seqüências sedimentares, dentre elas a seqüência Pirabas-Barreiras, de ambiente deposicional fluvial a marinho raso, *“controlados por sistema distensivo oblíquo, com as mesmas direções estruturais do Mesozóico (NW-SE/NE-SW) relacionados a um evento neotectônico de rearranjo das placas continentais e oceânicas a partir do Mioceno”*.

Costa (1996) resumiu a neotectônica na Amazônia como tendo atuação em diversos compartimentos estruturais e morfotectônicos relacionada a um binário dextral E-W, com componente compressiva NW-SE e distensiva NE-SW, o que se verifica em qualquer área dentro desta região, como visto em Igreja *op. cit* e Borges *et al* (1995).

Costa (2004) estudou a influência da neotectônica sobre os arranjos geométricos dos aquíferos na Região Metropolitana de Belém – RMB. Os elementos geométricos descritos nos domínios geomorfológicos mostraram orientações compatíveis com aqueles definidos na análise da rede de drenagem, com direções gerais NE-SW, NW-SE e NNE-SSW em âmbito regional e NE-SW e NW-SE e com menor freqüência, WNW-ESE na RMB. A correlação de poços situados em um mesmo bloco individual demonstrou que as camadas geológicas que ocorrem em cada um deles, têm atitudes distintas, certamente influenciadas pela atuação de processos neotectônicos.

O tratamento integrado destas informações permitiu a Costa (2004) estabelecer a direção de estiramento da Bacia Pirabas – Barreiras como sendo NW-SE e, conseqüentemente, a das falhas normais que se instalaram a ele associadas NE-SW. Por serem as falhas normais superfícies potenciais de menor tensão, elas se constituem um dos locais mais favoráveis para a recarga dos aquíferos por elas interceptadas, pois as falhas e fraturas abertas são condutos dos sistemas hidrogeológicos.

2.1.4 – Sismicidade

No Brasil os sismos não são tão freqüentes e nem tão intensos como em regiões de bordas de placas litosféricas, mas são representantes da atual dinâmica intraplaca e essenciais para estudos de neotectônica.

Berrocal *et al* (1984) realizaram um inventário dos sismos ocorridos até 1981, no qual estão registrados os sismos ocorridos no nordeste do Pará:

O primeiro registro foi a 12 de julho de 1860 quando um pequeno tremor de terra foi sentido pela primeira vez em Vigia.

O segundo ocorreu em Belém no dia 07 de outubro de 1946, sentido em prédios residenciais e comerciais, com rápida oscilação de móveis e janelas.

O terceiro foi um tremor de terra de considerável intensidade sentido em Belém, Ananindeua, Mosqueiro, Abaetetuba, Castanhal e Vigia (Figura 18). O abalo durou 10 segundos e teve magnitude de 4,5 na escala Richter, despertando a população em pânico e causando deslocamento de móveis e vidraças quebradas em algumas casas nos bairros centrais, derrubando algumas casas nos bairros de periferia, no dia 12 de janeiro de 1970.

O quarto sismo, ocorreu no nordeste da ilha do Marajó em 02 de agosto de 1977, com magnitude de 4,8 na escala Richter.

O quinto, também no Marajó, no dia 18 de outubro de 1980, magnitude de 3,1 na escala Richter.

O sexto sismo, no nordeste do Pará, fora de localidade conhecida (Lat 02,83°S / Long 49,13°W), com magnitude de 2,8 na escala Richter, ocorrido no dia 14 de novembro de

1980. E ainda, um outro no dia 09 de fevereiro de 1981, com magnitude de 2,7 na escala Richter, também no nordeste do Pará (Lat 02,85°S / Long 50,60°W).

Costa *et al* (1996) utilizando os cadastros de Berrocal *op.cit* e de Mioto (1993), caracterizaram as oito zonas sismogênicas da Amazônia, dentre elas a zona sismogênica de Belém, cujos sismos foram citados. Segundo esses autores “*esta zona é coincidente com as faixas de justaposição dos blocos Belém e São Luís (envolvendo a articulação das suturas Amapá e Gurupi), que acomodaram movimentações posteriores no Paleozóico, Mesozóico e Cenozóico*”

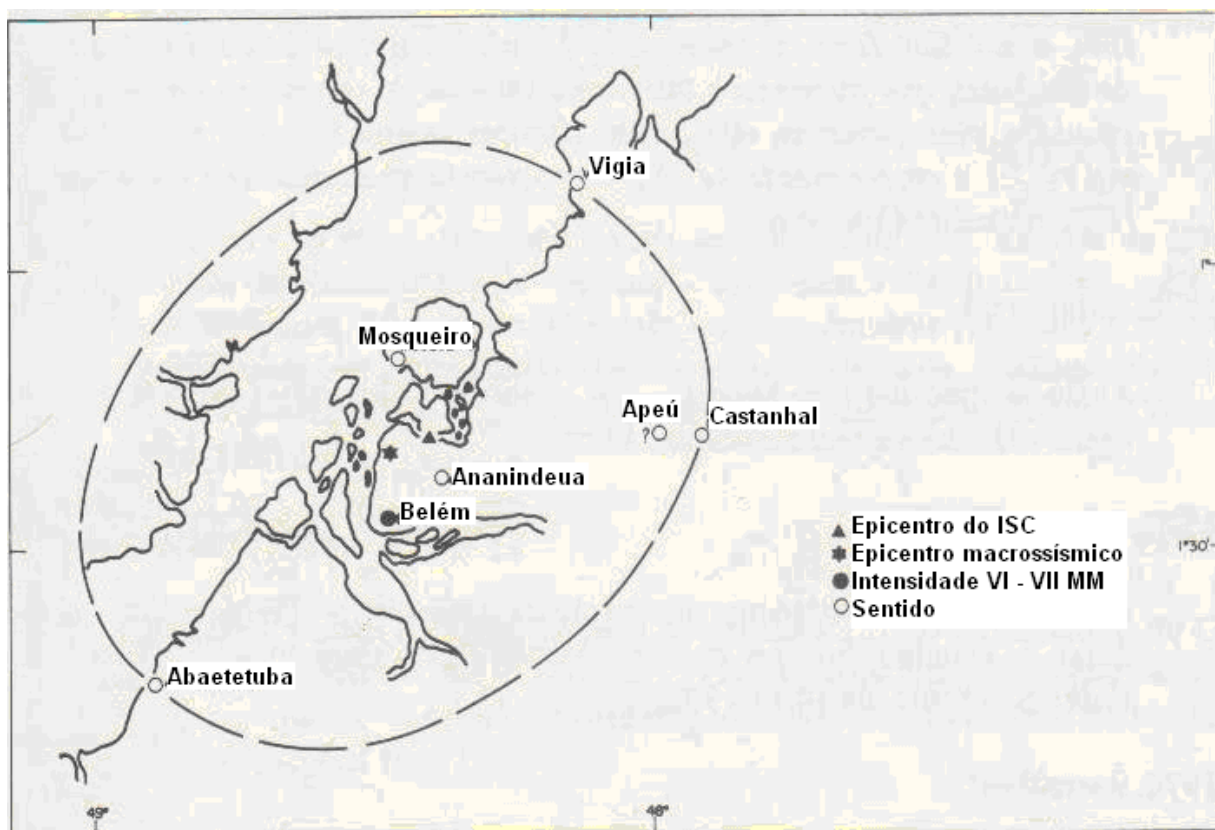


Figura 18 – Sismo de 12 de janeiro de 1970 em Belém – PA (Berrocal *et al*, 1981).

2.2 – HIDROGEOLOGIA

Quanto à hidrogeologia, não há qualquer estudo sobre esse tema no nordeste do Pará, porém existem alguns trabalhos de hidroquímica e hidrogeoquímica na região.

2.2.1 – Hidroquímica e hidrogeoquímica

Otobo (1995) descreveu e interpretou resultados analíticos de amostras coletadas nas zonas fisiográficas do Salgado e Bragantina, em amostras de águas subterrâneas e superficiais englobando águas costeiras, de igarapés, de nascentes e de poços escavados pouco profundos, de dois períodos sazonais: nos finais de períodos chuvosos e de estiagem, sendo avaliados parâmetros físicos, químicos e geoquímicos. Foram estudadas também amostras sólidas de carbonatos, fósseis, sedimentos de fundo e solos, para correlacionarem dados químicos e mineralógicos.

Os parâmetros pH e condutividade elétrica revelaram nítida influência dos sedimentos carbonáticos da Formação Pirabas nas águas subterrâneas, bem como o bicarbonato é o ânion predominante, devido à dissolução dos minerais de carbonato pelo gás carbônico em meio aquoso. Quanto às águas superficiais, as relações iônicas mostram apreciável enriquecimento de Ca^{2+} nas águas costeiras, provavelmente influenciadas pelos carbonatos da Formação Pirabas, devido às drenagens continentais.

Sauma Filho (1996) estudou as águas subterrâneas de Belém e adjacências e encontrou os índices mais freqüentes de turbidez entre 9 e 14 mg/L de SiO_2 , embora ocorram valores altos como 33, 41 e 71 mg/L. As medidas de cor mais freqüentes se encontram entre 0,0 e 7,5 U.C., porém, algumas águas apresentam valores acima de 100,0 U.C. e outros menos freqüentes, variando entre 20 e 60 U.C. Nos aquíferos do Grupo Barreiras, a acidez varia entre 6,38 e 4,01. Foi verificado pH entre 6,4 e 7,6 e a condutividade elétrica entre 231 e 362 $\mu\text{S}/\text{cm}$ nos aquíferos da Formação Pirabas, com uma descontinuidade de 87,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$, sendo estes os valores mais altos encontrados.

Quanto aos íons, os cátions, com concentrações mais elevadas são Ca^{2+} , resultante da dissolução dos carbonatos presentes nos calcários Pirabas, seguido pelo Mg^{2+} , Na^+ e K^+ com

alguma inversão entre Na^+ e Mg^{2+} . Nos ânions as concentrações de HCO_3^- são bem mais elevadas do que Cl^- e SO_4^{2-} , neste aquífero. Os teores mais altos de SiO_2 , correspondem às maiores profundidades e o ferro apresenta valores mais baixos nas águas da Formação Pirabas do que nas águas do Barreiras e Pós-Barreiras, porém, foram encontradas exceções na Formação Pirabas.

Souza (1996) determinou os fatores controladores do quimismo de águas de nascentes e de poços na região nordeste do Pará. Como conclusão mostrou que as águas associadas com produtos mais intemperizados, são cloretadas-sódicas, ácidas (pH médio 4,4), pobres em solutos (STD<30ppm), sendo os íons maiores principalmente de origem pluvial.

Nas águas das áreas calcárias a relação $\text{Ca}+\text{Mg}:\text{HCO}_3 \equiv 1$ reflete a dissolução dos carbonatos. São águas bicarbonatadas-cálcicas, ricas em solutos (STD médio $\equiv 230$ ppm), com pH próximo de 7,0, que apresentam uma sensível diluição nos períodos chuvosos. E ainda, aerossóis marinhos, detritos vegetais e águas domésticas são fontes localizadas de solutos, enquanto que ácidos orgânicos, além da pobreza em bases, são responsáveis pelo caráter ácido das águas.

Barros (2004) estudou a geoquímica de material coletado na perfuração de poços tubulares para captação de águas subterrâneas e material ocorrente no perfil situado na falésia na praia do Bispo, ilha de Mosqueiro-PA. Esta autora fez análises químicas, espectroscopia de absorção na região do infravermelho e difração de raios-X. O perfil litológico foi resumido, segundo as associações com os sedimentos Pós-Barreiras, o Grupo Barreiras e a Formação Pirabas.

O ambiente óxico, sob influência da matéria orgânica, permitiu formação de hematita e goethita; no ambiente anóxico sulfídico formou-se a pirita e a marcassita, visivelmente agregada à matéria orgânica; o ambiente anóxico não-sulfídico levou à formação de magnetita. Os fósseis e as carapaças encontrados no perfil litológico em estudo são indicativos da deposição sedimentar da Formação Pirabas.

Visando estabelecer comparação com os resultados analíticos para a determinação de matéria orgânica dissolvida em águas subterrâneas, Barros (2005) realizou coletas de amostras em 14 pontos estratégicos situados na ilha de Mosqueiro, envolvendo dois períodos sazonais contrastantes, o de maior estiagem de 2002 e o mais chuvoso de 2003, incluindo o poço de perfil litológico descrito e estudado. Os resultados obtidos mostraram que a matéria orgânica se manifesta nessas águas coletadas segundo origem autóctone e alóctone. No poço tubular

profundo da falésia da praia do Bispo há variação da concentração de matéria orgânica considerando os dois períodos sazonais, revelando origem autóctone para essa matéria orgânica. Para os demais poços, foram registradas variações ora mais pronunciadas, ora menos pronunciadas decorrentes de fatores externos, tais como intrusão de águas salobras e lixiviação de terrenos mais vulneráveis transportando matéria orgânica para os aquíferos.

Costa (2004) interpretou geoquimicamente resultados analíticos relacionados com as águas subterrâneas e superficiais na bacia do rio Maracanã, situada na mesorregião nordeste do Pará. As interpretações geoquímicas dos resultados analíticos mostraram águas pobres em eletrólitos e valores baixos de pH, oriundos de terrenos lixiviados do aquífero livre do Pós-Barreiras ou semi-confinado do Barreiras, predominando águas cloretadas sódicas. Em contraste, os aquíferos de Pirabas apresentam condutividade de 434 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e alcalinidade de 200 mg/L de CaCO_3 , ratificando a influência dos sedimentos de carbonato da Formação Pirabas, predominando águas bicarbonatadas cálcicas. Os resultados de diagrama de estabilidade mostraram domínio de terrenos cauliniticos, fato coerente com as informações da região amazônica.

A caracterização hidrogeoquímica das águas superficiais, foi realizada utilizando subáreas da bacia do rio Maracanã. Nas áreas de nascentes, a estiagem provoca um aumento de eletrólitos, enquanto que no período chuvoso há incremento de coloração, com máximo de 165 UC, compatível com o aumento da acidez. O pH diminui para 4,8, diminuição de oxigênio dissolvido para 4 mg/L O_2 e aportes de matéria orgânica até 5,8 mg/L, predominantemente húmica.

Nas áreas de transição, Costa (2005) observou a elevada acidez, pH 4,8 e baixa condutividade, mínimos em 21,2 $\mu\text{S}/\text{cm}$, nos pontos sem influência de maré, no período chuvoso, enquanto que no rio Peixe-Boi a condutividade aumenta para 52,4 $\mu\text{S}/\text{cm}$, já sob influência de maré, no mesmo período sazonal. Nas áreas estuarinas, a condutividade elétrica chega ao máximo de 3130 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 7,4 mg/L para matéria orgânica e 49,3 mg/m³ de clorofila - a na localidade de Penha, nordeste da baía. Já à montante da baía, em Santarém Novo, a condutividade, a matéria orgânica, tanto de origem fluvial como estuarina, e a clorofila - a decrescem para 34,4 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 6,5 mg/L e 3,0 mg/m³ respectivamente.

2.3 – GEOFÍSICA

Abreu (1990) estudando a evolução geotectônica pré-cambriana do meio norte do Brasil apresentou um esboço gravimétrico da porção centro norte do Brasil (Figura 19) no qual fez um modelo geotectônico em que divide a área em três domínios principais de acordo com a forma, distribuição e orientação das anomalias gravimétricas.

O domínio A, que contém a região nordeste do Pará é fortemente estruturado e apresenta anomalias positivas de forma arredondada e outras alongadas segundo NW-SE e ainda anomalias positivas e negativas ENE-WSW, paralelas ao eixo da Bacia Amazônica. A nordeste de Belém, na borda oriental da fossa do Marajó, encontram-se anomalias negativas com orientação NW-SE.

Igreja (1992), por meio de análise sismoestratigráfica, definiu quatro seqüências sedimentares na bacia de Bragança-Vizeu (vide 2.1.2 – Estratigrafia) e com tectonossísmica descreve que três dessas seqüências, inclusive a seqüência Pirabas-Barreiras, *“estão segmentadas por grandes lineamentos normais com caimento para leste e uma significativa componente direcional, predominantemente dextral”*, porém *“a seqüência superior Pirabas-Barreiras apresenta apenas feições de abatimento (pequenos grábens assimétricos)”*.

Villegas (1994) estudando a Bacia do Marajó constatou que esta bacia começou a se desenvolver tectonicamente, a partir de tensões ligadas à separação da América do Norte e África, com estruturas distensivas controladas pela orientação das estruturas pré-cambrianas vinculadas aos cinturões de cisalhamento Tumucumaque e Araguaia. Através de dados de gravimetria, magnetometria e sísmica, este autor concluiu que a Bacia do Marajó se instalou no Aptiano-Albiano (Mesozóico) com orientações NW-SE nas sub-bacias de Limoeiro e Cametá, NNW-SSE na sub-bacia de Mocajuba, NE-SW na sub-bacia Mexiana e é segmentada por duas grandes falhas transferentes de direção NE-SW, os lineamentos de Arari e Tocantins. As direções NW-SE e NNW-SSE refletem a orientação dos eixos dos depocentros das sub-bacias de Limoeiro, Cametá e Mocajuba.

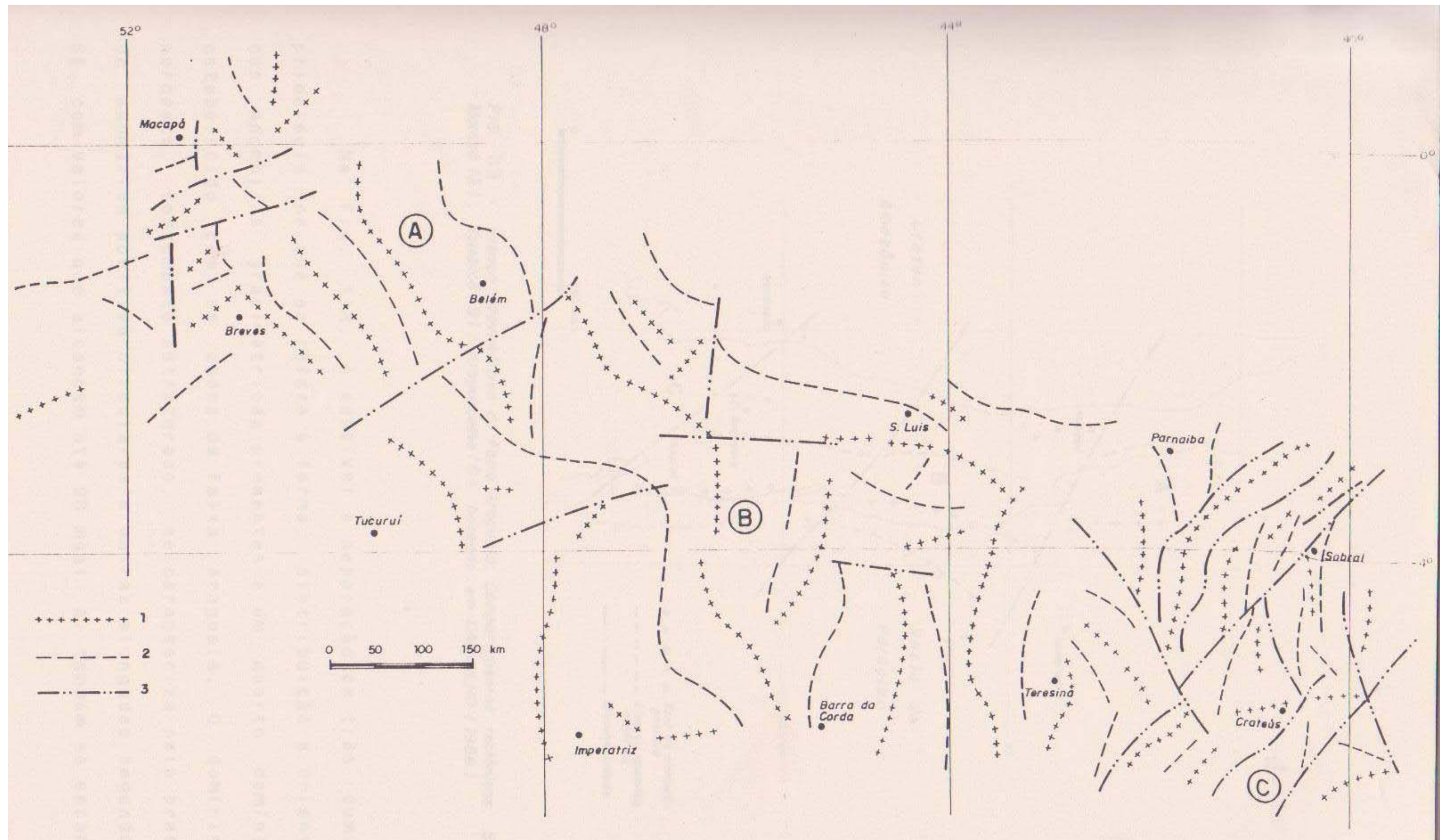


Figura 19 – Esboço gravimétrico da porção centro norte do Brasil (Abreu, 1990).

1= eixos de anomalias positivas; 2= eixos de anomalias negativas; 3= descontinuidades.

3 – TRABALHOS ANTERIORES EM CASTANHAL

Durante a elaboração deste trabalho foi feita a pesquisa de trabalhos anteriores em Castanhal, porém muito poucos foram encontrados. Referentes à geologia há apenas o trabalho de Souza Jr. *et al.* (1992), que deram ênfase ao estudo geomorfológico e neotectônico, mas abordaram o meio ambiente. Quanto ao estudo de meio ambiente propriamente dito, há somente um estudo feito por Lima *et al.* (1994) para implantação de um aterro sanitário na cidade.

3.1 – GEOLOGIA

Na área de Castanhal Souza Jr. *et al.* (1992) encontraram rochas pertencentes ao Grupo Barreiras e Pós-Barreiras, por vezes encobertas por solos autóctones e alóctones.

Segundo estes autores o Grupo Barreiras está representado na área por argilitos com laminação plano-paralela, bioturbados, localmente com gretas de contração; arenitos de granulação fina a média com estratificações cruzada acanalada tangencial, sigmoidal, *climbing ripple* e estratificação de maré; arenitos argilosos com estratificação incipiente, localmente ocorrem *ophiomorphas*; conglomerados com seixos de argila por vezes ferruginosos, e conglomerados com seixos de quartzo.

Os Sedimentos Pós-Barreiras são constituídos por arenitos argilosos maciços amarelados, com grânulos de quartzo e concreções ferruginosas dispersas aleatoriamente, por arenitos quartzosos brancos maciços, de granulação fina a média e por fragmentos de argilitos e arenitos ferruginosos em matriz arenosa e/ou argilosa ferruginizada.

Os sedimentos atuais são formados por argilas de coloração branca acinzentada com manchas de oxidação de ferro e por aluviões constituídas por seixos de lateritos e quartzo.

3.1.1 – Geomorfologia

Souza Jr. *et al.* (1992) compartimentaram a área em relevo de agradação e de degradação e ainda subdividiram este em três tipos morfológicos.

O relevo de agradação corresponde às porções cuja topografia varia entre 9 m e 48 m, onde predominam os processos de deposição sobre os de erosão, formando planícies fluviais associadas aos rios e igarapés locais, contendo argilas e material aluvionar.

Segundo estes autores o relevo de degradação é sustentado por rochas do Grupo Barreiras e do Pós-Barreiras, com cotas entre 18 m e 72 m, afetado por movimentos neotectônicos que estabeleceram diferentes níveis de dissecação, desenvolvendo colinas de topos aplainados, colinas amplas e colinas pequenas.

O relevo de colinas de topos aplainados é caracterizado por ser a porção menos dissecada do Pediplano Pleistocênico (Barbosa *et al.* 1974) e baixa densidade de drenagem, com cotas entre 40 m e 70 m e atua como interflúvio entre as bacias hidrográficas do rio Marapanim e do rio Apeú.

O relevo de colinas amplas apresenta vertentes suaves e convexas com declividade baixa e cotas variando entre 34 m e 69 m com vales amplos e abertos exibindo rochas do Grupo Barreiras e do Pós-Barreiras.

O relevo de colinas pequenas é formado por vertentes suaves e convexas com cotas entre 22 m e 72 m, correspondendo à zona mais dissecada do Pediplano Pleistocênico. Apresenta vales estreitos e densidade de drenagem alta.

3.1.2 – Neotectônica

Nos arredores da cidade de Castanhal foram encontradas por Souza Jr. *et al.* (1992) evidências de atuação neotectônica tais como estruturas hidroplásticas nas argilas laminadas do Grupo Barreiras, terraços fluviais em áreas elevadas, entalhe de rios em blocos relativamente altos e o desenvolvimento de perfil laterítico imaturo (Costa *et al.* 1991).

Para estes autores um outro aspecto que marca a atuação neotectônica é o controle da sedimentação do Grupo Barreiras, devido à mudança significativa de subambiente, que passa de

estuarino médio a flúvio-estuarino, ocasionado por movimentações regionais que imprimiram a saída do mar, estabelecendo uma progradação da fácies flúvio-estuarina sobre as do estuarino médio.

A neotectônica no Grupo Barreiras e na Formação Pirabas, segundo o M.S. Borges (informação vernal, 2004) é demonstrada pela deformação intraplaca do Terciário, na qual a plasticidade nos sedimentos terciários ocorre devido à presença de água, ou seja, são deformações hidroplásticas e não por pressão e temperatura, como seria na paleotectônica. Souza Jr. *et al.* (1992) encontraram estruturas hidroplásticas em argilitos do Grupo Barreiras nos arredores da cidade de Castanhal.

3.2 – MEIO AMBIENTE

Em 1992 Souza Jr. *et al.* observaram nos arredores de Castanhal alguns problemas como: voçorocas, rejeitos industriais, lixeiras clandestinas, queimadas, desmatamentos acelerados e assoreamento dos rios.

Segundo Schubart (1988; *apud*: Benchimol², 1989) o desmatamento e a implantação de outras formas de cobertura vegetal podem conduzir à compactação e erosão do solo, ocasionando a mudança do ciclo hidrológico, favorecendo assim a redução do tempo de retenção da água na região. Na região amazônica, que possui solos relativamente pobres, o que não permite a recuperação imediata de uma área desmatada, o índice pluviométrico elevado, propicia uma erosão mais acentuada.

Outro problema comum na área de trabalho é a exploração indiscriminada de materiais para a construção civil, sem o acompanhamento de um programa de recuperação da área minerada, após o encerramento das atividades. Isto tudo vem causando elevações e rebaixamentos da superfície, provocadas por aterros e escavações de um modo geral, possibilitando o estabelecimento de uma nova rede de drenagem e de escoamento superficial, aumentando a taxa de erosão e gerando distúrbios na estabilidade dos terrenos.

Estes autores encontraram, diversos areais com áreas e espessuras variáveis, cujas explorações eram feitas através de escavações executadas por tratores, até encontrarem o lençol freático, o que determinava o final de sua exploração. Com o abandono desta área, sem um plano

2- BENCHEMOL, S. **Amazônia: planetarização e moratória ecológica**. São Paulo: CERED, 1989. 180 p.

de recuperação, os lagos rasos que surgiram tornaram-se focos de proliferação de moscas e mosquitos, e as partes adjacentes não alagadas, tornam-se potenciais lixeiras, devido às suas características descampadas e localização às proximidades do centro urbano.

A elevada permeabilidade destes areais e suas localizações em relativas elevações, juntamente com os processos citados anteriormente podem ocasionar a contaminação de nascentes próximas. Este caso é bem evidenciado na rodovia PA-320, a 2 km de Castanhal, onde uma lixeira clandestina implantada sobre um destes areais alagados, pode estar contaminando a nascente de um riacho que atravessa a cidade de Castanhal, onde sobre este, existe um poço de captação de água da COSANPA. Duarte (1980, *apud* Cottas³, 1984) alerta que além das fontes poluidoras, devem-se analisar as condições dos terrenos para a introdução, propagação e persistência dos poluentes.

Os autores finalizam ressaltando que na cidade de Castanhal, já com feição de metrópole, os problemas de disposição de rejeitos industriais já começam a serem sentidos. Este caso é bem exemplificado na PA-422, a 1 km de Castanhal, onde uma indústria alimentícia de derivados de boi despeja seus resíduos diretamente em um afluente do rio Apeú, que serve de fonte de alimentos e água para uso doméstico, via de transporte para vilas e fazendas das suas margens e ainda como balneário para toda esta região.

Outro trabalho sobre meio ambiente em Castanhal foi o de Lima *et al.* (1994), feito para indicar o melhor local para a construção de um aterro sanitário para atender à cidade. Nele os autores fizeram um levantamento das condições habitacionais e de saneamento básico, uma avaliação dos aspectos fisiográficos que constou de estudo do clima, vegetação, solo e hidrografia, e um breve estudo sobre os aspectos geológicos da área.

Lima *et al.* (*op. cit.*), afirmaram que o serviço de limpeza urbana desenvolve coleta de lixo, limpeza de vias públicas e poda de árvores, mas a varredura e a capina das ruas só era realizada no centro da cidade e não era feita todos os dias.

Segundo estes autores eram coletados apenas 40% do lixo gerado na cidade. Este lixo era lançado diretamente em um terreno, localizado a sudoeste do perímetro urbano, sem nenhuma técnica, inclusive o lixo hospitalar, simplesmente espalhado periodicamente por um trator. A área do lixo não era cercada e nem tinha qualquer controle de acesso, com adultos e crianças na cata livre de restos e/ou recicláveis.

3- COTTAS, L.R. Geologia Ambiental e Geologia de Planejamento: seus objetivos entre as ciências geológicas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33, 1984. Rio de Janeiro, 1984. *Anais*. Rio de Janeiro: SBG, v. 01, p. 170-179.

Lima *et al.* (1994) sugeriram que o aterro sanitário fosse construído no mesmo local onde já havia o lixão e propuseram uma tecnologia de tratamento adequada para a cidade de Castanhal, com unidades integradas e interdependentes.

Porém, apesar do aterro sanitário destinado a receber o lixo coletado na cidade, a coleta de lixo continua não atendendo a toda a população, sendo inexistente em bairros da periferia. Nos bairros carentes de coleta de lixo, ele é queimado, enterrado ou jogado em terrenos baldios pelos próprios moradores, e esta situação apresenta poucas melhorias, atualmente.

3.3 – SOCIOECONOMIA

De um modo geral, o atendimento dos serviços e equipamentos de infra-estrutura é deficiente em Castanhal, com destaque aos referentes a saneamento ambiental como abastecimento de água, esgoto sanitário, drenagem de águas pluviais, limpeza urbana e arborização, sendo o serviço de abastecimento de água o mais precário dos serviços urbanos, com insuficiência em qualquer ponto da cidade (LIMA *et al.*, 1994 e PARÁ, 2001).

Segundo Lima *et al.* (1994), a cidade de Castanhal não possui rede de distribuição de água que atinja toda a população urbana. Somente os bairros localizados em terrenos de cota mais baixa e as áreas mais próximas aos pontos de captação recebem água o dia inteiro. Os demais, inclusive o centro, somente em horários esporádicos, sem regularidade. O abastecimento de água da cidade de Castanhal provém de forma fundamental, da captação a partir de poços tubulares, sobretudo de média profundidade (50-200 m). E o serviço de esgotos sanitários é inexistente em toda a cidade, sendo por isso utilizada a rede de drenagem para o lançamento de águas servidas. Apenas a área central conta com serviço de drenagem pluvial e de forma precária. O destino final dos dejetos é resolvido com o uso de fossas sépticas ou secas, sendo o lançamento feito *in natura* nos terrenos residenciais.

Os dados da COSANPA (2007) indicam que esta situação não mudou, pois os números apresentados em 2004 continuam até hoje e mostram que os dados apresentados em 1994, ainda são atuais: para uma população urbana de 126.643 habitantes, 69.033 são abastecidos com água e não há registro referente a esgoto, das 16.211 ligações, 7.244 estão ativas e 8.967 são inativas, e não há dados de investimentos até o momento.

Existem dois cemitérios na cidade de Castanhal, um público e um privado. Ambos encontram-se em bom estado de conservação, necessitando apenas de melhor arborização.

De acordo com IBGE (2006) a maior produção agrícola de Castanhal é de mamão: 1670 ton, milho: 1640 ton, maracujá: 1380 ton e feijão: 1320 ton. Na pecuária e avicultura seus destaques são galos, frangos, frangas e pintos: 778.800 ton e gado bovino: 37.224 cabeças, além da produção de leite de vaca: 5.536.000 L e mel de abelha: 8.750 kg. O extrativismo vegetal é de madeira para carvão vegetal: 26 ton e madeira para lenha: 3.250 m³.

Os dados de IBGE (2004) indicam o valor adicionado pela agropecuária de R\$ 34.108.000,00. Pela indústria extrativa e de transformação, de R\$ 152.407.000,00 e pelo setor de serviços de R\$ 285.453.000,00, com PIB igual a R\$ 494.897.000,00 e PIB *per capita* de R\$ 3.263,00.

Porém, em pesquisa feita por Pará (2001) a renda média domiciliar *per capita*, no núcleo principal de comércio e serviços ou em sua imediata vizinhança era de R\$ 500,00 a R\$ 700,00, o que corrobora a afirmação de que o crescimento do PIB não reflete com exatidão as condições de vida da população, devido à elevada concentração de renda, em países latino-americanos, africanos e asiáticos. Com este pensamento o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento concebeu um Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) para facilitar o cálculo da renda *per capita* e possibilitar comparações internacionais. De acordo, com este autor, este índice reflete três aspectos fundamentais: longevidade, educação e padrão de consumo, cuja média aritmética destes três valores é calculada para a construção do IDH, que varia de 0 a 1.

Segundo Pará (*op. cit*) o IDH de Castanhal é muito baixo, com valor alto apenas no bairro do Centro, acima de 0,800. Nos bairros Pantanal, Saudade, Caiçaras, Salgadinho e Jaderlândia têm-se o índice mais baixo, entre 0,290 e 0. Nos demais bairros o IDH varia entre 0,790 e 0,30.

4 – ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS PRODUTOS DE SENSORIAMENTO REMOTO

A análise e interpretação da área de estudo foram feitas em duas escalas. Primeiramente em escala da Folha SA.23.V-C-I de 1: 100.000 e posteriormente detalhada na escala de 1:10.000, somente na cidade de Castanhal.

4.1 – FOLHA CASTANHAL (SA.23-V-C-I)

Os produtos sensores foram inicialmente utilizados para analisar elementos da rede de drenagem e do relevo da Folha Castanhal com vistas a estabelecer a evolução tectônico-estrutural desta área.

4.1.1 – Drenagem

Na Figura 20 observam-se as três zonas homólogas, que coincidem com as três bacias principais da área, descritas no Quadro 1. Também foi feita a hierarquização de classes de acordo com o sistema de Strahler (1952), que estabeleceu cinco classes que aparecem nas três zonas.

Quadro 1 – Descrição dos elementos de drenagem da Folha Castanhal (SA. 23-V-C-I)

	Bacia do rio Marapanim (zona A)	Bacia do rio Apeú (zona B)	Bacia do rio Maracanã (zona C)
Padrão	Treliça	Treliça	Treliça
Densidade	Média	Alta	Baixa a média
Sinuosidade	Mista	Mista	Mista
Angularidade	Alta (retos e obtusos)	Média a alta (agudos e retos)	Alta (retos)
Tropia	Multidirecional ordenada (NE e NW, N-S e E-W)	Multidirecional ordenada (NE e NW, N-S e E-W)	Multidirecional ordenada (NE e NW, N-S e E-W)
Assimetria	Forte	Forte	Forte
Anomalias	Arco, cotovelo e defluente	Arco e cotovelo	Arco e cotovelo

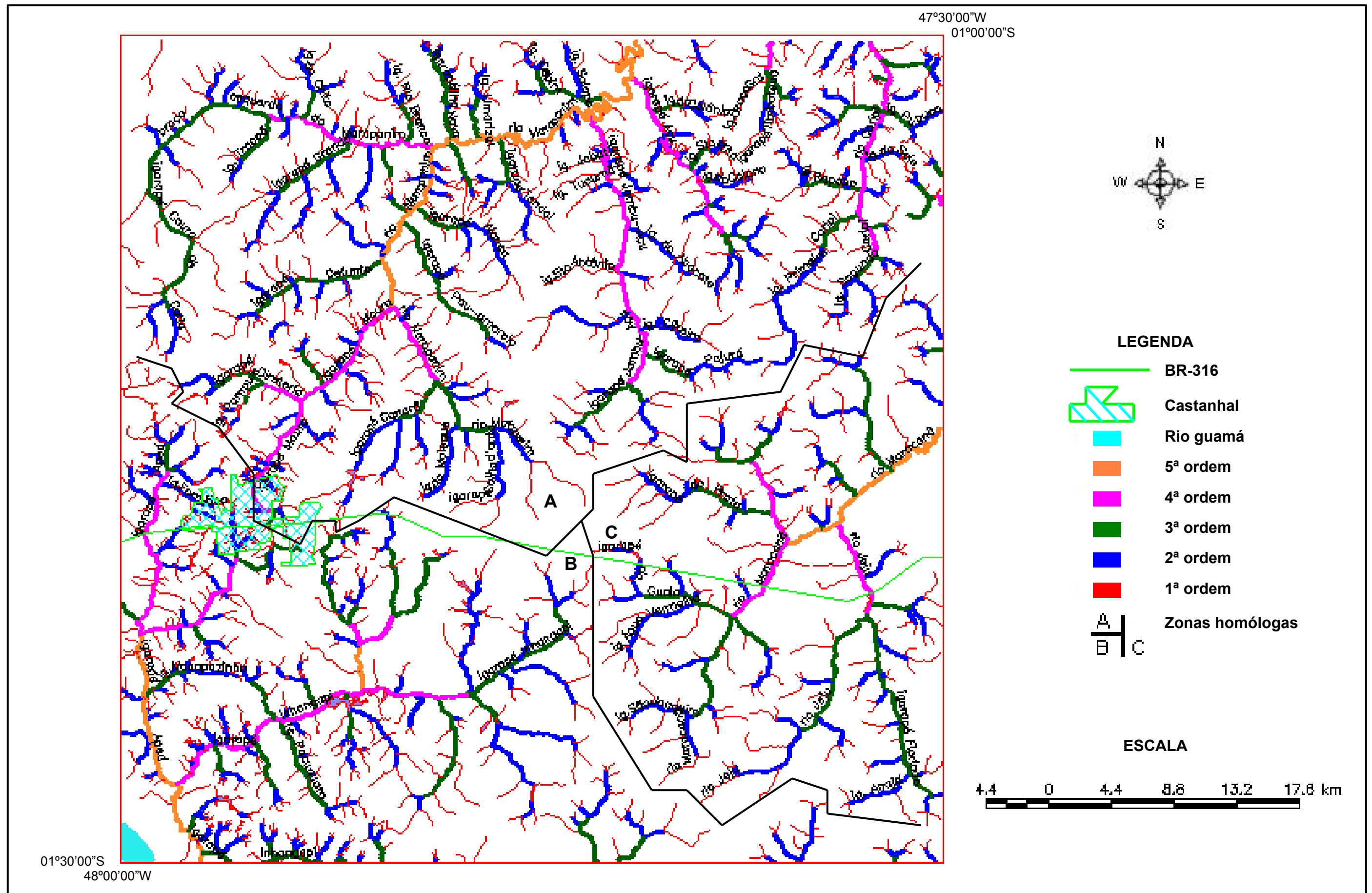


Figura 20 – Mapa de drenagem com hierarquização de classes segundo método de Strahler (1952) – Folha Castanhal (SA.23.V-C-I).

Pela assimetria forte dos elementos de drenagem se classifica o padrão como treliça direcional, ou seja, a direção dominante é controlada pela litologia e por séries de falhas, juntas ou fraturas e os tributários mais longos de um lado do que de outro, na drenagem principal, indicam diferenças de declividades de um em relação ao outro. Isto é, o relevo também apresenta assimetria. A densidade alta denota terrenos impermeáveis enquanto a baixa, terrenos porosos. A angularidade alta na forma de ângulos retos significa forte controle estrutural, corroborado por drenagens defluentes, isto é, tributários com ângulos obtusos em relação à drenagem a qual eles deságuam. Mostram inversão de caimento de drenagem, o que indica rejuvenescimento por neotectônica. A tropia mostra duas direções preferenciais que são corroboradas pelas formas anômalas em cotovelo.

O rio Marapanim, localizado na zona **A**, é de 5ª ordem e mostra três direções ao longo do seu curso. Inicia-se com direção NW-SE, muda para NE-SW, torna-se E-W e volta a ter direção NE-SW, sendo neste trecho meandrante. Seus tributários têm direção principal NW-SE e alguns direção NE-SW. O braço esquerdo do Marapanim inicia com direção aproximadamente N-S, muda para NW-SE, em seguida para NE-SW, se tornando NW-SE e praticamente E-W. Seus tributários apresentam direções NE-SW e NW-SE. O rio Apeú, na zona **B**, é de 5ª ordem e tem direção N-S, com tributários de direção NW-SE e NE-SW, assim como os igarapés que vão para o rio Maracanã, na zona **C**. Alguns igarapés menores apresentam direção NE-SW, e seus tributários têm direção NW-SE, enquanto outros têm NNW-SSE e apresentam tributários NE-SW.

Da interpretação do mapa de drenagem, obteve-se o mapa de descontinuidades de drenagem com os alinhamentos de drenagem (Figura 21), onde se vê os alinhamentos, que são decorrentes de conjuntos de feições lineares de drenagem fortemente estruturadas, retilíneas ou levemente encurvadas, que se interceptam formando treliças. As direções principais dos alinhamentos de drenagem da área são NE-SW, NW-SE e secundariamente N-S.

Dessa interpretação também resultou o mapa de descontinuidades de drenagem com os landformes tectônicos primários (Figura 22). Neste trabalho, os landformes tectônicos primários foram observados principalmente na drenagem principal de cada sub-bacia, destacados pela forte assimetria dos tributários em relação ao eixo principal da drenagem.

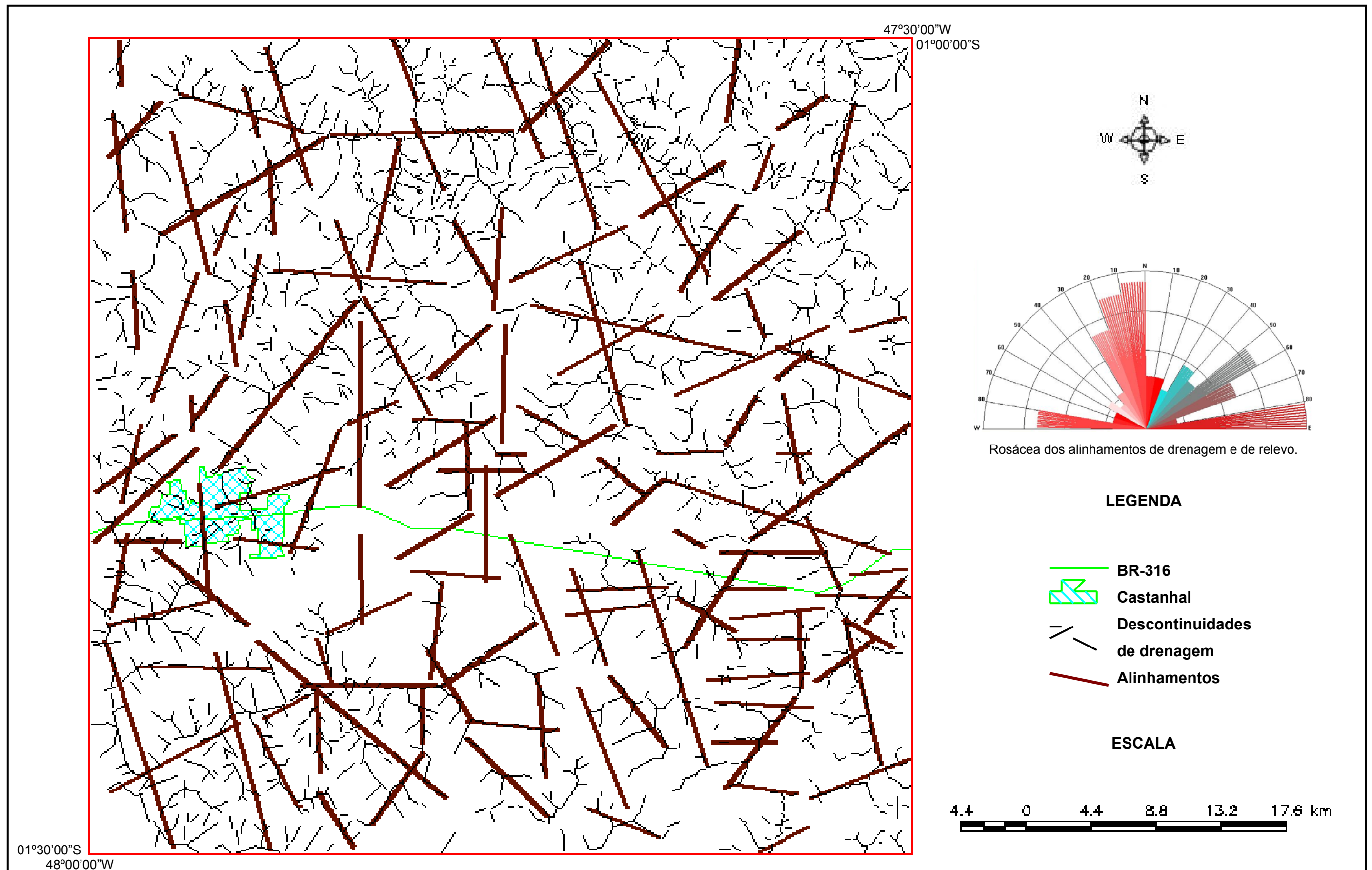


Figura 21 – Mapa de descontinuidades de drenagem com alinhamentos – Folha Castanhal (SA.23-V-C-I).

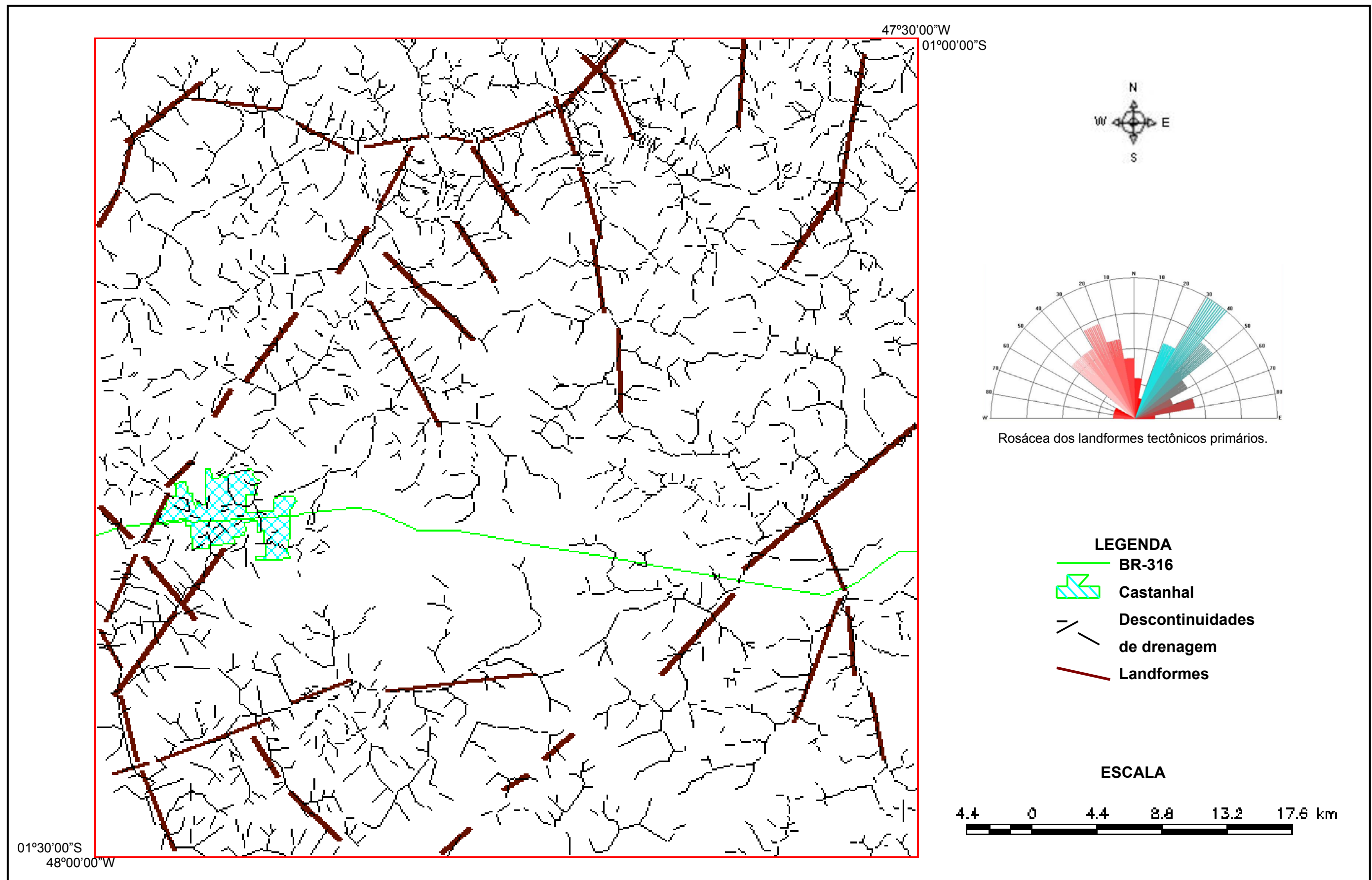


Figura 22 – Mapa de descontinuidades de drenagem com landforms tectônicos primários – Folha Castanhal (SA.23-V-C-I).

4.1.2 – Relevo

A área em questão está inserida no Planalto Rebaixado da Amazônia que constitui uma extensa superfície denominada de Pediplano Pleistocênico (Barbosa *et al.*, 1974), na qual se destacam, em alguns locais, zonas com relevo um pouco mais expressivo, na área de estudo cerca de 70 m. No pediplano a rede de drenagem é espaçada, com um padrão predominantemente retangular passando a sub-retangular, com vales bem encaixados. São morros de encostas suaves e fundo chato, com perfil em “U”, indicativo de um avanço do estágio erosivo, que busca atingir seu nível de base. Por vezes, são retilíneos e controlados por alinhamentos estruturais do embasamento, refletidos na delgada cobertura sedimentar. Nas áreas de exposição do Grupo Barreiras, o pediplano apresenta uma superfície de aspecto rugoso nas imagens de radar, em razão do intenso ravinamento (Costa, 2000).

Para o estudo do relevo foi feita, primeiramente, uma análise a partir de um modelo digital de elevação (Figura 23), de modo que a cor preta se refere à menor cota, o rio Guamá; subindo na escala de cores têm-se os tons de azul do mais escuro para o mais claro, mostrando as calhas dos rios; em tons de verde estão as áreas correspondentes ao sistema de relevo de agradação; em amarelo são as áreas de transição; em tons de vermelho têm-se as áreas que indicam o sistema de relevo de degradação, ocorrendo alguns pontos de cor roxa, que correspondem ao relevo residual, que é a cota de maior elevação, cerca de 70 m.

Em seguida foi analisado o relevo sombreado (Figura 24) no qual se pode observar, pelas diferenças nos tons de cinza e diferentes texturas, a variação no relevo. A textura mais lisa representa a cota mais alta, ressaltada pelo tracejado vermelho, enquanto que a mais enrugada, representa um relevo baixo; também podem ser observadas as cotas mais baixas, no leito dos rios.

Posteriormente, foi feita a fusão do modelo digital de elevação com o relevo sombreado (Figura 25), a fim de ressaltar mais as feições morfológicas a serem interpretadas para elaboração do mapa geomorfológico.

A Figura 26 mostra o mapa geomorfológico, com as áreas em cor de rosa correspondentes ao sistema de relevo de degradação, com cotas variando entre 45 e 60 m, contendo relevo residual com cerca de 70 m de altitude, em vermelho; em laranja têm-se as áreas que indicam o sistema de relevo de agradação, com cotas entre 15 e 45 m, contendo a planície aluvionar em amarelo.

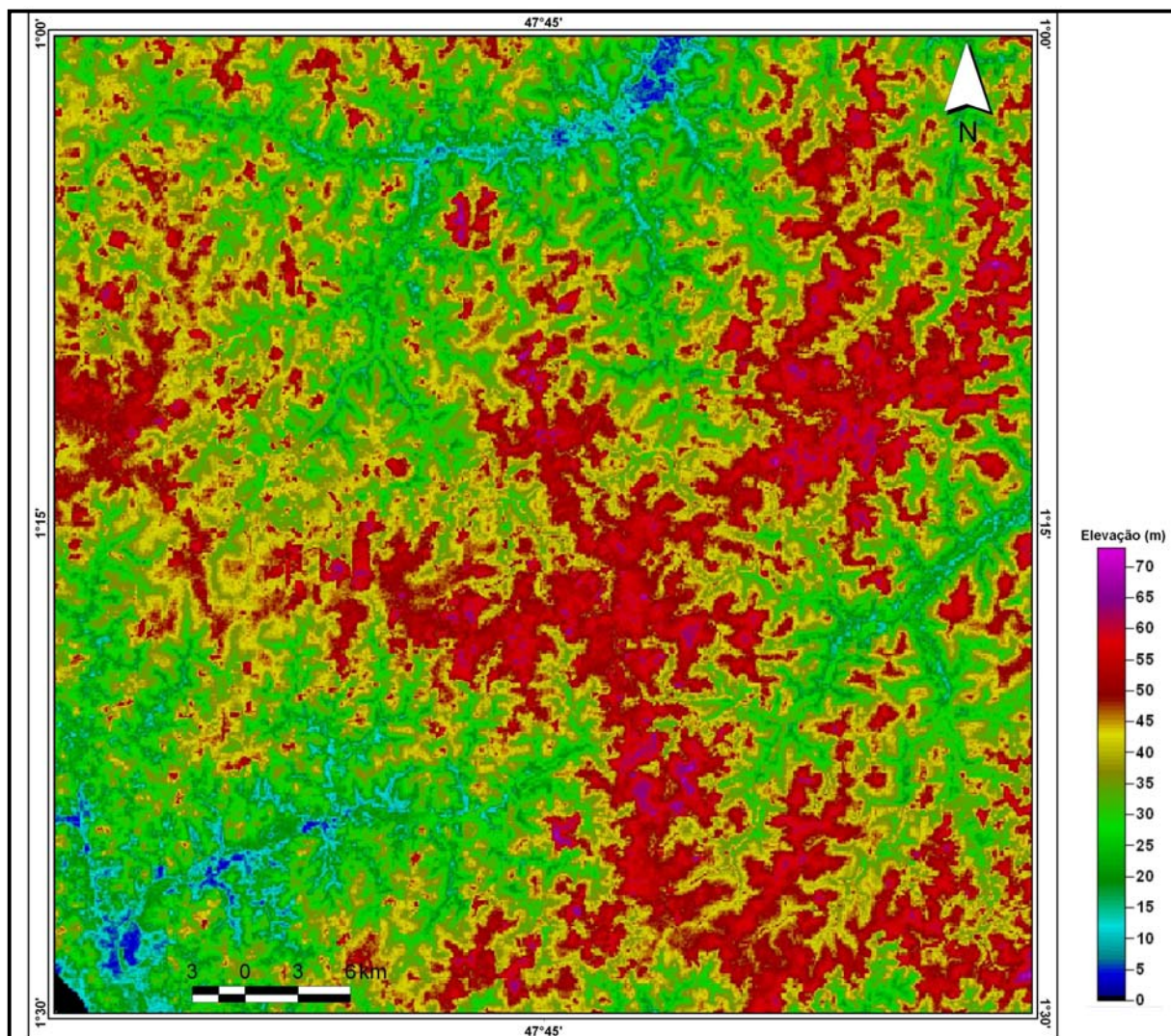


Figura 23 – Modelo digital de elevação da Folha Castanhal, SA.23-V-C-I.

Na Figura 27 tem-se o mapa morfoestrutural, onde se observam os alinhamentos de drenagem nas planícies aluvionares, os alinhamentos de drenagem e de relevo nas áreas constituídas pelo sistema de relevo de agradação e na área do sistema de agradação os alinhamentos de relevo, nos quais se observam três alinhamentos principais: NW-SE, NE-SW e aproximadamente N-S, porém percebem-se alguns alinhamentos discretos, com direção E-W.

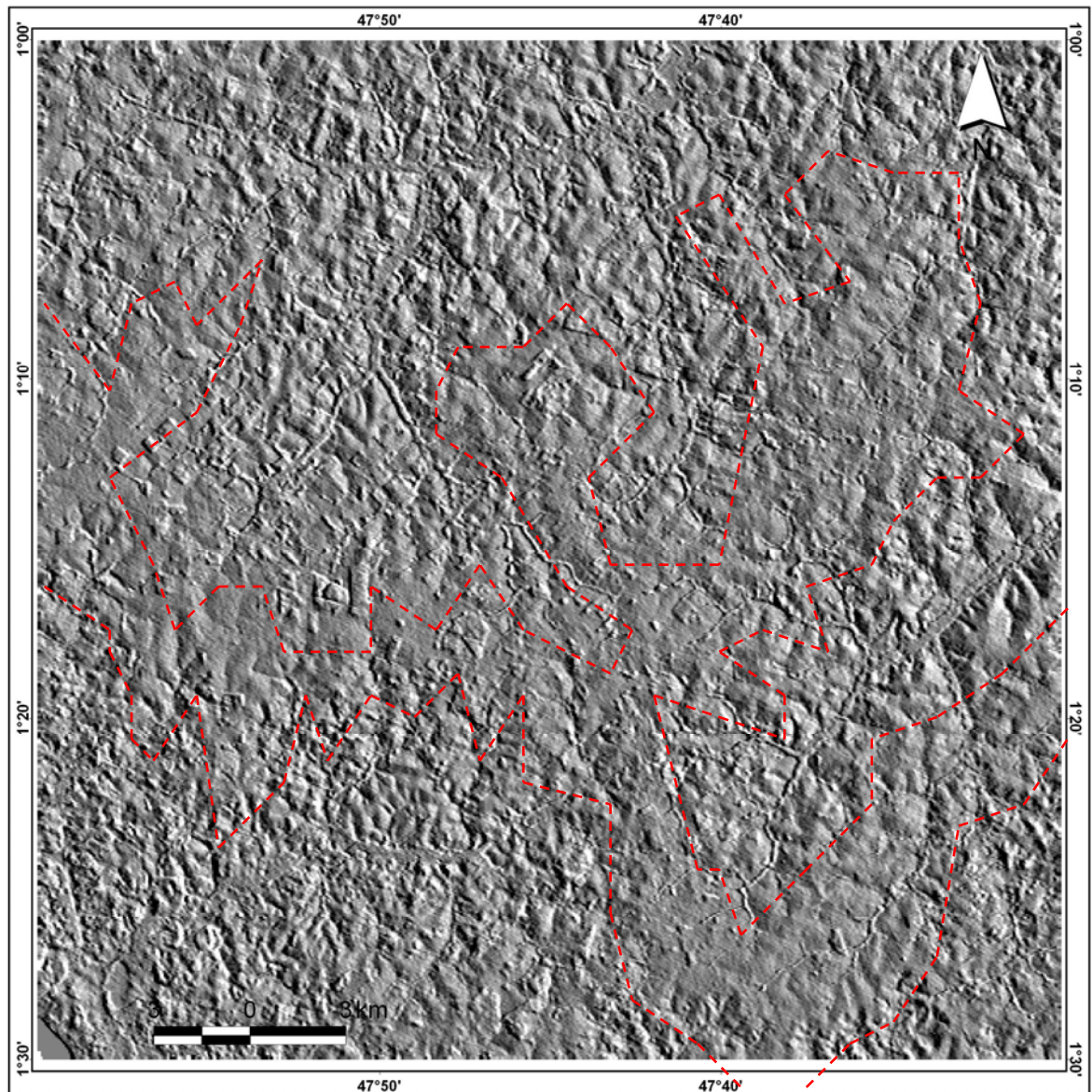


Figura 24 – Relevo sombreado da Folha Castanhal, SA.23-V-C-I.

Na Figura 28 vê-se o modelo digital de elevação com os landforms tectônicos primários, desta vez para ressaltar as estruturas de relevo, que estão representadas pelos alinhamentos confirmados pela drenagem e sua assimetria, para dar subsídios à análise tectônica da área.

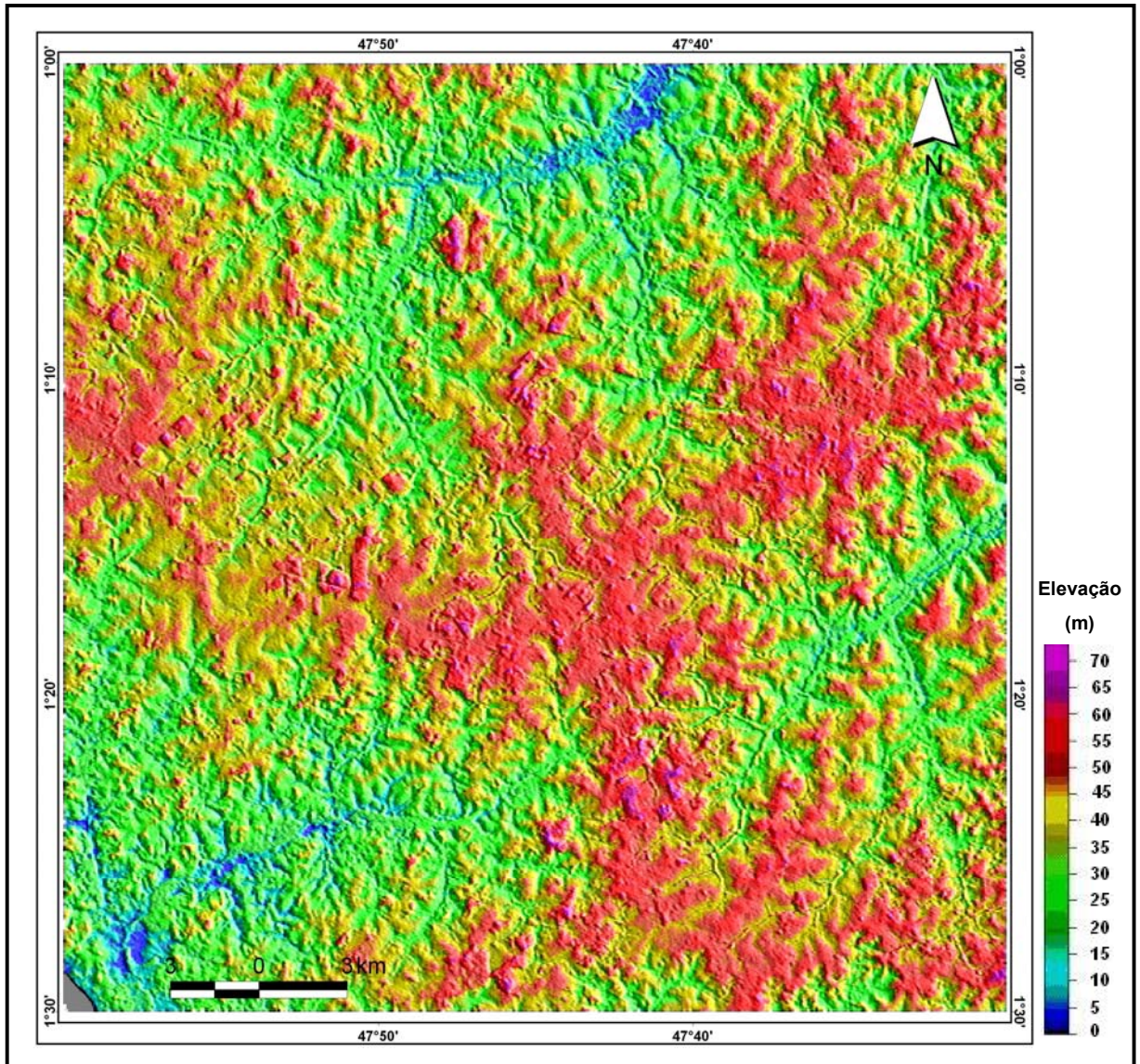


Figura 25 – Fusão do modelo digital de elevação com o relevo sombreado da Folha Castanhal, SA.23-V-C-I.

Com base nas análises supracitadas foi elaborado o mapa geológico da Folha Castanhal (Figura 29), onde se tem os sedimentos holocênicos na planície aluvionar, os sedimentos pleistocênicos, representados pelos Sedimentos Pós-Barreiras no relevo de agradação e o relevo de degradação sustentado pelo Grupo Barreiras.

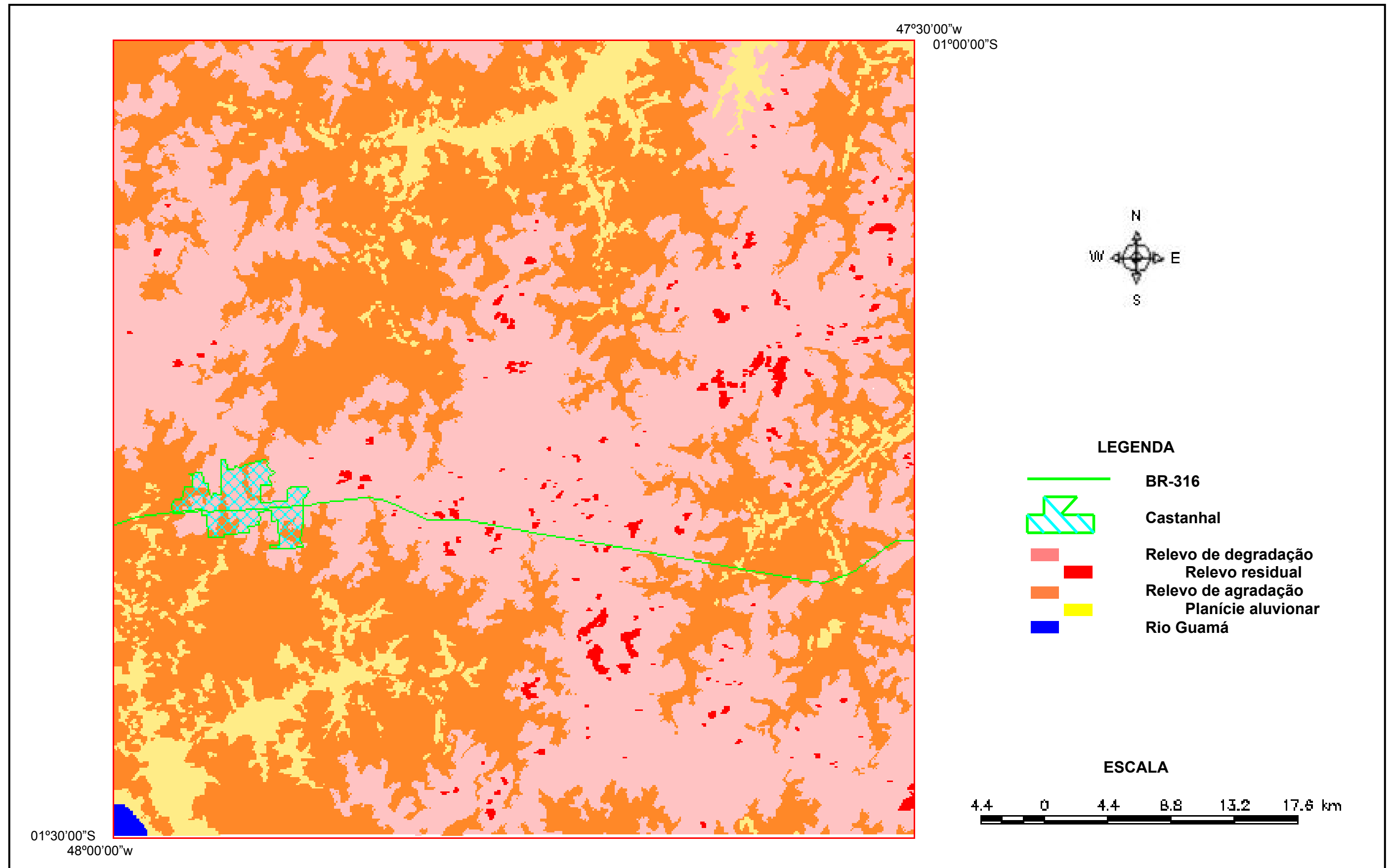


Figura 26 — Mapa geomorfológico – Folha Castanhal (SA.23-V-C-I).

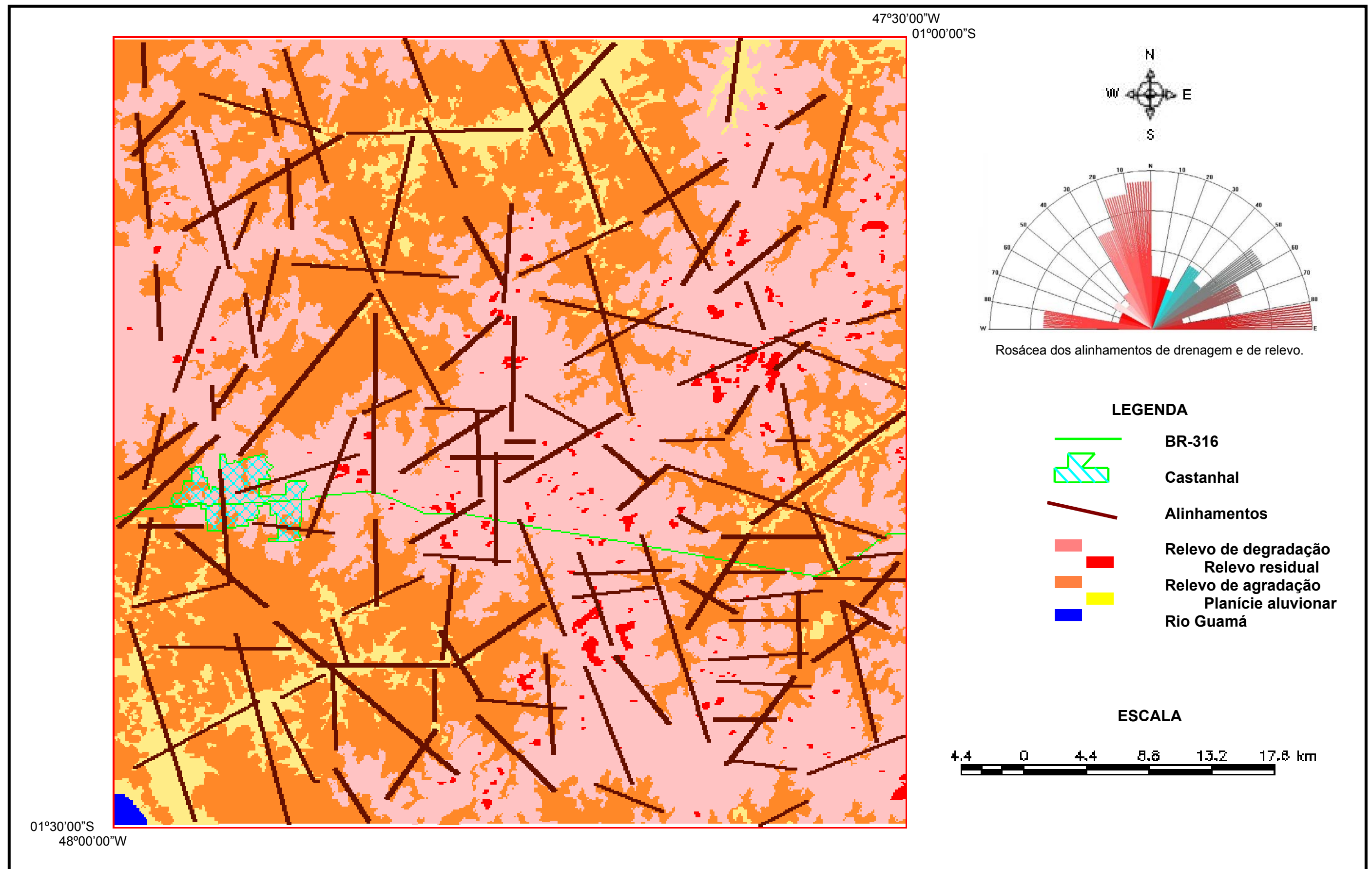


Figura 27 – Mapa morfoestrutural – Folha Castanhal (SA.23-V-C-I).

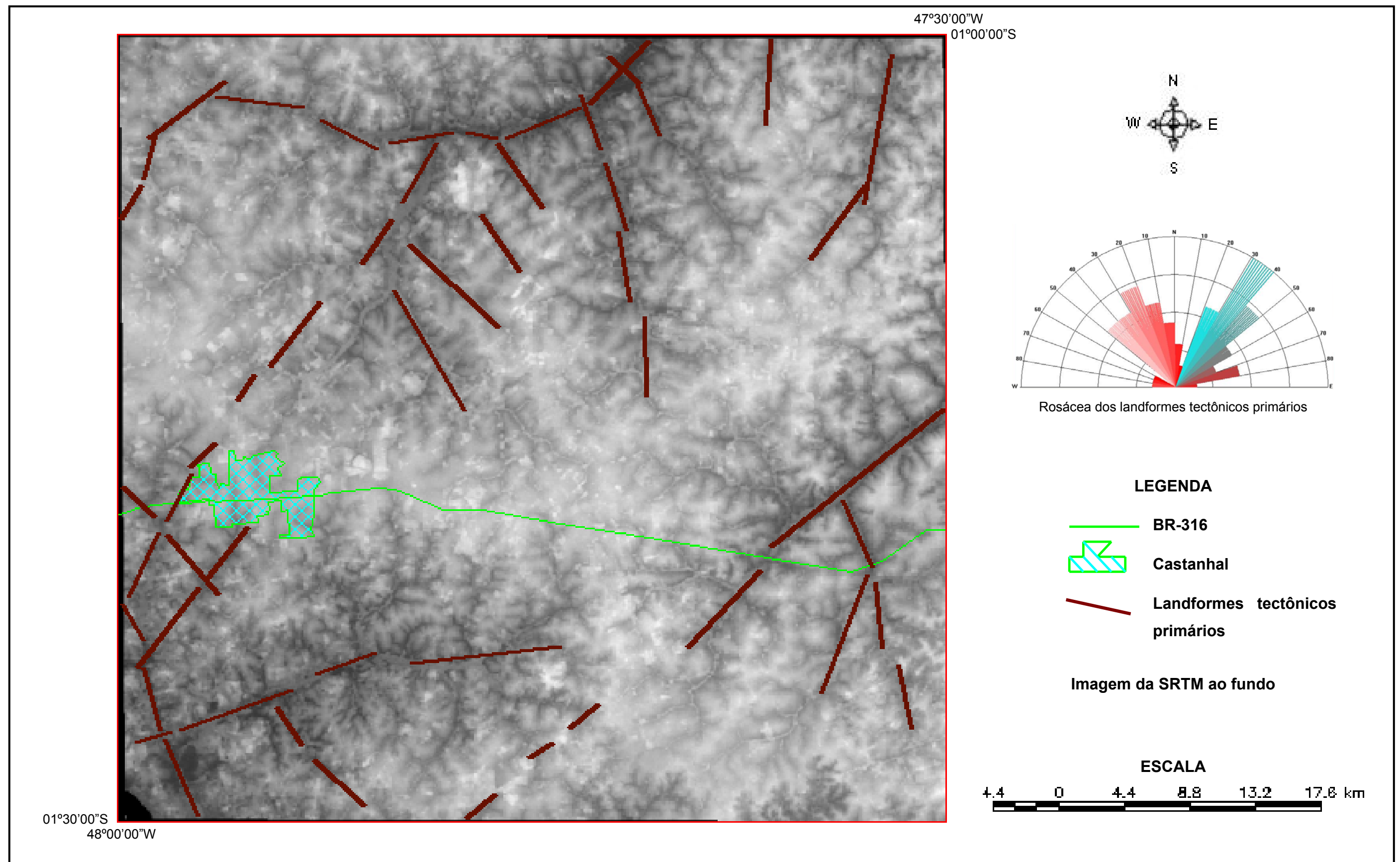


Figura 28 – Mapa de landformes tectônicos primários no modelo digital de elevação – Folha Castanhal (SA.23-V-C-I).

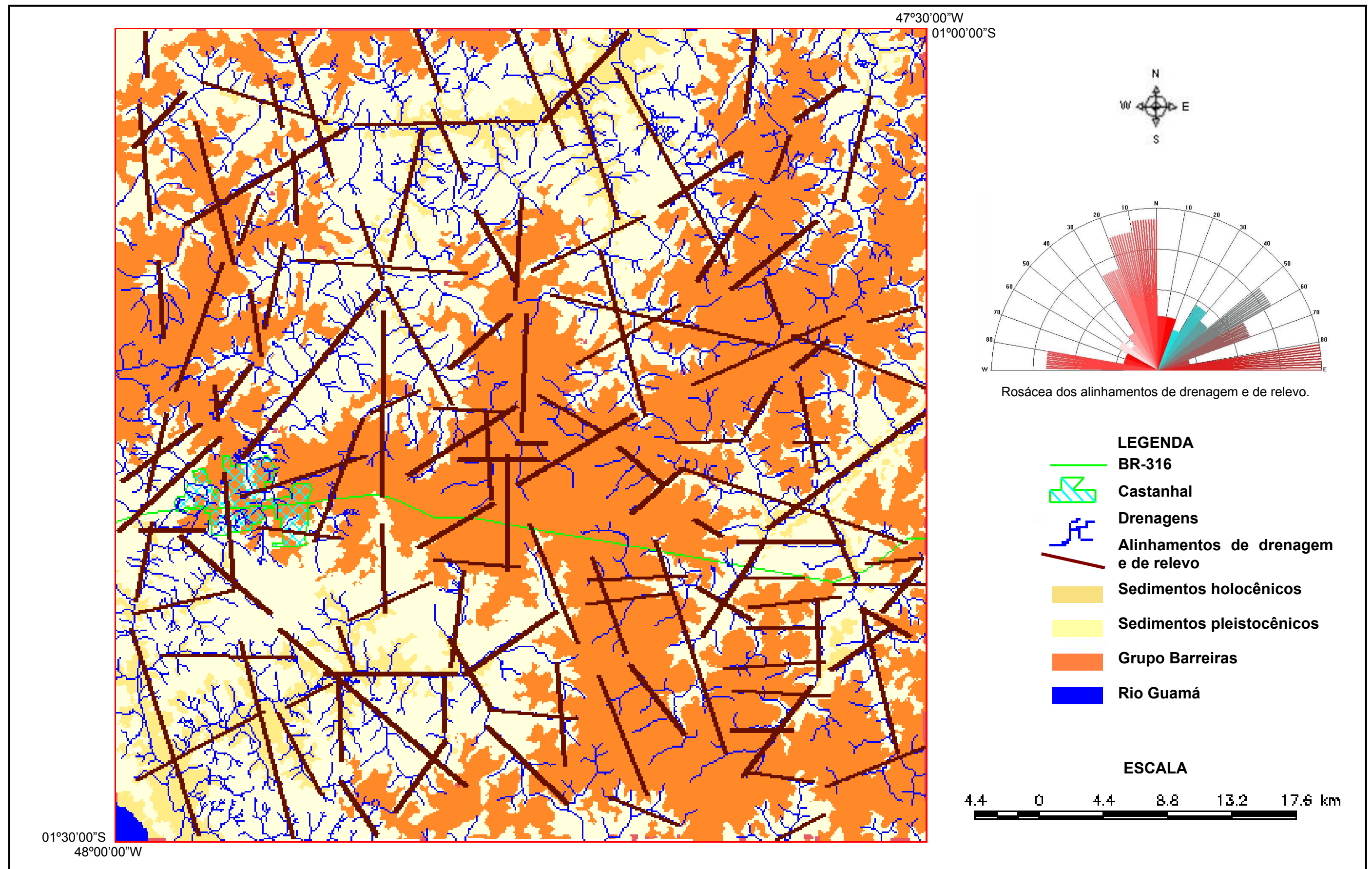


Figura 29 – Mapa geológico – Folha Castanhal (SA.23-V-C-I).

4.1.3 – Resultado da análise e interpretação

Com base na análise da drenagem e do relevo foram estabelecidos diferentes blocos tectônicos a partir da assimetria, pois nos blocos baixos, a noroeste do rio Marapanim e a sudeste do rio maracanã, a drenagem é mais longa e verificam-se drenagens de 1ª, a 5ª ordem, enquanto no bloco alto, localizado na porção central da área, praticamente só existem drenagens de 1ª, 2ª e 3ª ordem, além de serem mais curtas.

Foi concebido um bloco diagrama esquemático (Figura 30), no qual se observam os blocos desenvolvidos a partir de landformes tectônicos primários e secundariamente estruturas *relay ramps*, no compartimento central do diagrama. As falhas esquematizadas no bloco diagrama, correspondem aos rios principais da área e alguns secundários. Note-se que as diferenças de patamares também são delimitadas pelos landformes primários.

Regionalmente se tem estruturas que descrevem faixas com direção NE, observadas pelos rios principais da área (vide Figura 3 – pág. 13), que neste bloco diagrama são representadas pelos rios Marapanim e Maracanã, que delimitam blocos regionais associados aos rios Apeú e Guamá, no extremo sudoeste da área.

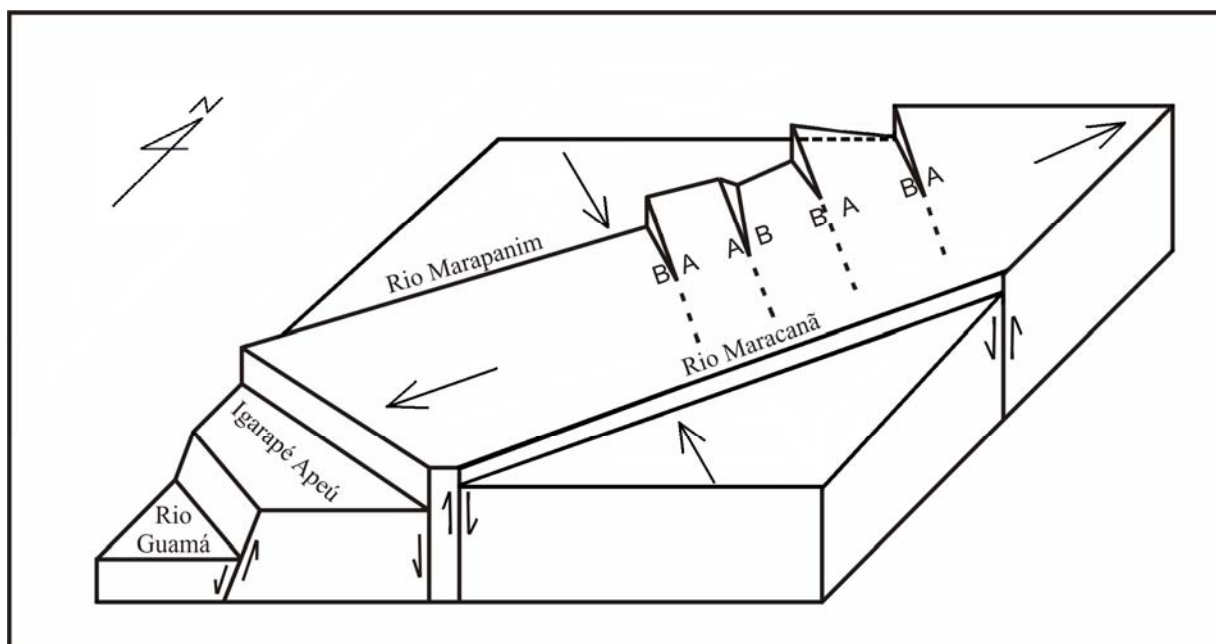


Figura 30 – Diagrama esquemático da compartimentação tectônica na Folha Castanhal.

4.2 – CIDADE DE CASTANHAL

O mesmo tratamento descrito anteriormente foi aplicado aos elementos da rede de drenagem e do relevo da cidade de Castanhal.

4.2.1– Drenagem

Na Figura 31 tem-se a drenagem da cidade de Castanhal que mostra padrão em treliça, densidade alta na porção oeste da cidade e baixa nas demais áreas, sinuosidade mista, angularidade alta a média, tropia tridirecional com direções principais NE, NW e NNW, assimetria forte e formas anômalas em cotovelo, arco e defluentes.

O padrão em treliça descreve controle dominante de fraturas e/ou falhas paralelas na área e pela forte assimetria de seus tributários caracteriza relevo em cristas ou em morros agudos assimétricos.

O igarapé do Moura, no centro norte da cidade, descreve um padrão anelar e radial, que representa áreas com maior influência da estrutura sobre o declive, ou seja, a forma aproximadamente hexagonal que se impõe no curso inicial deste igarapé, é devido à estruturação tectônica, na qual se tem sistema de blocos altos e baixos que controlam a rede de drenagem. Então, passa a descrever um curso retilíneo com direção SW-NE, no sentido do rio Marapanim, ao qual se comporta como uma defluência, por iniciar seu curso com fluxo de sentido contrário ao do seu curso final.

Drenagens defluentes também ocorrem descritas pelos igarapés Santa Cruz, no sul e Fonte Boa, no oeste da cidade, ambos afluentes do rio Apeú, e são característicos de forte estruturação tectônica, denotando inversão no fluxo da drenagem, por reativação neotectônica (Howard, 1967; Lima, 2002).

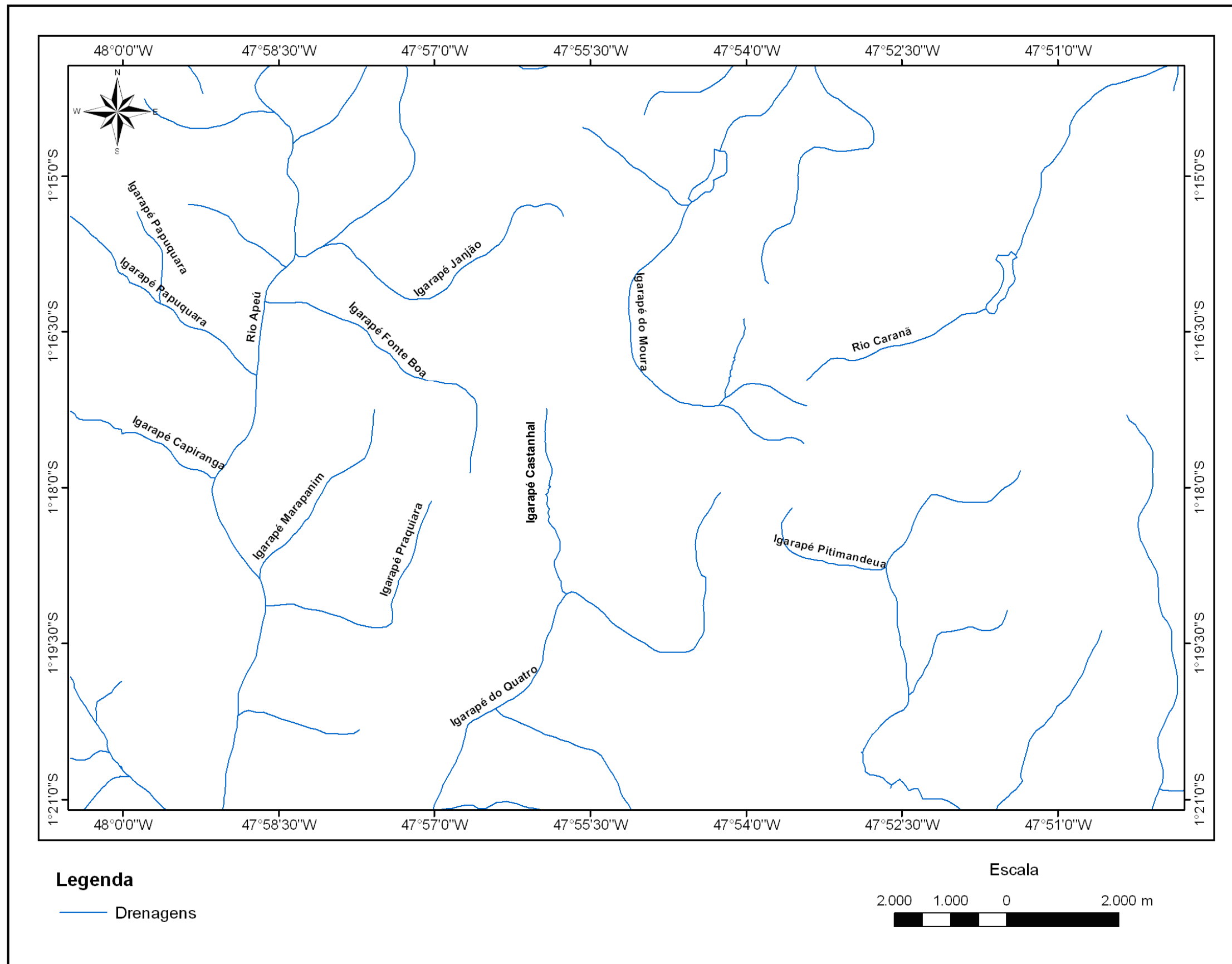


Figura 31 – Mapa de drenagem principal da cidade de Castanhal – Pará.

4.2.2 – Relevo

A cidade de Castanhal está inserida no sistema de relevo de degradação, com cotas variando entre 40 m e 65 m, caracterizando uma zona plana com pequenas ondulações, que atuam como zona de interflúvio entre a bacia do rio Marapanim, que corre em direção ao norte até desaguar no oceano Atlântico e a bacia do rio Apeú, em direção ao sul e sudoeste, até desaguar no rio Guamá. Porém apresenta a planície aluvionar do rio Apeú, do igarapé do Moura e do igarapé Castanhal, que correspondem ao sistema de degradação, com cotas desde 40 m.

No mapa topográfico da cidade de Castanhal (Figura 32) se podem ver as unidades de relevo representadas por curvas de nível variando de 10 m a 65 m. O modelo digital de terreno (Figura 33), confeccionado a partir do mapa topográfico, apresenta mais claramente a morfologia de colinas de topos aplainados, na parte centro-leste e as planícies aluvionares na porção sudoeste da cidade.

4.2.3 – Resultado da análise e interpretação

Com base nos mapas de drenagem e de relevo, pela interpretação dos alinhamentos, que indicam falhas e/ou fraturas, foi possível estabelecer diferentes blocos tectônicos para a cidade de Castanhal, utilizando a mesma metodologia aplicada para a análise regional. Assim sendo, foi confeccionado o mapa da cidade de Castanhal dividida em blocos tectônicos (Figura 34), concebido a partir dos alinhamentos de drenagem. As falhas esquematizadas no mapa correspondem aos rios principais da cidade e alguns secundários, de modo que os alinhamentos principais têm direção NE-SW e os secundários NW-SE, e se interceptam formando losangos com eixo maior preferencialmente ENE-WSW.

Neste mapa se observa que há uma divisão em duas partes: a oeste se tem maior densidade de estruturas e melhor definição do padrão em treliça, enquanto que a leste além da menor densidade o padrão observado é o de faixas com direção NE. Isto também é evidenciado pelo relevo, pois se tem na parte leste cotas mais elevadas, entre 40 e 65 m, e na parte oeste as cotas são entre 10 e 30 m (Figura 32). A separação destas duas unidades é marcada por um

alinhamento de relevo com direção norte-sul, nas proximidades do igarapé Castanhal, na parte central da cidade (Figuras 32 e 33).

Esta estruturação observada na cidade corresponde à do contexto regional, salienta-se, apenas, que a cidade está localizada no meio de uma transição entre estruturas regionais e que existe na parte leste da cidade uma estrutura anômala, que forma aproximadamente um hexágono, analisada e interpretada como sendo resultado da atuação neotectônica, por descrever uma drenagem defluente, ou seja, que sofreu mudança na direção do fluxo pela superimposição da tectônica mais recente sobre as mais antigas.

No contexto regional têm-se estruturas em faixas com direção NE, evidenciadas pelos landformes tectônicos primários (vide Figura 28 – pág.76) a partir dos quais foi feito o bloco diagrama da Folha Castanhal (vide Figura 30 – pág. 78), onde se observa que a cidade de Castanhal pertence ao compartimento central, portanto mais alto, do bloco diagrama onde se tem estruturas abertas, como as *relay ramps*, que são características de sistemas distensivos. Deste modo, as estruturas internas neste compartimento, foram interpretadas como sendo abertas, o que possibilita a entrada de água da superfície para os sistemas hidrogeológicos da área de estudo.

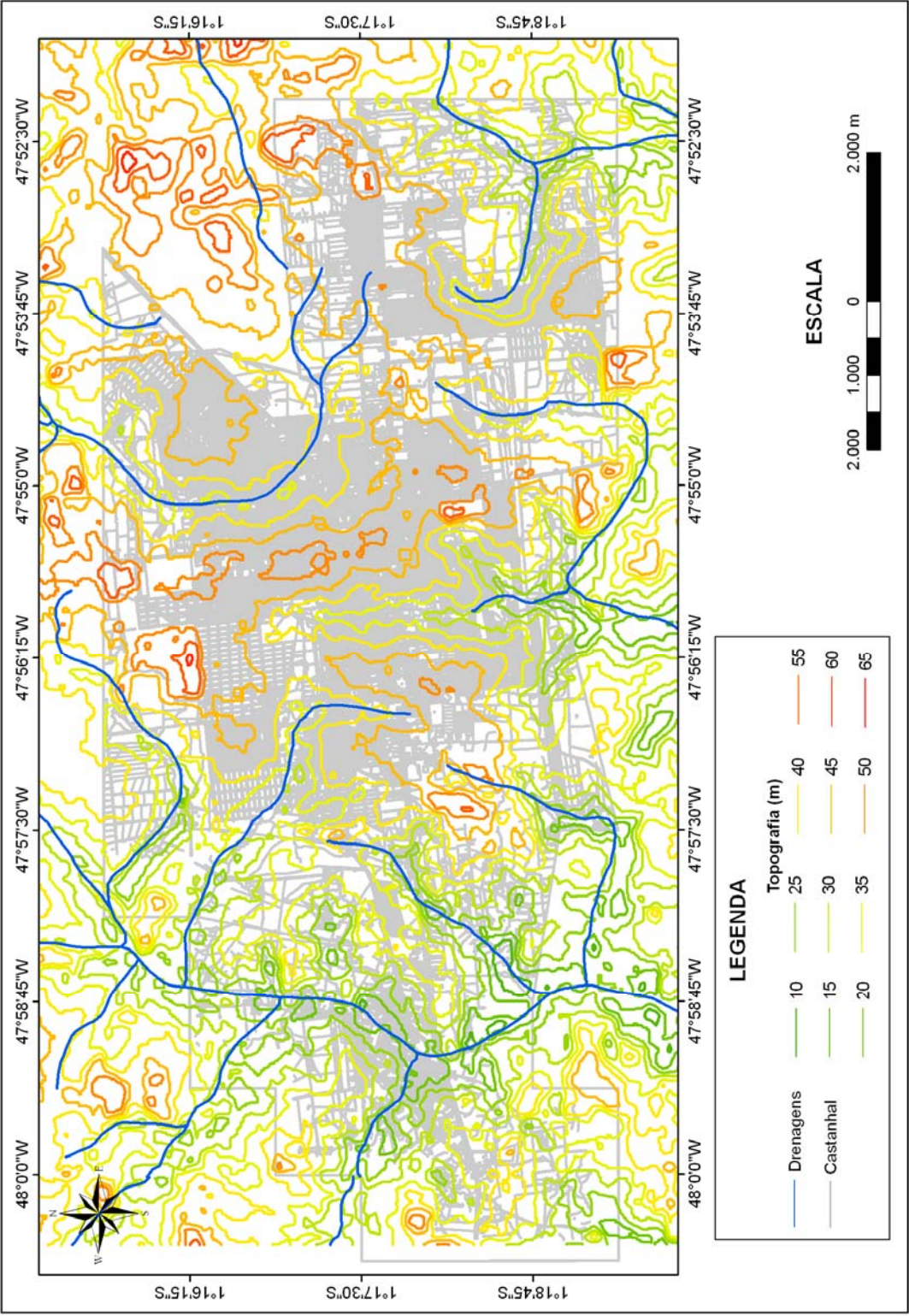


Figura 32 – Mapa topográfico com drenagem e área urbana de Castanhal – Pará.

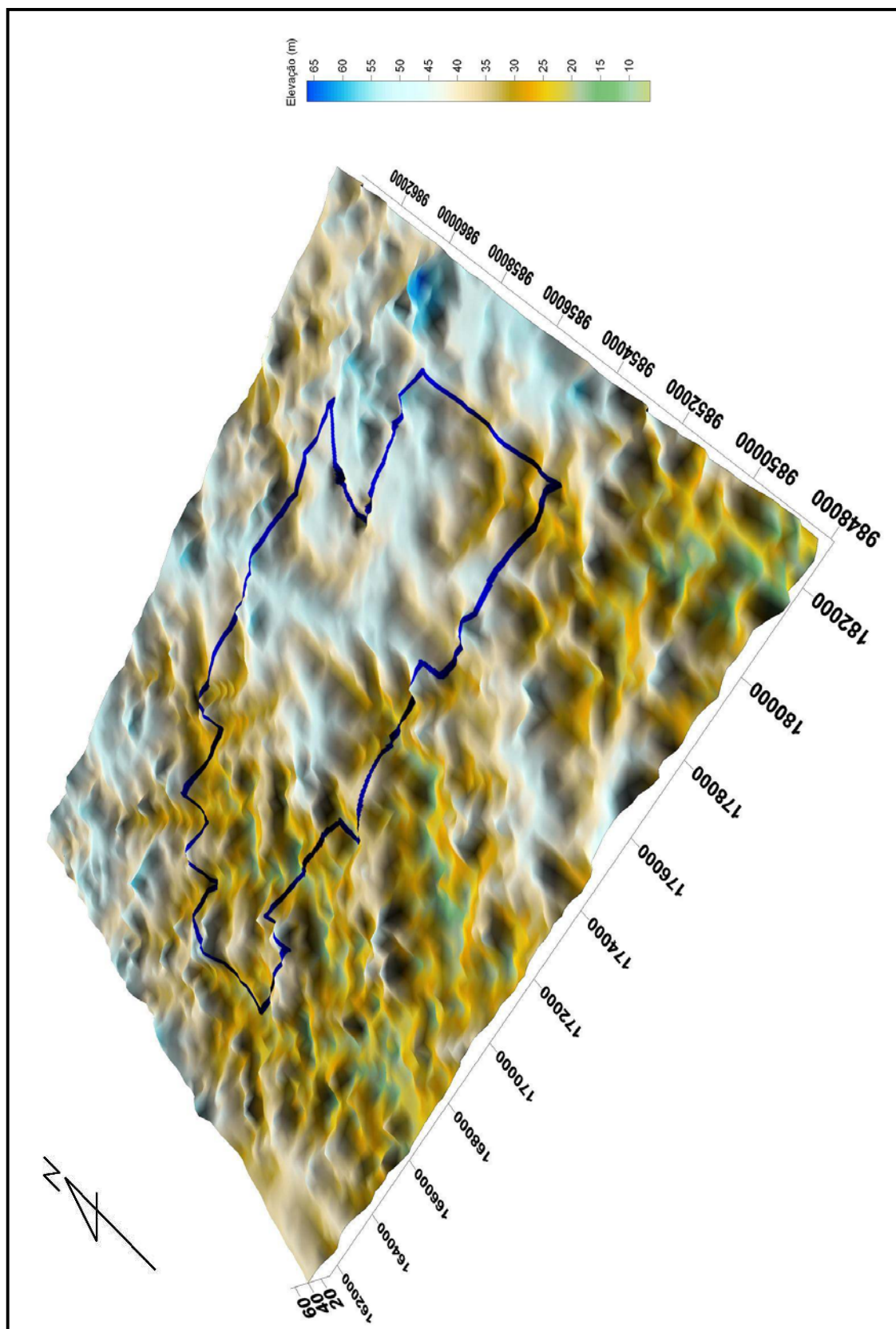


Figura 33 – Modelo digital de terreno com a cidade de Castanhal delimitada.

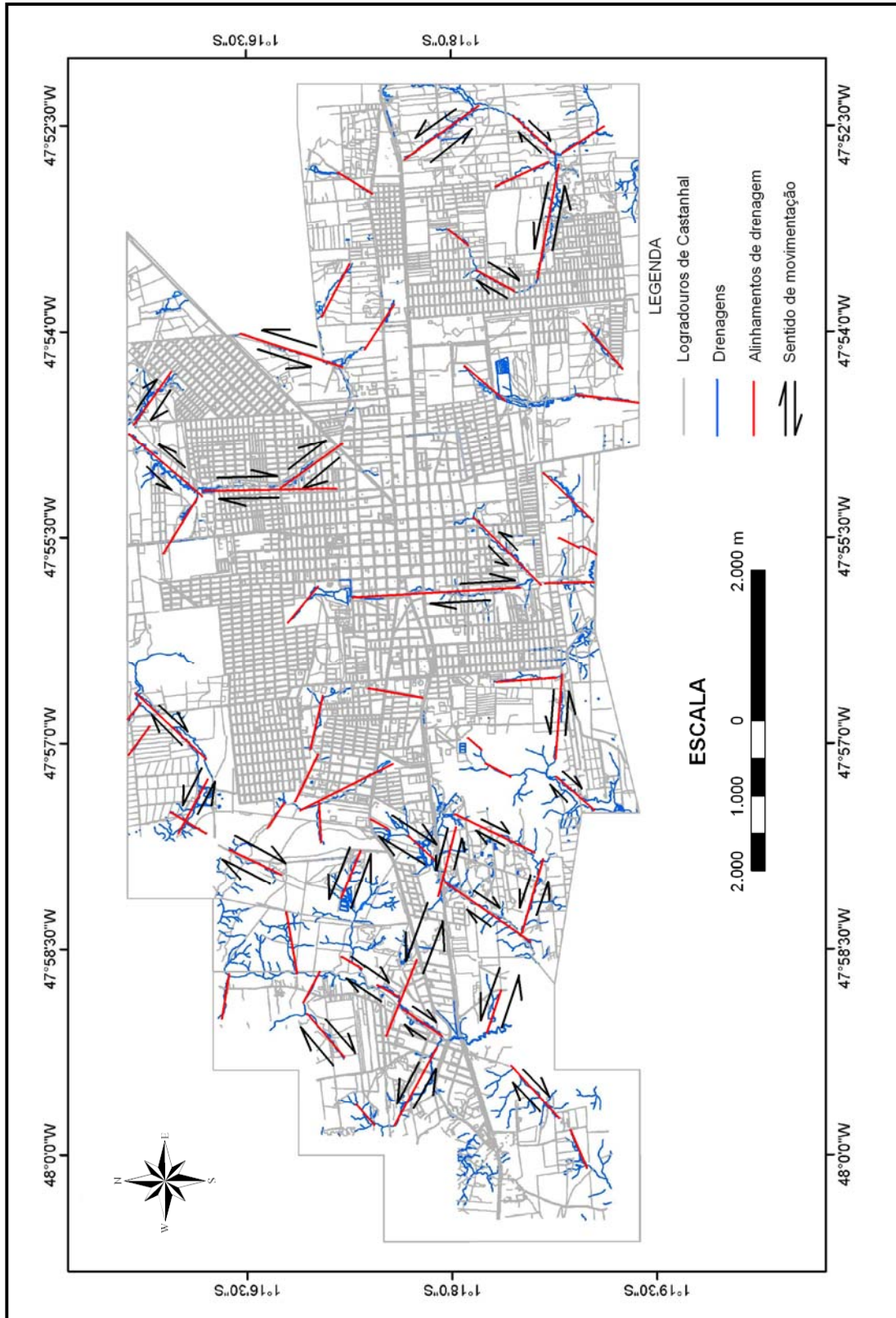


Figura 34 –Mapa da cidade de Castanhal com a divisão em blocos tectônicos.

5 – GEOLOGIA

Na cidade de Castanhal encontram-se expostos sedimentos holocênicos, Sedimentos Pós-Barreiras e o Grupo Barreiras (Figura 35), observados nas distintas unidades de relevo contidas nos sistemas de relevo da área.

5.1 – GEOMORFOLOGIA

Conforme o mapa geomorfológico da Folha Castanhal (vide Figura 26-pág. 91), em Castanhal ocorre o relevo do sistema de degradação e de aggradação. O primeiro ocupa cerca de 90% da cidade e é formado por colinas de topos aplainados, colinas amplas e colinas pequenas. O segundo constitui-se das planícies aluvionares, relativas aos igarapés Castanhal, Moura, Quatro e Praquiara.

Na Figura 36 tem-se o mapa geomorfológico da cidade de Castanhal, onde se podem ver as unidades de relevo descritas abaixo.

5.1.1 – Planícies aluvionares

Nas planícies aluvionares ocorrem os sedimentos holocênicos, os quais são constituídos por aluviões compostas de argila, material arenoso e seixos de laterito e de quartzo. São encontradas em cotas variando de 10 a 30 m (Figura 37). Conforme observado nos mapas topográfico e geológico, estas planícies são mais estreitas e menos expressivas, na parte norte da cidade.

5.1.2 – Colinas pequenas

Unidade de relevo encontrada ao sul e sudoeste da cidade, formada por colinas convexas e suaves com extensão menor que 1 km e cotas de 60 m (Figura 38), sustentadas por rochas do Grupo Barreiras e Pós-Barreiras, constituídas por sedimentos areno-argilosos com grânulos de quartzo e concreções ferruginosas sobre areias quartzosas de granulometria fina a média.

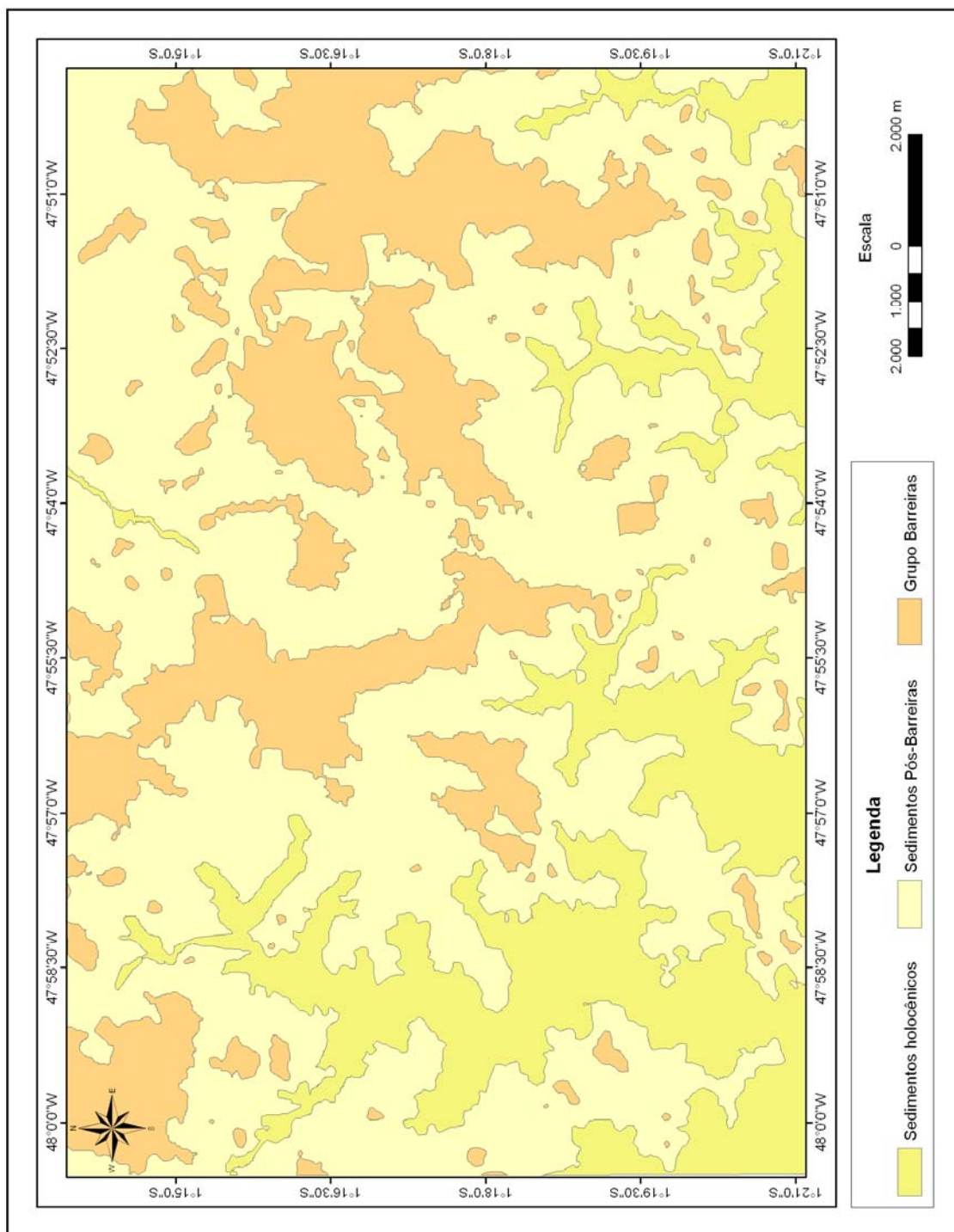


Figura 35 – Mapa geológico da cidade de Castanhal – Pará.

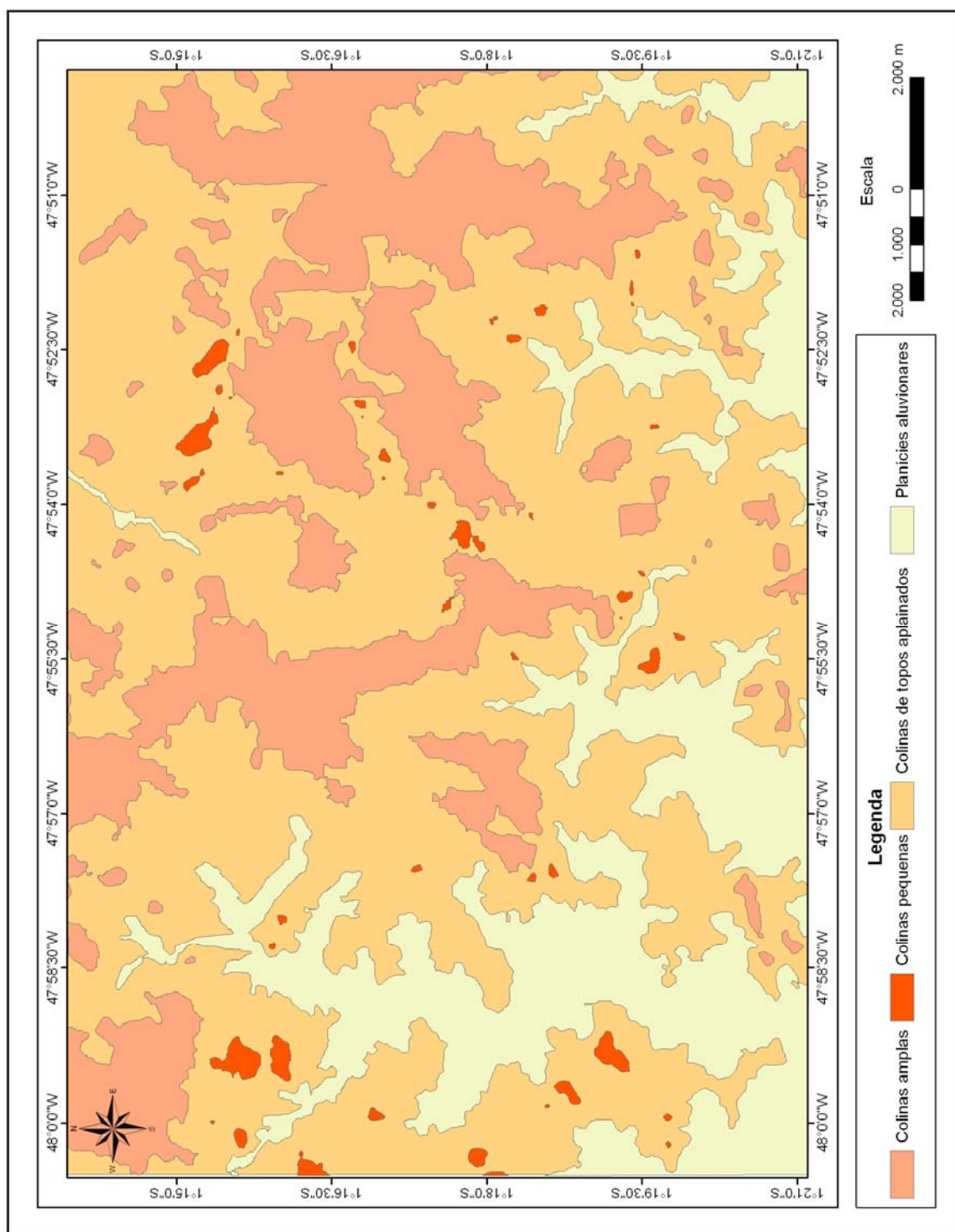


Figura 36 – Mapa geomorfológico da cidade de Castanhal – Pará.



Figura 37 – Fotografia da planície aluvionar, no final da Passagem Cônego Luís Leitão, no bairro Cariri.



Figura 38 – Fotografia do relevo de colinas pequenas na estrada que dá acesso à UFRA – Castanhal.

5.1.3 – Colinas amplas

Esta unidade é formada por colinas convexas e suaves, extensas, com cotas variando entre 65 e 50 m (Figura 39), encontradas no centro-norte e leste da cidade. São sustentadas por arenitos e argilitos ferruginosos pertencentes ao Grupo Barreiras e Pós-Barreiras.

5.1.4 – Colinas de topos aplainados

Unidade representada por extensas colinas, pouco dissecadas, formando um relevo plano a levemente ondulado com cotas entre 35 e 50 m (Figura 40), que comporta cerca de 80% da cidade. O Grupo Barreiras sustenta este relevo, sendo representado por sedimentos argilosos com laminação plano-paralela, avermelhados e sedimentos arenosos de granulação fina a média com estratificação cruzada acanalada, e ainda sedimentos areno-argilosos e conglomerados com seixos de argila e quartzo.

5.2 – ESTRATIGRAFIA

Na cidade de Castanhal e arredores foram encontradas aflorando, rochas pertencentes a três unidades litoestratigráficas: os sedimentos holocênicos, os Sedimentos Pós-Barreiras, Pleistocênicos, e o Grupo Barreiras, do Terciário (Figura 41). Subjacente a estas unidades está a Formação Pirabas, conforme observado nos perfis litológicos dos poços (ANEXO VII).

5.2.1 – Formação Pirabas

Esta unidade não aflora na cidade, mas é a mais importante para o presente trabalho. Na área em apreço é representada por calcarenitos de cor creme esbranquiçada, fossilífero, com camadas de folhelho cinza esbranquiçado; arenitos brancos a acinzentados com granulação variando de fina a muito grossa, por vezes conglomeráticos; folhelho cinza esverdeado com camadas de siltito arenoso de cor cinza a amarelo ferruginoso e argilito arenoso, às vezes siltico, cinza a amarelado.



Figura 39 – Relevo de colinas amplas visto da Rua Francisco Pereira da Silva, bairro Jaderlândia.



Figura 40 –Relevo de colinas de topos aplainados ao fundo, visto da sede da UFRA-Castanhal..

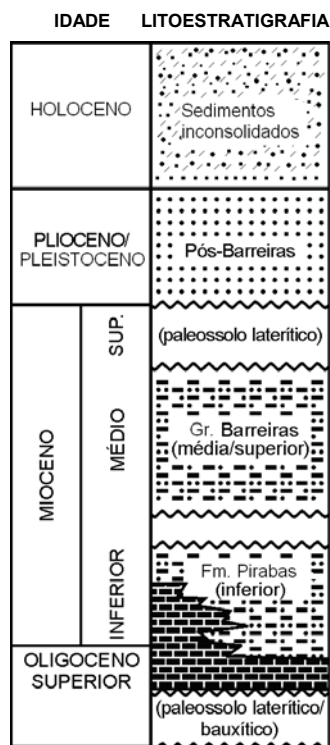


Figura 41 – Coluna estratigráfica da região nordeste do Pará (adaptado de Rossetti *et al*, 2001).

5.2.2 – Grupo Barreiras

Esta unidade aflora em 30% da área e é representada por argilitos vermelho-amarelados; arenitos de cor branca, às vezes ferruginosos, de granulação fina a média; sedimentos areno-argilosos e conglomerados com seixos de argila e de quartzo. Seu contato com a Formação Pirabas está situado entre 60 e 100 m de profundidade.

5.2.3 – Sedimentos Pós-Barreiras

Esta unidade aflora em cerca de 65% da área. Em profundidade faz contato com o Grupo Barreiras a cerca de 20 m, em média, embora ambas aflorem. É formada por sedimentos areno-argilosos de cor amarelada, contendo grânulos de quartzo e concreções ferruginosas, marcando contato erosivo. Ocorrem, também, arenitos quartzosos de granulação fina a média de cor branca.

Subordinadamente há fragmentos de argilitos e arenitos ferruginosos em matriz arenosa e em matriz argilosa.

5.2.4 – Sedimentos holocênicos

Esta unidade é encontrada nas planícies fluviais, ao longo dos principais rios da cidade. Constituem as aluviões, que ocorrem em cerca de 5% da área, e são formados por argilas, areias e seixos de laterito e de quartzo.

5.2.5 – Correlação litoestratigráfica

A partir das descrições acima, foram feitas correlações litoestratigráficas que deram origem a quatro perfis, mostrados na Figura 42. Estes perfis foram feitos rebatendo os poços para a linha descrita no mapa, perpendicularmente, de modo a alinhar os mesmos. Para a correlação litoestratigráfica foi utilizado como camada guia, para o contato Pirabas/Barreiras, um argilito de cor cinza, micropiritoso, sobreposto a um calcarenito de cor creme, fossilífero.

Na Figura 43 se observa que a espessura e o contato do Grupo Barreiras com a Formação Pirabas, subjacente, são distintos em cada poço, inclusive ocorrendo poços em cotas mais altas com o contato Pirabas/Barreiras bem abaixo, como no caso dos poços 4 e 5 em relação ao 1 e 3. Há um deslocamento de aproximadamente 30 m entre o poço 3 e o poço 4, pois o contato entre estas unidades nos poços 1, 2 e 3 é a 77 m de profundidade, enquanto que no poço 4 este contato é a 108 m de profundidade. Há também, um deslocamento de 17 m entre os poços 6 e 7 e ainda 10 m entre os poços 4 e 5, e 4,5 m entre os poços 5 e 7. A legenda dos perfis litológicos encontra-se no ANEXO VI.

Na Figura 44, pode-se observar um contato entre o Grupo Barreiras e a Formação Pirabas, com deslocamentos de 2 m, 4,5 m e 6 m entre os poços 1 e 2, 5 e 7, e 3 e 6, respectivamente, mas também se pode ver um deslocamento de 21 m, entre os poços 6 e 4.

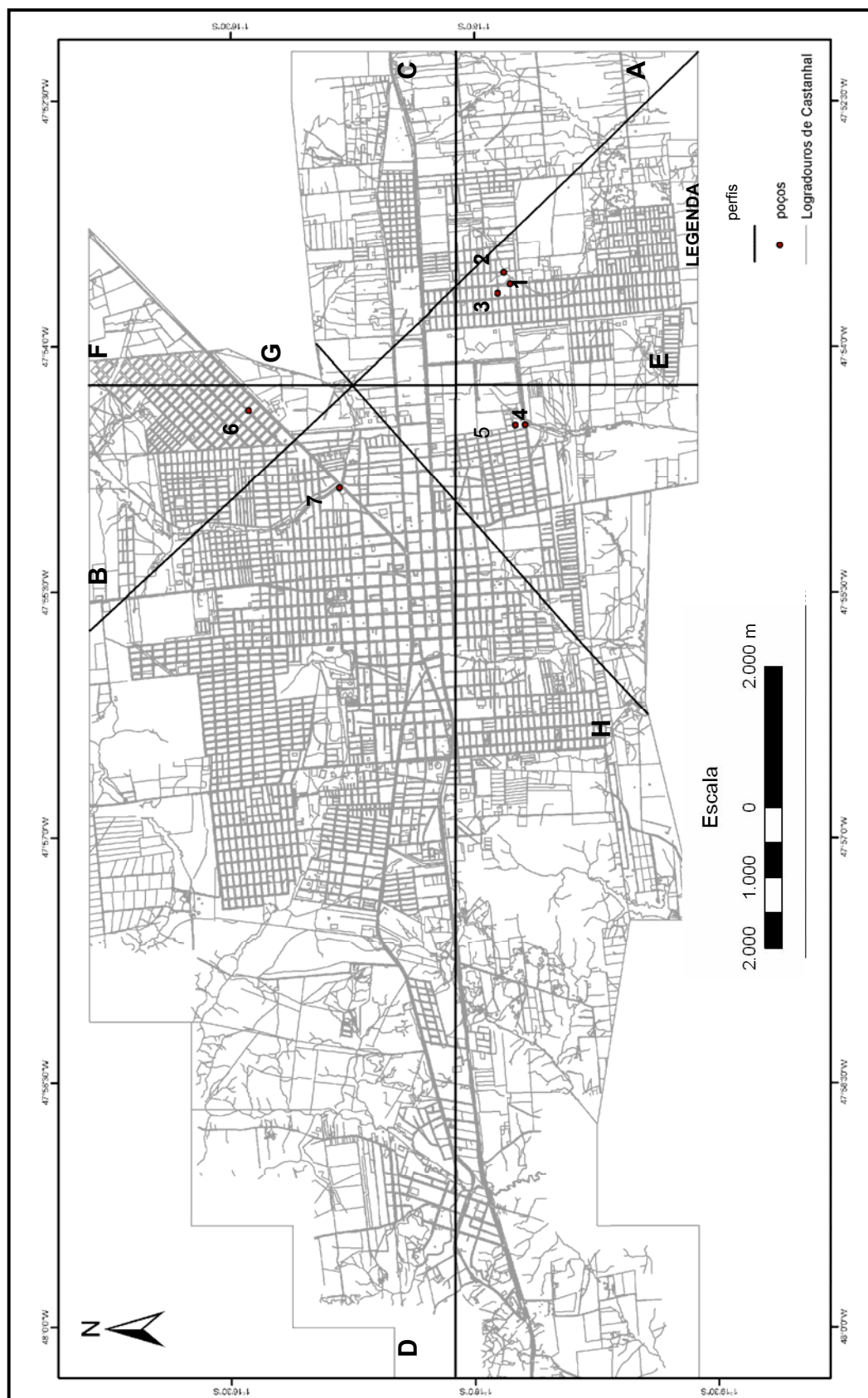


Figura 42 – Mapa de localização dos poços da COSANPA, que deram origem aos perfis litoestratigráficos

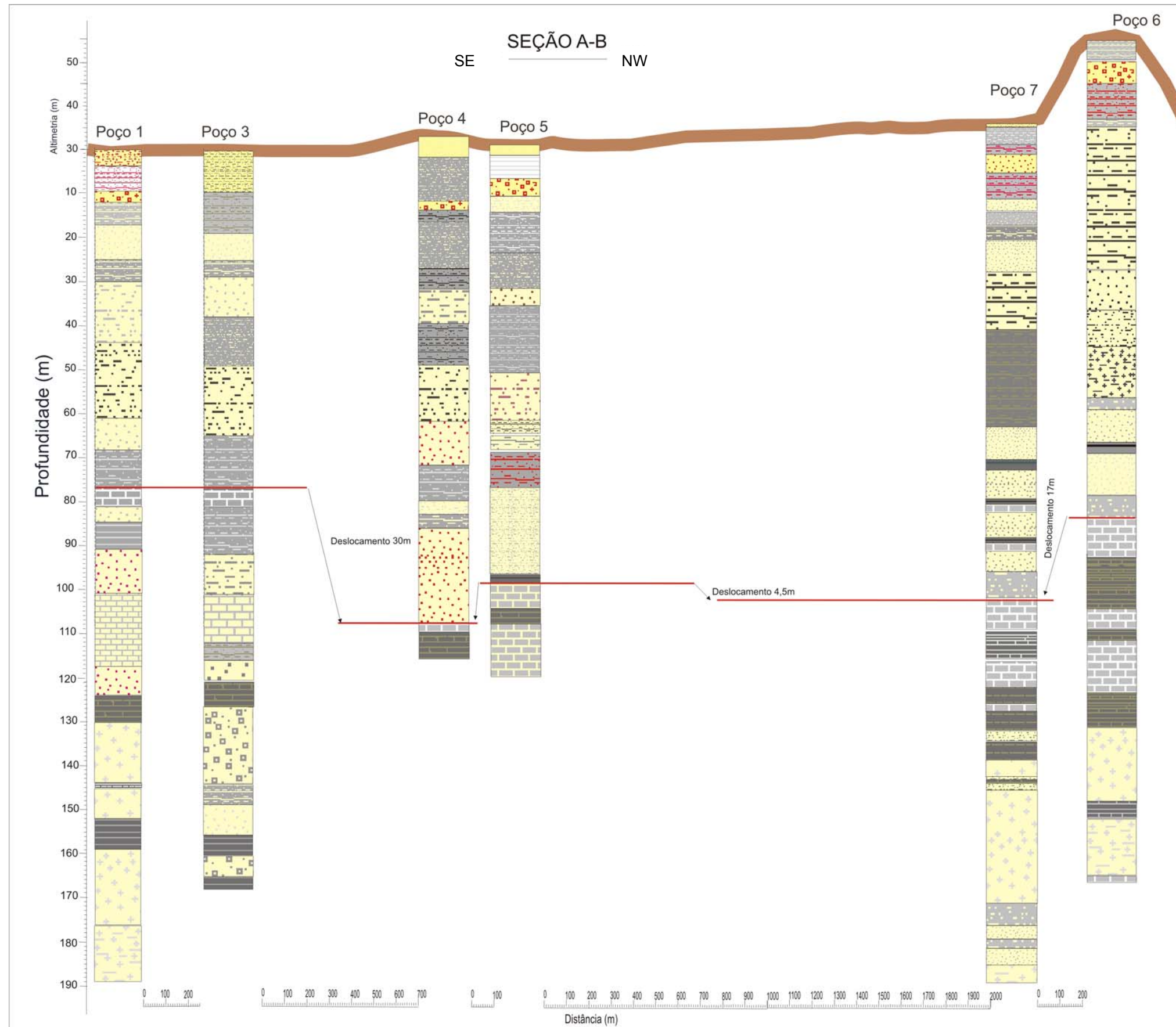


Figura 43 – Correlação litoestratigráfica demonstrada pelo perfil litológico dos poços da COSANPA em Castanhal-PA, seção A-B.

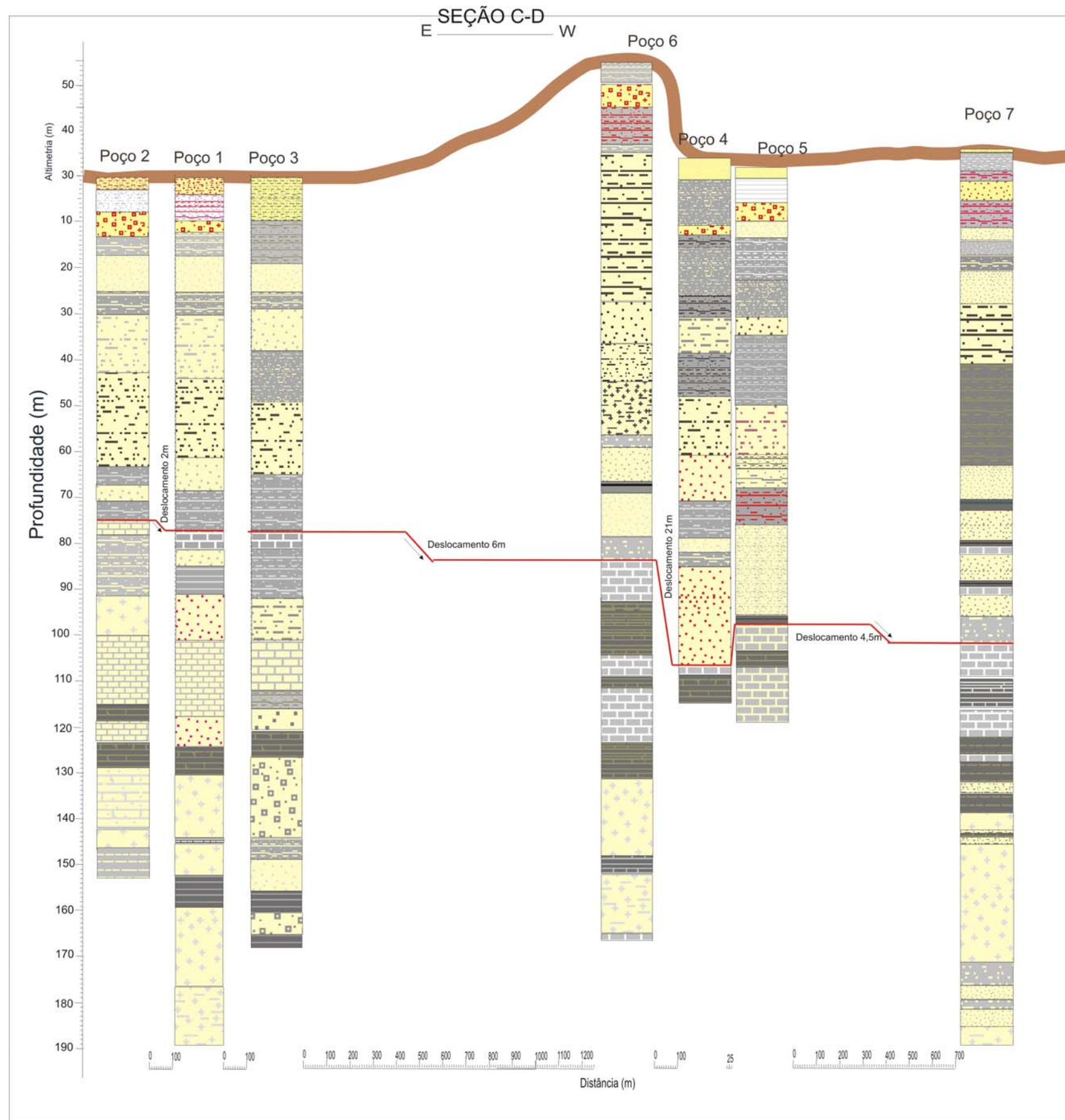


Figura 44 – Correlação litoestratigráfica demonstrada pelo perfil litológico dos poços da COSANPA em Castanhal-PA, seção C-D.

O perfil S-N mostrado na Figura 45, mostra um deslocamento de 29 m, no contato Grupo Barreiras / Formação Pirabas, entre os poços 1 e 4, de 25 m entre os poços 3 e 7, e de 18 m entre os poços 6 e 7, e pequenos deslocamentos, com cerca de 2 m, entre os poços 1, 2 e 3.

No perfil da Figura 46 se observa um deslocamento de 2,5 m entre os poços 2 e 3, de 8 m entre os poços 4 e 5, de 8,5 m entre os poços 6 e 2, e de 24 m entre os poços 1 e 7.

Posteriormente estes dados serão correlacionados com os dados resultantes dos demais métodos utilizados neste trabalho.

5.3 – NEOTECTÔNICA

Neste trabalho a atuação neotectônica foi, primeiramente interpretada pelos alinhamentos dos elementos de drenagem, cujos arranjos evidenciam a reativação de antigas estruturas, inclusive com drenagens defluentes (Howard, 1967), que são fortes marcadores neotectônicos por indicarem mudança brusca na direção do fluxo hídrico. Em seguida foi feita a análise da assimetria de drenagem como marcador dos landformes tectônicos primários, para estabelecer quais blocos eram altos e quais eram baixos, relativamente.

Posteriormente foram encontradas outras evidências neotectônicas, tais como a ocorrência de planícies fluviais assimétricas (vide Figuras 27 – pág. 75 e 29 – pág. 77), alternâncias de blocos altos e baixos em escalas distintas (vide Figuras 28 – pág. 76, 30 – pág. 78 e 34 – pág. 84), as mudanças no padrão e densidade de drenagem em áreas adjacentes e anomalias na forma da drenagem (vide Figura 31 – pág. 80, igarapé do Moura), enfatizando a ocorrência de rios defluentes, ou seja, tributários com ângulo obtuso, em relação à drenagem de maior ordem, observados por toda a área, decorrentes da inversão do fluxo da drenagem devido a rejuvenescimento por neotectônica, indicando forte controle tectônico (Lima, 2002).

Observou-se, também, a grande diferença no solo e no relevo de áreas muito próximas como a da Figura 47, separadas pelo igarapé do Quatro, que é retilíneo e tem orientação NNE, no bairro Milagres, próximo à área da COSANPA.

As rosáceas das Figuras 48 e 49 (dados apresentados no ANEXO VII), mostram as principais direções dos alinhamentos de drenagem e de relevo e ainda, os landformes tectônicos primários, que foram a base para estabelecer os blocos tectônico-estruturais da área de Castanhal.

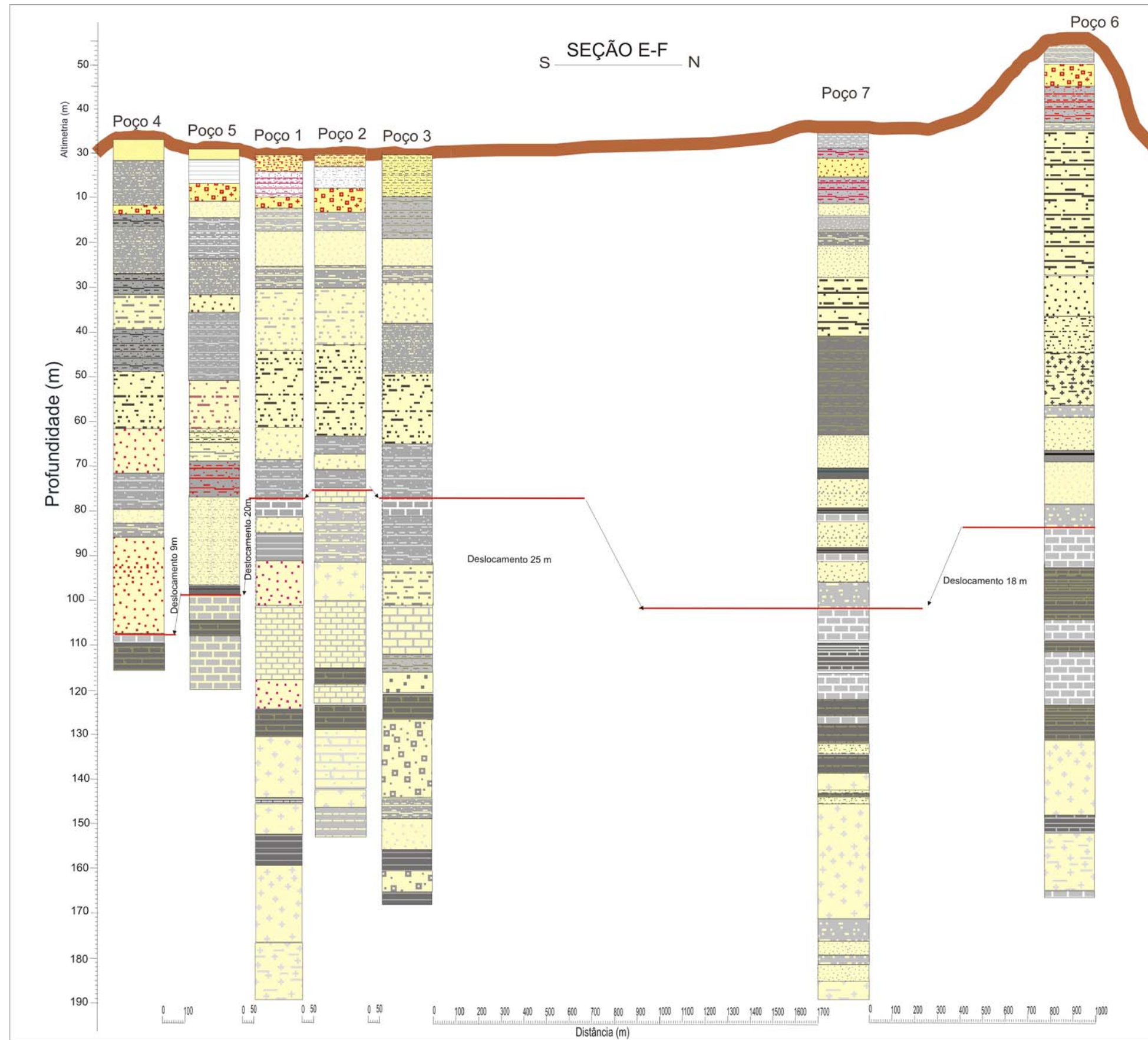


Figura 45 – Correlação litoestratigráfica demonstrada pelo perfil litológico dos poços da COSANPA em Castanhal-PA, seção E-F.

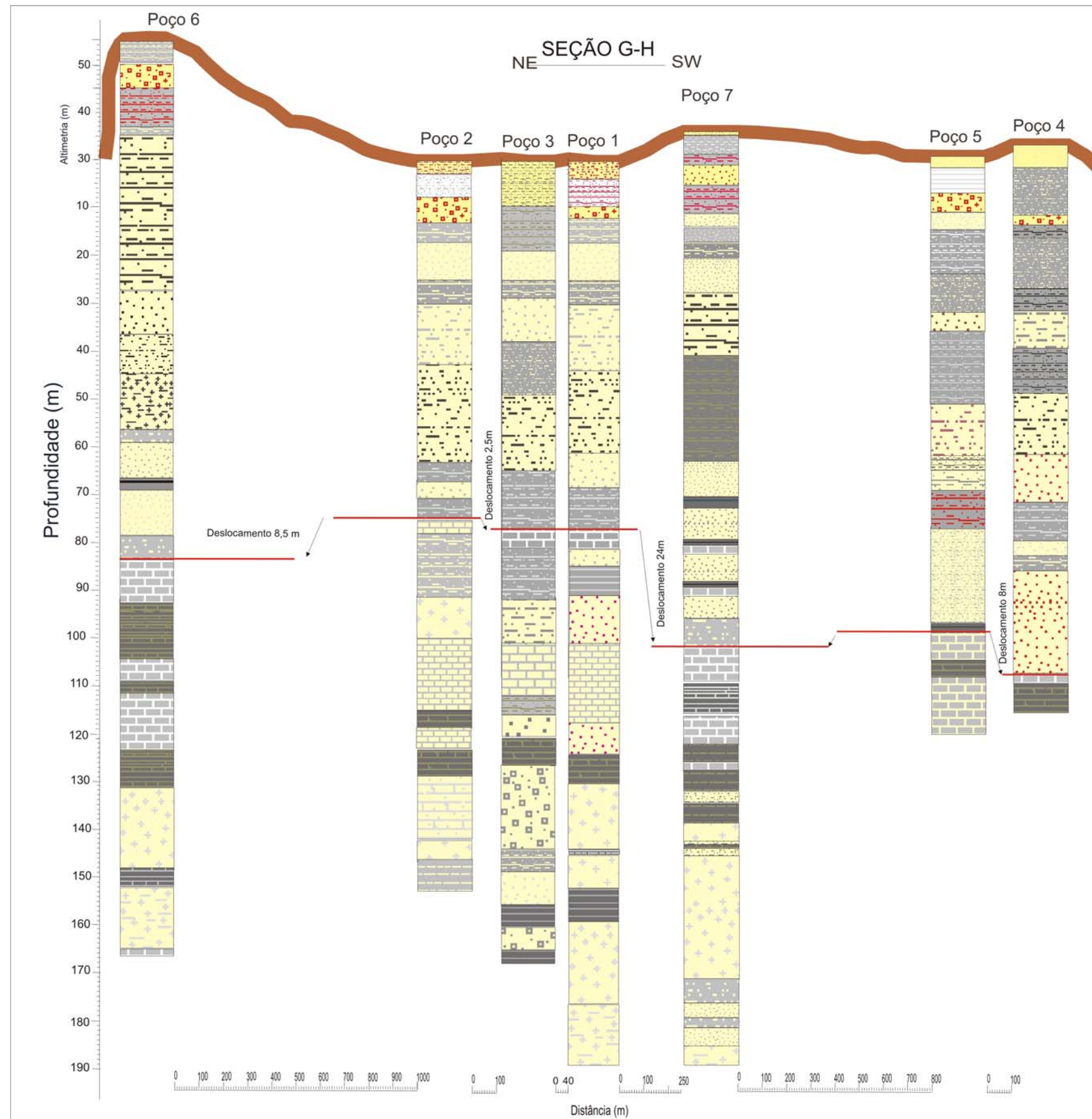


Figura 46 – Correlação litoestratigráfica demonstrada pelo perfil litológico dos poços da COSANPA em Castanhal-PA, seção G-H.



Figura 47 – Vista da mudança do solo arenoso branco em relevo de colinas de topos aplainados, em primeiro plano e areno-argiloso avermelhado com seixos de laterita que sustentam o relevo de colinas pequenas, ao fundo. No centro vê-se tubulões para futuro saneamento do igarapé do Quatro, em frente ao terreno da COSANPA, no bairro Milagres.

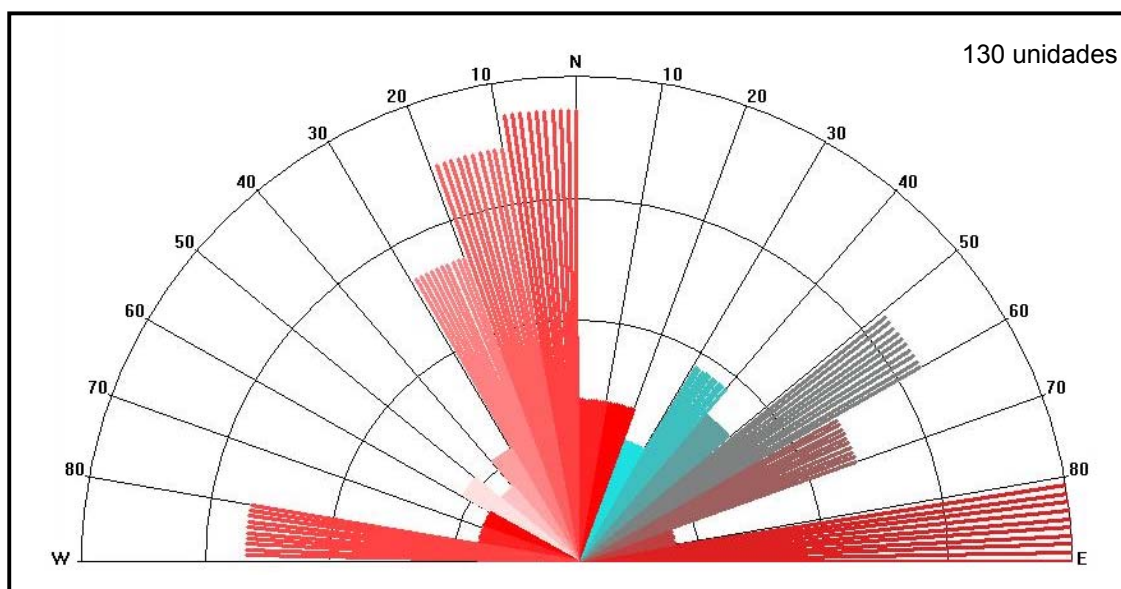


Figura 48 – Rosácea mostrando as principais direções dos alinhamentos de drenagem: N 80° E e N 10° W.

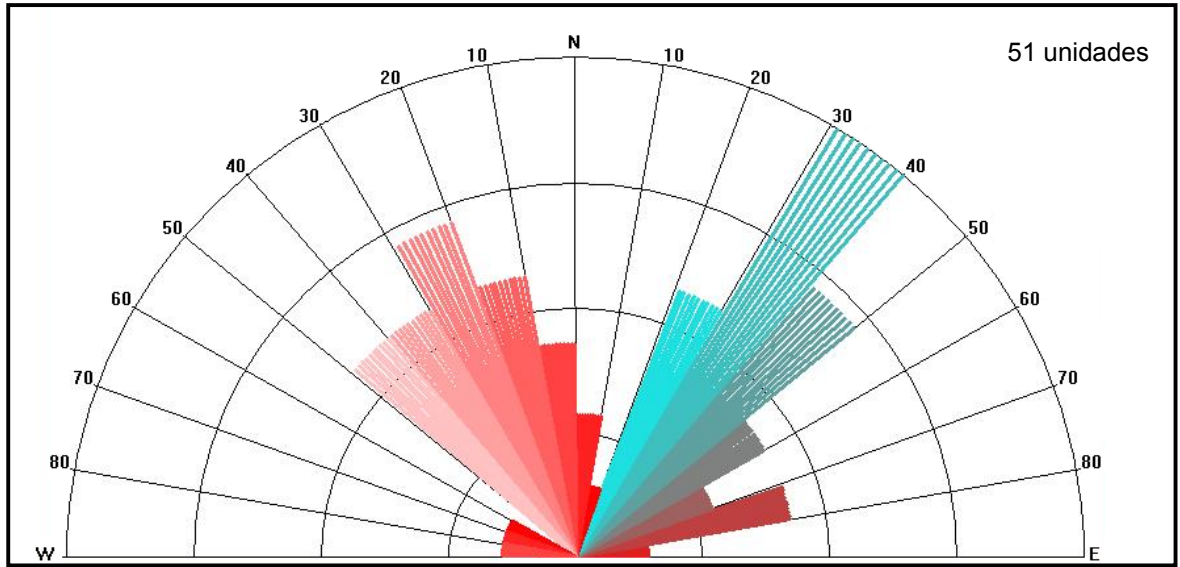


Figura 49 –Rosácea mostrando as principais direções dos landformes tectônicos primários:
N 30°-40° E e N 20°-30° W.

Hasui & Costa (1991) estabeleceram como sendo o sistema transcorrente dextral de Riedel (Figura 50) aplicado ao contexto amazônico, com o qual se observa correspondência da área de Castanhal, pela comparação das principais direções de alinhamentos de drenagem e de relevo.

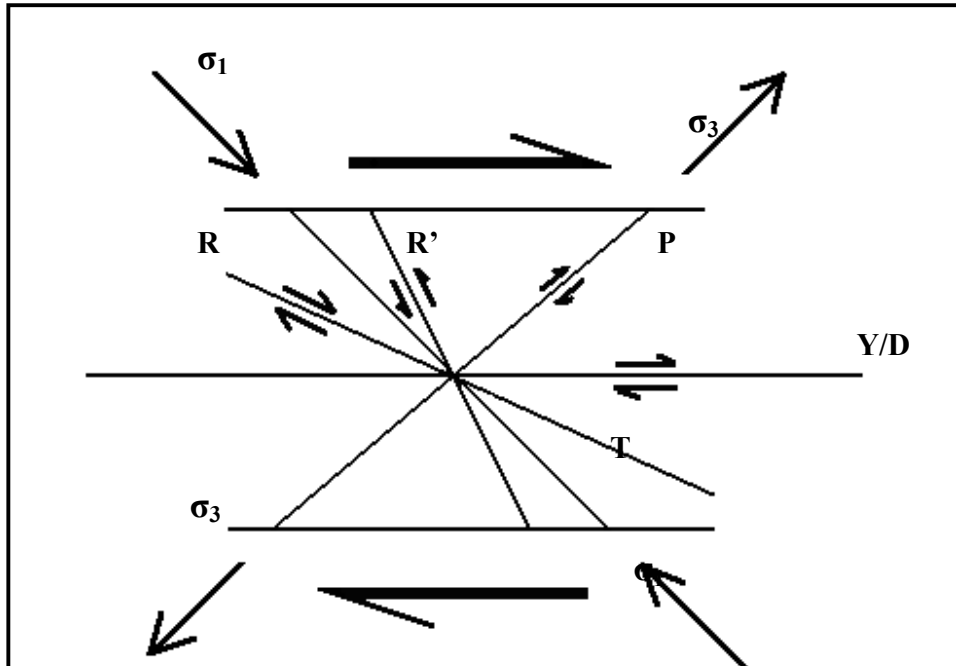


Figura 50 – Componentes de Riedel do sistema transcorrente dextral (HASUI & COSTA, 1991).

Não foi possível confirmar este quadro cinemático no campo, devido à falta de elementos mensuráveis. Porém, pelas rosáceas oriundas dos alinhamentos de drenagem e relevo e dos landformes tectônicos primários, aliados aos perfis litoestratigráficos, obtém-se a confirmação das evidências e somando-se às correlações litoestratigráficas, que mostram a segmentação da área em blocos, tanto na análise da Folha Castanhal SA.23-V-C-I, em escala 1: 100.000, quanto na análise da cidade, em escala de 1: 10.000, onde se tem uma alternância de blocos altos e baixos, controlados principalmente na direção N 30°-40° E e secundariamente N 20°-30° W.

Obteve-se, também, que mesmo levando em consideração a cota medida na boca do poço, os poços 4 e 5 apresentam contato entre o Grupo Barreiras e a Formação Pirabas a aproximadamente 120 m de profundidade, por estarem em um bloco mais baixo conforme observado nos perfis litoestratigráficos apresentados nas Figuras 43 a 46. Estes poços estão próximos a uma drenagem que apresenta direção NNE-SSW e separa este bloco do bloco que contém os poços 1, 2 e 3, que têm contato Barreiras/Pirabas entre 60 e 70 m de profundidade. Estes poços encontram-se em cotas inferiores, embora o bloco a que pertencem tenha subido, por terem sido erodidas as camadas superiores, tornando as rochas da Formação Pirabas subaflorantes.

Os poços 6 e 7 estão em um outro bloco, por isso o contato Barreiras/Pirabas se dá à cerca de 100 m de profundidade, cuja correlação é observada nos perfis litoestratigráficos supracitados.

6 – GEOFÍSICA

O estudo geofísico foi feito para auxiliar na delimitação dos compartimentos tectônicos, assim como para identificar as principais áreas de risco de ocorrência de edifícios cársticos na cidade de Castanhal. Para tanto foram feitos levantamentos de campo gravitacional e de resistividade (Sondagem Elétrica Vertical – SEV), além da interpretação de dados de perfilagem de poço (Raios γ , potencial espontâneo e resistência elétrica).

6.1 – GRAVIMETRIA

O perfil 1 (Figura 52) foi realizado na BR-316. Tem sentido oeste-leste e extensão de 7.000 m, com início na Escola Agrotécnica e fim na entrada do bairro Bom Jesus. Observam-se neste perfil anomalias positivas desde o início até cerca de 2.500 m para leste e anomalias negativas a partir desse ponto até o fim do perfil, tendo os valores mais baixos nas proximidades do bairro Jaderlândia.

A Figura 53 mostra o Mapa Bouguer construído com as medidas obtidas nos perfis 2, 3, 4, 5, 6 e 7 (ANEXO VIII). No mapa se observa anomalia negativa na parte central, concentrada entre os valores de -2,8 mGal a -1,8 mGal, formando um eixo de direção aproximadamente norte-sul que divide o mapa em dois blocos.

Na Figura 54 apresenta-se o Mapa Bouguer integrado pelos sete perfis, onde se observa claramente as anomalias negativas dos perfis 2 e 3, no extremo leste da cidade, e dos perfis 4, 5 e 6, formando uma faixa de eixo norte-sul. Observam-se no mapa um alto gravimétrico na porção oeste e um decréscimo suave nos valores em direção a leste, tornando-se mais baixas no extremo leste da cidade, local onde estão mais concentradas as anomalias, representadas neste mapa.

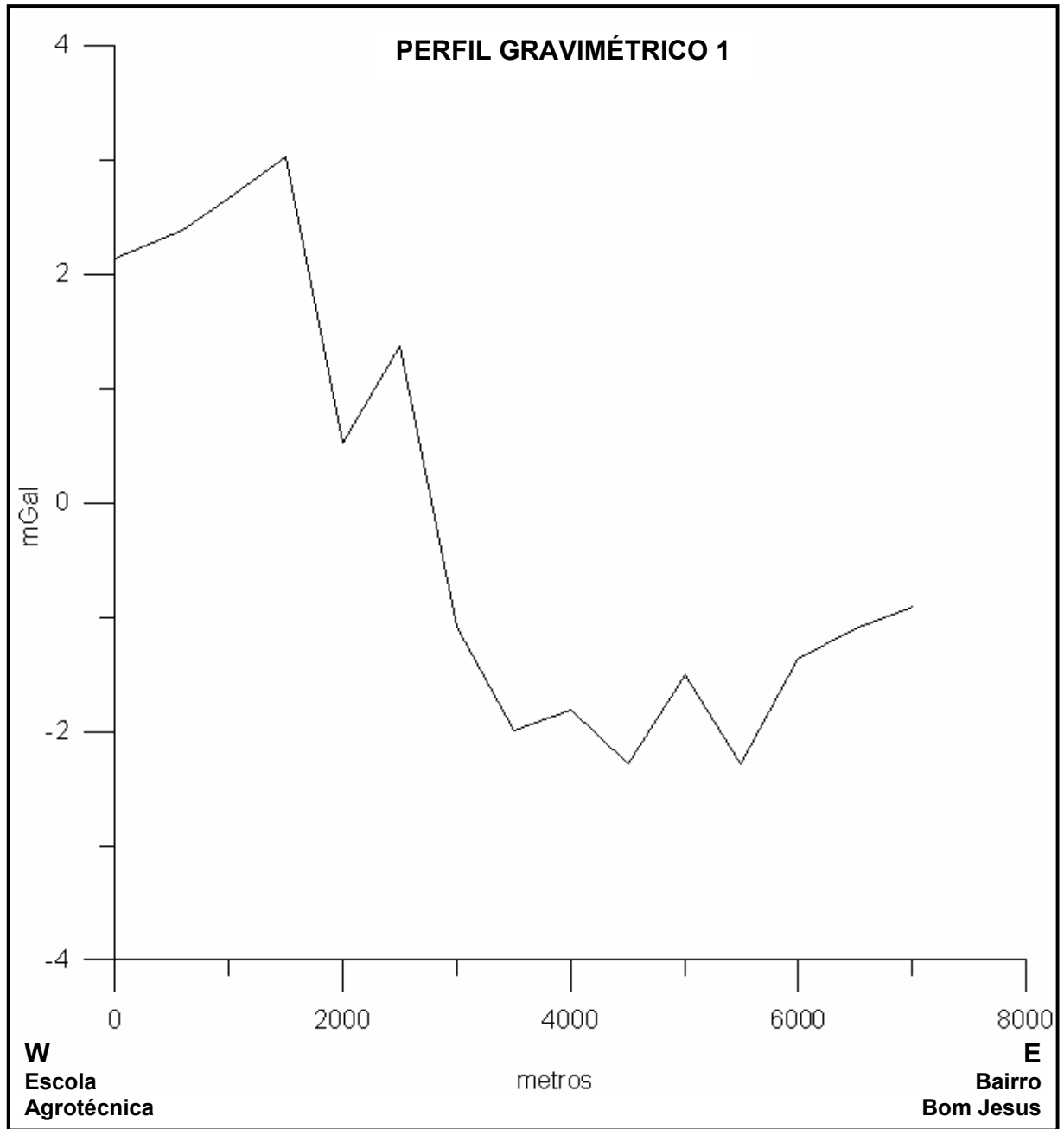


Figura 52 – Perfil gravimétrico 1(Leste-Oeste) mostrando pico positivo no valor de 3 mGal a 1600 m do início do perfil, na escola Agrotécnica, e pico negativo no valor de -2,3 mGal a 4.500 m e a 5500 m do início do perfil, no bairro Jaderlândia.

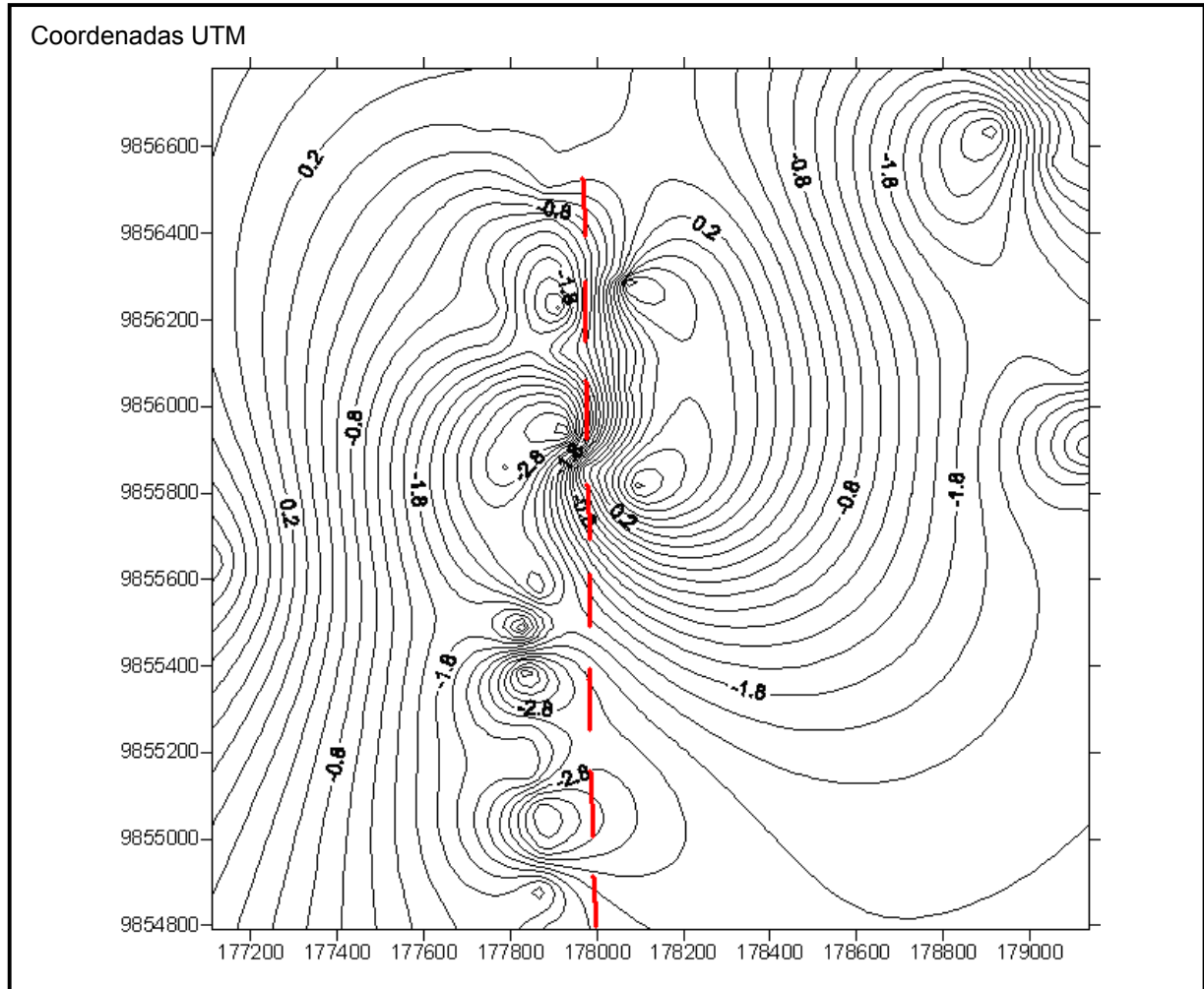


Figura 53 – Mapa Bouguer construído a partir dos dados dos perfis 2, 3, 4, 5, 6 e 7, mostrando os valores das isolinhas em mGal e a linha tracejada em vermelho que representa um alinhamento sugere falha geológica.

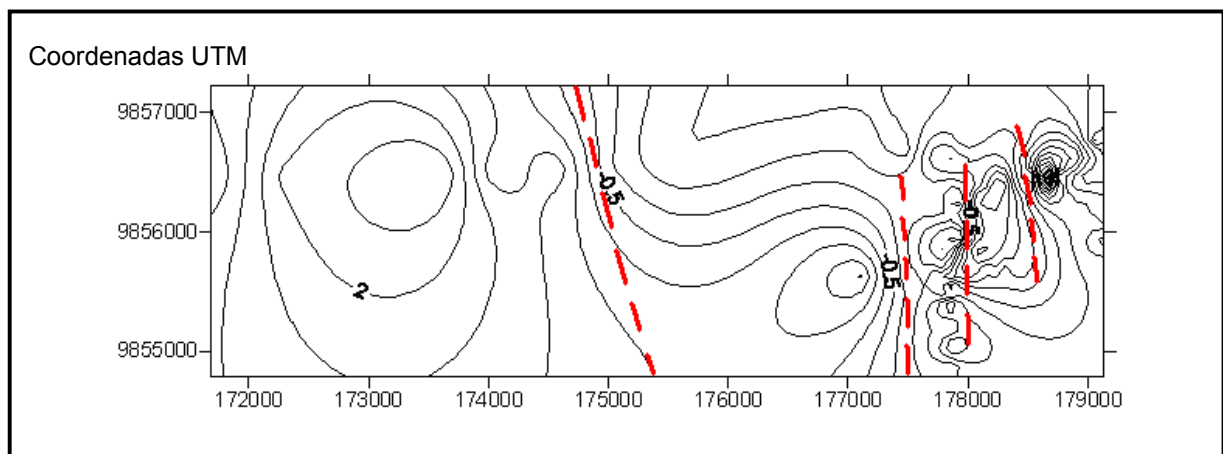


Figura 54 – Mapa Bouguer construído a partir dos dados obtidos nos sete perfis gravimétricos, mostrando os valores das isolinhas em mGal e os tracejados em vermelho representam alinhamentos sugeridos pelos contornos de isovalores.

6.1.1 – Interpretação gravimétrica

O mapa apresentado na Figura 55 mostra a distribuição das anomalias Bouguer no mapa da cidade de Castanhal, evidenciando os quatro alinhamentos sugeridos pelas anomalias.

Nesta situação deve-se ter o embasamento apontado pela anomalia positiva, com pico de cerca de 3 mGal a 1600 m da Escola Agrotécnica, seguida de anomalias negativas de até -2,3 mGal a 2900 m da anomalia anterior, o que indica mudança do substrato, pois fortes gradientes sugerem lineamentos, que limitam blocos tectônicos distintos, separados por falhas identificadas por valores diferenciados de densidade do material no substrato rochoso.

A posição destas anomalias na cidade (Figura 55) indica que há uma anomalia positiva, sobre a qual se situam os bairros Cristo Redentor, Nova Olinda, Centro, Saudade I e II, Pirapora e Cariri. As demais áreas apresentam anomalias negativas, as quais configuram os alinhamentos NNW-SSE: que separa os bairros Centro, Pirapora e Cariri dos bairros Milagres e Ianetama; N-S: que separa estes bairros do bairro Jaderlândia; NNE-SSW: que o separa dos bairros Santa Catarina e Bom Jesus; NNW-SSE: no meio dos bairros Bom Jesus e Santa Catarina.

6.2 – RESISTIVIDADE

As Figuras 56 a 59 mostram as curvas digitalizadas (pequenos círculos) das SEV's realizadas na área, bem como as curvas calculadas (linhas contínuas) para os modelos de distribuição vertical (em profundidade) da resistividade, representados pelas linhas escalonadas.

A Figura 56 A (SEV 1) indica diminuição da resistividade entre as profundidades de 10 m e com um pequeno aumento entre 50 e 70 m e uma queda brusca e inferior a 100 $\Omega.m$ depois de 100 m de profundidade. Em B (SEV 2) tem-se diminuição brusca entre 30 e 50 m, um aumento entre 50 e 100 m e a partir de 100 m, uma queda para valor inferior a 100 $\Omega.m$ (ANEXO IV).

Na Figura 57 A (SEV 3) tem-se uma diminuição da resistividade de cerca de 1200 $\Omega.m$ a partir de 15 m de profundidade, se tornando constante e igual a pouco mais que 100 $\Omega.m$ a partir de 30 m. Em B (SEV 4) a diminuição é suave de 5 m a 15 m, sendo mais acentuada a partir daí até 80 m, onde atinge pouco mais de 100 $\Omega.m$ quando diminui bruscamente, chegando a 20 $\Omega.m$.

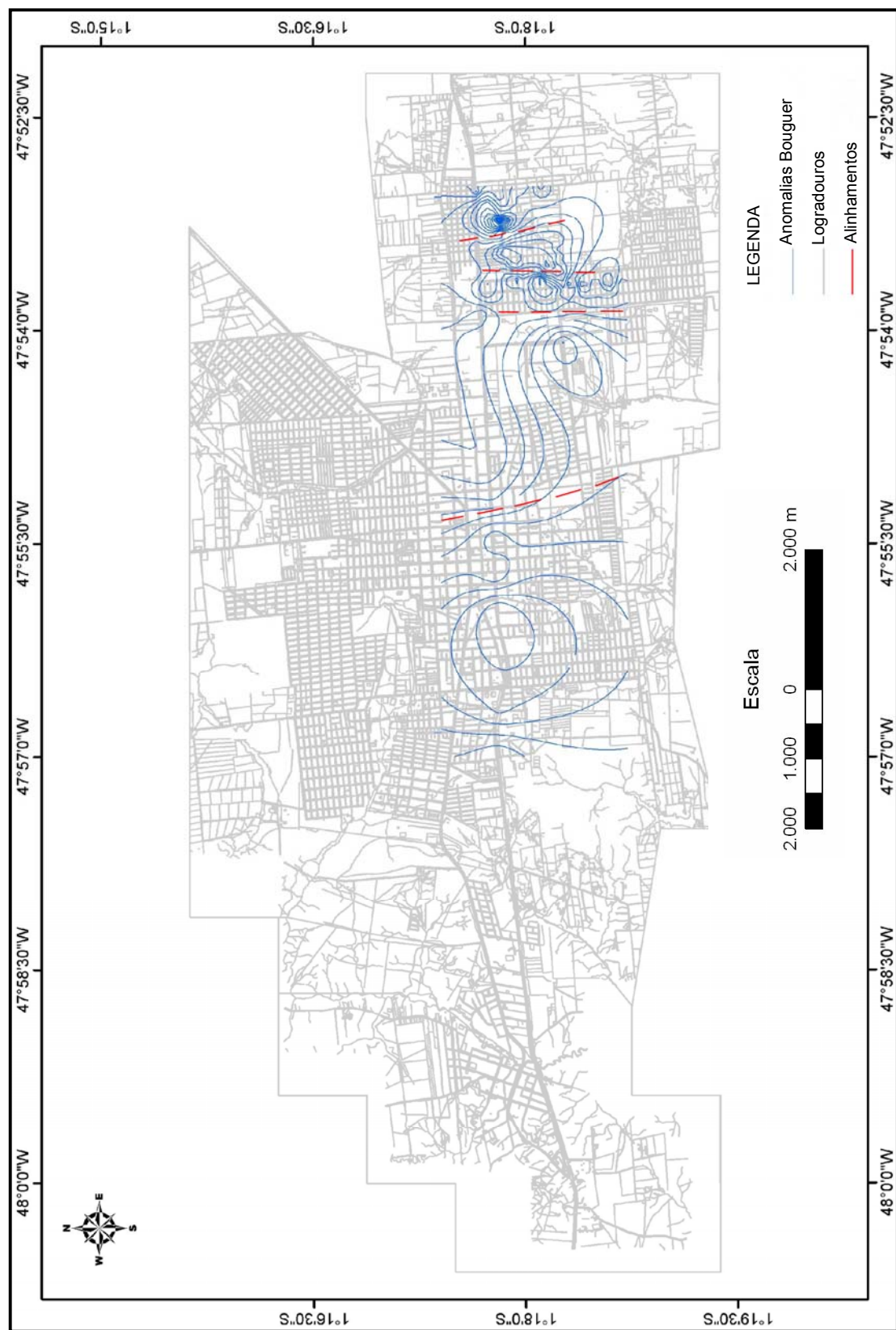


Figura 55 – Mapa Bouguer integrado na cidade de Castanhal, mostrando os alinhamentos sugeridos pelas anomalias.

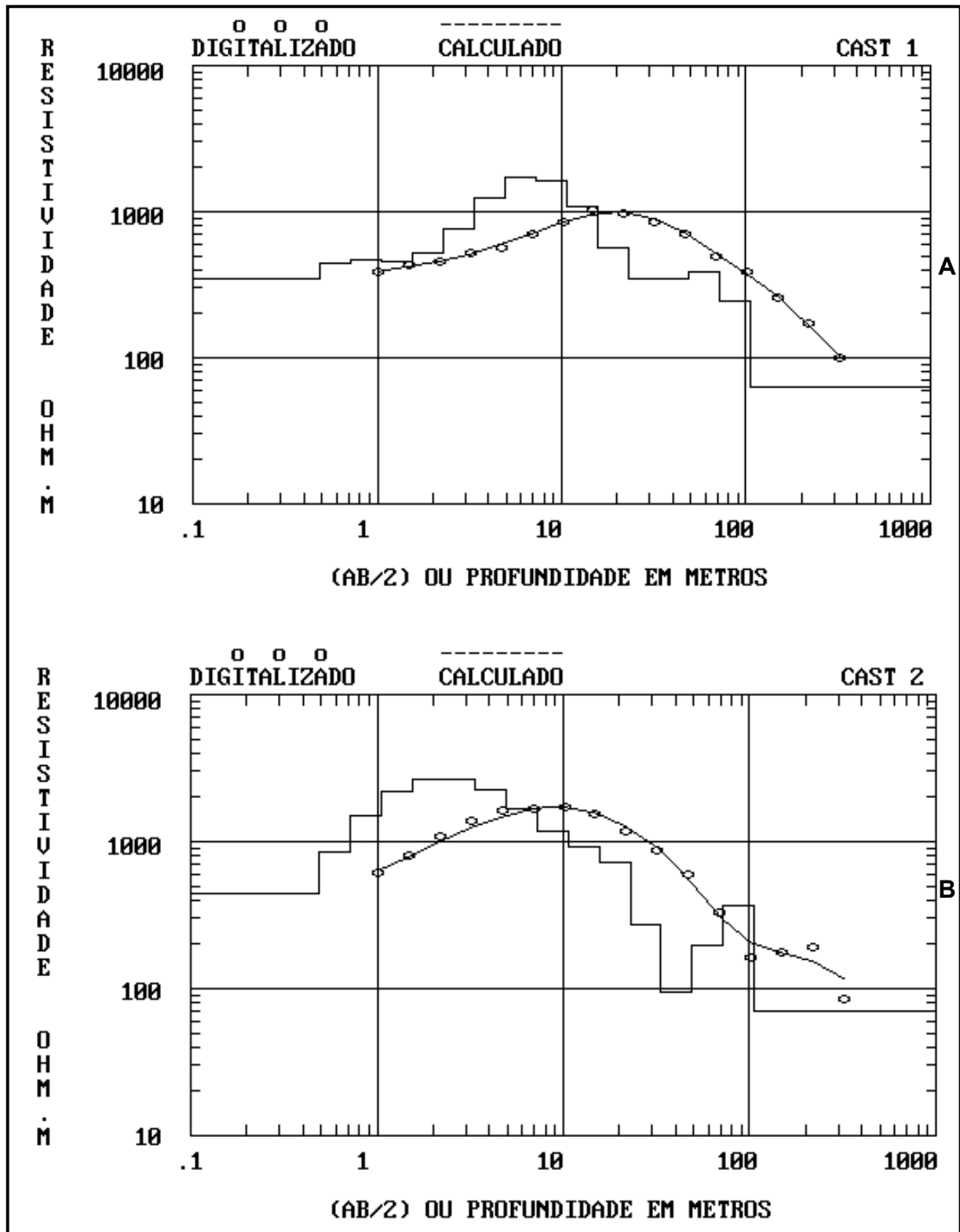


Figura 56 – Interpretação das SEV 1 (A) e SEV 2 (B). O modelo interpretativo das SEV's está representado pela linha cheia em formato de degrau.

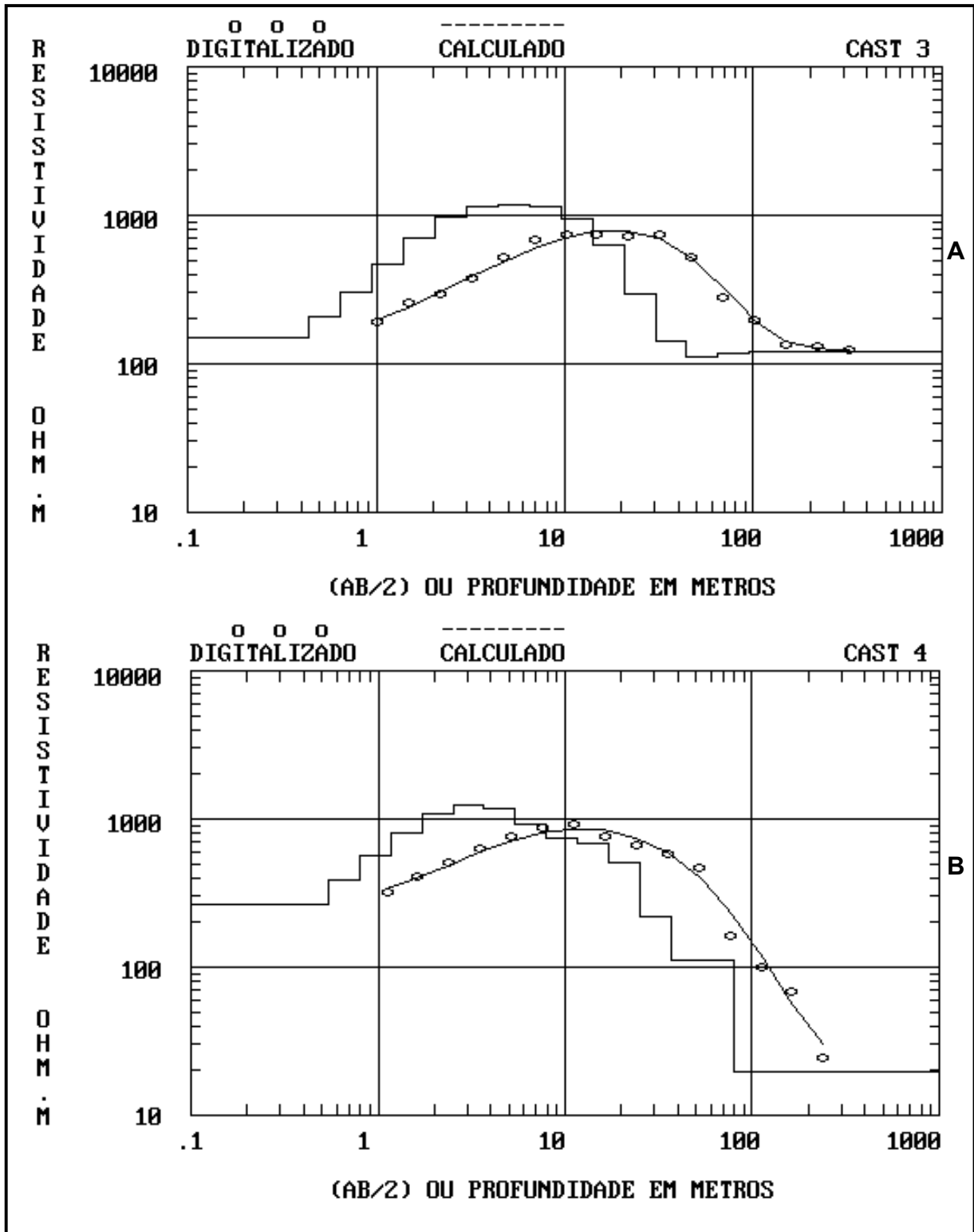


Figura 57 – Interpretação das SEV 3 (A) e SEV 4 (B). O modelo interpretativo das SEV's está representado pela linha cheia em formato de degrau.

Os dados da SEV 5 mostrados na Figura 58 A indicam se tratar de terreno muito mais resistivo do que o terreno das outras SEV's. Este perfil mostra resistividade inicial em torno de 4000 $\Omega.m$, mas há uma diminuição a 2-3 m de profundidade para 1000 $\Omega.m$, uma subida entre 5 e 20 m e uma brusca diminuição entre 40 m e 50 m, chegando a 200 $\Omega.m$, voltando a subir para 1500 $\Omega.m$, a partir de 80 m de profundidade. Para a SEV 6 (Figura 58 B) a resistividade inicial é de 200 $\Omega.m$ e aumenta até cerca de 900 $\Omega.m$ de 3 a 6 m de profundidade, caindo para 90 $\Omega.m$ a 15 m, aumentando para próximo de 110 $\Omega.m$, a 20 m.

O modelo da SEV 7 (Figura 59 A) mostra resistividade inicial em volta de 800 $\Omega.m$, um acréscimo gradual até cerca de 1500 $\Omega.m$ a 10 m de profundidade e uma queda relativamente abrupta até 30 $\Omega.m$ a 80 m de profundidade. Na SEV 8 (Figura 59 B) a resistividade inicial é de aproximadamente 500 $\Omega.m$, aumentando gradativamente até aproximadamente 2.300 $\Omega.m$ a 15 m de profundidade, diminuindo de forma brusca até 30 $\Omega.m$ de 40 m a 60 m e finalmente, aumentando para 300 $\Omega.m$ a 90 m de profundidade.

6.2.1 – Interpretação da resistividade

Baseado nas informações apresentadas no item 1.3.3.5 (pág. 42) foram feitas as interpretações das sondagens executadas.

Os decréscimos de resistividade foram associados às camadas argilosas; enquanto os valores mais altos entre escalonamentos foram correlacionados às camadas arenosas. A subida repentina dos valores de resistividade nas curvas digitalizadas, formando ângulos de inclinação entre 30° e 45°, no final das curvas (Figura 58 A e B e Figura 59 B), podem representar três situações: “vazios”, calcário compacto, ou ainda, embasamento cristalino.

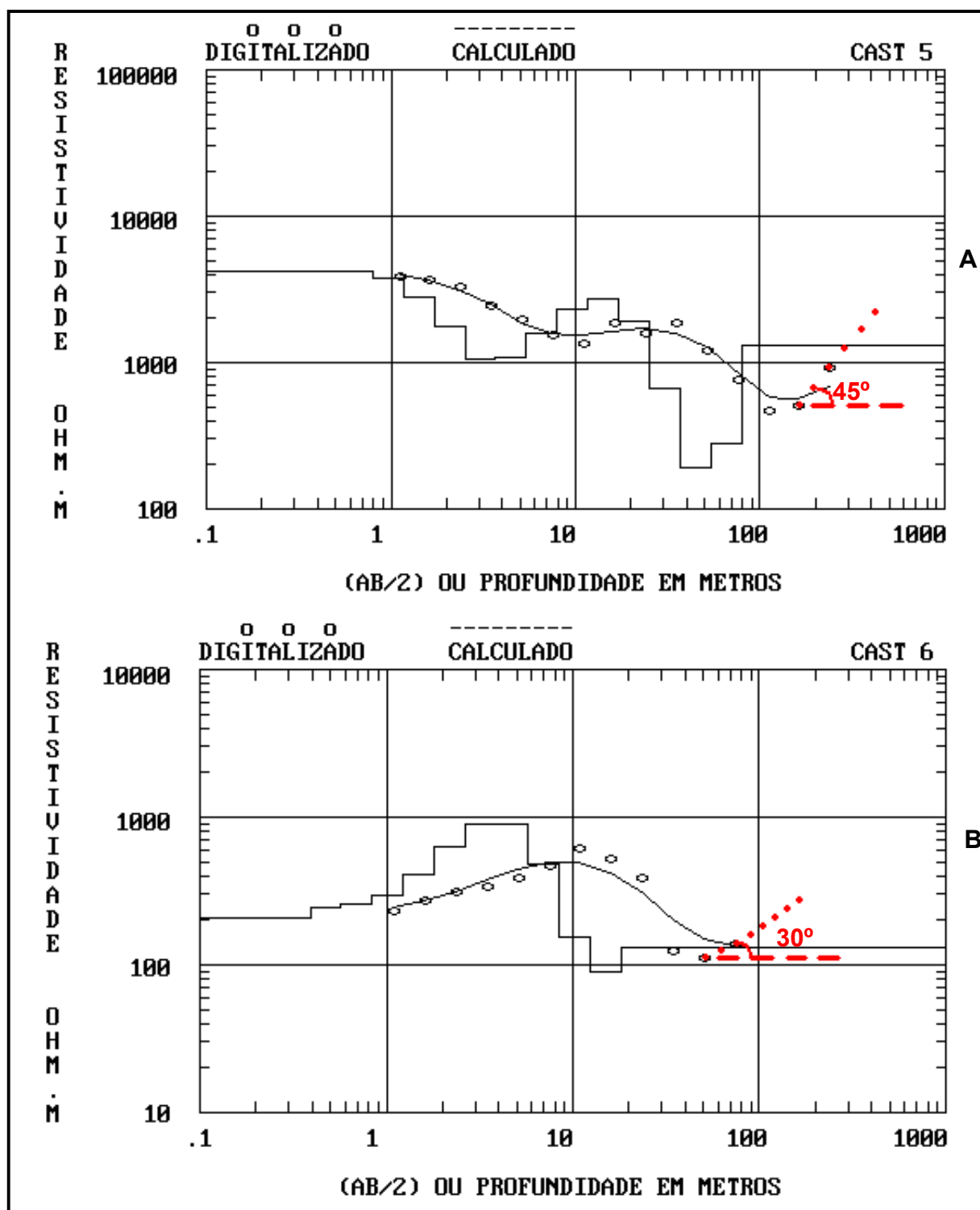


Figura 58 – Interpretação das SEV 5 (A) e SEV 6 (B). O modelo interpretativo das SEV's está representado pela linha cheia em formato de degrau. Note-se o brusco aumento da resistividade, em (A) abaixo de 100 m e em (B) abaixo de 50 m de profundidade.

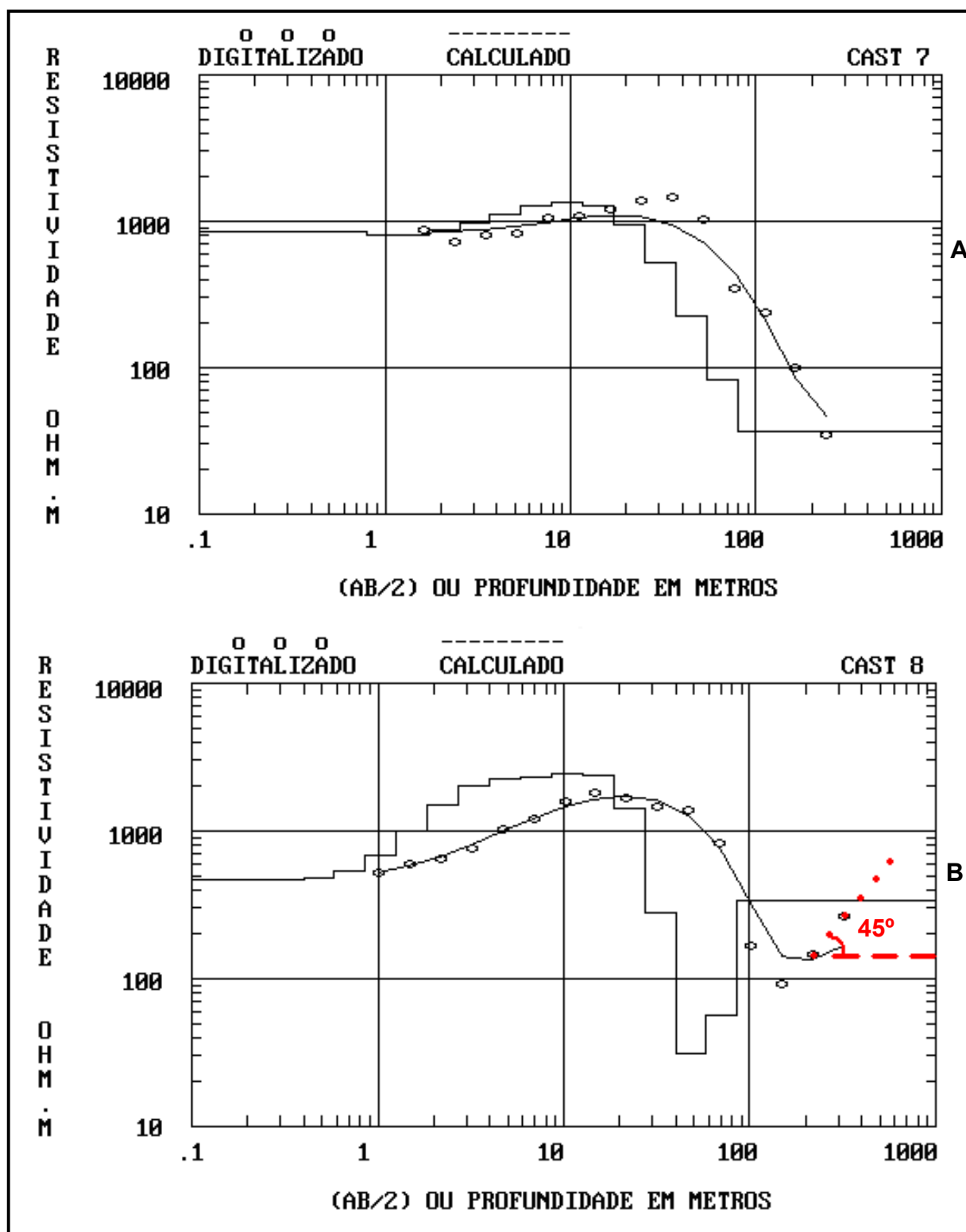


Figura 59 – Interpretação das SEV 7 (A) e SEV 8 (B). O modelo interpretativo das SEV's está representado pela linha cheia em formato de degrau. Note-se em (B) o brusco aumento da resistividade abaixo de 150 m de profundidade.

6.3 - PERFILAGEM DE POÇO

Foram tratadas três perfilagens feitas em bairros de Castanhal pelo Prof. Dr. José Gouvêa Luiz, da Faculdade de Geofísica, da UFPA, para a FEMAC / COSANPA (ANEXO V), que apontam as mudanças litológicas por suas diferentes respostas. No poço 3 do bairro Jaderlândia foram destacadas nove zonas favoráveis para captação de água subterrânea, discriminadas no quadro abaixo:

QUADRO 2 – Descrição da perfilagem do poço Jaderlândia 3.

Zona	Profundidade (m)	Descrição litológica
A	19,0 a 37,5	Arenito quartzoso creme avermelhado intercalado a argilito cinza
B	49,0 a 65,0	Arenito quartzoso muito fino a siltico com lentes argilo-arenosas
C	76,5 a 80,5	Calcarenito fino a médio creme amarelado, fossilífero
D	92,5 a 101,5	Siltito arenoso com calcarenito muito fino
E	107,0 a 112,5	Calcarenito médio a fino, branco amarelado, fossilífero
F	115,0 a 121,5	Arenito muito fino a siltito arenoso, creme acinzentado
G	126,0 a 144,5	Conglomerado quartzoso
H	149,0 a 155,5	Arenito fino a siltito arenoso
I	160,5 a 165,0	Conglomerado quartzoso

Na zona C entre 76,5 e 80,5 m e na zona E entre 107 e 112,5 m de profundidade, ambas constituídas de calcarenito, houve perda de fluido durante a perfuração do poço. Nesses intervalos a resposta de raios γ apresenta diminuição brusca, de 25 para 5 cps, enquanto a resistência elétrica é caracterizada por um aumento de valor (Figura 60).

No poço 2 do bairro Milagres diversas zonas foram identificadas a partir dos perfis corridos, sendo destacadas seis delas como melhores aquíferos (QUADRO 3). Porém no mesmo calcarenito onde foi detectada a perda de fluido de perfuração no poço Jaderlândia, zonas C e E, não há qualquer resposta indicando anomalia que sugira edifício cárstico.

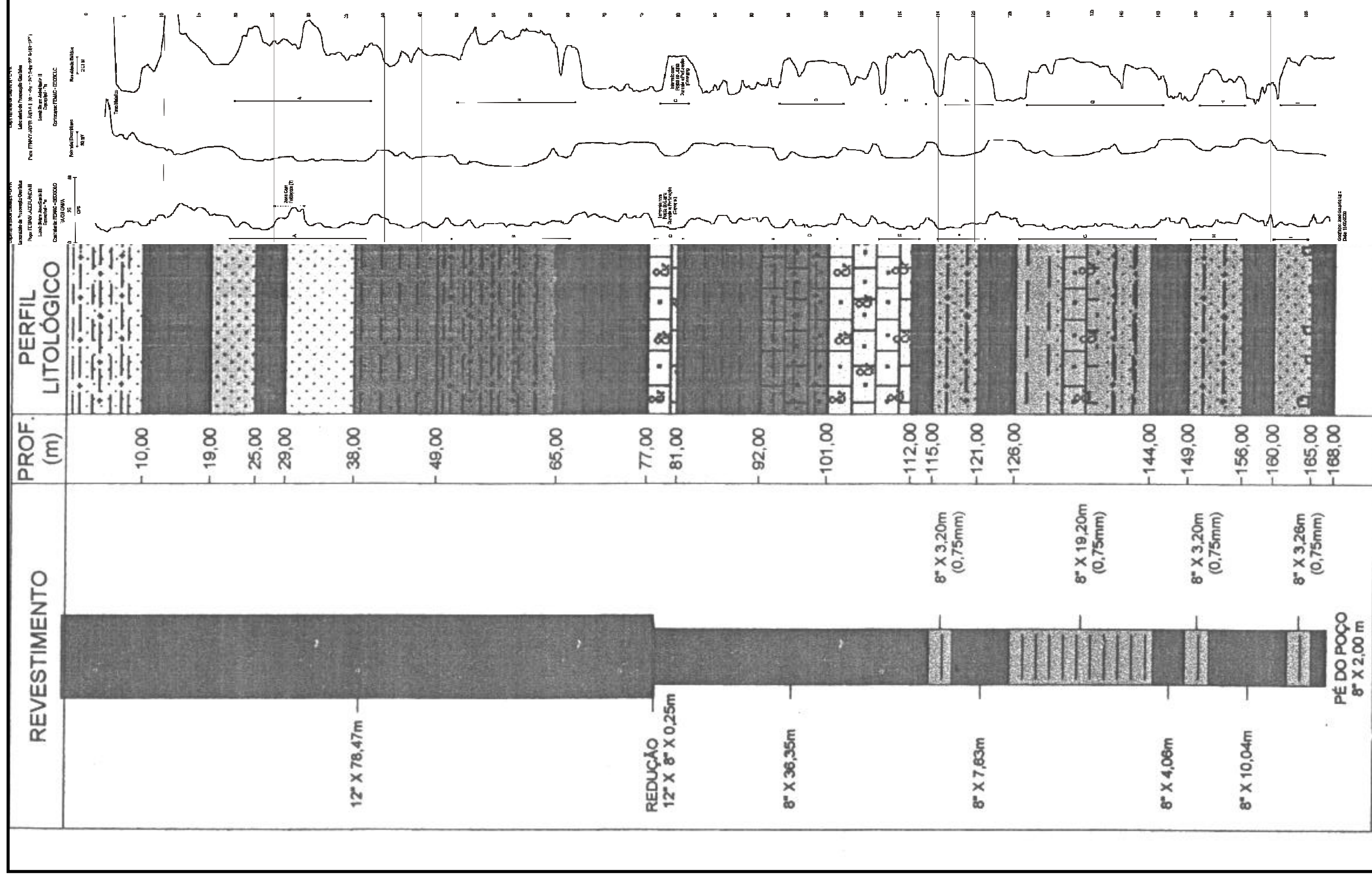


Figura 60 – Poço Jaderlândia 3: perfil construtivo, perfil litológico e perfilagem geofísica (raios γ , potencial espontâneo e resistividade, respectivamente).

QUADRO 3 – Descrição da perfilagem do poço Milagres 2.

Zona	Profundidade (m)	Descrição litológica
A	34,0 a 37,5	Arenito laterizado com caulim avermelhado e fragmentos de rocha
B	52,0 a 63,0	Arenito laterizado com finas lentes de argila cinza avermelhada
C	66,0 a 70,0	Intercalação argilito/conglomerado cinza escuro
D	78,0 a 98,0	Arenoso intercalado com lentes de folhelho cinza esverdeado
E	100,0 a 106,5	Calcarenito/calclutito, fossilífero, com lentes de folhelho cinza
F	109,0 a 116,0	Calcarenito/calclutito, fossilífero, com lentes de folhelho cinza

No poço 6 (vide Figura 42, página 94), no bairro Imperador, foram identificadas como bons aquíferos várias zonas (QUADRO 4). Neste poço, também não se apresenta anomalia indicativa de construção de edifício cárstico, nas camadas de calcarenito.

QUADRO 4 – Descrição da perfilagem do poço Imperador.

Zona	Profundidade (m)	Descrição litológica
A	52,0 a 61,0	Arenito quartzoso médio um pouco argiloso com turfa
B	70,0 a 81,0	Arenito quartzoso médio a grosso com turfa
C	84,0 a 91,0	Arenito argiloso cinza escuro
D	94,0 a 104,0	Arenito médio a grosso um pouco argiloso
E	109,0 a 117,0	Calcarenito médio a fino, branco, fossilífero
F	128,5 a 133,5	Calcário branco, fossilífero
G	136,5 a 143,5	Calcário branco, fossilífero
H	144,5 a 148,5	Calcarenito branco, fossilífero
I	151,5 a 153,5	Calcário branco, fossilífero
J	156,5 a 159,0	Arenito médio a grosso com intercalações de calcarenito branco
K	160,5 a 173,0	Calcarenito fossilífero branco e cinza
L	177,5 a 191,0	Arenito médio a grosso com intercalações de calcarenito branco

6.4 – INTEGRAÇÃO DOS DADOS GEOFÍSICOS

Conforme mostrado nos perfis gravimétricos e no mapa Bouguer, a área estudada na cidade de Castanhal está segmentada por alinhamentos em cinco partes (Figura 61). A parte I é caracterizada por anomalia gravimétrica positiva, e contém as SEV's 4, 5 e 6. As SEV's 5 e 6 apresentam uma elevação abrupta da resistividade entre 50 m e 80 m de profundidade. Assim, pela união das informações da gravimetria e resistividade, trata-se da ocorrência do embasamento cristalino a esta profundidade.

A parte II apresenta anomalia gravimétrica negativa e contém as SEV's 3, 7 e 8, esta última tem elevação abrupta da resistividade a partir de 150 m de profundidade, congruente com as SEV's 5 e 6, enquanto que a SEV 3 mostra um nível de resistividade compatível com calcário, desde 70 m de profundidade. A SEV 7, por seu turno, tem diminuição da resistividade de modo a sugerir camada argilosa a partir de 80 m de profundidade. Nesta porção têm-se, ainda, duas perfilações de poço (ANEXO V) que mostram alternância de valores indicativos de arenito com lentes argilosas, cujo perfil litológico (ANEXO VI) apresenta intercalação de arenito quartzoso com lentes de folhelho e calcarenito também com lentes de folhelho.

A parte III tem anomalia gravimétrica negativa e contém somente uma perfilação de poço. Este poço apresenta valores baixos de raios γ e resistência elétrica elevada nos níveis 76,5-80,5 m e 107-112,5 m (Figura 60 e ANEXO V), que sugerem a presença de edifícios cársticos. Observa-se, ainda no perfil litológico deste poço (Figura 60 e ANEXO VI), que os valores da perfilação nesses níveis são congruentes com as camadas de calcarenito fossilífero, onde, segundo informação do construtor do poço, houve perda de fluido durante a perfuração.

A parte IV tem anomalia gravimétrica negativa e não é contemplada com nenhuma outra informação geofísica adicional.

A parte V apresenta anomalia gravimétrica negativa e contém as SEV's 1 e 2, cujas leituras indicam alternância de arenitos e argilitos, com uma grande diminuição da resistividade abaixo de 100 m de profundidade, que pode indicar uma camada argilosa. Observa-se tratar que a anomalia gravimétrica negativa é coincidente com uma drenagem reta que ocorre nesta parte.

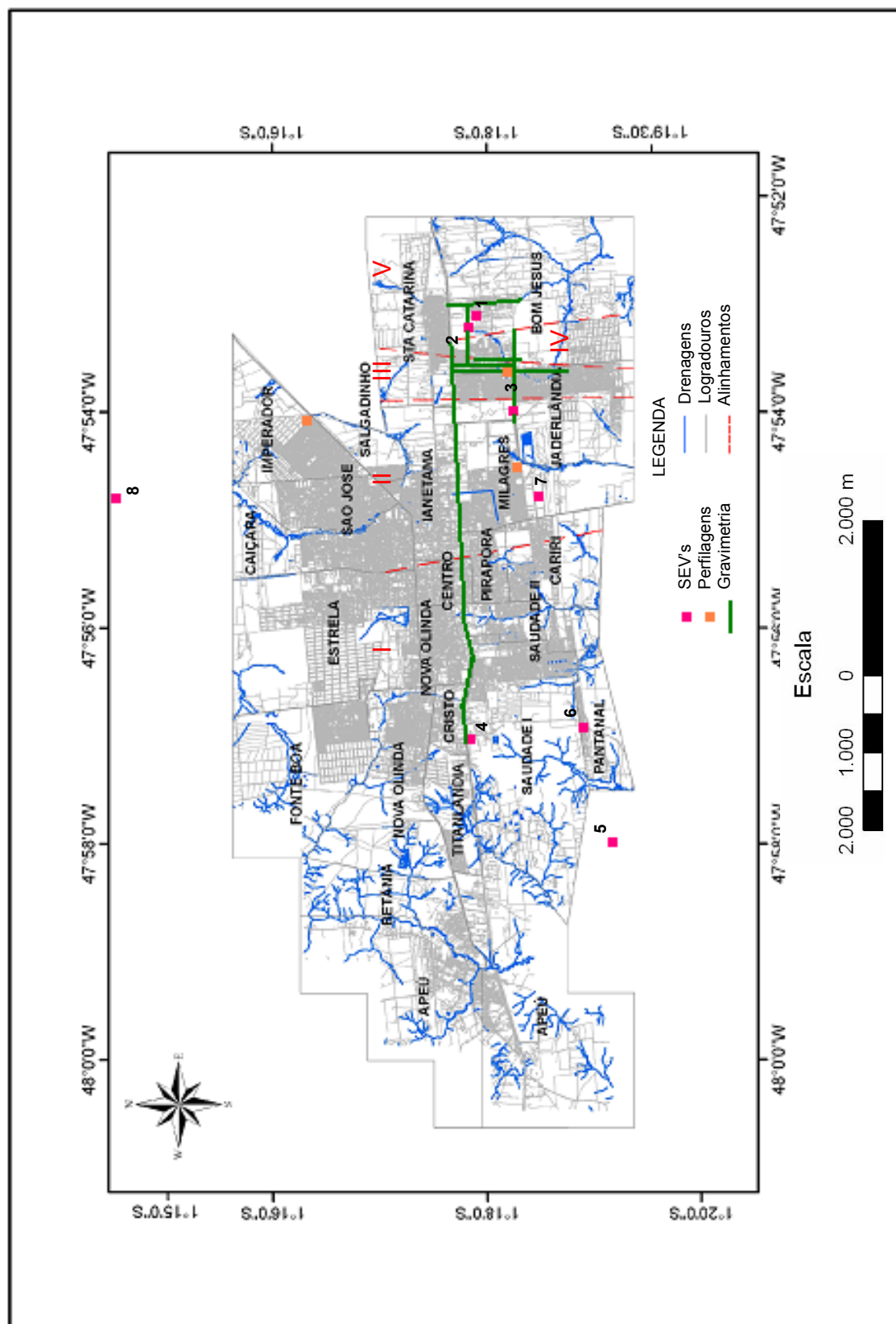


Figura 61 – Mapa de Castanhal com os alinhamentos sugeridos pelos contornos de isovalores , dividindo a cidade em cinco partes.

7 – RECURSOS HÍDRICOS

Na Figura 20 (pág.66) apresenta-se o mapa de drenagem da Folha Castanhal (SA.23-V-C-I) elaborado neste trabalho, onde se vêem nas três bacias principais da área o rio Apeú, o rio Marapanim e o rio Maracanã com seus tributários. Observe-se, também, que o rio Apeú flui em direção ao rio Guamá, enquanto que os rios Marapanim e Maracanã deságuam no oceano Atlântico.

A área onde se localiza a cidade de Castanhal é uma porção elevada, com cotas em torno de 60 m, funcionando como um divisor de águas (ver Figuras 31, 32 e 33 – Cap. 4), sendo os principais rios da cidade o Apeú a sudoeste e o Marapanim a norte.

7.1 – HIDROGRAFIA

A rede hidrográfica na cidade de Castanhal (Figura 31, pág. 80) é dividida em duas áreas distintas: uma medianamente densa, em sua porção oeste e outra pouco densa, nas demais áreas. A primeira é composta pelo rio Apeú e os igarapés Marapanim, Itaqui, Capianga, Macapazinho, Catendeua, Papuquara, Fonte Boa e outros menores, com nome desconhecido. A segunda é constituída pelos igarapés Castanhal, do Moura, do Quatro, Santa Cruz, Pitimandeua e outros menores (Figura 62). Alguns destes corpos hídricos são perenes, outros são intermitentes e há, ainda os que periodicamente promovem inundação.

No centro da cidade há poucas drenagens, sendo a porção topograficamente mais alta e plana, um divisor de águas, com direção aproximadamente leste-oeste. A drenagem obedece à uma estruturação tectônica, marcadamente com direção NE-SW, cujo fluxo hídrico tem sentido de NE para SW por toda a cidade e de SW para NE, na porção norte. Secundariamente, têm-se drenagens com direção NW-SE, que juntamente com a direção NE-SW desenha claramente um padrão em treliça.

Ênfase se dá ao igarapé do Moura, no extremo nordeste de Castanhal, que apresenta sentido NNE-SSW na nascente, muda para aproximadamente E-W, SE-NW, N-S e SW-NE na foz, configurando drenagem defluente, indicativa de atuação neotectônica sobre as estruturas mais antigas, com direção principal NE-SW.

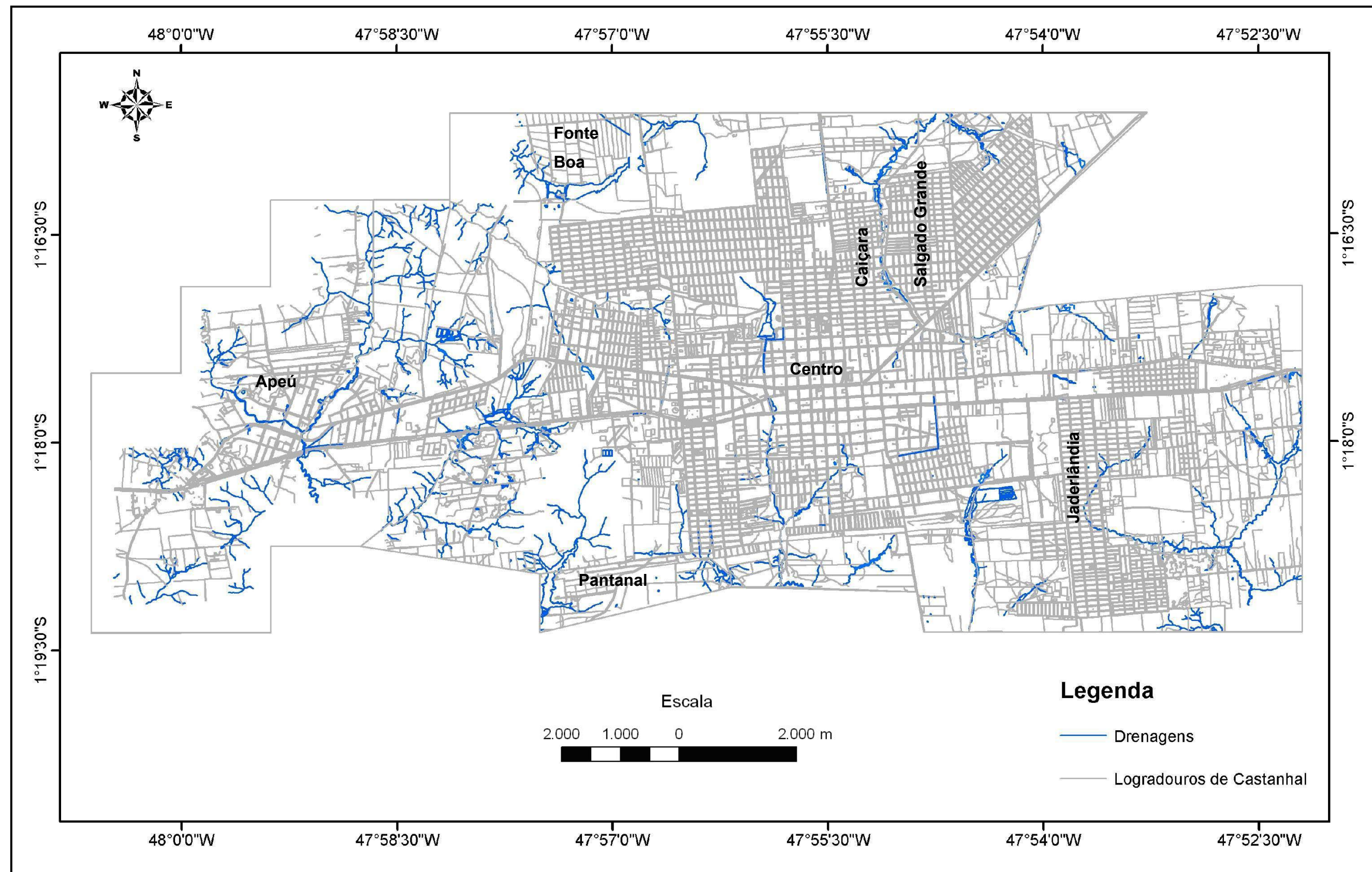


Figura 62 – Mapa hidrográfico da cidade de Castanhal.

Quanto à qualidade das águas superficiais, não foram coletadas amostras para análise, porém, foi observada grande degradação de rios e igarapés, com vários deles se constituindo em esgotos a céu aberto, o que inviabiliza o uso destas águas para o abastecimento público.

7.2 – HIDROGEOLOGIA LOCAL

Em Castanhal os aquíferos explorados pertencem ao Grupo Barreiras e a Formação Pirabas. O Grupo Barreiras aflora em cerca de 90% da cidade de Castanhal, mas abastece somente 15 a 20% da cidade. A Formação Pirabas não aflora nesta área e abastece a maior parte da cidade, sendo utilizada para abastecimento público, por poços com filtros desde 102 m até 190 m de profundidade.

7.2.1 — Balanço Hídrico

O balanço hídrico aqui apresentado foi feito por Lima *et al.* (1994) com dados coletados entre 1975 e 1987, devido à falta de medidas de infiltração, deflúvio e evapotranspiração, o que impossibilita efetuar novo cálculo de balanço hídrico. Porém de acordo com o meteorologista C.B. Mollion (informação verbal, 2005), este pode ser utilizado, pois não há variação perceptível neste intervalo de tempo.

Assim sendo, foram feitos o QUADRO 5 e a Figura 63, para mostrar que no período de janeiro a julho a precipitação foi maior que a evapotranspiração potencial, havendo assim excesso de água, chegando a escoar pela superfície. No período de agosto a novembro a precipitação é menor que a evapotranspiração potencial, ocorrendo retirada de água do solo e havendo também o período de deficiência em outubro e novembro.

7.2.2 – Sistemas hidrogeológicos

O Sistema Hidrogeológico Barreiras (Matta, 2002) é caracterizado por arenitos brancos, acinzentados e amarelo-ferruginosos, com granulação variando de muito fino a muito grosso,

QUADRO 5 – Balanço hídrico de Castanhal

Meses	T°C Méd	ETP Diária	Fator de corr.	ETP Mensal	Precip. P (mm)	P-ETP	Neg Acum	Annaz.	Ater	ETR	DEF	Exced.
Janeiro	25,1	3,7	31,2	115	300	185	0	100	0	115	0	185
Fevereiro	25,6	4,0	28,2	113	331	218	0	100	0	113	0	218
Março	25,6	4,0	31,2	125	445	320	0	100	0	125	0	320
Abril	26,0	4,3	30,3	130	383	253	0	100	0	130	0	253
Maior	26,1	4,3	31,2	134	285	151	0	100	0	134	0	151
Junho	26,0	4,3	30,3	130	185	54	0	100	0	130	0	54
Julho	25,8	4,2	31,2	131	152	21	0	100	0	131	0	21
Agosto	26,0	4,3	31,2	134	129	- 5	- 5	95	- 5	134	0	0
Setembro	26,2	4,4	30,3	133	110	- 23	- 28	75	- 21	130	3	0
Outubro	26,6	4,6	31,2	143	88	- 56	- 83	43	- 31	120	23	0
Novembro	26,8	4,8	30,3	145	63	- 82	- 165	18	- 24	88	57	0
Dezembro	26,7	4,8	31,2	150	179	29	0	100	81	150	0	- 53
ToMéd/Ano	26,0	-	-	1.583	2.649	1.066	-	-	0	1.500	83	1.149

Fonte: Lima, Quaresma e Nóbrega (1994).

LEGENDA

P = Precipitação

ETP = Evapotranspiração Potencial

ETR = Evapotranspiração Real

EXC = Excedente

DEF = Deficiência

AFERIÇÕES:

$\Sigma P = \Sigma ETP + \Sigma (P-ETP)$

$\Sigma ALT = 0$

$\Sigma EPP = \Sigma ETR + \Sigma DEF$

$\Sigma P = \Sigma ETR + \Sigma EXC$

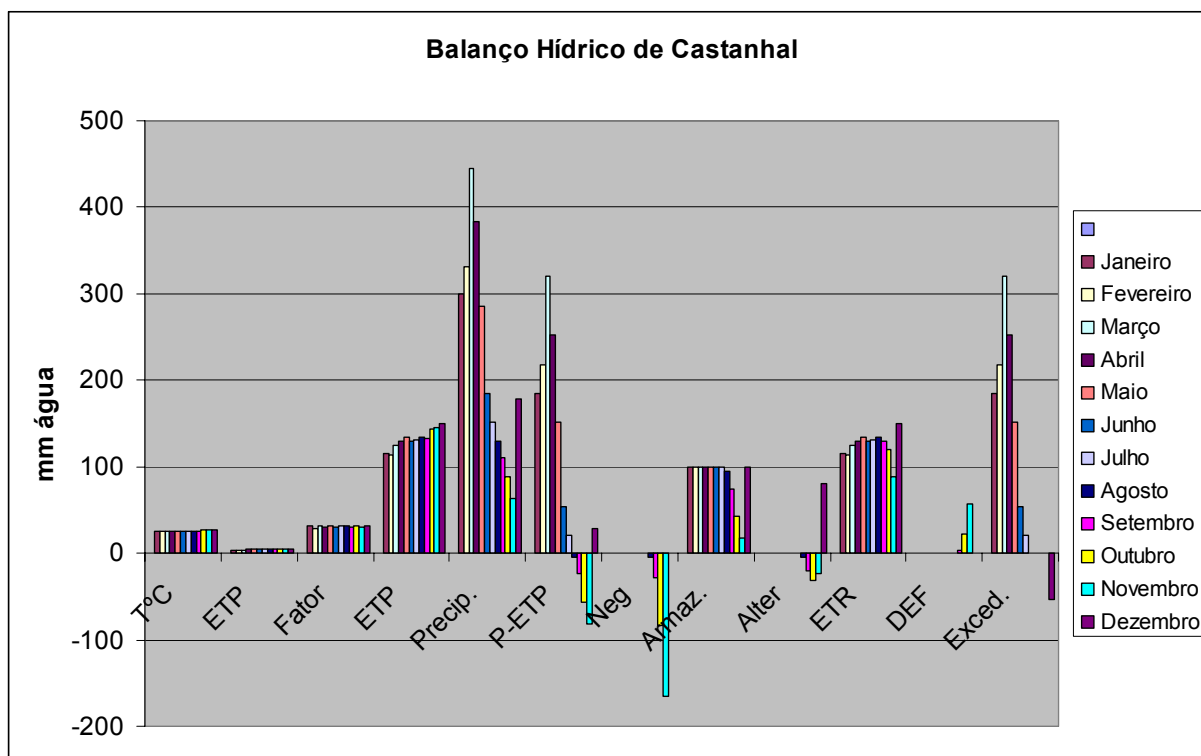


Figura 63 – Balanço hídrico de Castanhal, concebido a partir dos dados de Lima, Quaresma e Nóbrega (1994).

com grãos subarredondado a arredondado, mal selecionados a regulares, com boa porosidade; argilitos cinza médio a esbranquiçado, com lentes de siltito avermelhado; siltito cinza esbranquiçado, com lentes arenosas, gradando para arenito fino; conglomerado com seixos de tamanhos variados, arredondados, mal selecionados, com ótima porosidade.

A vazão máxima apresentada por poços completados neste sistema, utilizado para abastecimento público, situa-se entre 100 e 110 m³/h.

O Sistema Hidrogeológico Pirabas (Matta, 2002) é constituído por formações carbonatadas: calcários, margas e calcarenitos, que ocorrem em Castanhal a partir de 60-70 m de profundidade. É constituído predominantemente por calcarenito creme a esbranquiçado, fossilífero; folhelho cinza esverdeado, laminado, com lentes micromicáceas; dolomito cinza escuro, na porção basal.

Os poços para abastecimento público em Castanhal, completados neste sistema apresentam a vazão máxima variável entre 80 m³/h e 153 m³/h.

7.2.3 – Dados de poços

Na Figura 64 tem-se o mapa de distribuição dos poços de Castanhal que utilizam para abastecimento público água do sistema Pirabas (poços 1, 2, 3, 6 e 7), do sistema Barreiras (poço 4) e de sistema misto Barreiras / Pirabas (poço 5), além dos poços 8, 9, 10 e 11, de particulares, que se abastecem do lençol freático e do sistema Barreiras.

Os poços 1, 2 e 3 estão no bairro Jaderlândia, seus perfis litológicos são semelhantes, apresentando contato Barreiras / Pirabas a 77 m (poços 1 e 3) e 75 m (poço 2). Obteve-se a informação de que durante a construção dos poços 2 e 3 houve perda de fluido. No poço 2 a perda ocorreu a 66 m de profundidade (Engenheiro F.Centeno Jr., informação verbal, 2003), sendo tamponado após várias tentativas de estabilizar o problema. À cerca de 20 m de distância foi feito um segundo poço, que também apresentou perda de fluido, desta vez entre 75 m e 78 m e entre 103 m e 105 m de profundidade, porém foi possível concluir a obra. O poço 3 também teve perda de fluido, que ocorreu entre 77 m e 81 m de profundidade, mas também foi possível concluir sua construção.

Os poços 4 e 5 estão no bairro Milagres, seus contatos Barreiras / Pirabas estão a 111 m e 100 m, respectivamente e não apresentaram problemas em seus processos construtivos. Seus filtros estão posicionados entre 67 e 110 m no poço 4 e entre 78 e 120 m no poço 5, captando, assim, água dos sistemas Barreiras e Pirabas.

O poço 6 está no bairro Imperador e o poço 7 no bairro Salgado Grande. Seus contatos Barreiras / Pirabas estão a 109 m e 108 m, respectivamente. Nos demais poços não se obteve informação a este respeito, por se tratar de poços particulares, tendo sido registrados apenas o nível estático e a profundidade do poço.

A descrição detalhada dos poços para abastecimento público na Cidade de Castanhal, é encontrada nas fichas de poço no ANEXO IX, onde se tem o perfil construtivo do poço com a localização dos filtros, o perfil litológico e as descrições das amostras de calhas.

O QUADRO 6 contém um resumo das características principais dos sete poços da COSANPA. Nele se observa que o rendimento dos poços, a capacidade específica e a vazão são bastante variáveis no bairro Jaderlândia, apesar da proximidade dos três poços e de terem sido completados no mesmo sistema (Pirabas), assim como os poços do Imperador e Salgado Grande, o que ratifica o alto grau de anisotropia característico de sistemas cársticos.

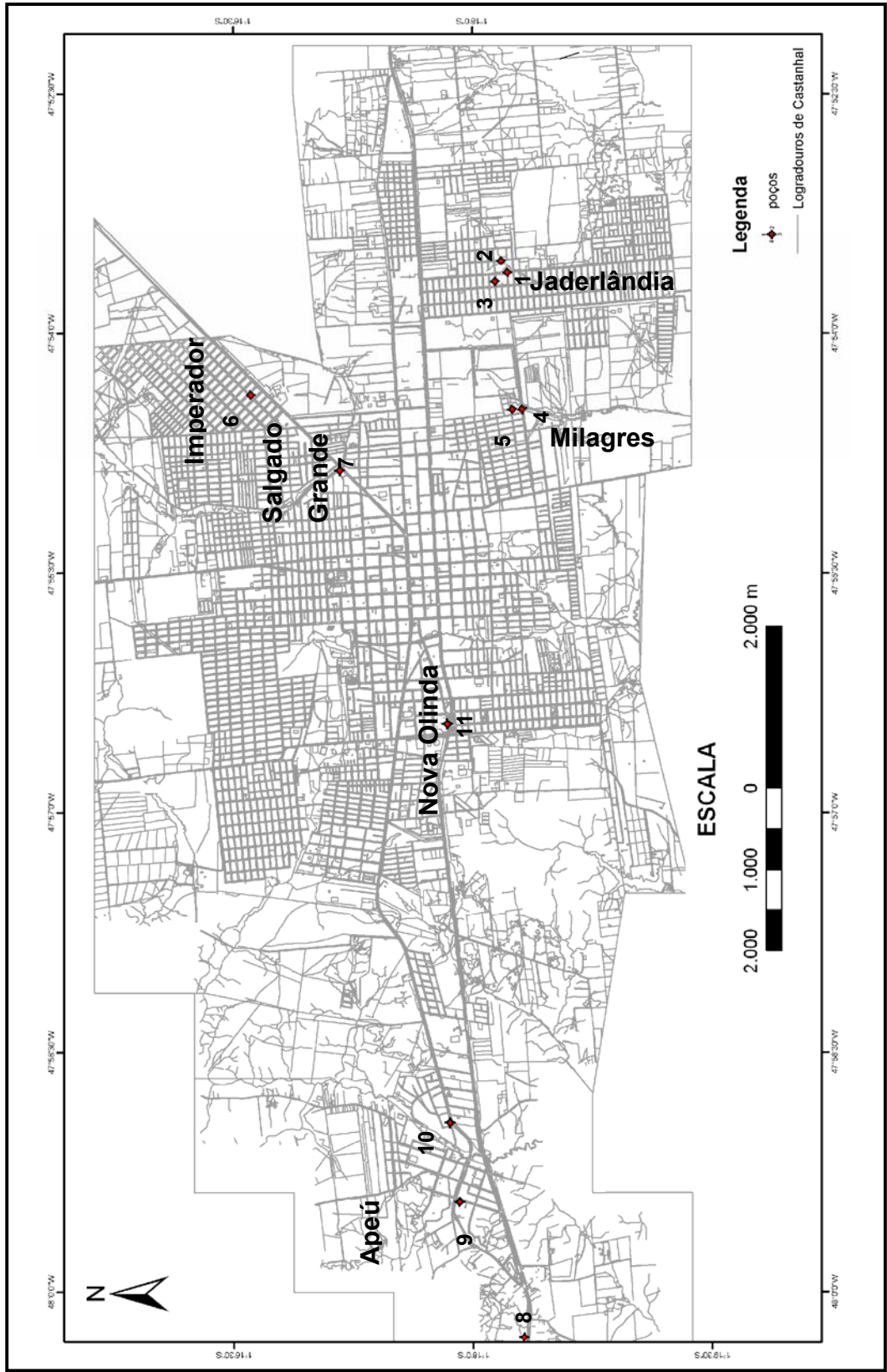


Figura 64 – Distribuição dos poços utilizados para abastecimento público e particular em Castanhal-Pará

Os poços do bairro Milagres foram completados no sistema Barreiras e têm capacidade específica semelhante, porém vazões distintas.

Note-se, também, que as vazões nos poços do sistema Pirabas são maiores que as dos poços do sistema Barreiras e que há uma diferença de mais de 11 m entre os níveis estáticos dos poços J2 e I6, ambos pertencentes ao sistema Pirabas, devido à características anisotrópicas dos sistemas cársticos.

QUADRO 6 – Características dos poços da COSANPA em Castanhal

Poço	Prof. (m)	N.E. (m)	N.D. (m)	S _w (m)	Cap. Esp. (m ³ /h/m)	Q (m ³ /h)	Q _{máx.} (m ³ /h)
J 1	180	21,87	51,47	29,60	3,412	101	102
J 2	148,7	21,40	43,56	22,16	4,661	103	150
J 3	187,66	24,67	38,77	14,10	10,070	142	153
M 4	110,37	14,40	52,00	37,60	2,925	110	110
M 5	120,20	17,80	52,86	35,06	2,330	81	100
I 6	191,16	33,50	54,50	21,00	5,570	54	80
SG 7	193,59	28,80	48,00	19,20	4,760	91	150

LEGENDA:

Prof = profundidade

N.E. = nível estático

N.D. = nível dinâmico

S_w = rebaixamento

Cap. Esp.= capacidade específica

Q = vazão

Q_{máx} = vazão máxima

J = Jaderlândia (Pirabas)

M = Milagres (4: Barreiras e 5: misto)

I = Imperador (Pirabas)

SG = Salgado Grande (Pirabas)

7.2.4 – Análise geométrica dos sistemas aquíferos

A partir dos dados dos poços acima, foram feitos os mapas de profundidade da água e de carga hidráulica, com a finalidade de entender o fluxo hídrico subterrâneo, para delinear a geometria dos sistemas hidrogeológicos, identificando as áreas de recarga e de descarga, para

averiguar as áreas com maior vulnerabilidade à contaminação e poluição, bem como identificar os padrões estruturais geométricos na cidade de Castanhal.

O mapa de profundidade da água (Figura 65) apresenta o nível estático mais raso a 2 m da superfície, na área de recarga no bairro Nova Olinda, ao norte do poço 11 e o mais profundo a 32 m, no extremo nordeste da cidade, em direção ao rio Caranã, uma área de descarga que segue para o nordeste e ao igarapé Pitimandeuá, para o sudeste, ambos com fluxo para fora da cidade.

Na Figura 66 tem-se as isolinhas de carga hidráulica mostrando um decréscimo de 30 m para 20 m nas proximidades dos poços 4 e 5, no bairro Milagres e do poço 7 no bairro Salgado Grande, com afunilamento para os poços 4 e 5.

O mapa de carga hidráulica e fluxo subterrâneo (Figura 67) indica duas áreas de recarga: uma próxima ao poço 8 nos arredores da Vila de Apeú, a partir de 32 m, e outra ao norte do poço 11, no bairro Nova Olinda, a partir de 36 m. Há, também, quatro áreas de descarga: uma ao norte e outra ao sul dos poços 9 e 10 na Vila de Apeú, na curva de 28 m, outra descendo para o rio Apeú, e a outra próxima aos poços 4 e 5, no bairro Milagres a 20 m.

Sobrepondo estas informações ao mapa de drenagem da cidade (Figura 68), obtém-se que o rio Apeú é efluente, ou seja, é alimentado por água subterrânea, assim como os igarapés do Moura, Castanhal e do Quatro, além de seus tributários, não ocorrendo na cidade rios influentes, isto é, rios que alimentam o fluxo subterrâneo. O adensamento e afunilamento das curvas de carga hidráulica coincidem com o igarapé do Quatro, próximo aos poços 4 e 5 no Bairro Milagres (Figura 69), porém o fluxo hidráulico neste ponto é divergente.

Observa-se de um modo geral, que a direção do fluxo subterrâneo é leste-oeste, sendo norte-sul apenas na zona de recarga próxima ao rio Apeú, provavelmente devido a este rio ter direção principal norte-sul, subordinado à estruturação tectônica da área. Porém, ao sul dos dois poços no bairro Milagres, o fluxo é redirecionado indicando uma barreira hidráulica, que impede a passagem da água na direção leste-oeste. O perfil litológico nos poços do bairro Jaderlândia mostra que existem camadas de argilito, impermeabilizantes, que devido à falhas se posicionam na mesma profundidade onde se encontram os filtros dos poços do bairro Milagres, o que ocasiona a barreira hidráulica observada no mapa de carga hidráulica e fluxo (Figura 67).

A forte estruturação tectônica na área coordena não só o fluxo de água superficial, como também o subterrâneo, servindo de condutor hidráulico entre estes, exceto no caso da impermeabilização natural por argilitos, como no caso supracitado.

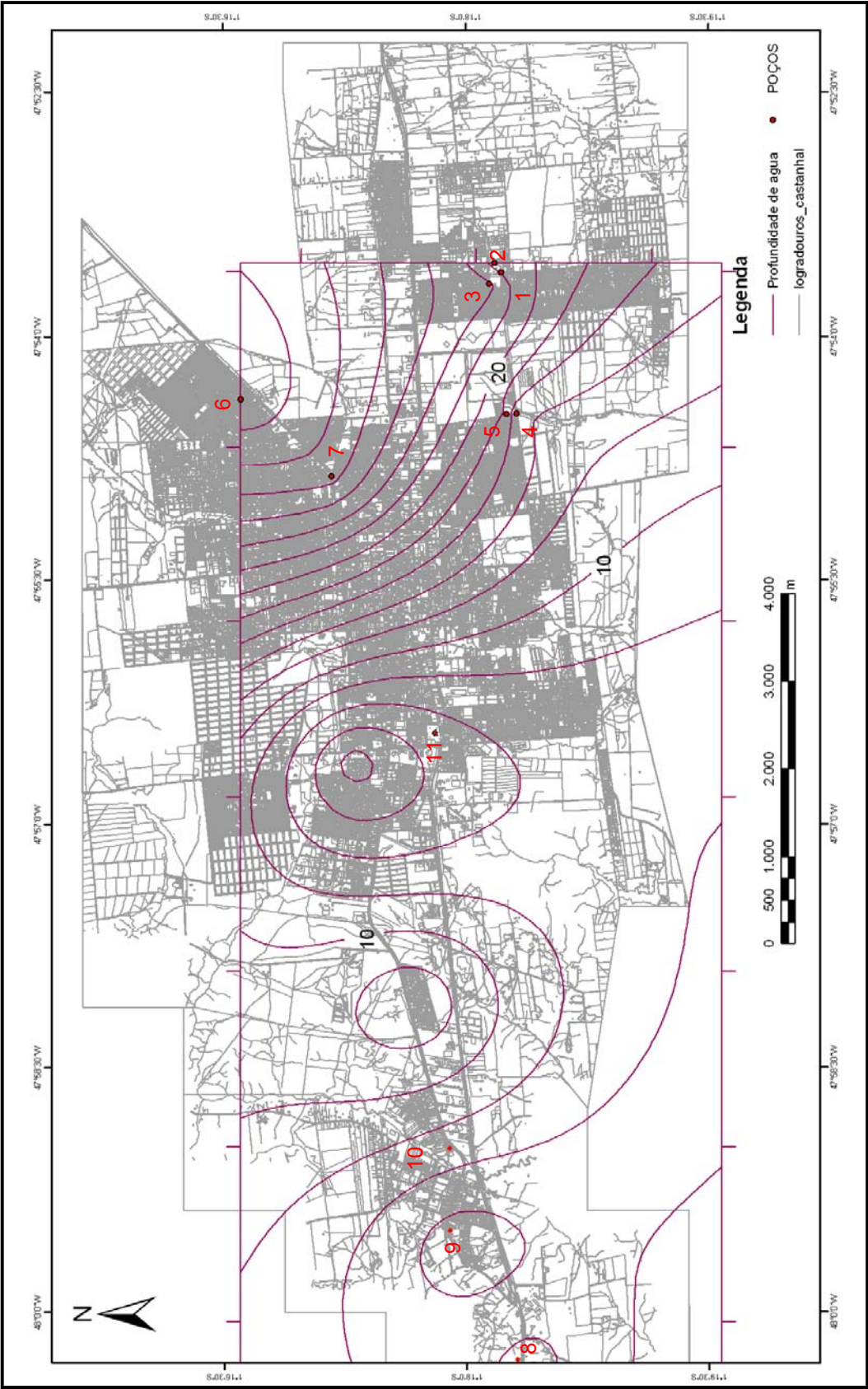


Figura 65 – Mapa de profundidade de água na cidade de Castanhal, mostrando as linhas equipotenciais do nível estático.

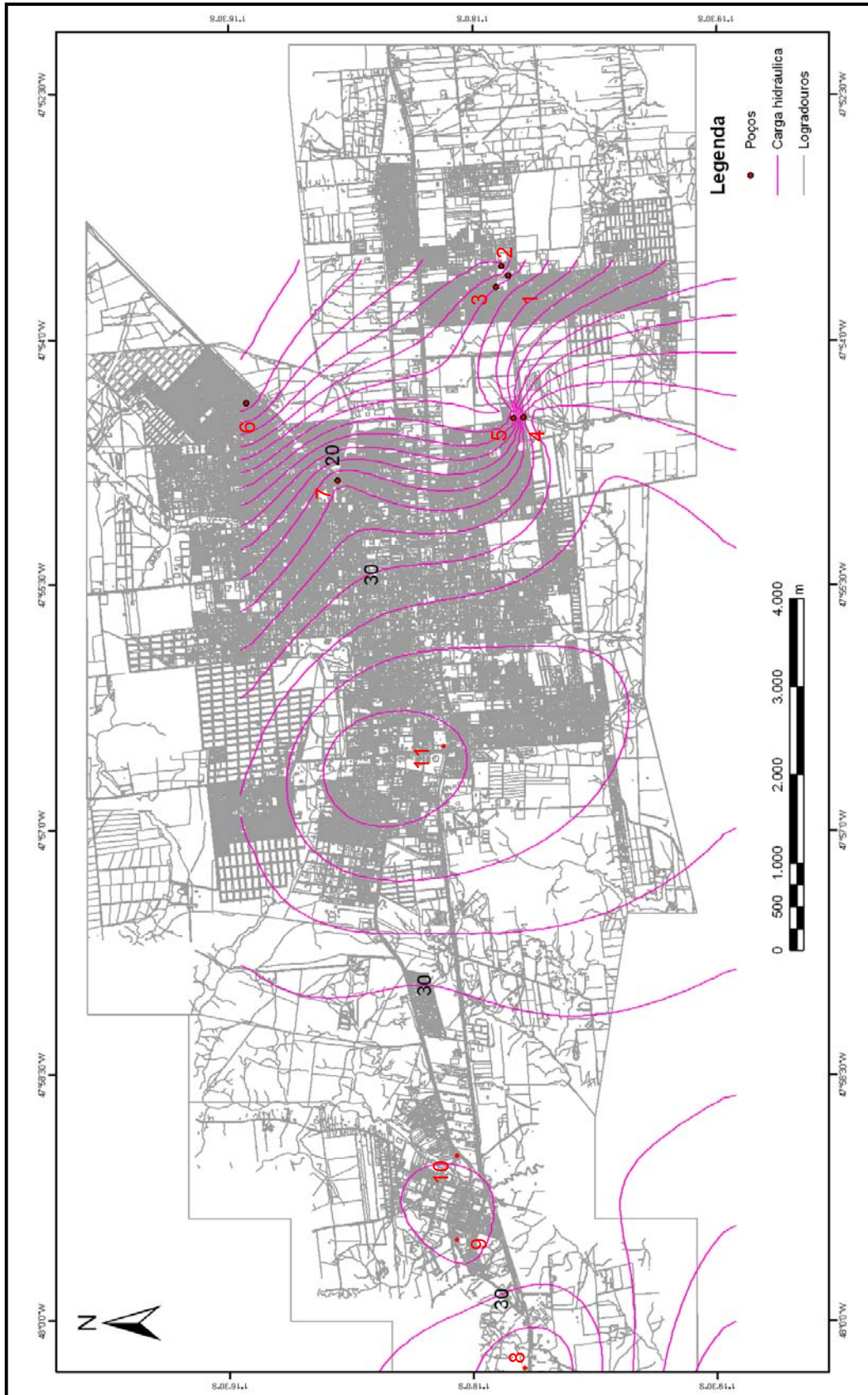


Figura 66 – Mapa de carga hidráulica na cidade de Castanhal mostrando as linhas equipotenciais de carga hidráulica.

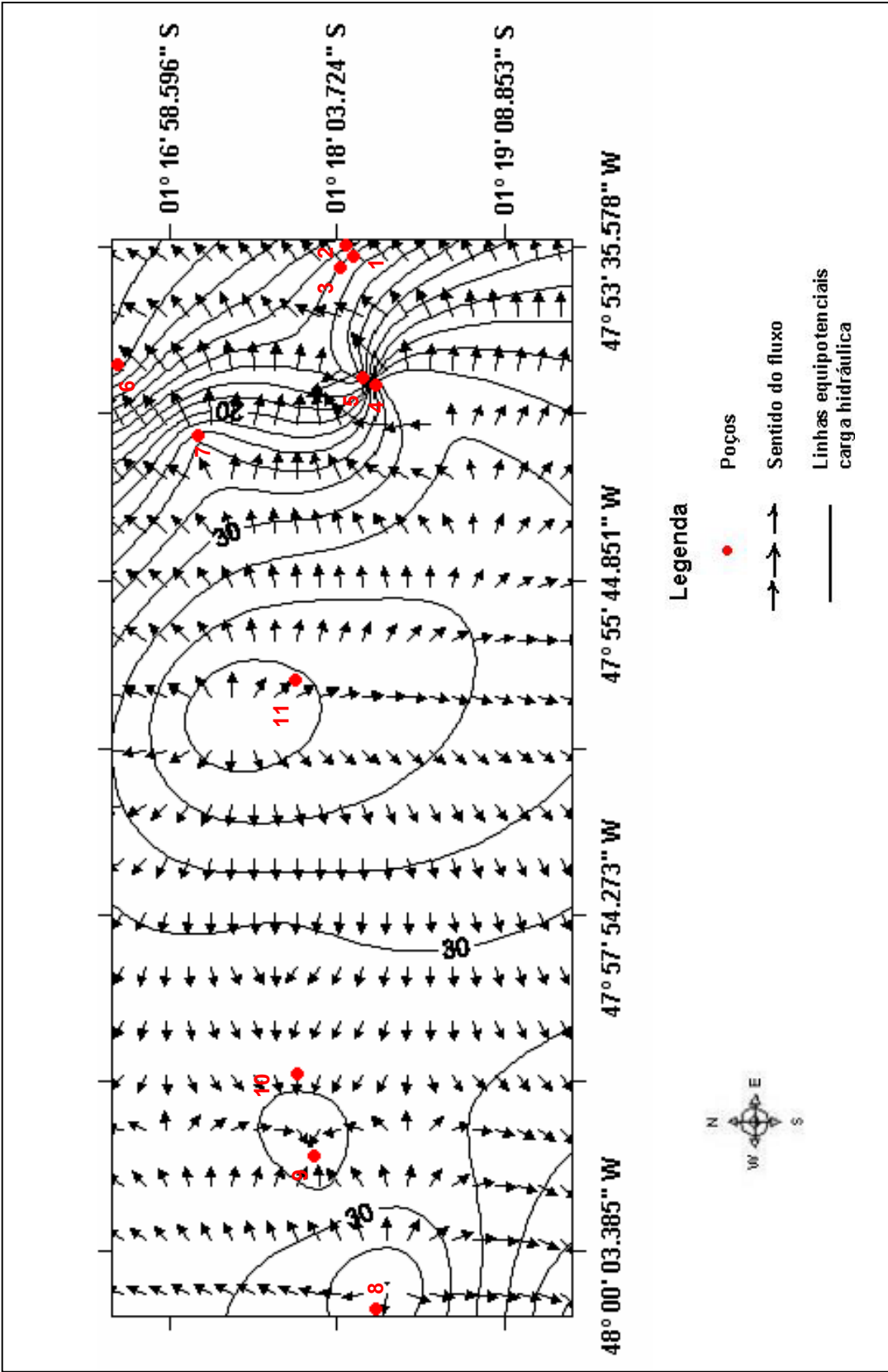


Figura 67 – Mapa de carga hidráulica e fluxo subterrâneo com os poços estudados.

7.2.5 – Hidroquímica

A COSANPA fez análises químicas da água dos poços 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7 em seu laboratório (ANEXO X), utilizando a Portaria nº 36 de 19/01/1990 do Ministério da Saúde.

A partir destes dados foi feita uma avaliação hidroquímica destes poços para saber se está ocorrendo a dissolução de rochas carbonáticas no sistema hidrogeológico Pirabas.

No QUADRO 7 se observa que os teores de CaCO_3 são mais elevados nos poços que se abastecem do sistema Pirabas, indicando a dissolução do calcário que constitui esta formação geológica. Outra constatação é que os poços do bairro Jaderlândia apresentaram teores de cor, turbidez e ferro total acima dos padrões de potabilidade estabelecidos pelo Ministério da Saúde.

Posteriormente foram feitas novas coletas para análises e apenas os teores de ferro total continuavam altos. Para solucionar este problema a COSANPA instalou sistemas de aeração por bandejamento (Figura 70).

Estes dados indicam que há mistura de águas do Barreiras nos poços que exploram água do Pirabas, haja vista as altas taxas de ferro total, característica do sistema Barreiras, encontradas nos poços do bairro Jaderlândia, cujos filtros estão apenas no sistema Pirabas (ANEXO IX).

Trabalhos anteriores sobre hidroquímica e hidrogeoquímica, no nordeste do Pará (Sauma Filho, 1996; Souza, 1996; Costa, 2004; Barros, 2004), mostram que há influência de águas meteóricas nas águas no sistema Pirabas, e que este está sujeito a variações sazonais.

Pela correlação destes dados com os obtidos neste trabalho, observa-se que os sistemas hidrogeológicos Barreiras e Pirabas estão interligados, o que vulnerabiliza o sistema Pirabas à contaminação, apesar de sua ocorrência em profundidade.

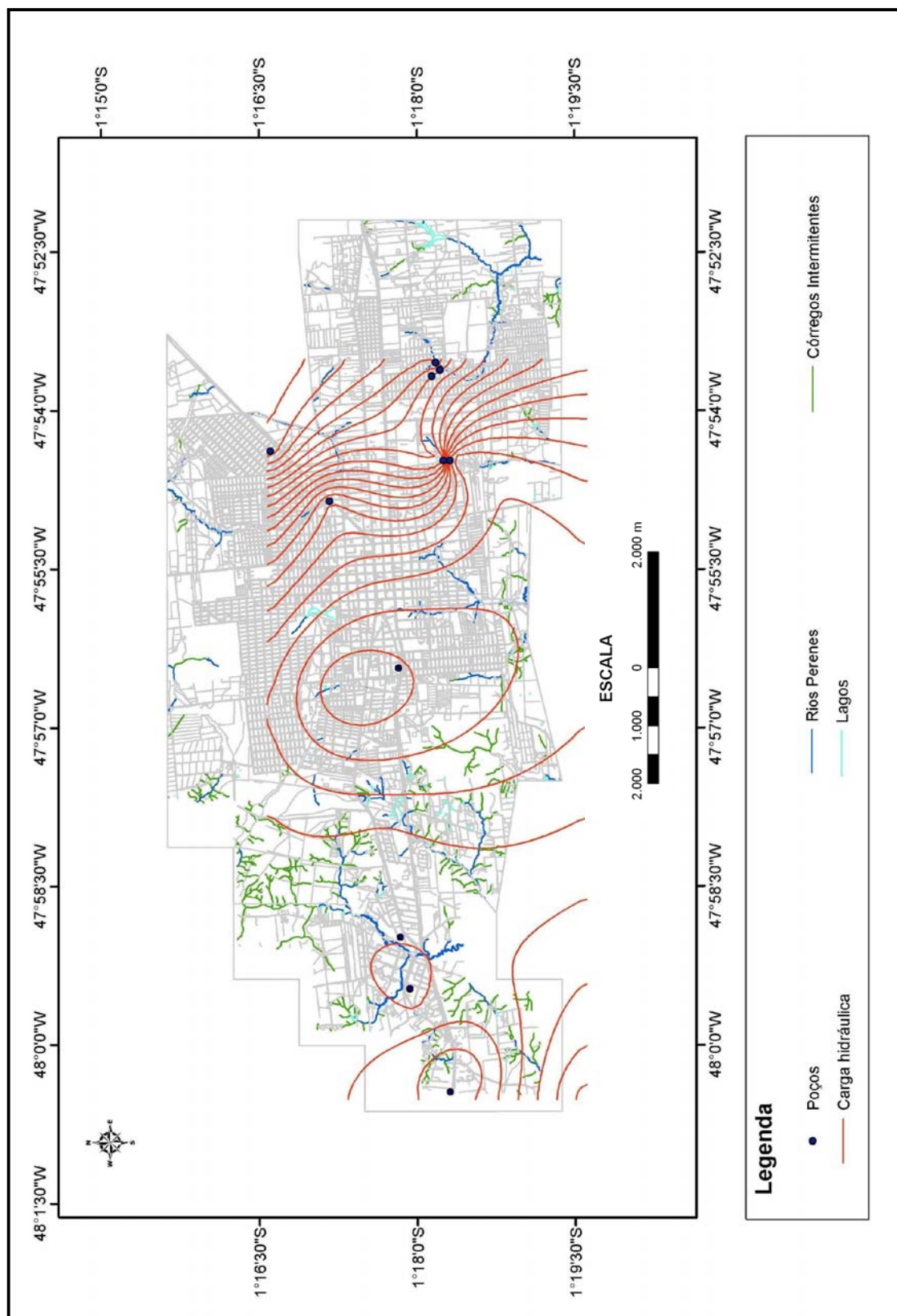


Figura 68 – Mapa de carga hidráulica com os poços estudados sobre a drenagem na cidade de Castanhal.



Figura 69 – Frente da área de captação da COSANPA no bairro Milagres, situada na Avenida José Bertino da Silva, com o igarapé do Quatro em segundo plano. Note-se ao fundo tubulões de concreto para futuro saneamento do referido igarapé (julho/2007).



Figura 70 – Sistema de aeração no bairro Jaderlândia (julho/2007).

Quadro 7 – Parâmetros físico-químicos da água dos poços da COSANPA em Castanhal.

Poço	pH	Cor	SiO ₂ (mg/L)	N (mg/L)	Nitratos (mg/L)	Nitritos (mg/L)	Cl (mg/L)	CaCO ₃ (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Fe total (mg/L)	O ₂ (mg/L)
J 1	6,4	45,0	26,0	0,06	< 0,02	< 0,001	5,5	79,0	22,0	5,0	0,9	0,7
J 2	7,2	50,0	30,0	0,07	< 0,02	< 0,001	7,0	170,0	58,0	6,0	0,5	0,7
J 3	7,2	10,0	5,08	0,1	0,03	< 0,001	7,0	205,0	59,6	9,3	0,5	0,9
M 4	5,9	8,0	6,0	0,05	0,08	< 0,001	8,0	26,0	7,6	1,6	< 0,2	0,6
M 5	6,5	< 5,0	2,1	< 0,05	< 0,02	< 0,001	9,0	50,0	14,5	2,2	0,2	1,0
I 6	7,4	----	4,7	----	----	----	9,0	240,0	----	----	0,5	----
SG 7	7,4	12,0	4,04	< 0,06	< 0,02	< 0,001	9,0	214,0	----	----	0,4	1,0

Para estabelecer os padrões de potabilidade da água para consumo humano a COSANPA utilizou a Portaria nº. 36 de 19/01/90 do Ministério da Saúde. As análises de água dos cinco primeiros poços foram feitas, respectivamente, em 1997, 1997, 2000, 1997, 1998. Para os poços do bairro Imperador e Salgado Grande foi utilizada a Portaria nº. 1469 de 29/12/2000 do Ministério da Saúde. As análises da água desses poços foram feitas em 2002.

8 – OCUPAÇÃO DO MEIO FÍSICO E SUAS IMPLICAÇÕES AMBIENTAIS

A cidade de Castanhal pertence à Região Bragantina, área do Estado mais representativa em termos populacionais e infra-estruturais. Tem uma área de 1.003 km² a qual comporta dois distritos: Castanhal e Apeú.

Sua privilegiada posição no entroncamento da rodovia federal BR-316 com as rodovias estaduais PA-320 e PA-136 facilitou sua ligação às demais microrregiões do Pará e de outros estados também. O fortalecimento do município como pólo regional e centro prestador de serviços ocasionou um aumento populacional que trouxe muitos problemas, à sua sede e vizinhanças, tais como a forte pressão sobre os equipamentos sociais e seus serviços, e o crescimento desordenado da cidade com o surgimento de grande número de habitações em situações físicas inadequadas e sem saneamento básico.

8.1 – SOCIOECONOMIA

A caracterização socioambiental de Castanhal foi feita durante várias etapas de campo, através de observação direta, informação de populares e dados de órgãos públicos. De um modo geral, o atendimento dos serviços e equipamentos de infra-estrutura é deficiente, com destaque aos referentes ao saneamento ambiental, tais como abastecimento de água, esgoto sanitário, drenagem de águas pluviais, limpeza urbana e arborização. O serviço de abastecimento de água é o mais precário dos serviços urbanos, com insuficiência em qualquer ponto da cidade, seguido do serviço de esgotos sanitários.

Segundo UNAMA (2001), há ocupação de novas áreas urbanas em um baixo padrão habitacional, de acordo com o Índice de Qualidade de Vida, que é 0,2068; renda de 0,2805; habitação com 0,1817; saneamento de 0,3121 e educação de 0,1264, em uma escala de 0 a 1, segundo o Índice de Desenvolvimento Humano – IDH, concebido pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento – PNUD. Este índice é composto por três aspectos fundamentais: longevidade, educação e padrão de consumo.

Verifica-se que os índices setoriais de habitação são os que causam maior impacto negativo, sendo observado que o maior nível de qualidade de vida está localizado nos setores de

comércio e serviços ou em áreas adjacentes, a partir das quais os índices decrescem progressivamente em direção aos limites territoriais urbanos. Quanto à distribuição espacial, ocorre uma densidade muito baixa no núcleo principal e em áreas adjacentes, com aumento nos setores entre o centro e a periferia e volta a baixar nas áreas periféricas.

Recentemente foi criado o PAC que dentre outros, tem o objetivo de integrar ações de infra-estrutura social e regularização fundiária em municípios com população acima de 150.000 habitantes. Castanhal foi um dos municípios contemplados com o PAC e este programa prevê obras de saneamento e urbanização, sendo o bairro Jaderlândia escolhido para beneficiamentos por ser a maior área de invasão do nordeste do Pará. Serão construídas 3.200 habitações populares, com sistemas de esgotos e abastecimento de água, para a melhoria da qualidade de vida de aproximadamente 12.000 moradores desta comunidade.

8.2 –CARACTERIZAÇÃO DO NÚCLEO URBANO

Na Figura 71 tem-se a ocupação do meio físico do ano de 1984 e de 2001, obtida de imagens do satélite Landsat, onde se observa o maior aumento da cidade na direção leste-oeste, certamente devido à rodovia BR-316 e secundariamente ao norte do núcleo central, provavelmente por corresponder às áreas de maior cota.

Castanhal possui um grande aumento populacional, passando de 100% entre 1980 e 2006 (IBGE, 1980; 2006). Isso gera um processo de ocupação intensa e desordenada nessas áreas. Porém, foram feitos loteamentos no quadrante norte da cidade, ao longo da rodovia PA-136, e nordeste ao longo da PA-320, se constituindo em uma boa opção para a expansão de residências de melhor padrão, por isso mesmo fora do alcance das famílias de baixa renda.

Nos bairros de periferia é comum encontrar lixo jogado em igarapés (Figura 72), assim como também é costume queimar o lixo, ou simplesmente jogá-lo em terrenos baldios (Figura 73).

8.3 – MEIO AMBIENTE

Foi observada durante as etapas de campo a direta ligação entre problemas ambientais e baixos índices socioeconômicos. Apesar da deficiência de saneamento básico por toda a cidade, de um modo geral, as áreas mais urbanizadas estão nos bairros centrais e correspondem à área mais elevada topograficamente, por isso sem grandes problemas ambientais.

Conforme mostrado anteriormente, existem na cidade de Castanhal áreas sujeitas à alagamentos, à desmoronamentos e ainda uma área com risco de colapso por afundamento. Estas áreas geralmente não são urbanizadas e são habitadas por famílias de baixo poder aquisitivo, em condições precárias e em situação de risco ambiental. Trata-se dos bairros ao sul da BR-316, cujas cotas são baixas, próximas ou nas próprias planícies aluvionares, com desníveis entre 10 e 20 m: Saudade II, Caicó e Cariri, sujeitos a desmoronamentos e/ou inundações. Os bairros Jaderlândia e Bom Jesus não têm estes desníveis, mas apresentam risco de colapso, indicado pela situação hidrogeológica da área onde se encontram.

Atualmente a COSANPA conta com um sistema de poços no bairro Jaderlândia para abastecer este bairro e o bairro Bom Jesus. Porém a preocupação aumenta com o crescimento da população nestes bairros, pois o risco de colapso é diretamente proporcional ao número de habitantes, devido às necessidades de infra-estrutura e abastecimento de água.

Segundo Pará (2007) o bairro Jaderlândia é a maior invasão da região nordeste do Pará, por isso já existe um projeto que será financiado pelo PAC, com obras de saneamento e urbanização, e previsão de construir 3.200 casas populares neste bairro, através da COHAB. O objetivo do governo é integrar ações de infra-estrutura social e regularização fundiária.

Durante a execução deste trabalho, também foram encontradas outras situações que despertam grande preocupação ambiental: no bairro Jaderlândia, atrás da área de captação da COSANPA tem-se um igarapé que com o contínuo processo de eutrofização hoje está quase totalmente encoberto por vegetação aquática (Figura 74). Na seqüência de fotografias se vê uma pequena porção deste igarapé na qual ainda se tem a água sem vegetação (Figura 75).

Neste mesmo igarapé tem-se o sistema de captação de água da COSANPA para o abastecimento dos bairros Jaderlândia e Bom Jesus (Figura 76). Tem-se ainda um sanitário precário, que se utiliza do sistema de fossa negra, ao lado da captação, no referido igarapé (Figura 77).

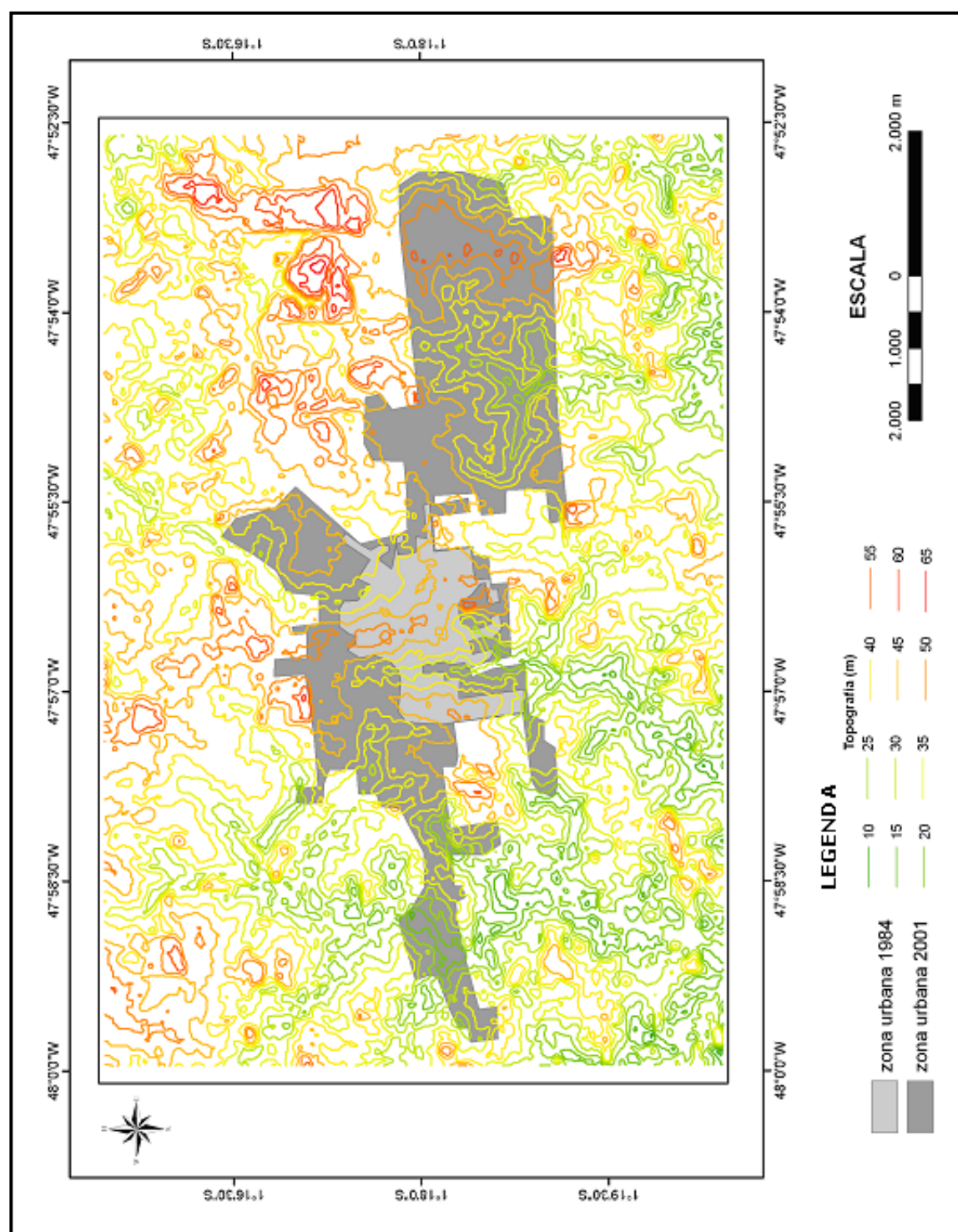


Figura 71 – Evolução urbana de Castanhal entre 1984 e 2001.



Figura 72 – Aspecto de um igarapé com lixo (Bairro Milagres, julho/2007).



Figura 73 – Lixo jogado por moradores , às vezes queimado, em terrenos baldios (Bairro Bom Jesus, julho/2007).

Também foi encontrada uma área sujeita a movimento de terra na porção sul da cidade, com desnível de cerca de 10 m, marcando o limite entre o relevo de colinas de topos aplainados e a planície aluvionar, onde se tem um pequeno córrego e casas em condições precárias (Figuras 78, 79 e 80).

No Distrito de Apeú foi encontrada uma extração de areia, com cerca de 500 m² de área e aproximadamente 30 m de profundidade (Figuras 81 e 82), com casas a sua volta e uma rua na beira do barranco. Todas estas informações encontram-se localizadas no mapa da Figura 83.



Figura 74 – Igarapé eutrofizado visto da ponte na Passagem Minondas, bairro Jaderlândia (julho/2007).



Figura 75 – Trecho do igarapé supracitado, na porção sem vegetação (julho/2007).



Figura 76 – Sistema de captação de água da COSANPA para abastecimento público (julho/2007).



Figura 77 – Sanitário precário ao lado do igarapé com o sistema de captação da COSANPA (julho/2007).



Figura 78– Vista do final da Passagem Cônego Luís Leitão no bairro Cariri, onde se vê um desnível de cerca de 10 m. Note-se o muro de arrimo à direita (julho/2007).



Figura 79 – Vista do lado esquerdo da Passagem Cônego Luís Leitão, à esquerda uma palafita (julho/2007).



Figura 80 – Vista da parte rebaixada da Passagem Cônego Luís Leitão, ao fundo um morro de topo aplainado (julho/2007).



Figura 81 – Vista da área de extração de areia no distrito de Apeú (julho/2007)



Figura 82 – Outra vista da área de extração de areia no distrito de Apeú (julho/2007).

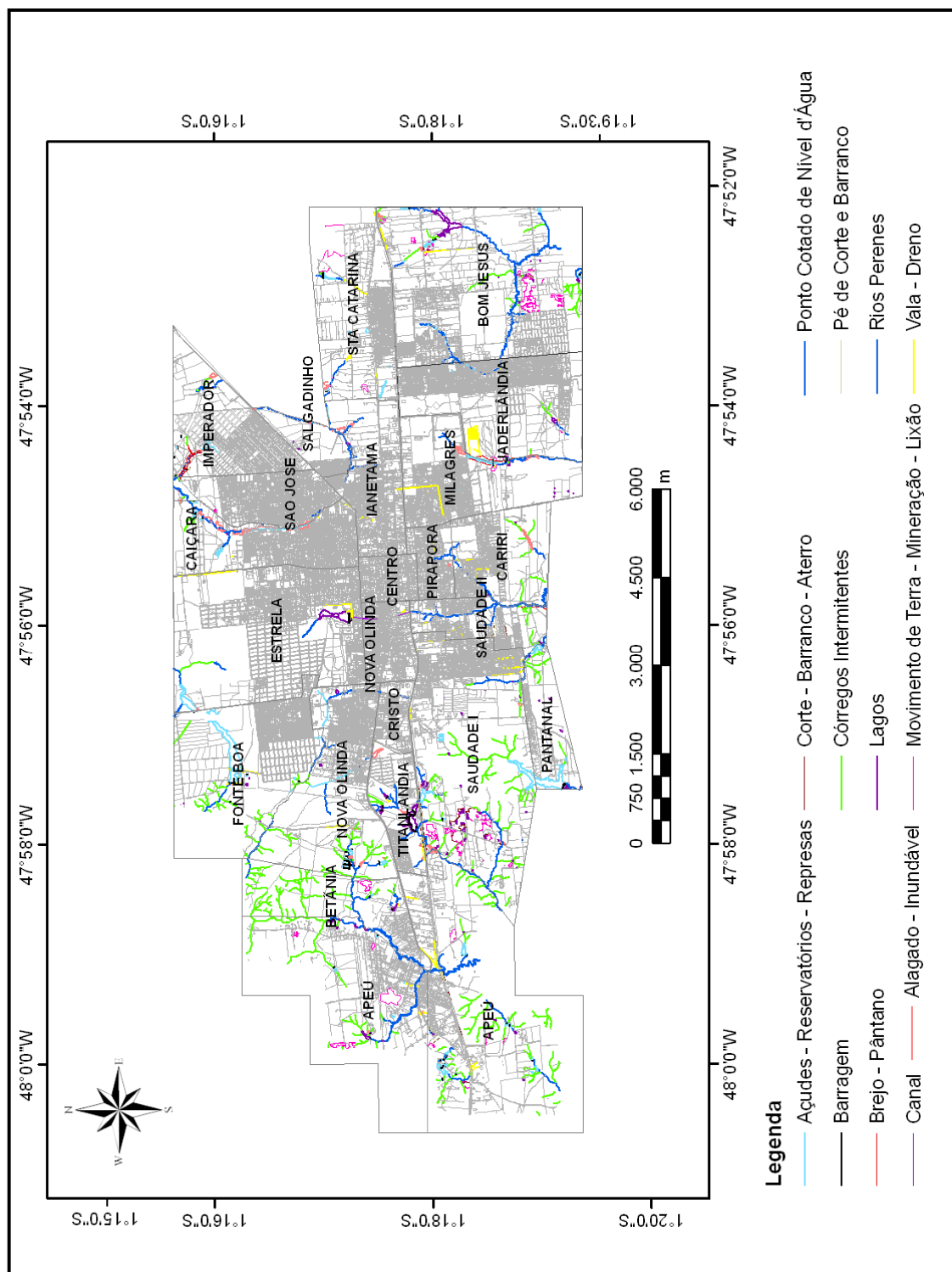


Figura 83 – Localização de problemas ambientais na cidade de Castanhal.

9 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como se viu nos capítulos anteriores, a cidade de Castanhal apresenta uma série de fatores que isoladamente não representam situação de risco ambiental, porém em conjunto criam situações de vulnerabilidade, aumentando seus riscos.

9.1 – ANÁLISE DO ARRANJO ESPACIAL DOS CORPOS GEOLÓGICOS

Castanhal está inserida em um contexto geológico no qual existem falhas em sistema transcorrente dextral, que também desenvolveram a alternância de blocos altos e baixos limitados principalmente pela direção N 30°-40° E e secundariamente N 20°-30° W, representadas pelos alinhamentos de drenagem e de relevo, indicações estas corroboradas pelos perfis litoestratigráficos (Figuras 43, 44, 45 e 46, págs. 94, 96, 97 e 98) que mostram desníveis de 20-30 m entre o contato Formação Pirabas e Grupo Barreiras, confirmados pelos levantamentos geofísicos por resistividade e gravimetria.

Pelos alinhamentos das anomalias das curvas de isovalores, obtidos no levantamento gravimétrico, tem-se a divisão da cidade de Castanhal em cinco partes. Nesta situação tem-se a anomalia positiva indicando a presença do embasamento cristalino, com pico de cerca de 3 mGal, caindo para 1,3 mGal e passando bruscamente para anomalia negativa de -2 mGal. Como fortes gradientes sugerem lineamentos, tem-se a indicação das falhas, que promovem a compartimentação em blocos tectônicos.

A posição destas anomalias na cidade (Figura 55, pág. 107) mostra nos bairros Bom Jesus e Jaderlândia alinhamentos de anomalias gravimétricas, devido às diferenças de densidade sugestivas de mudanças no substrato, de modo que rochas diferentes encontram-se dispostas lado a lado, o que é indicativo de falhas, corroborados pelos alinhamentos de drenagem.

O levantamento por resistividade na estrada que dá acesso à UFRA, mostrou valores de 3000 Ω .m a uma profundidade de 15 m. No bairro Pantanal mostrou valores próximo de 1000 Ω .m a uma profundidade de 3-4 m, indicativo da presença de rocha do embasamento a pouca profundidade e isto também é mostrado pela anomalia gravimétrica positiva que ocorre nas

proximidades da UFRA, a partir da Escola Agrotécnica, no bairro Cristo Redentor em direção ao distrito de Apeú.

Já nos bairros Jaderlândia e Bom Jesus, no outro extremo da cidade, se têm terrenos fracamente resistivos em superfície, com pequeno aumento em profundidade, e anomalias gravimétricas negativas que estão alinhadas na direção NNE, indicando em duas áreas construção de edifício cárstico, nas proximidades da área da COSANPA. Enquanto no intervalo entre estes dois extremos tem-se a anomalia gravimétrica positiva se neutralizando gradativamente e passando a negativa rapidamente, no sentido Apeú – Bom Jesus.

Nas figuras 84, 85, 86 e 87 se tem as seções (localização na Figura 42, pág. 93) que mostram a morfologia da área associada aos deslocamentos verificados na correlação dos poços, onde se observa que nas áreas de colinas de topos aplainados, com cotas de 65 a 50 m, se tem o contato Formação Pirabas e Grupo Barreiras a 100 m de profundidade, observado nos poços dos bairros Salgado Grande e Imperador, e a 120 m nos poços do bairro Milagres. Já onde ocorrem as colinas amplas, com cotas de 50 a 35 m, este contato se dá a 60-70 m de profundidade nos poços do bairro Jaderlândia.

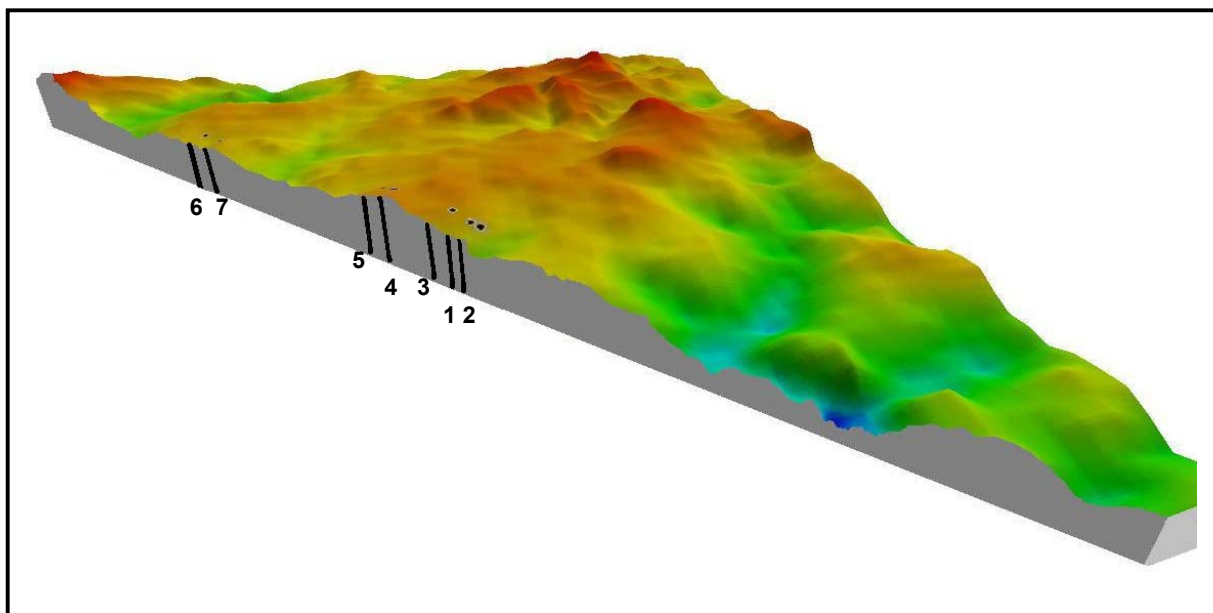


Figura 84 – Bloco diagrama concebido a partir da seção AB, mostrada na Figura 43. As linhas verticais com números representam a posição dos poços.

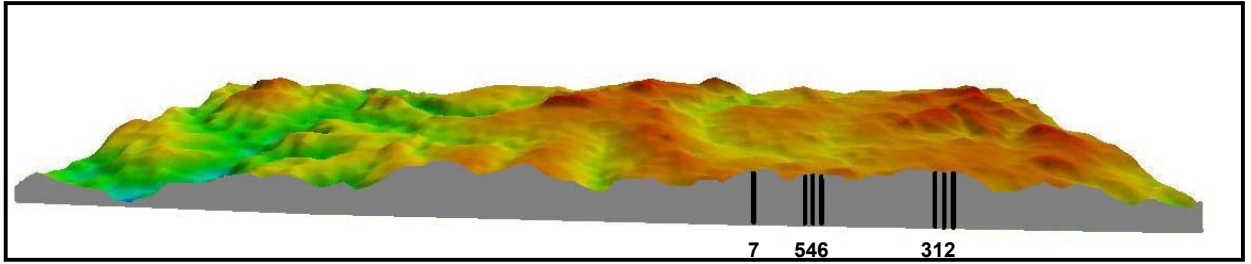


Figura 85 – Bloco diagrama concebido a partir da seção DC, mostrada na Figura 44.

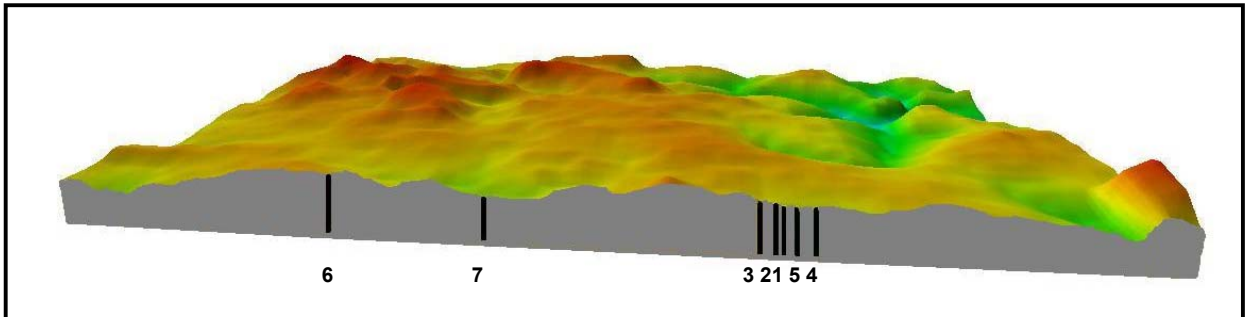


Figura 86 – Bloco diagrama concebido a partir da seção EF, mostrada na Figura 45.

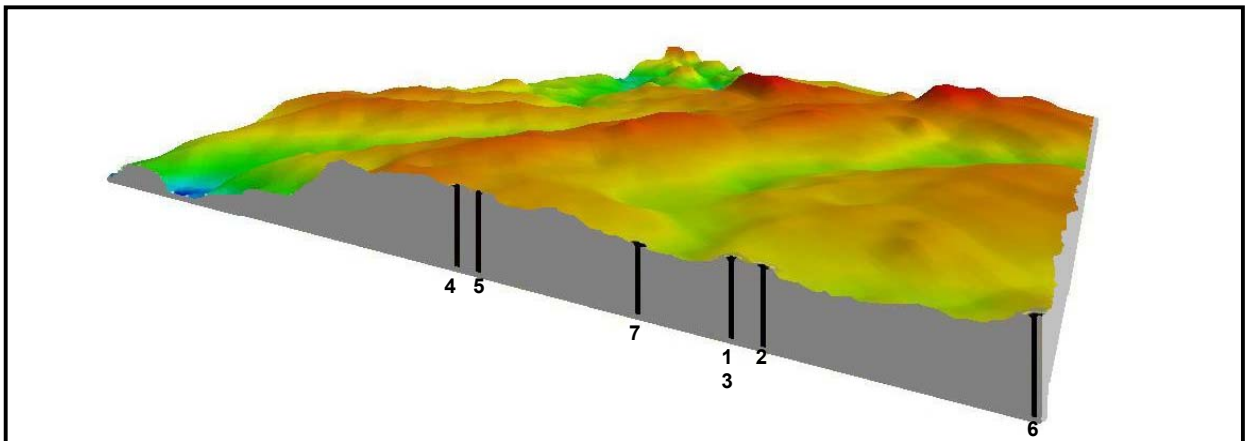


Figura 87 – Bloco diagrama concebido a partir da seção HG, mostrada na Figura 46.

Os poços 4 e 5 apresentam contato entre o Grupo Barreiras e a Formação Pirabas a aproximadamente 120 m de profundidade, por estarem em um bloco mais baixo. Note-se que ambos estão próximos a uma drenagem que apresenta direção NNE-SSW e separa este bloco do bloco dos poços 1, 2 e 3, que têm contato entre estas unidades em torno de 60 e 70 m de profundidade. Os poços 6 e 7, estão em outro bloco, por isso o contato entre o Grupo Barreiras e Formação Pirabas se dá à cerca de 100 m de profundidade.

Assim sendo, foi elaborado um bloco diagrama (Figura 88) para mostrar a compartimentação da cidade em blocos tectônicos, onde se observa a alternância de blocos baixos e altos, indicados pelos alinhamentos e assimetrias de drenagem, e landformes tectônicos primários, ratificados pelos perfis litológicos dos poços, pelos dados geofísicos e pelos parâmetros hidrogeológicos obtidos durante o trabalho.

A morfologia da área apresenta-se em situação inversa a da tectônica, ou seja, nas áreas de colinas de topos aplainados, com cotas de 65 a 50 m, se tem o contato Formação Pirabas e Grupo Barreiras a 100 m de profundidade nos poços dos bairros Salgado Grande e Imperador e 120 m nos poços do bairro Milagres. Já onde ocorrem as colinas amplas, com cotas de 50 a 35 m, este contato se dá a 60-70 m de profundidade nos poços do bairro Jaderlândia.

9.2 – AVALIAÇÃO DE VULNERABILIDADE HIDROGEOLÓGICA

O estudo hidrogeológico mostrou a profundidade do nível estático em torno de 10 m por toda a cidade, com alguns pontos até 2 m nos bairros do Centro, Estrela e Nova Olinda, e mais profundos, cerca de 20 m, nos bairros Milagres, Salgado Grande (Ilanetama) e Caiçaras diminuindo em direção aos bairros São José e Imperador.

De acordo com a carga hidráulica e o fluxo hídrico existem duas áreas de recarga, que correspondem aos bairros Estrela, e Betânia/Apeú, cuja profundidade da água está a 2 m de profundidade em cotas de 40 a 50 m e a 4 m em cotas de 15-20 m, respectivamente.

Conforme dito anteriormente, em Castanhal só há drenagens efluentes, assim sendo, as drenagens não se constituem em condutores de contaminantes e poluentes para as águas subterrâneas. Porém, apesar de ter sido considerado até então um aquífero confinado, foi constatado neste trabalho, com base em trabalhos anteriores, que o sistema hidrogeológico

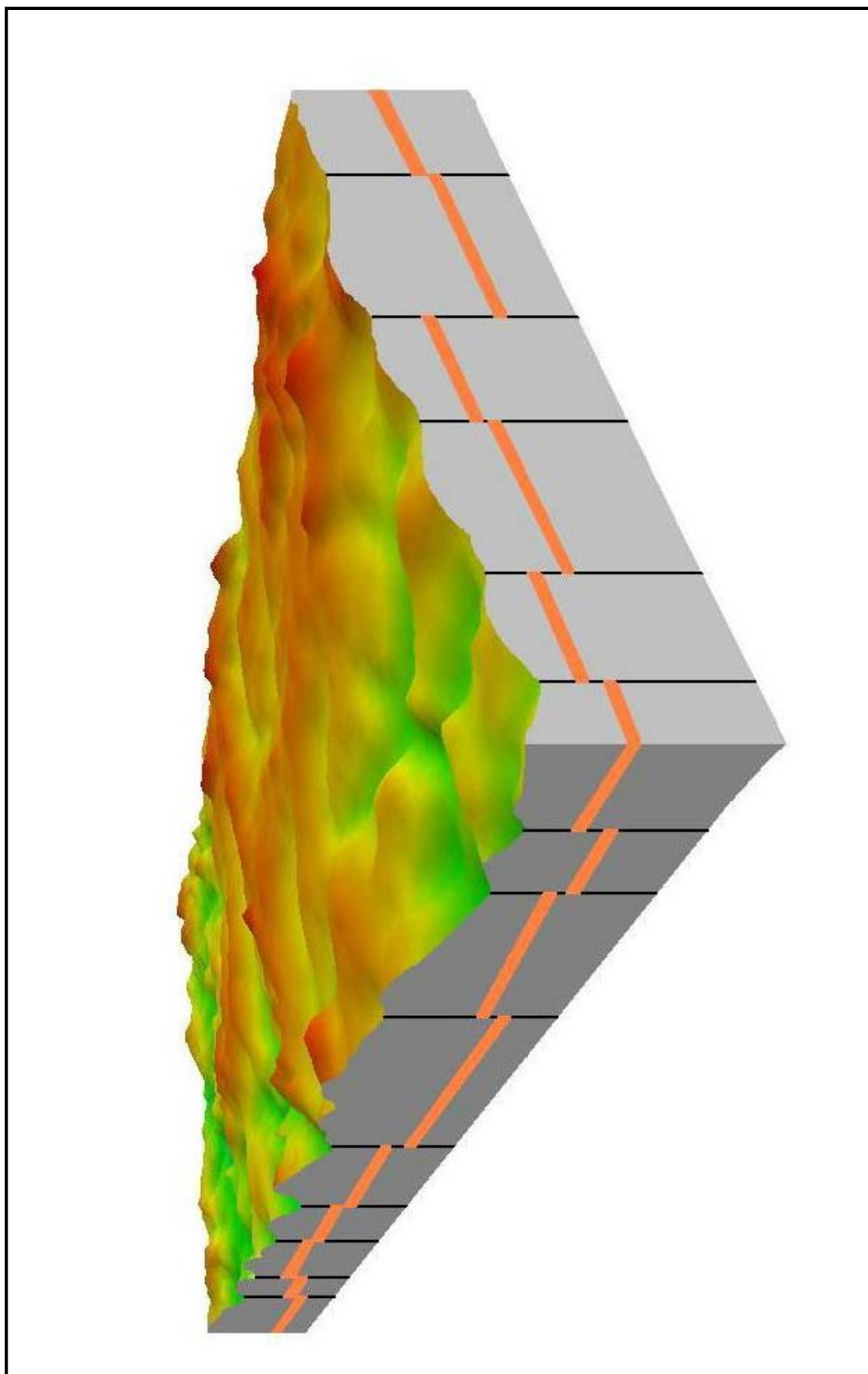


Figura 88 – Bloco diagrama da área da cidade de Castanhal evidenciando os blocos tectônicos.

Pirabas apresenta variações sazonais, sofrendo influências dos sistemas hidrogeológicos superiores a ele, em decorrência de estarem hidraulicamente interconectados por drenança, durante o bombeamento dos poços.

Associando estes dados ao estudo tectônico têm-se as áreas com maior risco nas proximidades das drenagens (Figura 89), por serem elas controladas pelas estruturas tectônicas, bem como por serem efluentes, o que significa que as águas subterrâneas abastecem as drenagens que servem de condutores para as fraturas e falhas, que por sua vez conectam os sistemas hidrogeológicos da área, e ainda, por introduzirem nas rochas carbonáticas águas levemente ácidas, que causam dissolução do CaCO_3 , aumentando os edifícios cársticos, e com isso aumentando o risco de colapso por afundamento, na cidade de Castanhal.

9.3 – AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

A qualidade das águas está diretamente ligada à constituição geológica das rochas dos aquíferos. Por isso, geralmente, as águas na região nordeste do Pará são levemente ácidas e a recarga é feita tanto a partir de águas pluviais como por drenagens influentes (Souza, 1996). Porém em Castanhal, não há drenagens influentes, a recarga podendo ocorrer através das fraturas e/ou falhas trativas, com as águas adquirindo as características particulares do compartimento tectônico ao qual pertencem.

Souza (1996) utilizando diagrama de Stiff distinguiu dois padrões em águas coletadas em áreas constituídas pelo Grupo Barreiras e pela Formação Pirabas, em localidades distintas, no nordeste do Pará (Figura 90). O primeiro mostra forma mais afunilada, que evidencia teores mais elevados de Ca^{2+} e HCO_3^- para as águas de nascentes e poços, e o segundo, um polígono levemente assimétrico sem grandes diferenças nos teores analisados em águas de nascentes.

As variações entre o período seco e o chuvoso não apresentam mudança no padrão, apenas a diminuição dos teores de alguns solutos. Porém, as águas subterrâneas contêm, ainda, altos teores de ferro total, devido às rochas do Grupo Barreiras serem ricas neste íon. Nos poços que se utilizam das águas do Sistema Pirabas, encontram-se altos teores de CaCO_3 , por ser esta

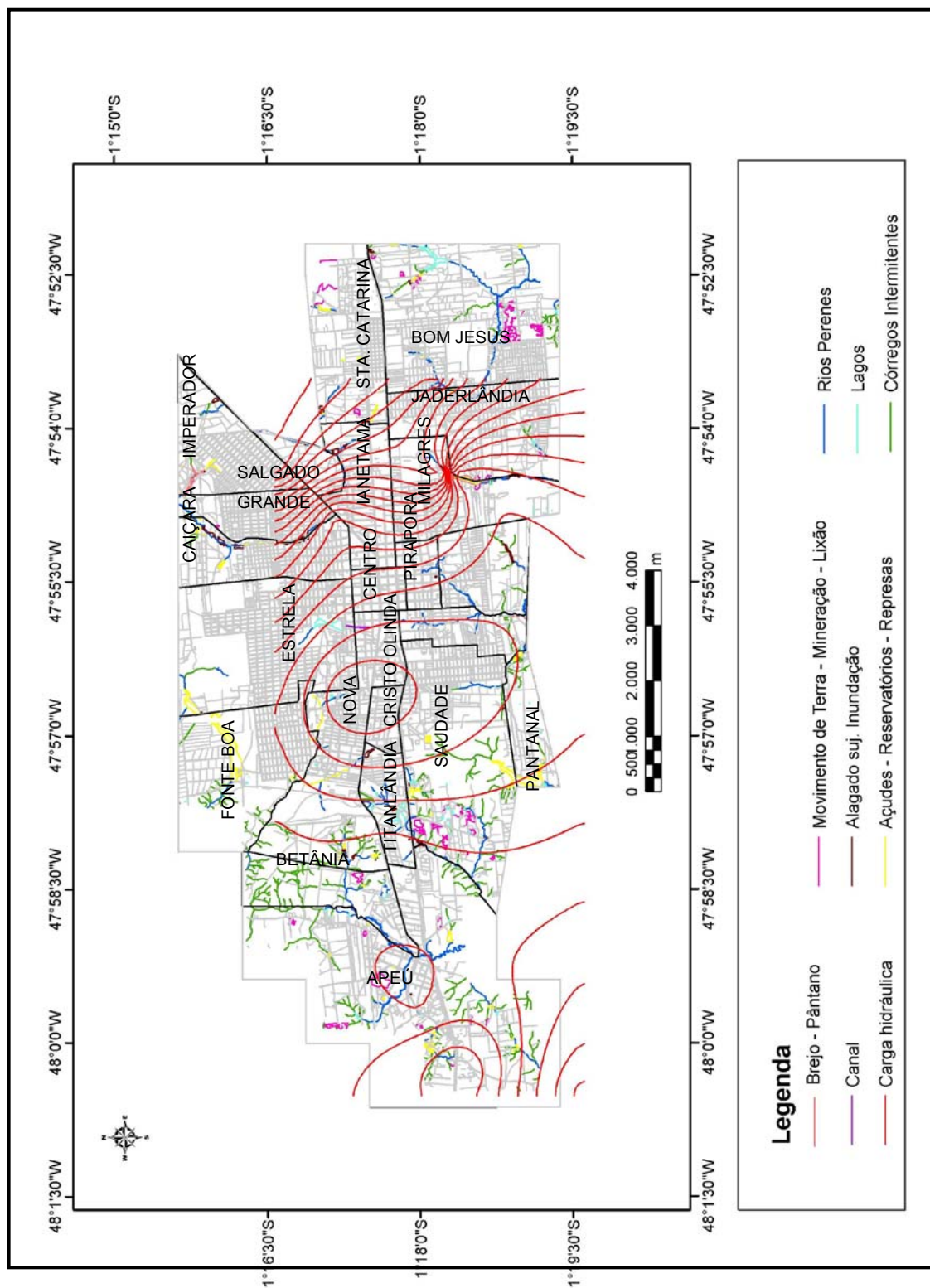


Figura 89 – Mapa da distribuição de fontes potenciais de riscos ambientais, na cidade de Castanhal.

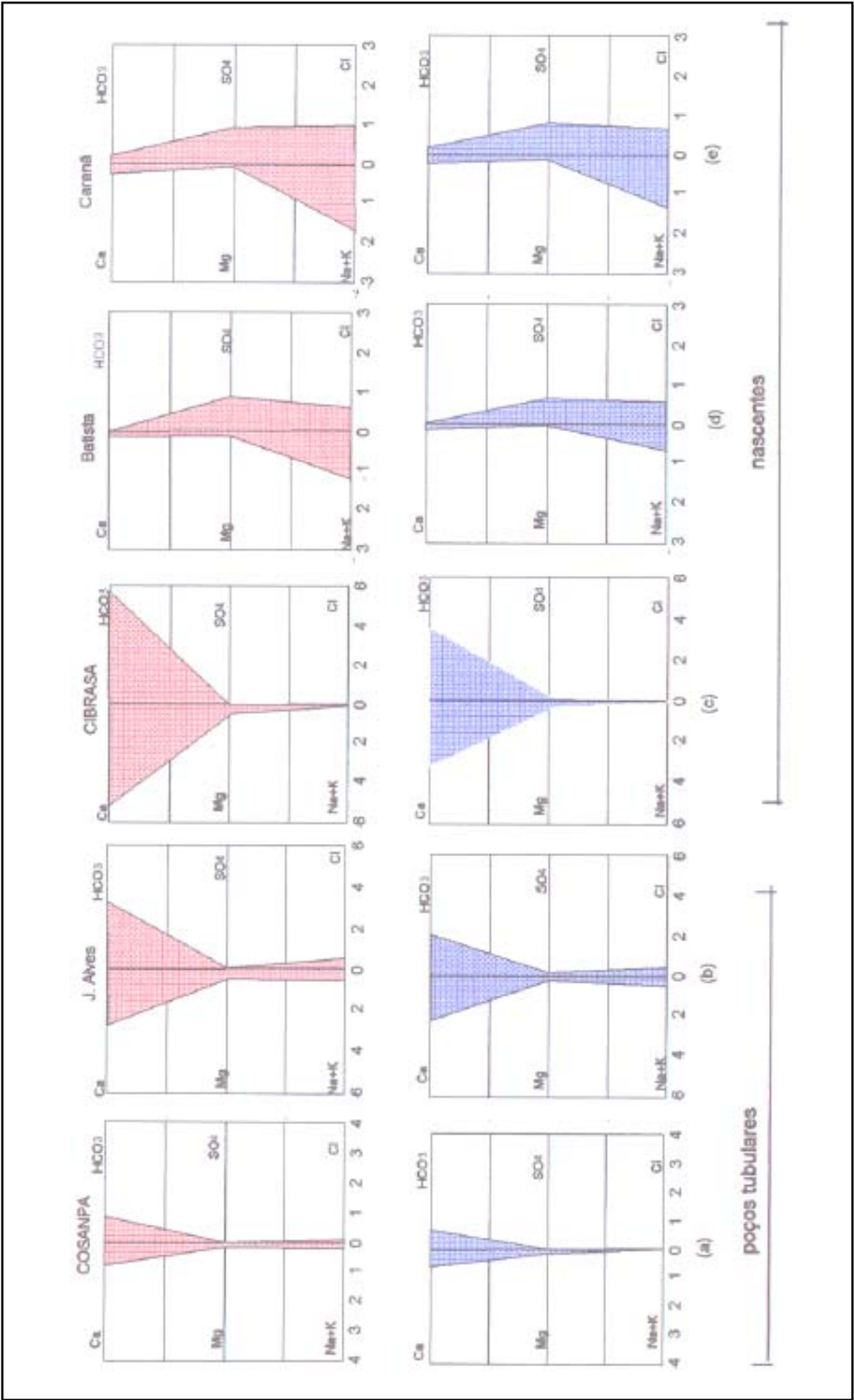


Figura 90 – Diagramas de Stiff para águas de áreas do domínio sedimentar arreiras e Pirabas; valores em meq/L. Cor rosa representa estações secas; azul, estações chuvosas. Para cada local de coleta considerou-se a média dos valores obtidos (Fonte: Souza, 1996).

unidade litológica essencialmente constituída por calcários e calcarenitos, o que justifica o alto teor de SiO_2 nas águas destes poços (Quadro 7, pág. 133).

Observou-se, também, pelo fluxo hídrico que as águas levemente ácidas se infiltram nas fraturas/ou falhas, penetrando nas rochas carbonáticas e promovendo dissolução do CaCO_3 , o que faz com a água aumente gradativamente seu teor de CaCO_3 , o que pode vir a ser, no futuro, prejudicial ao consumo humano, e quando em calcarenitos ainda causam alta turbidez pelo enriquecimento de silicatos na água.

9.4 – AVALIAÇÃO DO RISCO RELATIVO DOS COMPARTIMENTOS

Neste trabalho foram utilizadas diversas ferramentas para analisar as informações que deram subsídios para a interpretação e, por conseguinte, a avaliação dos riscos geoambientais que envolvem a cidade de Castanhal.

Para tanto, a cidade foi dividida em blocos, de acordo com as evidências de ocorrência de processos neotectônicos encontradas a partir da análise dos principais alinhamentos de drenagem e de relevo, que indicaram os landformes tectônicos primários pela forte assimetria de drenagem, logo a ocorrência de planícies fluviais assimétricas. As mudanças no padrão e densidade de drenagem em áreas adjacentes e anomalias enfatizando a ocorrência de rios defluentes (Howard, 1967), são os marcadores mais fortes da atuação neotectônica por serem decorrentes da inversão do fluxo de drenagem, devido a rejuvenescimento, indicando forte controle tectônico (Lima, 2002). Para corroborar a atuação de neotectônica na área tem-se o registro de sismos ocorridos no nordeste do Pará, o que exclui dúvidas sobre esta atuação.

Assim sendo, a avaliação de risco de colapso foi feita dividindo-se Castanhal em blocos tectônicos altos e baixos (Figura 91) e associando a estes blocos os dados de resistividade e gravimetria. A primeira divisão separa a parte norte da cidade da parte sul, aproximadamente coincidente com a BR-316, onde se tem o relevo de colinas de topos aplainados, com cotas entre 35 e 50 m. Ao norte o relevo é formado por colinas amplas com cotas que alcançam 65 m e a área apresenta drenagem menos densa. O terreno apresenta resistividade elétrica entre 500 e 1000 $\Omega\cdot\text{m}$ baixando bruscamente para 20 $\Omega\cdot\text{m}$, a 50 m de profundidade, não tendo sido feito levantamento gravimétrico nesta área.

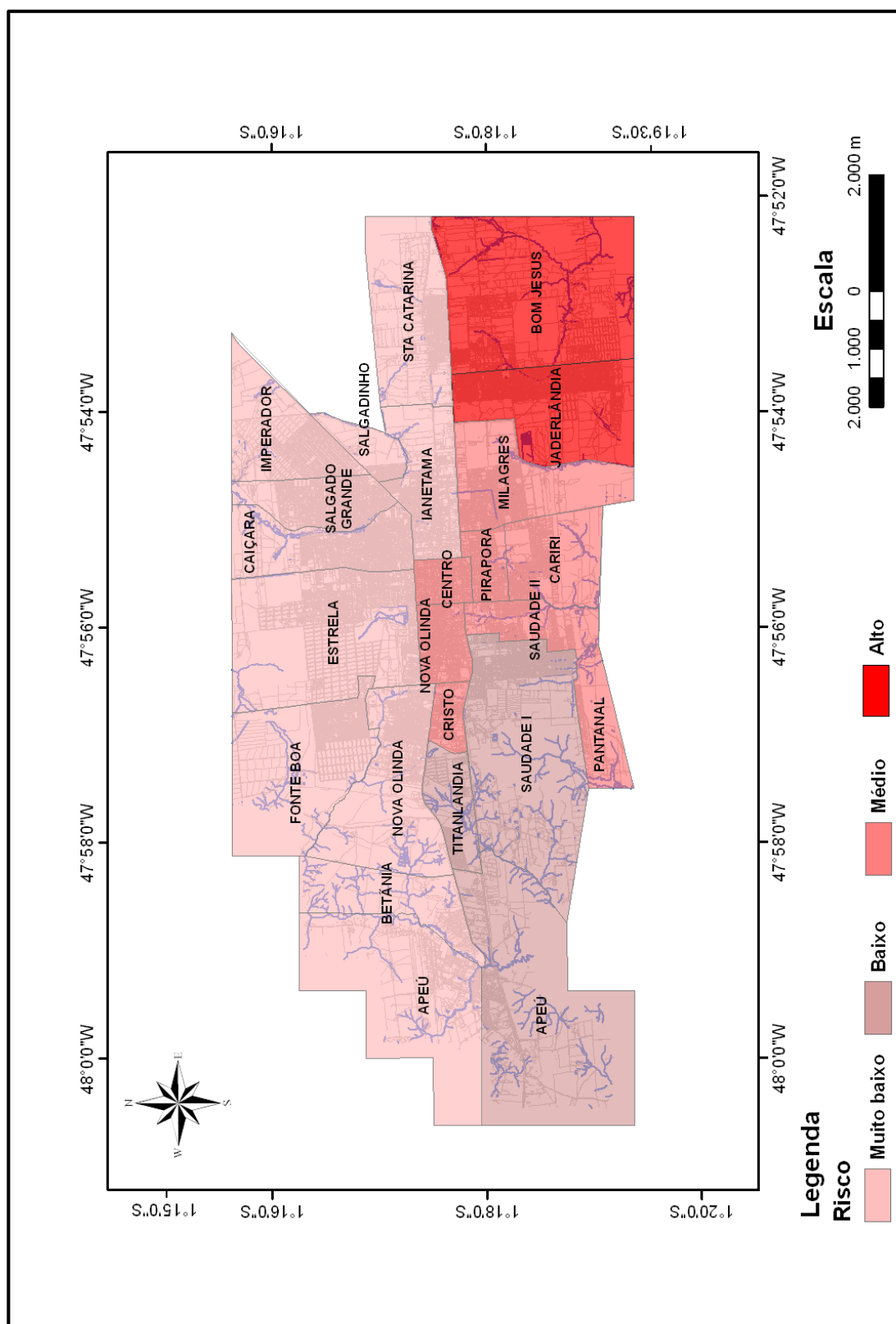


Figura 91 – Riscos geológicos em blocos tectônicos, associados a dados geofísicos e litoestratigráficos na cidade de Castanhal-Pará.

A profundidade do nível estático varia de 10 a 20 m e a carga hidráulica entre 20 e 30 m, e há uma área de recarga neste bloco com fluxo radial. Devido a estas características esta parte da cidade foi considerada como de muito pouco risco de colapso, pois a litoestratigrafia indica o contato do Grupo Barreiras com a Formação Pirabas a 100 m de profundidade e nesta parte da cidade existe muito pouca drenagem e devido à drenagem estar condicionada a tectônica na área de estudo, entende-se que há poucas falhas nesta porção com maior porosidade.

A parte sul da cidade foi dividida em três partes: a primeira começa nas proximidades de Apeú até o bairro Cristo Redentor e tem como características um relevo de colinas pequenas, com pouca extensão e cotas em torno de 60 m, e planícies aluvionares amplas com rede de drenagem densa. O terreno apresenta resistividade elétrica de 4000 Ω .m na superfície reduzindo para 200 Ω .m a 40 m de profundidade. Nesta área não se tem dados confiáveis de poços, porém se admite que apesar da proximidade do embasamento à superfície, indicada pela geofísica, e o intenso falhamento indicado pela drenagem, a área seja de pouco risco de colapso por não terem sido encontrados indícios da Formação Pirabas próximo à superfície.

A segunda área estende-se do bairro Cristo Redentor até o Centro, apresentando relevo de colinas de topos aplainados com cotas de 35 a 50 m. A resistividade do terreno varia de 280 Ω .m a 1000 Ω .m e a gravimetria apresenta valores positivos até 3 mGal, o que indica a presença do embasamento mais raso em subsuperfície. Os dados de carga hidráulica e fluxo permitem inferir a presença do embasamento a cerca de 20 m de profundidade. Neste setor da cidade tem-se muita drenagem e ainda desníveis topográficos bruscos de cerca de 15 m a 20 m, com risco de desmoronamento. Com todos estes fatores esta área foi considerada de risco médio.

A terceira área é a de maior risco de colapso, pois além da informação da perda de fluido durante a construção de poços, entre 60 m e 70 m de profundidade, a drenagem é densa, a resistividade do terreno varia de 350 Ω .m a 2000 Ω .m e a anomalia negativa indica a construção de edifício cárstico em pelo menos dois lugares: nos bairros Bom Jesus e Jaderlândia, com extensões que variam entre 200 m e 400 m, observados nos perfis gravimétricos e no mapa Bouguer.

Esta situação tectono-estrutural aumenta a vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos pela facilidade de penetração de águas levemente ácidas à profundidade, assim como, aumentando o risco de colapso por afundamento, tanto pela exploração de águas, como pela dissolução dos carbonatos da Formação Pirabas.

10 – CONCLUSÕES

Para a execução deste trabalho foi necessário utilizar diversas ferramentas, técnicas e metodologias, criando, assim, uma metodologia própria para o estudo hidrogeológico da cidade de Castanhal. A associação de diversas áreas do conhecimento, como base para o entendimento do problema estudado, constitui-se uma inovação no estudo integrado em geologia e ratifica a característica multi e interdisciplinar da hidrogeologia.

10.1 – SOBRE AS METODOLOGIAS UTILIZADAS

Conhecimentos e técnicas pertinentes a sensoriamento remoto foram aplicados, com a utilização de fotografias aéreas, imagens de radar e de satélite e mosaico de ortofotos, e o uso das técnicas de Sabins (1987), Harris *et al.* (1994), e Toutin (1997) para facilitar a análise destes produtos sensores e os princípios de Strahler (1952), Howard (1967), Soares & Fiori (1976), Deffontaines & Chorowicz (1991) e Lima (2002) para a interpretação destes dados. A partir de imagens do satélite Landsat-5/TM, imagens da SRTM, fotografias aéreas e mosaico de ortofotos foram confeccionados mapas temáticos que deram suporte para as análises regionais e locais, do ponto de vista geomorfológico, geológico e tectono-estrutural.

Para a geomorfologia foram usados o conceito de landformes tectônicos primários (Chorley *et al.*, 1973; Larssen, 1988; Summerfield, 1993 e Burbank & Anderson, 2001), aliado ao estudo tectônico apoiado nos trabalhos de Stewart & Hancock (1990 e 1994), para fazer a correlação com a hidrogeologia, de acordo com Lafleur (1984), Higgins & Coates (1990);

A utilização de perfis litoestratigráficos auxiliados pelos levantamentos geofísicos de gravimetria, eletrorresistividade e perfilagem de poços, que corroboraram os resultados das análises tectono-estruturais obtidos dos produtos sensores foram importantes para a definição da geometria das camadas aquíferas;

As metodologias utilizadas nos estudos hidrogeoquímicos (Otobo, 1995, Sauma Fo., 1996, Souza, 1996, Barros, 2004 e Costa, 2004) foram decisivas para a caracterização hidrogeológica da cidade de Castanhal.

10.2 – SOBRE A GEOMETRIA E A CINEMÁTICA DA ÁREA

O estudo geomorfológico regional mostrou os sistemas de relevo de degradação em cotas entre 30 e 60 m com relevo residual em torno de 70 m, e de aggradação abaixo de 30 m. Em escala maior foi feito o estudo geomorfológico local, onde se tem o relevo de colinas de topos aplainados representados por extensas colinas com cotas entre 35 e 50 m, pouco dissecadas, sustentadas por rochas do Grupo Barreiras; relevo de colinas amplas, extensas, convexas e suaves com cotas entre 50 e 65 m, também sustentadas por rochas do Grupo Barreiras; relevo de colinas pequenas, convexas e suaves de pouca extensão, com cotas em torno de 60 m sustentadas pelos sedimentos Pós-Barreiras; e planícies aluvionares com cotas variando entre 10 e 30 m, constituídas por aluviões. Estas características morfológicas refletem diretamente o arranjo geológico cinemático subsuperficial.

O arranjo estratigráfico da área estudada compreende da base para o topo a Formação Pirabas, que não aflora, de idade oligo-miocênica, constituída por rochas carbonáticas intercaladas a arenitos e argilitos, com contatos variando desde 60 m até 120 m de profundidade com a unidade sobrejacente; o Grupo Barreiras, do Mioceno Inferior ao Superior e o Pós-Barreiras, de idade plio-pleistocênica, ambas constituídas por rochas siliciclásticas, por vezes ferruginosas; e os sedimentos inconsolidados do Holoceno. A continuidade lateral destas unidades foi interrompida, em muitos casos, por deslocamentos verticais associados com movimentações ao longo das falhas presentes na região.

A análise cinemática realizada neste trabalho mostrou que os principais alinhamentos na região de Castanhal são NE-SW, tendo secundariamente alinhamentos NW-SE, e que as movimentações indicadas compatibilizam-se em um sistema transcorrente dextral, conforme modelo de Riedel.

A cidade de Castanhal pode, assim, ser dividida em blocos tectônicos, resultantes da atuação de processos neotectônicos, comprovada pelos perfis litológicos dos poços, pela

correlação litoestratigráfica e pelos dados geofísicos de gravimetria, eletrorresistividade e perfilagem de poços e ratificados pela análise do relevo.

Os levantamentos geofísicos se mostraram fundamentais para a interpretação dos dados geológicos, estabelecendo contrastes em subsuperfície que delineiam os corpos geológicos, a presença de falhas e permitem a correlação de dados geológicos de poços e hidrogeológicos.

Assim sendo, foram detectadas anomalias gravimétricas positivas, que sugerem a presença de um corpo cristalino a cerca de 30 m de profundidade, nos bairros Cristo Redentor, Nova Olinda, Saudade I e II e Pantanal, e anomalias negativas que indicam a construção de dois edifícios cársticos entre os bairros Jaderlândia e Bom Jesus. As medidas de resistividade elétrica corroboraram as interpretações das estruturas em mapas, indicando a presença de falhas. E as perfilagens dos poços auxiliaram na correlação litológica e tectono-estrutural dos mesmos.

De acordo com os estudos tectônicos, a análise do relevo e a correlação litoestratigráfica, foi possível estabelecer a geometria dos sistemas aquíferos, pois apesar de poucos poços para estudo, eles estão distribuídos em blocos tectônicos distintos, o que facilita a correlação litoestratigráfica. Para isso foi usada uma camada guia argilosa, de 3 a 4 m de espessura, sobrejacente ao calcarenito fossilífero que caracteriza o contato Pirabas / Barreiras em Castanhal. Isto foi confirmado pelos levantamentos geofísicos de gravimetria e resistividade, que sugerem contatos a profundidades distintas, nos vários perfis feitos na cidade.

Deste modo, foram observados desníveis com até 30 m neste contato, entre os bairros Jaderlândia e Milagres, com o Sistema Pirabas ocorrendo a partir de 60 m de profundidade no bairro Jaderlândia, em cota de 30 m, e a 100 m de profundidade no bairro Milagres, com cota em torno de 35 m, e ainda, a 110 m no bairro Imperador em cota de aproximadamente 35 m e no Salgado Grande, em profundidade de 90 m em cota próxima de 55 m. Há ainda a ocorrência do embasamento cristalino a cerca de 30 m de profundidade, nos bairros Titanlândia, Saudade I e II e Cristo Redentor.

10.3 – SOBRE A HIDROGEOLOGIA

A avaliação das águas superficiais indicou que elas estão degradadas, com igarapés por vezes transformados em esgotos a céu aberto e em outros casos tem-se a eutrofização quase completa de igarapés, sendo, portanto, inadequadas para o consumo humano.

Quanto à avaliação de águas subterrâneas foi constatado que as águas do sistema Barreiras apresentam naturalmente altos teores de ferro total, devido à composição química das rochas deste grupo, o que é resolvido pela aeração por bandejamento. As águas do sistema Pirabas apresentam altos teores de carbonato, pela dissolução dos calcários e, ainda, altos teores de ferro total, provavelmente advindos do sistema Barreiras.

Os sistemas aquíferos são mistos: porosos, o Pós-Barreiras e Barreiras e cárstico, o Pirabas. Ambos são utilizados para o abastecimento público e particular. Como o sistema tectônico permite a penetração de água por áreas de fragilidade a recarga dos aquíferos pode ocorrer nestas zonas e como as águas nesta região são levemente ácidas há a dissolução do carbonato de cálcio, ocasionando, com alta probabilidade, a construção de edifício cárstico. Uma outra questão neste mesmo ponto é a grande vulnerabilidade à contaminação, pois as fraturas e falhas são condutoras de contaminantes tanto quanto são de água para a recarga dos aquíferos.

Com base nestes dados e em trabalhos anteriores (Sauma Filho, 1996; Souza, 1996; Costa, 2004; Barros, 2004) foi verificada a influência da variação sazonal nas águas do Pirabas, o que indica que este sistema não é confinado, como se pensava, e sim que apresenta vulnerabilidade em zonas trativas, que servem de condutos para águas superiores se infiltrarem neste sistema, possibilitando a mistura de águas.

A Formação Pirabas tem seu contato mais raso com o Grupo Barreiras entre 60 m e 70 m, no bairro Jaderlândia, onde se sabe houve perda de fluido bentonítico durante a construção de três poços para a COSANPA. Segundo a interpretação dos dados geofísicos de resistividade existe uma sucessão de camadas de calcarenito com cerca de 30 m de espessura, nas quais se observou perda de fluido entre 75 e 78 m e entre 75 e 81 m de profundidade e a gravimetria revela duas anomalias negativas de 200 m e 400 m de extensão, a soma das informações indica construção de edifício cárstico neste bairro entre 60 m 70 m e em torno de 100 m de profundidade.

11 – RECOMENDAÇÕES

Por ser Castanhal uma cidade com grande crescimento populacional, precisa ter um estudo criterioso para solucionar e/ou minimizar os problemas descritos neste trabalho. Sabe-se que o Plano Diretor de Castanhal já foi entregue ao Ministério das Cidades, porém não foram feitos estudos técnicos de ordem física como geologia, hidrogeologia ou geotecnia, e esta cidade, conforme mostrado neste trabalho, tem várias situações de risco, inclusive de colapso devido à construção de edifício cárstico, além de áreas de inundação e sujeitas a desmoronamento. De posse destas informações sente-se a necessidade de fazer algumas recomendações consideradas importantes:

Considerando-se a alternativa de utilização extensiva de águas subterrâneas em Castanhal indica-se a necessidade deste tipo de estudo em toda a cidade, haja vista a situação de vulnerabilidade em que se encontra o Sistema Aquífero Pirabas;

Após os estudos geológicos, hidrogeológicos e geotécnicos em toda a cidade, seriam necessários instrumentos legais para estabelecer onde e como serão impermeabilizadas áreas, construídos prédios altos e poços profundos, com a finalidade de manter a estabilidade dos sistemas geológicos/hidrogeológicos em toda a cidade.

De modo particular deverá ser dada atenção especial à situação hidrogeológica do bairro Jaderlândia, bem como aos condicionantes para a utilização de água subterrânea nesta área, em função de alta vulnerabilidade do mesmo ao desenvolvimento de edifícios cársticos e ao risco de colapso dos mesmos.

Devem ser estabelecidas restrições legais para a completação de poços no sistema Pirabas, justamente por ser o mesmo a mais importante reserva estratégica de águas subterrâneas desta região;

Os poços a serem construídos deverão ser locados de modo a não estarem diretamente ligados à zonas de fraturas e/ou falhas, para evitar contaminação, pela infiltração de águas contaminadas, assim como, estes poços recebam cimentação superior à localização do primeiro

filtro, a fim de coibir a mistura de águas dos aquíferos superiores, por drenança, durante os bombeamentos.

A criação de uma campanha de conscientização popular sobre a situação ambiental, da cidade, na qual se tem o risco de colapso por afundamento, bem como a contaminação das águas mais profundas;

É necessário definir-se, juntamente com a participação de outros profissionais da área tecnológica um plano de ocupação para a cidade, estabelecendo-se modelo de construção e tipos de ocupação do espaço urbano, entre outros.

12 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, F.A.M. **Evolução geotectônica do Pré-Cambriano da região Meio Norte do Brasil e sua correlação com a África Ocidental**. 1990. 441 f. Tese (Doutorado em Geologia e Geoquímica) – Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. Belém, 1990.

ACKERMANN, F.L. Geologia e fisiografia da Região Bragantina (Estado do Pará). Manaus: INPA, **Cadernos da Amazônia**, v. 2, 90 p, 1964

ACKERMANN, F.L. **A Formação Pirabas sua evolução e interpretação**. Belém: UFPA, 83 p, 1969

ACKERMANN, F.L. **A Formação Pirabas, sua evolução e interpretação**. Belém: Imprensa Universitária, Universidade Federal do Pará, 83 p, 1976

BARBOSA, G.V., RENNÓ, C.V. 7 FRANCO, E.M.S. Geomorfologia da Folha SA.22, Belém. In: Projeto RADAM. **Folha SA.22 Belém**: geologia, geomorfologia, solos, vegetação, uso potencial da terra. Rio de Janeiro: DNPM, 1974. p. II/3-II/35 (Levantamentos de Recursos Naturais, 5).

BARROS, A.E.F. **Contribuição ao conhecimento geoquímico de perfil litológico com ênfase para a matéria orgânica associada ao substrato geológico (Ilha de Mosqueiro-PA)**. 2004. 95 f. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) – Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. Belém, 2004.

BEMERGUY, R.L.; COSTA, J.B.S. Considerações Sobre a Evolução do Sistema de Drenagem da Amazônia e sua Relação com o Arcabouço Tectônico-Estrutural. Belém: **Boletim. MPEG**. 3: 75 – 98, 1991

BERROCAL, J.; ASSUMPÇÃO, M.; ANTEZANA, R.; DIAS NETO, C.M.; ORTEGA, R.; FRANÇA, H.; VELOSO, J.A.V. **Sismicidade do Brasil**. São Pulo, Editora Esperança. IAG/USP – Comissão Nacional de Energia Nuclear, 1984. 320p.

BORGES, M.S.; COSTA, J.B.S.; BEMERGUY, R.L.; FERNANDES, J.M.G.; COSTA, M.L.; HASUI, Y. Evolução neotectônica da região nordeste do estado do Pará. In: **Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos**, 5, Gramado-RS, 1995, Bol. de Resumos Expandidos, SBG/RS – CPGQ/UFRGS, p. 421-422

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto RADAM. (1973) **Folha SA.23 São Luís e parte da Folha SB.24 Fortaleza**: geologia, geomorfologia, solos, uso potencial da terra. Rio de Janeiro: DNPM, 1973. p. (Levantamento de recursos Naturais, 3).

BULLARD, E.C.; EVERETT, J.E.; SMITH, A.G. Fit of the continents around the Atlantic. **Symposium on Continental Drift**. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, series A, 1965, v. 258, p. 41-51

BURBANK, D.W.; ANDERSON, R.S. **Tectonic Geomorphology**. Massachusetts: Blackwell Science, 2001. 274 p.

CAVALCANTE, I. N. Fundamentos hidrogeológicos para a gestão integrada de recursos hídricos na Região Metropolitana de Fortaleza, estado do Ceará. 1998. Tese (Doutorado em Hidrogeologia) – Universidade de São Paulo. Instituto de Geociências. São Paulo. 1998

CHORLEY, R.J., BECKIRSALE, R.P.; DUNN, A.P. **A History of the Study of Landforms**, 2 vols, Methuen, London, 1973.

CLAUSEN, B.; ROMER RASMUSSEN, K. Low flow estimation and hydrogeology in a chalk catchment. **Nordic Hydrology**, 24, 297-308 1993

COSTA, F.F. **Avaliação geoquímica ambiental de área selecionada da bacia hidrográfica do rio Maracanã (nordeste do Pará)**. 2004. 136 f. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) – Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. Belém, 2004.

COSTA, F.R. **Influência da neotectônica sobre arranjos geométricos dos aquíferos na Região Metropolitana de Belém – Estado do Pará**. 2004. 157 f. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) – Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. Belém, 2004.

COSTA, J.B.S. A Neotectônica na Amazônia. In: **Simpósio de Geologia da Amazônia**, Belém, 1996, SBG/NO, p. 35-38

COSTA, J.B.S.; BORGES, M.S.; BEMERGUY, R.L.; IGREJA, H.L.S.; PINHEIRO, R.V.L. Aspectos da tectônica cenozóica na região do Salgado, litoral NE do estado do Pará. In: **Simpósio de Geologia da Amazônia**, 3, Belém, 1991. Anais...p. 156-165

COSTA, J.B.S.; HASUY, Y; BEMERGUY, R.L.; BORGES, M.S.; COSTA, A.R.; TRAVASSOS, J.A.M.; IGREJA, H.L.S. Aspectos Fundamentais da Neotectônica na Amazônia Brasileira. In: **Simpósio Internacional do Quaternário da Amazônia**, Manaus, 1993. Anais... p. 103. 1993.

COSTA, J.B.S.; BEMERGUY, R.L; HASUY, Y; BORGES, M.S.; FERREIRA JR., C.A.P.; BEZERRA, P.E.L.; COSTA, M.L.; FERNANDES, J.M.G. Neotectônica da região amazônica: aspectos tectônicos. Geomorfológicos e deposicionais. **Geonomos**, 4 (2):23-44, 1996.

COSTA, J.L.; VILLAS BOAS, L.M.; PASTANA, J.M.N.; WANDERLEY, V.J.R.; ARAÚJO, A.A.; FRIZZO, J.S. **Projeto Gurupi**. Relatório Preliminar. Belém: DNPM/CPRM. 1975. v. 1, 258 p.

COSTA, J.L.; ARAÚJO, A.A. F.; VILLAS BOAS, J.N.; FARIA, C.A.S.; SILVA NETO, C.S.; WANDERLEY, V.J.R.. **Projeto Gurupi**. Belém: DNPM/CPRM. 1977. v. 1, 120 p. Relatório Final.

COSTA, J.L. Introdução (Cap. 1), Geologia (Cap. 2) e Considerações Finais (Cap.8). **Folha Castanhal – SA.23-V-C**. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Brasília: CPRM – Serviço Geológico do Brasil Ministério de Minas e Energia, Secretaria de Minas e Metalurgia, 2000. CD-ROM.

COSTA, M.L; ANGÉLICA, R.S.; AVELAR, J.O.C. Outeiro e Mosqueiro: Exemplos de evolução laterítica imatura. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 3, Belém-PA, 1991, **Anais**. Belém: SBG, 1991, p. 494-579

COSTA, J.L.; RICCI, P.S.F. Estratigrafia (Cap. 3). **Folha Castanhal – SA.23-V-C**. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Brasília: CPRM – Serviço Geológico do Brasil Ministério de Minas e Energia, Secretaria de Minas e Metalurgia, 2000. CD-ROM.

CUNHA F.M.B. 1991. Morfologia e Neotectonismo do Rio Amazonas. In: SBG. Simpósio de Geologia da Amazônia, 3., **Anais**, Belém: p. 193

CRÓSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**, IG/UNICAMP, Campinas, 1993, 170p.

DEFFONTAINES, B. & CHOROWICZ, E. Principles of drainage basin analysis from multisource data: Application to the structural analysis of the Zaire Basin. In: **Tectonophysics**, 1991. 194: 237-263.

FERREIRA, C.S. Fácies da Formação Pirabas (Mioceno Inferior) **Anais da Academia Brasileira de Ciências**. Rio de Janeiro, 1977, v. 49, p. 353

FRANCISCO, B.H.R.; LOEWENSTEIN, P.; SILVA, O.F.; SILVA, G.G. Contribuição à geologia da Folha de São Luís (SA-23), no estado do Pará. Belém: **Boletim MPEG**, nº 17, 1971, 40 p

GLOBAL LAND COVER FACILITY. www.glcf.umd.edu/datageocover. Acesso em: 15 mar 2004.

GÓES, A.M.; ROSSETTI, D.F.; NOGUEIRA, A.C.R. & TOLEDO, P.M. Modelo deposicional preliminar da Formação Pirabas no nordeste do Estado do Pará. Belém: **Boletim MPEG**, 1990, 2: p. 03-15 (Série Ciências da Terra).

GUIA QUATRO RODAS (2006).

GUSTARD, A.; BULLOCK, A.; DIXON, J.M. **Low flow estimation in the UK** No. 108, Institute of Hydrology, Wallingford, 1992, 88 p.

HARRIS, J.R.; BOWIE, C.; RENCZ, A.N.; GRAHAM, D. Computer-enhancement techniques for the integration of remotely sensed, geophysical, and thematic data for the geosciences. **Canadian Journal of Remote Sensing**, v. 20, p. 210-221, 1994

HASUI Y. Neotectônica e Aspectos Fundamentais da Tectônica Ressurgente no Brasil. In: SBG, Núcleo Minas Gerais. **Boletim**, 1990. 11: 01 - 31

HASUI, Y.; HARALYL, N.L.E.; SCHOBENHAUS, C. Elementos geofísicos e geológicos da região amazônica: subsídios para o modelo geotectônico. SYMPOSIUM AMAZONICO, 2, Manaus, 1984. **Anais**. Brasília: DNPM. 1984, v. 1, p. 129-147

HASUI, Y.; COSTA, J.B.S. O Cinturão Araguaia: um novo enfoque estrutural e estratigráfico. CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36, Natal, 1990. **Anais**. Natal: SBG. 1990. v. 6, p. 2535-2543.

HIGGINS, C.G.; COATES, D.R. Groundwater Geomorphology: The role of subsurface water in earth-surface process and landforms. **Geological Society of America Special Publication**, 1990, 252.

HOWARD, A.D. Drainage analysis in geologic interpretation: summation. **Bulletin American Association of Petroleum Geologists**, Tulsa, v. 5, n. 11, p. 2246-2259, 1967.

IBGE. Censo 1980.

IBGE. Censo agropecuário (2004, 2005, 2006 e 2007)

IGREJA, H.L.S. **Aspectos tectono-sedimentares do Fanerozóico do nordeste do estado do Pará e noroeste do Maranhão, Brasil**. 1992. 192 f. Tese (Doutorado em Geologia e Geoquímica) – Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. Belém, 1992.

JAHNE, B. **Digital image processing**. New York: Springer Verlag, 1991, 395 p.

JENSEN, J.R. **Introductory digital image processing: a remote sensing perspective**. Upper Saddle River: Prentice-Hall, Inc. Simon & Schuster/ A Viacom Company, Second edition, 1996, 318 p.

JENSEN, J.R.; NARUMALANI, S.; WEATHERBEE, O.; MACKEY, H.E. Measurement of seasonal and yearly Cattail and waterlily distribution using remote sensing and GIS techniques. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, 1993, 59 (4): 519-525

LAFLEUR, R.G. **Groundwater as a geomorphic agent**. Boston, MA, Allen & Unwin, 1984, 390p.

LIMA, E.P.; QUARESMA, J.B.; NÓBREGA, E.A.T. Modelo de um aterro sanitário para disposição final de resíduos sólidos na cidade de Castanhal e o Estudo de Impacto Ambiental. **ESTUDOS DO NUMA 1**. Universidade Federal do Pará. Núcleo de Meio Ambiente. Belém, 1994. 72p.

LIMA M.I.C. **Análise de drenagem e seu significado geológico-geomorfológico**. Belém: 2002, CD-ROM.

MARSH, W.M. **Landscape Planning . Environmental applications**. New York: John Willey & Sons, INC., Third Edition, 1997, 434 p.

MATTA, M.A.S. **Fundamentos hidrogeológicos para a gestão integrada dos recursos hídricos da Região de Belém/Ananindeua – Pará, Brasil**. 2002. 292 f. Tese (Doutorado em Geologia e Geoquímica) – Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. Belém, 2002.

MORAES, J.C. Elementos de Hidrologia. In: **Curso de especialização em hidrogeologia aplicada**, 2 – Notas de aula. Belém: Universidade Federal do Pará, 1996, 48 p.

MÖRNER, N.A. 1989 Introduction. In: **Tectonophysics**. Elsevier Science Publishers. B.V. Amsterdam. Netherlands . 163:182-184 p.

Normas para Editoração de Teses do Instituto de Geociências. Belém, 1998

OBRUCHEV V.A. Osnovnye cherty kinetiki i plastiki neotektoniki. Akademia Nauk.SSSR, **Izvestiya Seriya Geologiya**, 1948, 5: 13-24

OLIVEIRA, S.L. Gerenciamento de Bacias Hidrográficas. In: Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia. **“Impactos ambientais na Amazônia: problemática e elementos metodológicos de avaliação”**. Manaus. 1989, p 27-52

OTOBO, A.O. **Caracterização de águas naturais sujeitas à influência da Formação Pirabas (PA)**. 1995. 118 f. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) – Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Belém, 1995.

PARÁ. 2001. **“Indicadores de qualidade de vida Urbana: Castanhal – Marabá - Santarém”**. SEDURB/COHAB-PA/UNAMA

PARÁ. 2007. www.pa.gov.br/hotsites/pac2007/not_0308_05.asp. Acesso em 17 set. 2007.

PINHEIRO, A.V.R. **Sensoriamento remoto aplicado à hidrogeologia de meio cristalino no município de Mombaça – estado do Ceará**. 2000. 79 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Fortaleza, 2000.

PONÇANO, W.L.; BISTRICHI, C.A.; CARNEIRO, C.D.R.; ALMEIDA, M.A.; PIRES NETO, A.G.; ALMEIDA, F.F.M. O conceito de sistemas de relevo aplicado ao mapeamento geomorfológico do Estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 2, Rio Claro, 1979. **Atas**. Rio Claro, SBG, 1979, 2: 253-262

REBOUÇAS, A. C. Curso de especialização em hidrogeologia aplicada, 2 – **Notas de aula**. Belém: Universidade Federal do Pará, 1996, 40 p.

ROSSETTI, D.F. Influence of low amplitude/high frequency relative sea-level changes in a wave-dominated estuary (Miocene), São Luís Basin, northern Brazil. Amsterdam. **Elsevier Science B.V.**, *Sedimentary Geology* 133, p. 295-324, 2000.

ROSSETTI, D.F.; GÓES, A.M. Imaging Upper Tertiary to Quaternary deposits from northern Brazil applying ground penetrating radar. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 31, n. 2, p. 195-202, jun. 2001.

ROSSETTI, D.F.; GÓES, A.M.; SOUZA, L.S.B. Estratigrafia da sucessão sedimentar Pós-Barreiras (Zona Bragantina, Pará) com base em radar de penetração no solo. **Brazilian Journal of Geophysics**, v. 19 (2) p. 113-130, 2001.

ROSSETTI, D.F.; GÓES, A.M.; TRUCKENBRODT, W. A influência marinha nos sedimentos Barreiras. Belém: **Boletim MPEG**. 1990. 2: 17-29. (Série Ciências da Terra)

ROSSETTI, D.F.; TRUCKENBRODT, W.; GÓES, A.M. Estudo paleoambiental e estratigráfico dos sedimentos Barreiras e Pós-Barreiras na Região Bragantina, nordeste do estado do Pará. Belém: **Boletim MPEG**. 1989, 1 (1): 25-74. (Série Ciências da Terra)

SÁ J.H.S. Contribuição à Geologia e os sedimentos terciários e quaternários da região Bragantina. Rio de Janeiro, **Boletim Instituto Geológico**, v. 3, p. 21-36, 1969.

SABINS, F. F. **Remote Sensing principles and interpretation**. 2nd ed. W. H. Freeman and Co., San Francisco, 1987, 512 p

SAUMA FILHO, M. **As águas subterrâneas de Belém e adjacências: influência da Formação Pirabas e parâmetros físico-químicos para medidas de qualidade**. 1996. 128 f. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica,) – Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 1996.

SERVIÇO DE METEOROLOGIA DO MINISTÉRIO DA AGRICULTURA (2004)

SILVA. A.B. Hidrogeologia de meios cársticos. CONGRESSO BRASILEIRO DE HIDROGEOLOGIA, 2004. Cuiabá, **Curso pré-congresso**, Cap. 3.2, 39 p.

SIQUEIRA, L. Contribuição da geologia à pesquisa de água subterrânea no cristalino. **Água Subterrânea**, Recife. 1963, vol. 2: 1–29

SOARES, P.C.; FIORI A.P. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. Campinas, **Notícia Geomorfológica**, 1976. 16 (32): 71–104

SOUZA, E.L. **Fatores controladores do quimismo de águas subterrâneas da região Nordeste do Pará. Belém-Pa**. 1996. 189 f. Tese (Doutorado em Geologia e Geoquímica) – Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. Belém, 1996.

SOUZA JR., C.M.; QUADROS, M.L.E.S.; BEZERRA, O.V. **Projeto Nordeste do Estado do Pará - Município de Castanhal**. Belém. Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Departamento de Geologia, Estágio de Campo III (Relatório final), 1992. 163p.

STEFFEN, C.A.; LORENZZETTI, J.A.; STECH, J.L.; SOUZA, R.C.M. **Sensoriamento Remoto: Princípios Físicos, Sensores e Produtos, e Sistema Landsat**. São José dos Campos: INPE, 1981. 81 p.

STEWART, I.S.; HANCOCK, P.L. What is a fault scarp? **Episodes**, v. 13, n. 4, p. 255-263, December 1990

STEWART I.S., HANCOCK P.L. Neotectonics. In: HANCOCK, P.L. (Ed.) **Continental Deformation**. Pergamon Press, 1994, p. 370-409

STRAHLER A.N. Hypsometric (area-altitude) análisis of erosional topography. **Geological Society of America**, Bulletin, v. 63, p. 1117-1142, 1952.

SUMMERFIELD, M.A. **Global Geomorphology**. New York: British Library Cataloguing in Publication Data, 1993, 537p.

TOUTIN, T. Quantitative aspects of Cromo-stereoscopy for depth perception. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 63, n.2, p. 193-203, 1997.

UNAMA. “**Indicadores de qualidade de vida urbana: Castanhal – Marabá – Santarém**” SEDURB/COHAB/UNAMA, Belém, 2001, 115p

URDINÍNEA, J.A. **Aspectos geoquímicos e ambientais dos calcários da Formação Pirabas, PA**. 1977. 192 f. Tese (Doutorado em Geologia). Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1977

VILLEGAS, J.M.C. **Geologia Estrutural da Bacia do Marajó**. 1994. 119 f. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) – Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. Belém, 1994.

ZUQUETTE, L.V. **Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio-físico: Fundamentos e guia para elaboração**. 1993. 256 f. v. 1. Tese (Livre Docência) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 1993.

ANEXO I

Normal Climatológica Série 1931 – 1960 (Estação Belém)

Meses	T méd (°C)	T máx méd (°C)	T mín méd (°C)	Precip. (mm)	Máx prec. em 24 h (mm)	Pres. atm. méd (HPA)	Umid. Rel. do Ar (%)	Insol. méd h e dec.	Neb. méd déc.
JAN	25,6	31,0	22,6	318,1	78,2	1008,5	88,8	156,6	7,7
FEV	25,5	30,4	22,7	407,1	118,2	1008,8	90,7	112,3	8,3
MAR	25,4	30,0	22,8	436,1	102,1	1008,8	90,7	102,2	8,6
ABR	25,7	30,8	23,0	381,9	101,1	1009,1	90,4	131,5	8,2
MAI	26,0	31,4	22,9	264,5	125,6	1009,4	87,2	195,8	7,4
JUN	26,0	31,4	22,5	164,7	63,0	1010,6	84,5	239,5	6,1
JUL	25,9	31,7	22,2	160,9	102,0	1011,0	83,2	268,1	5,6
AGO	26,0	32,0	22,1	116,2	54,6	1010,5	83,4	267,3	5,2
SET	26,0	31,9	22,0	119,7	64,3	1009,9	83,8	235,2	5,6
OUT	26,2	32,0	22,0	104,6	64,3	1009,2	82,8	247	5,5
NOV	26,5	32,2	22,1	90,3	96,4	1008,2	81,8	220,7	6,0
DEZ	26,3	31,8	22,4	197,3	84,6	1008,0	84,9	213,2	6,8
Méd. anual	25,9	31,4	22,4	2761,6	125,6	1010,1	86,0	2389,40	6,8

Normal Climatológica Série 1961 – 1990 (Estação Belém)

Meses	T méd (°C)	T máx méd (°C)	T mín méd (°C)	Precip. (mm)	Máx prec. em 24 h (mm)	Pres. atm. méd (HPA)	Umid. Rel. do Ar (%)	Insol. méd h e dec.	Neb. méd déc.
JAN	25,6	30,9	22,1	366,5	118,0	1009,5	86,0	135,5	7,3
FEV	25,5	30,5	22,2	417,5	117,4	1009,7	91,0	99,0	8,1
MAR	25,5	30,4	22,4	436,2	136,9	1009,8	91,0	103,7	8,0
ABR	25,7	30,8	21,8	360,0	112,8	1009,8	91,0	121,8	7,9
MAI	25,9	31,3	22,6	304,0	103,5	1010,3	88,0	186,9	7,1
JUN	25,9	31,7	22,1	140,2	85,4	1011,2	86,0	225,4	6,0
JUL	25,8	31,7	21,7	152,1	111,0	1011,6	85,0	252,8	5,5
AGO	26,0	32,1	21,7	131,1	80,4	1011,1	84,0	255,8	5,3
SET	26,1	32,1	21,7	140,8	67,4	1010,7	84,0	228,3	5,8
OUT	26,4	32,2	21,6	116,1	65,4	1009,9	83,0	228,3	5,9
NOV	26,4	32,3	21,9	111,8	68,4	1009,2	83,0	203,3	6,5
DEZ	26,1	31,9	22,0	216,4	121,4	1009,3	86,0	179,0	6,6
Méd anual	25,9	31,4	21,9	2892,7	****	1010,2	86,5	184,90	6,6

Fonte: Serviço de Meteorologia do Ministério da Agricultura

Estação: Belém. LAT. 01° 27' S e LONG. 48° 25' W. ALT. 10,9 m

ANEXO II

Análise estatística da imagem Landsat-5/TM de 1999.

PCI 9.0

Band	Min	Max	Mean	Standard Deviation
1	51	242	65.163137	10.231356
2	17	115	25.797593	5.956048
3	14	131	23.958016	8.469890
4	5	105	26.550666	15.690054
5	0	193	32.014001	24.296417
6	0	128	15.103553	12.738188
7	102	124	110.734372	4.305065

Covariance Matrix

Band	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Band 5	Band 6	Band 7
1	104.680654	58.797907	82.602381	69.603136	142.947000	94.488082	24.464596
2	58.797907	35.474507	48.644220	45.539546	90.661412	57.877406	14.812886
3	82.602381	48.644220	71.739034	76.954037	149.566052	91.234270	23.827418
4	69.603136	45.539546	76.954037	246.177785	342.523400	157.655947	46.815767
5	142.947000	90.661412	149.566052	342.523400	590.315858	294.019002	82.994241
6	94.488082	57.877406	91.234270	157.655947	294.019002	162.261439	44.674247
7	24.464596	14.812886	23.827418	46.815767	82.994241	44.674247	18.533586

Correlation Matrix

Band	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Band 5	Band 6	Band 7
1	1.000000	0.964874	0.953195	0.433582	0.575042	0.724997	0.555425
2	0.964874	1.000000	0.964263	0.487311	0.626501	0.762857	0.577699
3	0.953195	0.964263	1.000000	0.579068	0.726797	0.845615	0.653461
4	0.433582	0.487311	0.579068	1.000000	0.898511	0.788821	0.693087
5	0.575042	0.626501	0.726797	0.898511	1.000000	0.950004	0.793462
6	0.724997	0.762857	0.845615	0.788821	0.950004	1.000000	0.814648
7	0.555425	0.577699	0.653461	0.693087	0.793462	0.814648	1.000000

ANEXO III
Relatório de campo do levantamento gravimétrico.

CADERNETA DE GRAVÍMETRO																			
ESTACÃO N.º	HORA h min	LEITURA		OBSERVAÇÕES	VALOR TAMBOUR mgal	CORR. MARE TRIPE 1/100 mgal	VALOR CORR. mgal	DRIFT DURAÇ. min	VALOR ZERO GRAV. mgal	DE/A PAGINA	GRAVIDADE								
		TAMBOUR	CONTROLE								g ¹ mgal	CORR 1/100 mgal	g ₁ mgal	CORR 1/100 mgal	g ₂ mgal				
RN 000	03:36	1643	47	BASE EA															
1	07:53	1644	24	Pl. 006 005															
2	07:58	1644	41	desn. água															
3	08:03	1643	68	curvatura															
4	08:04	1643	46	VIALE															
5	08:13	1645	31	BRASPOP															
6	08:18	1645	18	Banco M. P. 000															
7	08:22	1641	71	P. 000 de 000															
8	08:25	1641	21	Map. S. 000															
9	08:33	1640	85	P. 000 L. 000															
10	08:37	1640	83	Curv. Acident.															
11	08:40	1641	03	Testuga															
12	08:44	1640	90	Curv. 000															
13	08:49	1641	06	C. Espirito															
14	08:53	1641	17	Brigade															
15	08:57	1640	78	S. 000 M. 000															

FATOR
ESCALA.....

mgal
DIV. ESC.

→

Perfil 01

OBSERVADOR: Afonso

GRAVÍMETRO: Lacoste & Romberg - G-62

PÁGINA: 1

CALCULADOR: Valência

TRÉCHO: BR-316

DISTRITO: Castanhal

ÁREA:

EQUIPE: EG-

DATA: 04/01/07

IMPRESSO NO SENAR / DIVAD / SEREP 1057

CADERNETA DE GRAVÍMETRO

ESTAÇÃO N.º	HORA h min	LEITURA		OBSERVAÇÕES	VALOR TAMBOR mgal	CORR MARE TRIPE mgal	VALOR CORR. mgal	DRIFT DURAC min	VALOR ZERO GRAV. mgal	DE/A PÁGINA	GRAVIDADE				
		TAMBOR	CONTROLE								g ¹ mgal	CORR mgal	Q ₁ mgal	CORR mgal	Q ₂ mgal
01	11:57	1641	09	R. Fco P. Silva											
02	12:02	1640	77												
03	12:03	1640	68												
04	12:06	1640	45												
05	12:09	1640	30	M. M. Jadel											
06	12:11	1640	32												
07	12:15	1640	56												
08	12:18	1640	73												
09	12:21	1641	07												
10	12:24	1641	25	COSSALPA											
11	12:27	1641	61												
12	12:32	1641	93												
13	12:35	1642	10												
14	12:38	1642	59												
15	12:41	1642	33												
16	12:45	1642	38												

OBSERVADOR: Afonso
 GRAVÍMETRO: Lacerte & Rouberg G 628
 PÁGINA: 5
 FATOR ESCALA: mgal DIV. ESC.
 CALCULADOR: Jaleia
 TRECHO: Rua Fco P. da Silva
 DISTITO: Costauhal
 ÁREA:
 EQUIPE: EG-
 DATA: 04/01/09
 IMPRESSO NO GERARJ / DIVAD / SEREP 1057

CADERNETA DE GRAVÍMETRO

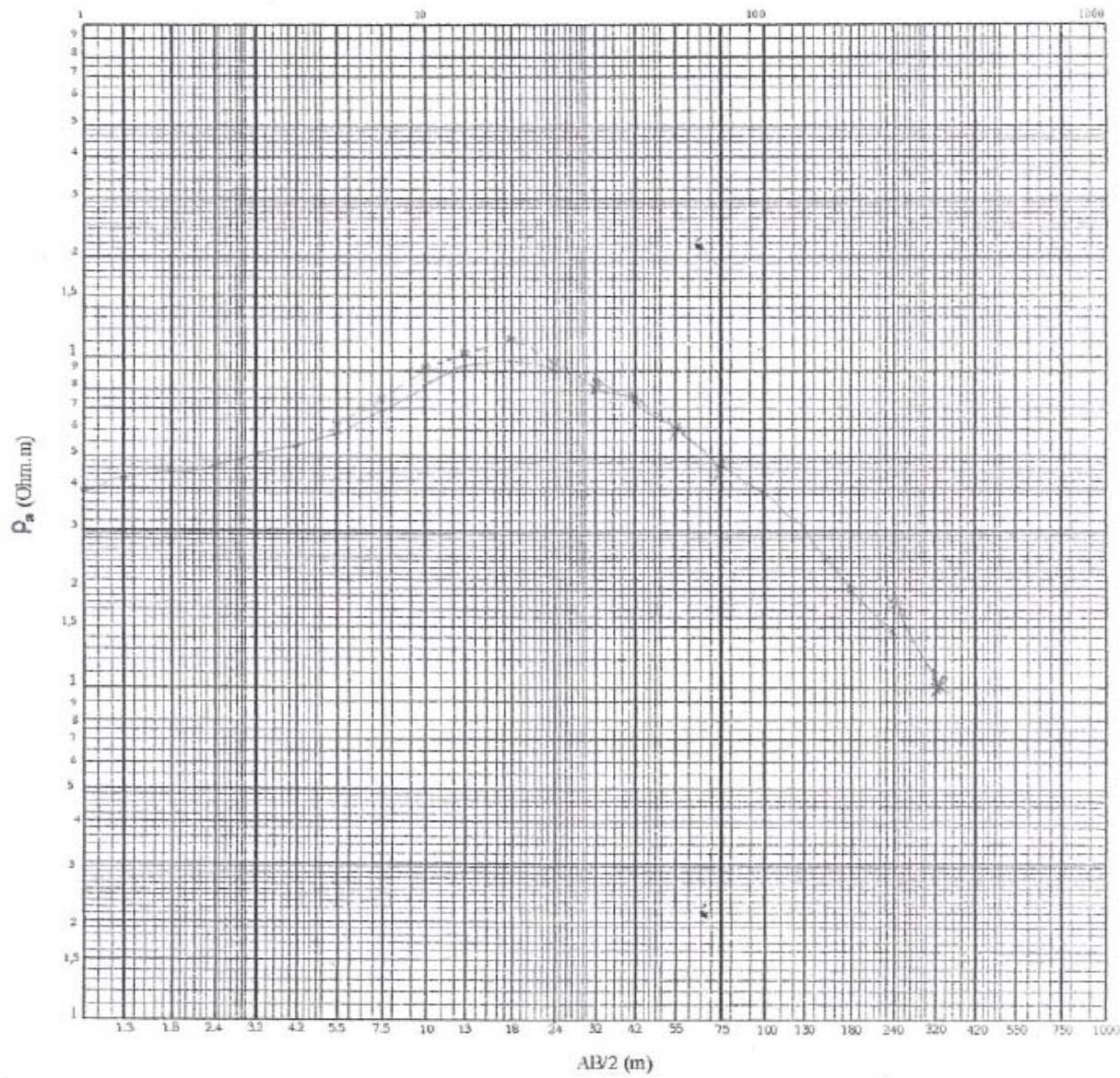
ESTAÇÃO	HORA	LEITURA		OBSERVAÇÕES	VALOR TAMBOR	CORR MARE	VALOR CORR.	DRIFT		VALOR ZERO GRAV.	DE/A PAGINA	GRAVIDADE				
		TAMBOR	CONTROLE					DURAC	1/100			g ¹	CORR	g ₁	CORR	g ₂
N.º	h min	DIVISÕES			mgal	1/100 mgal	mgal	min	1/100 mgal: min	mgal		mgal	1/100 mgal	mgal	1/100 mgal	mgal
01	15:09	1641	52													
02	15:11	1641	75													
03	15:15	1641	81													
04	15:18	1642	20													
05	15:22	1642	65													
06	15:25	1642	81													
07	15:28	1642	35													
08	15:31	1641	89													
09	15:34	1641	49													
10	15:37	1641	20													
11	15:39	1640	96													
01	15:47	1641	82													
02	15:54	1643	31													
8A)	16:33	1643	49													

FATOR ESCALA: DIV. ESC.
 OBSERVADOR: Mouso
 GRAVÍMETRO: Laurete & Paulenz G. 628 → pup. 7 e 8
 PÁGINA: 7
 CALCULADOR: Jolénia
 TRECHO: Pass. Mirandras
 DISTRITO: Castanheira
 ÁREA:
 EQUIPE: EG- DATA: 04/01/07
IMPRESSO NO DERARJ / DIVAD / GEREP. 1057

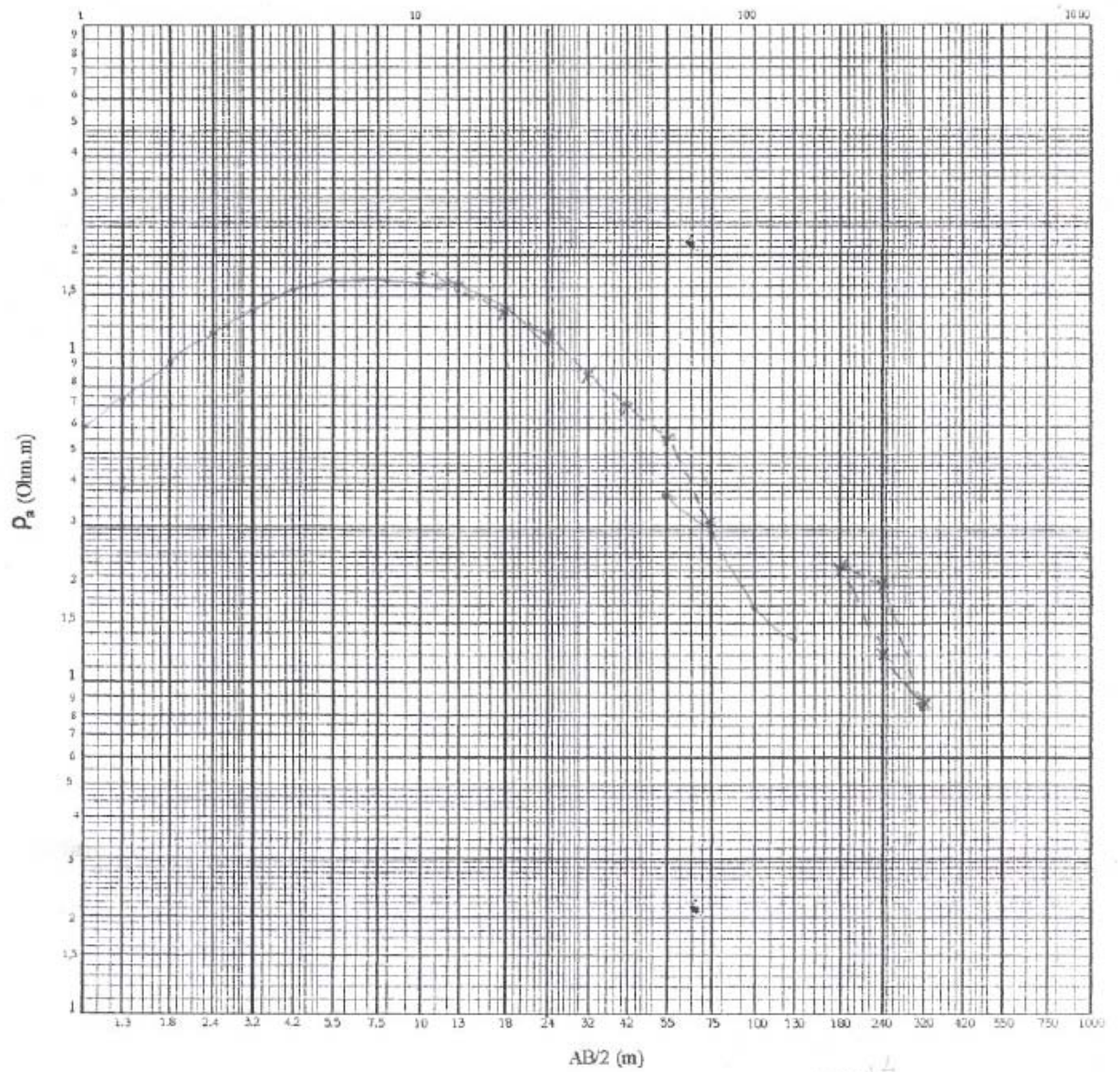
ANEXO IV

Gráficos das leituras de campo das SEV's.

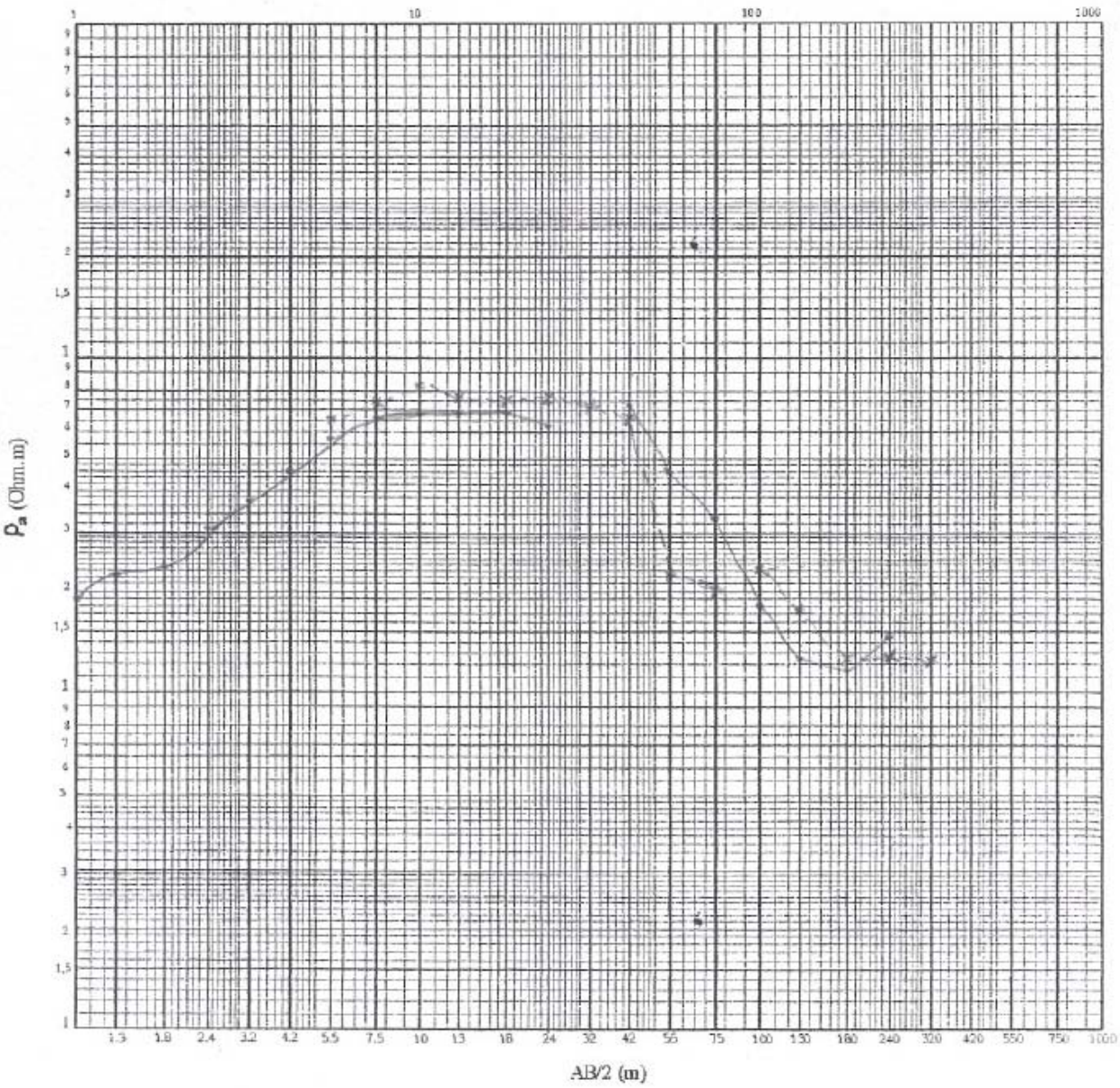
SEV 1



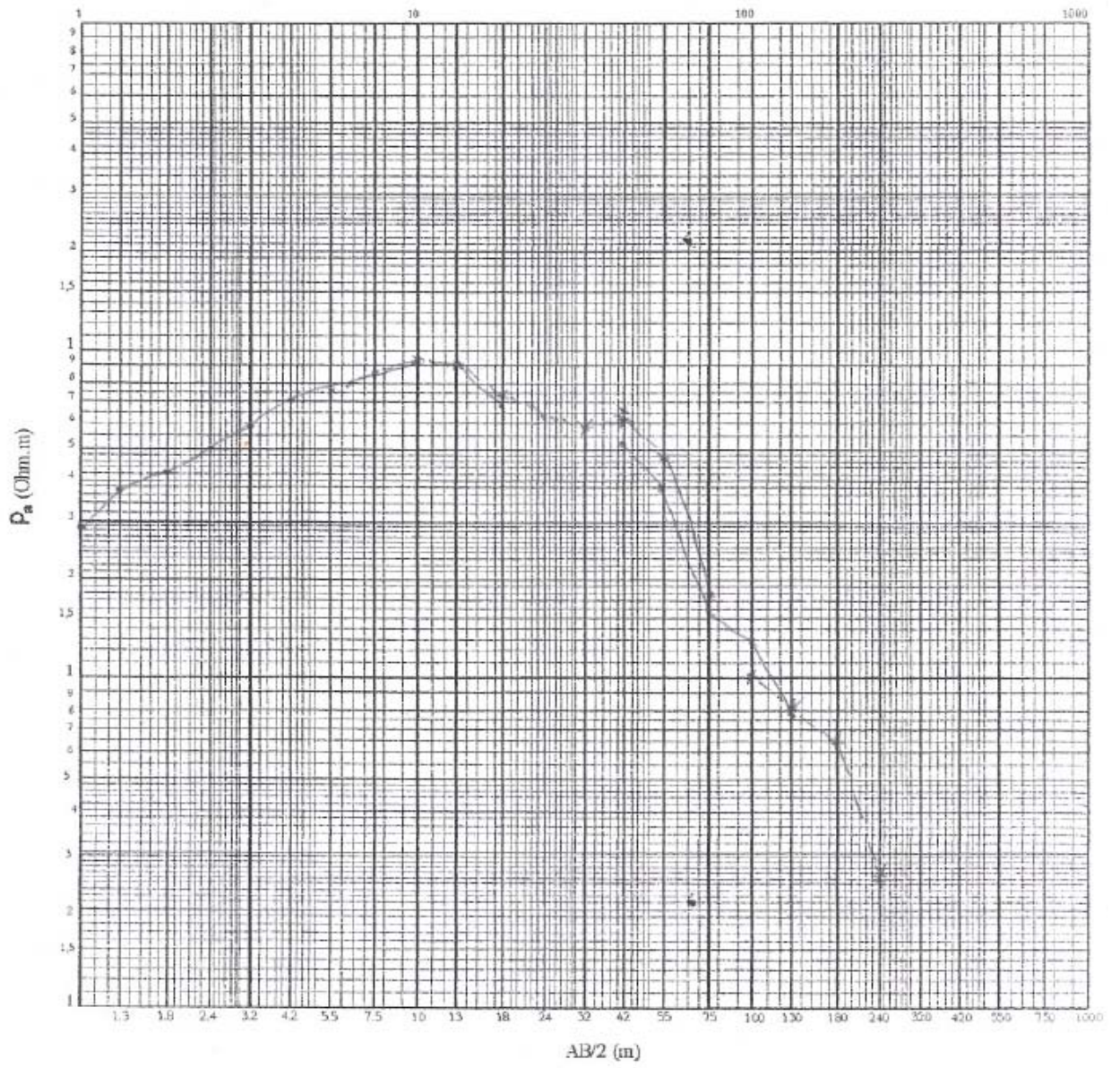
SEV 2



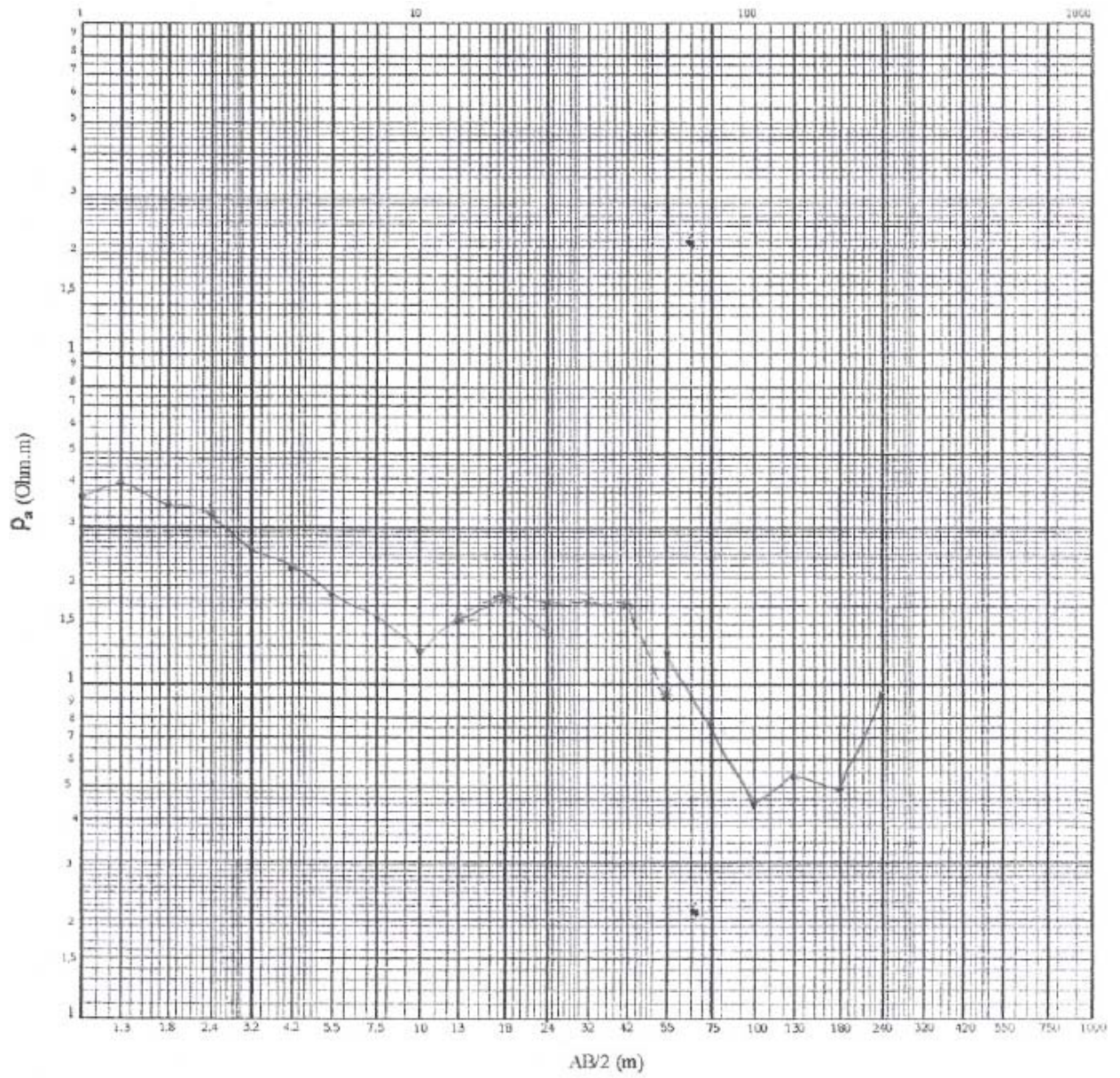
SEV 3



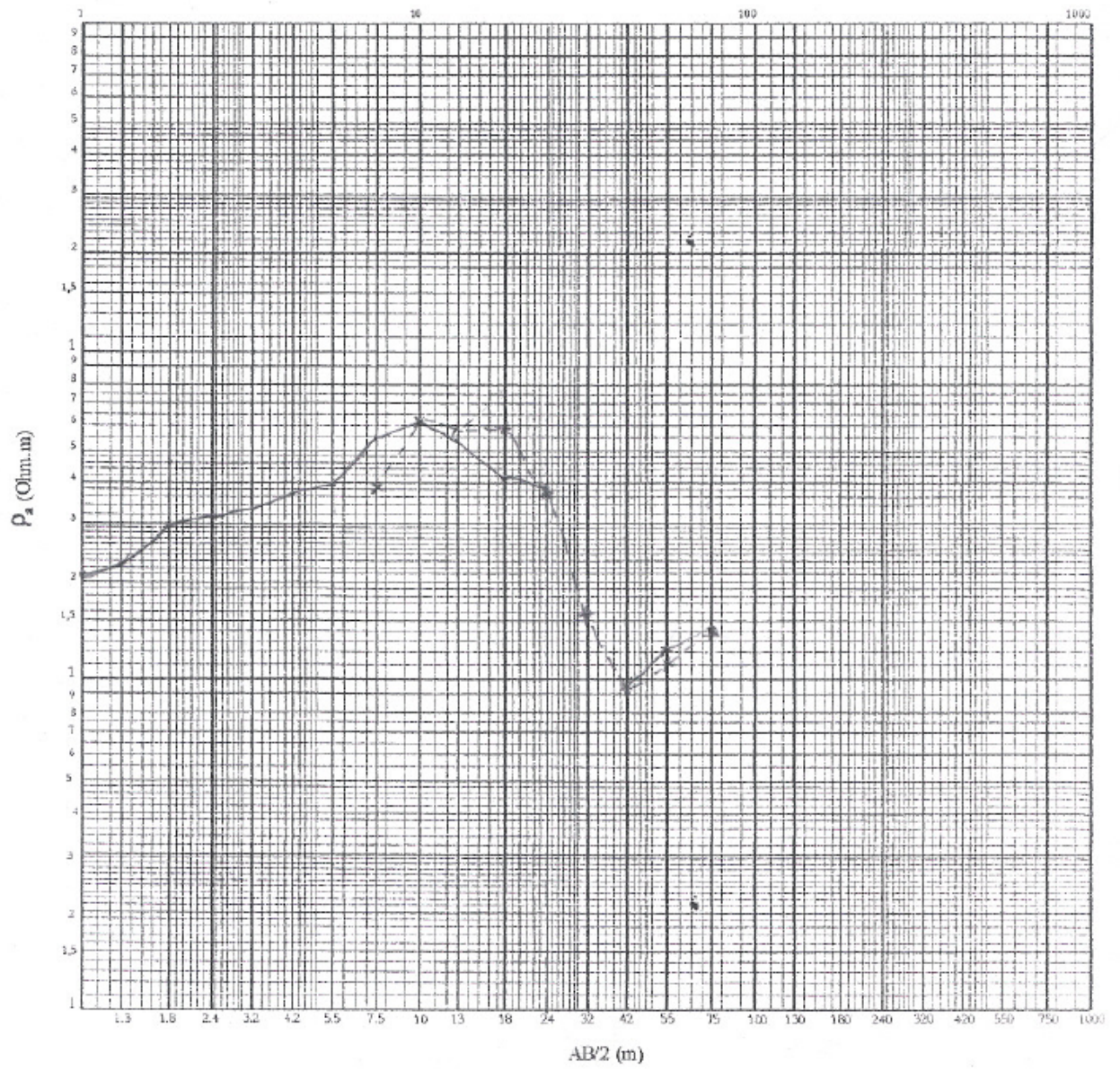
SEV 4



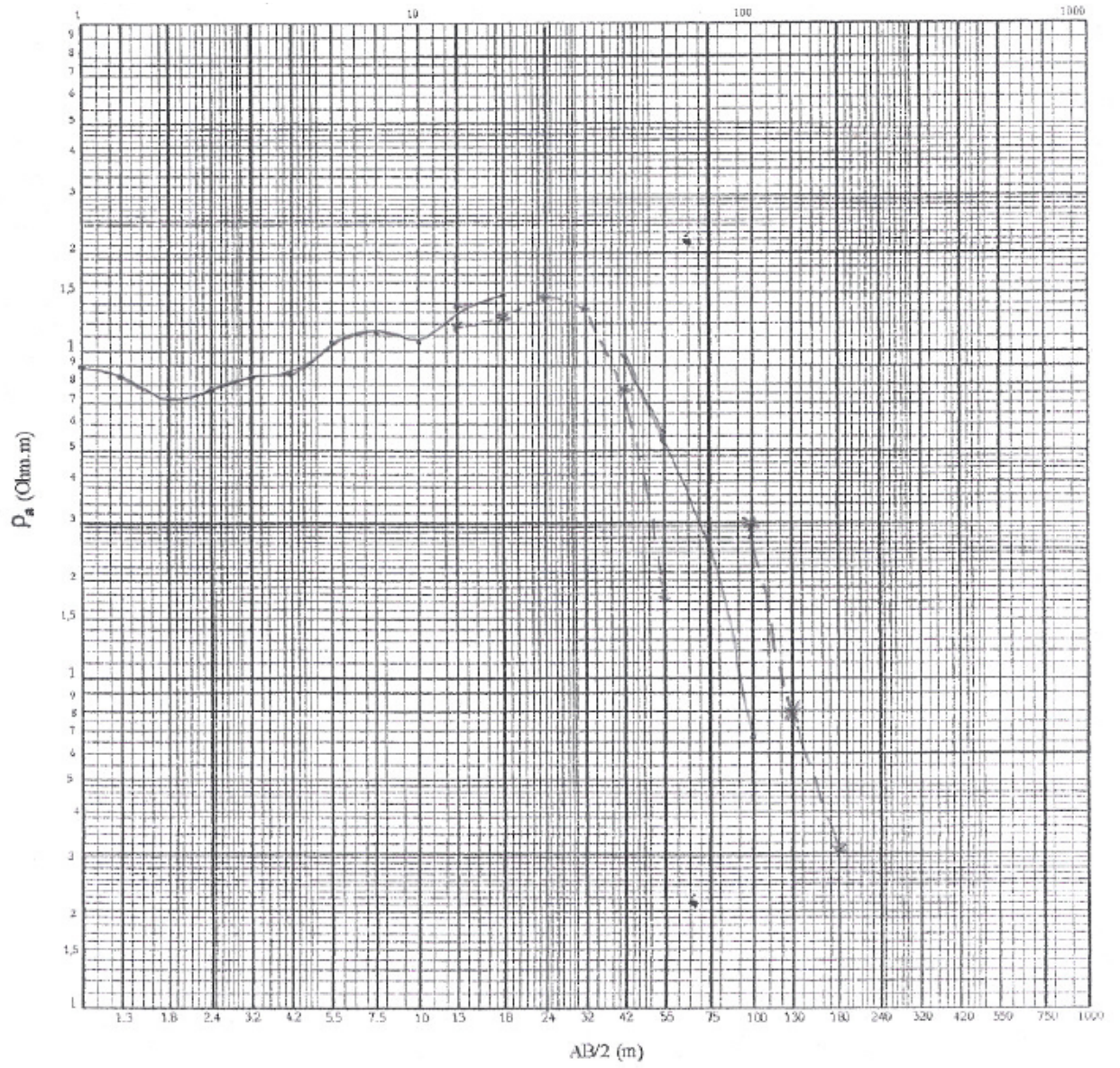
SEV 5



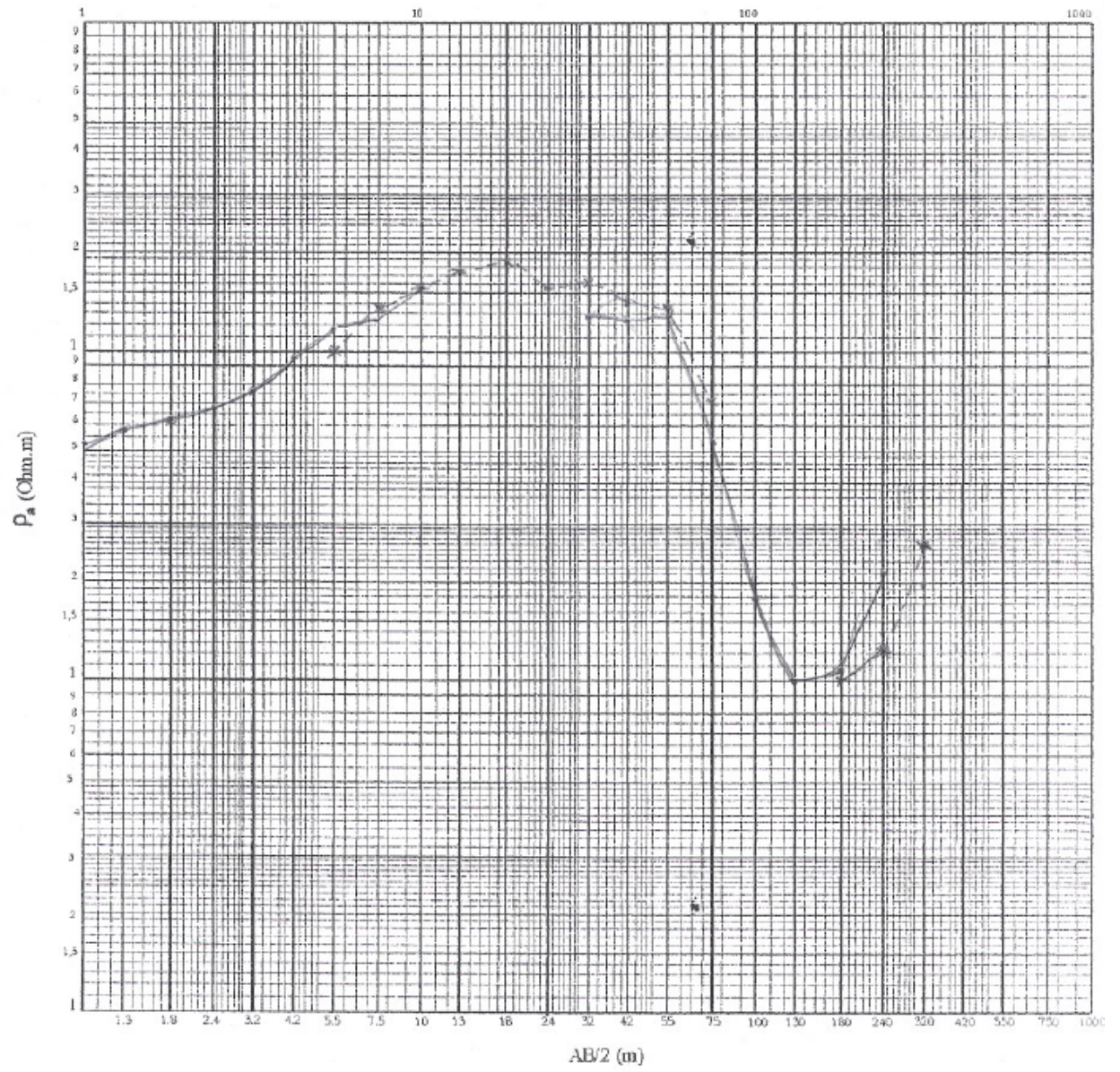
SEV 6



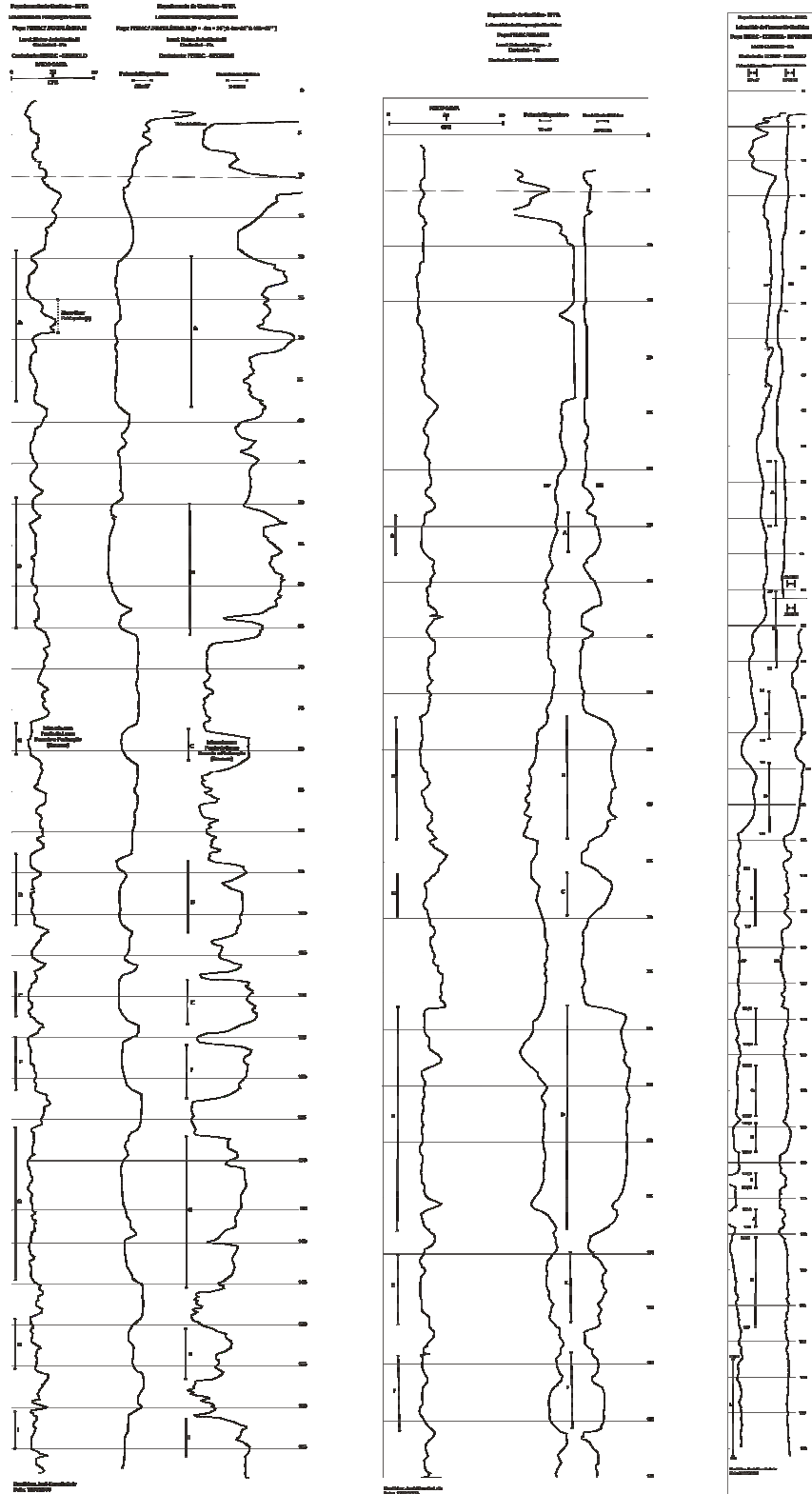
SEV 7



SEV 8



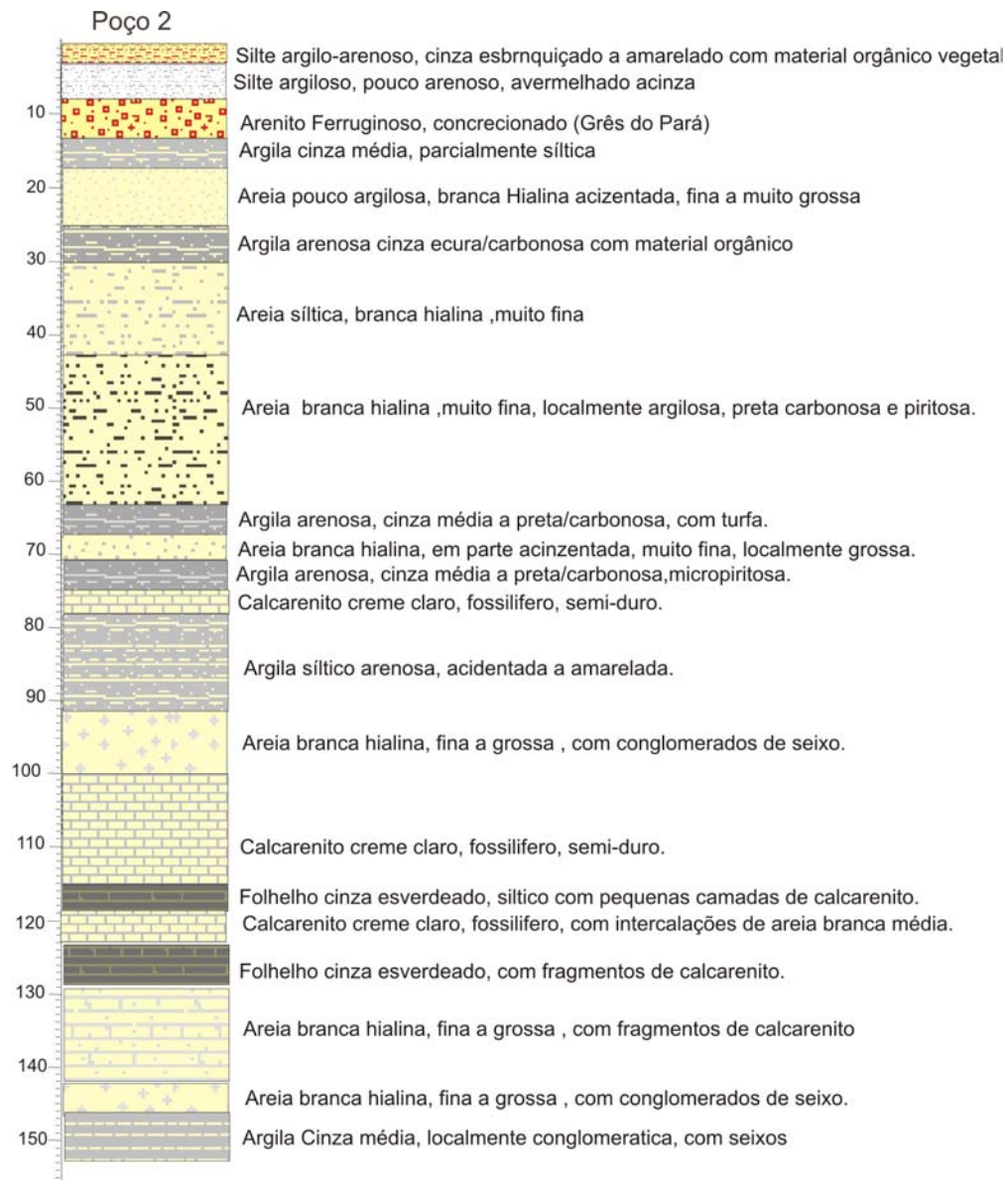
ANEXO V Perfilagem geofísica dos poços Jaderlândia 3, Milagres 2 e Imperador.

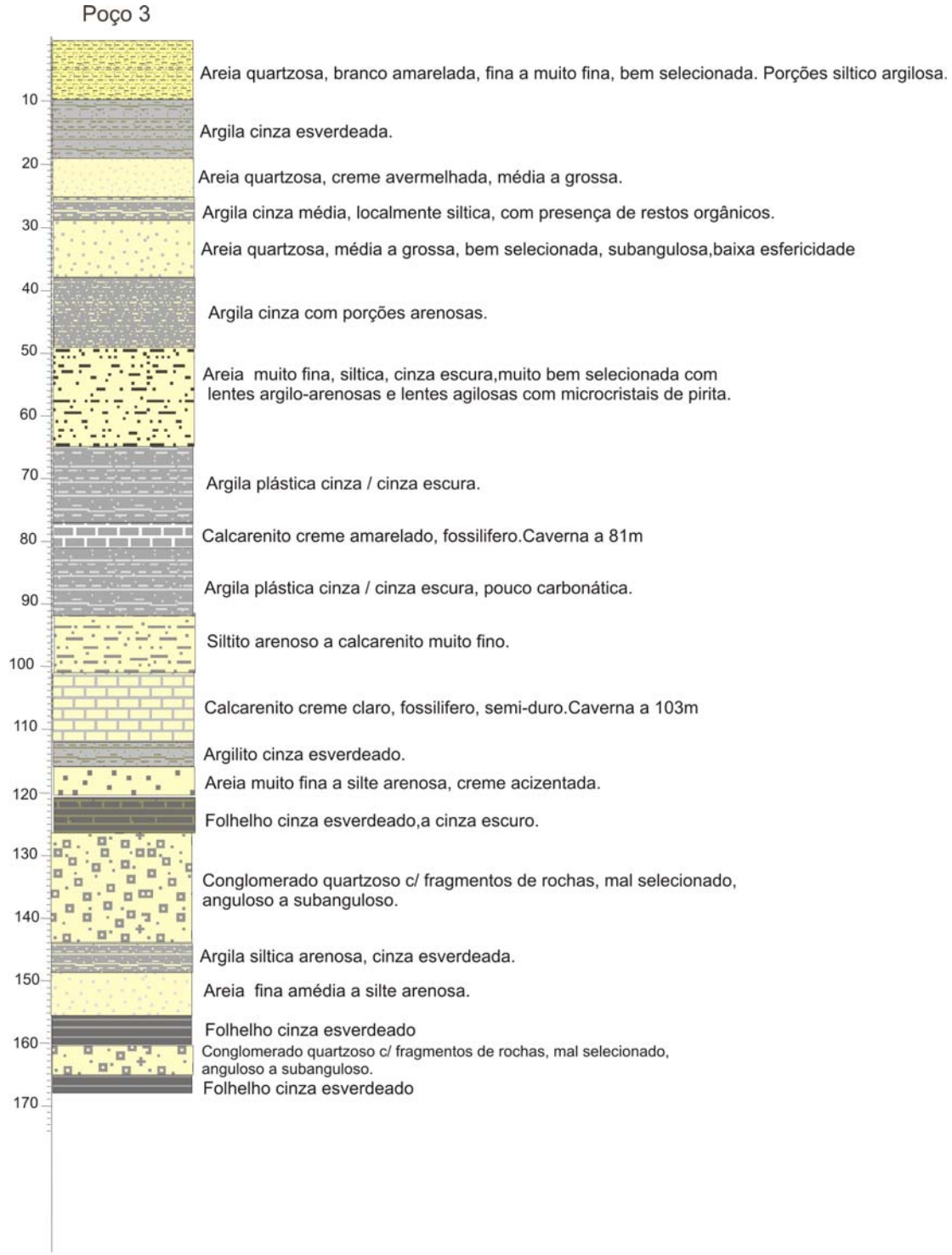


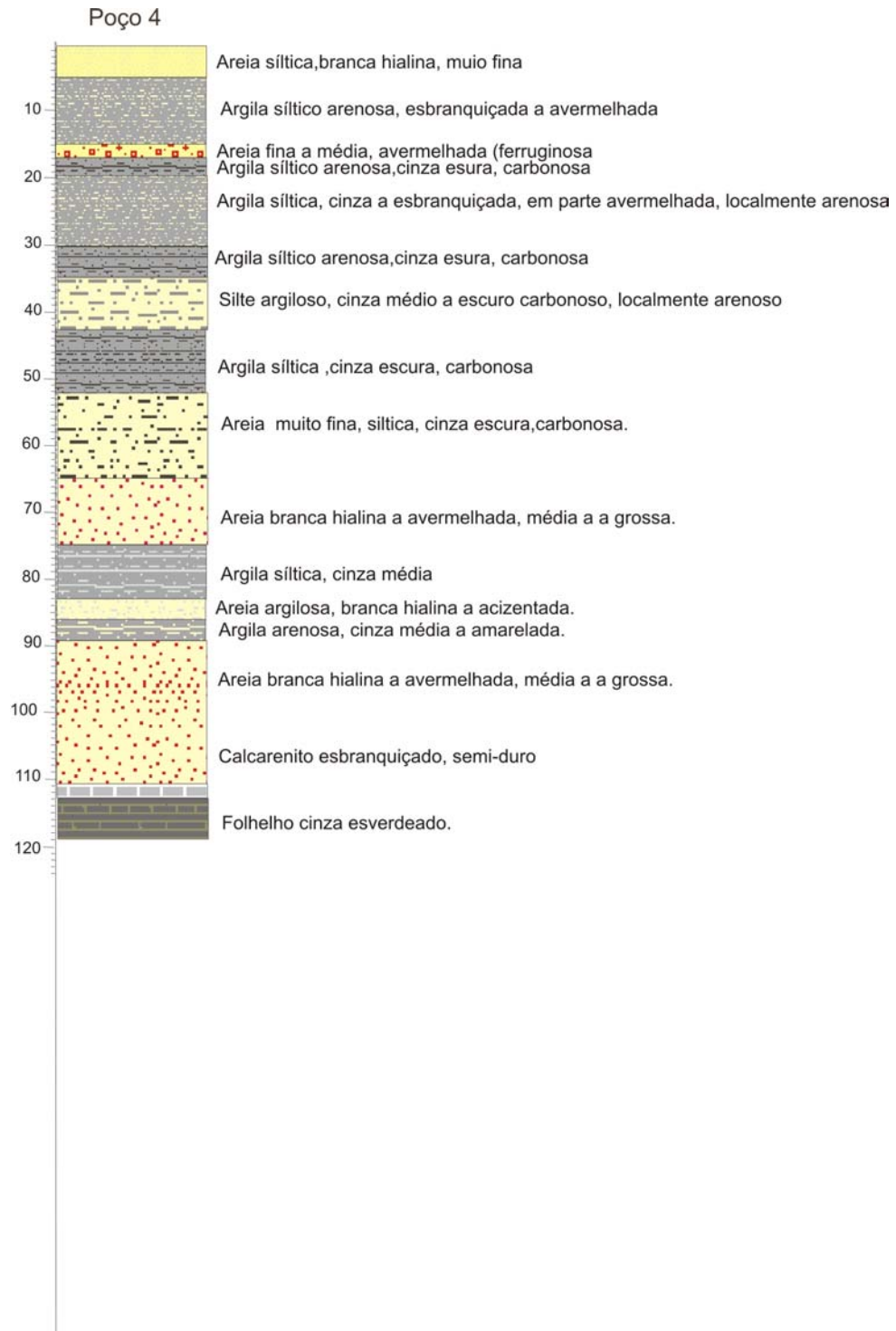
ANEXO VI

Perfil de poço com a descrição dos litotipos.



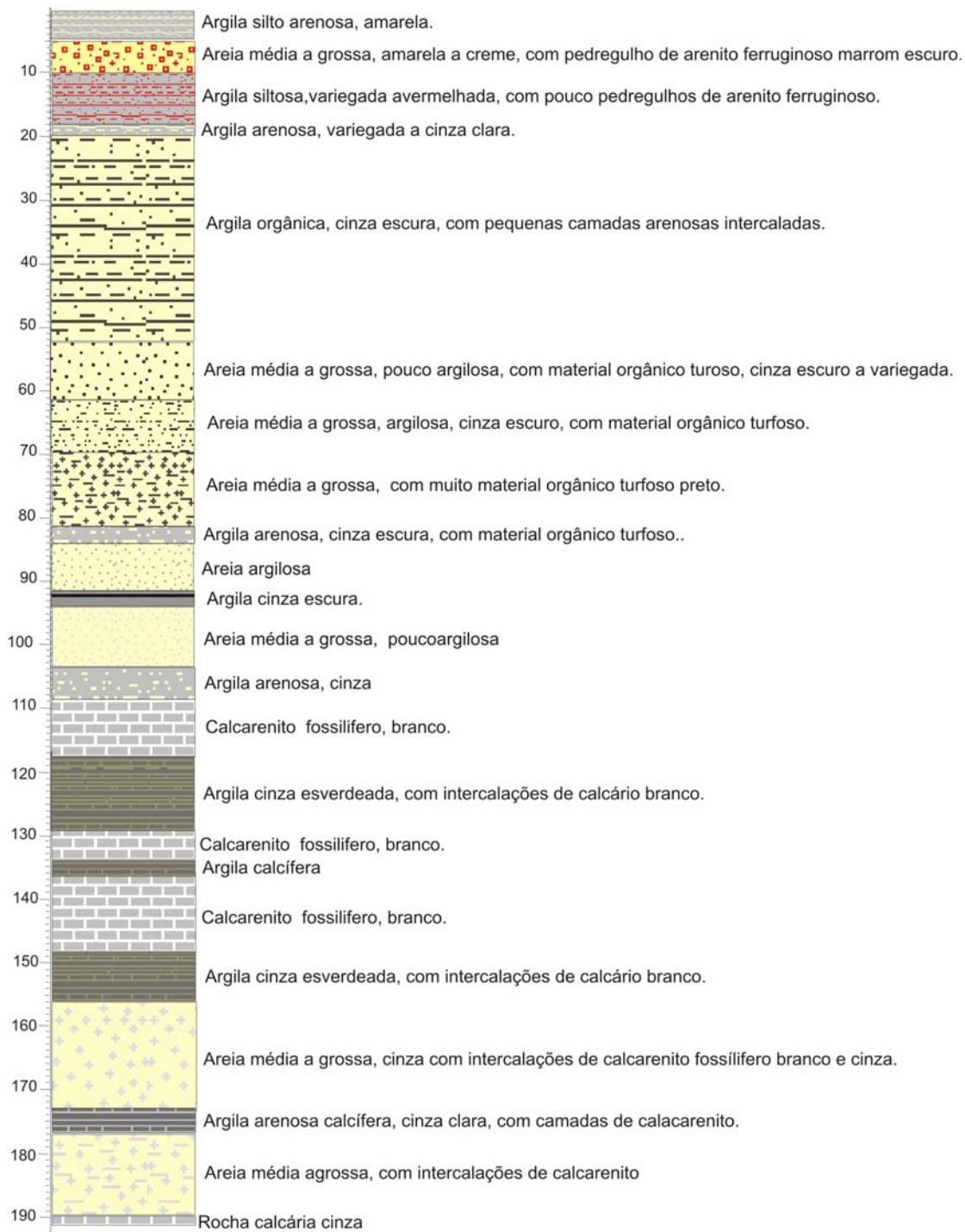


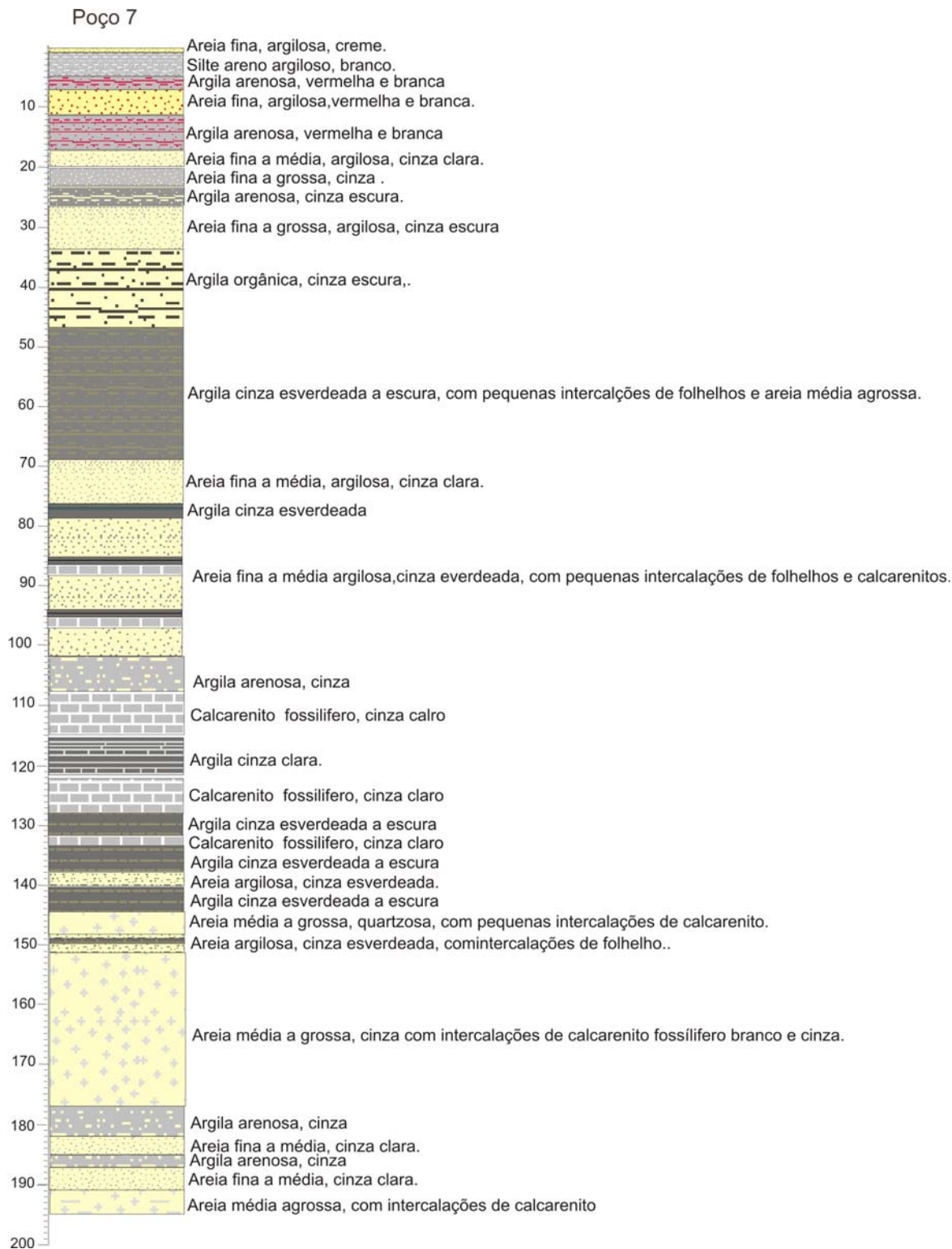






Poço 6





ANEXO VII

Relatório de dados referente à análise dos alinhamentos de drenagem.

The screenshot shows a software window titled "Relatório de Dados" with a blue title bar and standard Windows window controls (minimize, maximize, close). The main content area is a large white rectangle containing the following text:

Total de Lineamentos : 130
Comprimento Total : 927758.77
Comprimento Médio : 7136.61 +/- -3249.33
Azimute Médio : 9.12 +/- -52.55
Azimute Médio Ponderado : 1.88 +/- -53.03

At the bottom of the window, there is a light gray bar containing three buttons: "Apagar", "Fechar", and "Ajuda". Above these buttons, centered, is a button labeled "Salvar...".

Relatório de dados referente à análise dos landformes tectônicos primários.

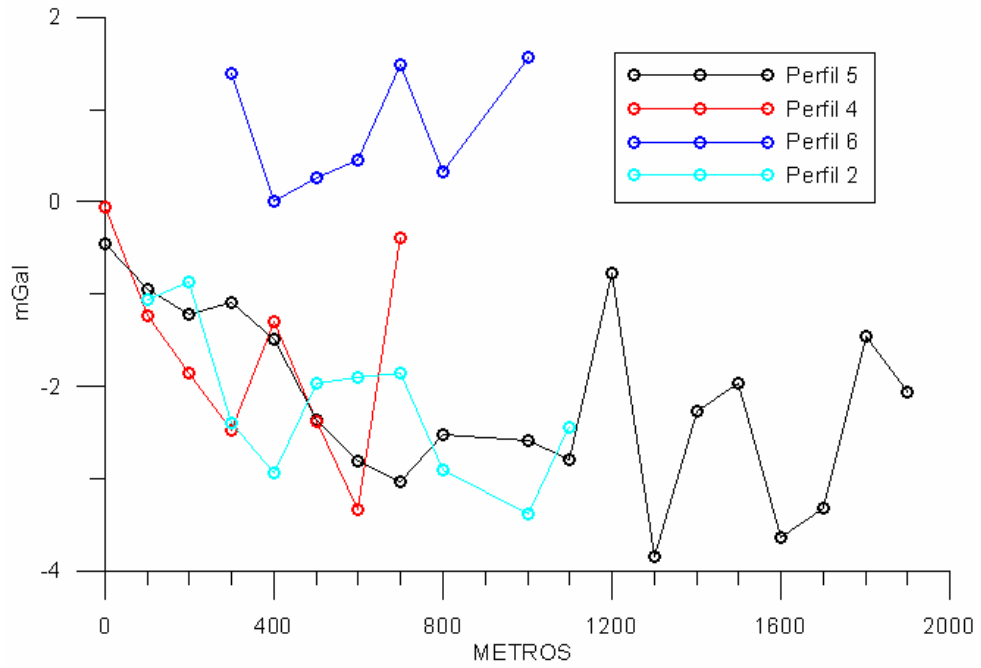
The image shows a screenshot of a software window titled "Relatório de Dados". The window has a blue title bar with standard Windows window controls (minimize, maximize, close). The main content area is a large white rectangle. At the bottom of the window, there is a light gray bar containing four buttons: "Apagar", "Fechar", "Ajuda", and "Salvar...".

The data displayed in the window is as follows:

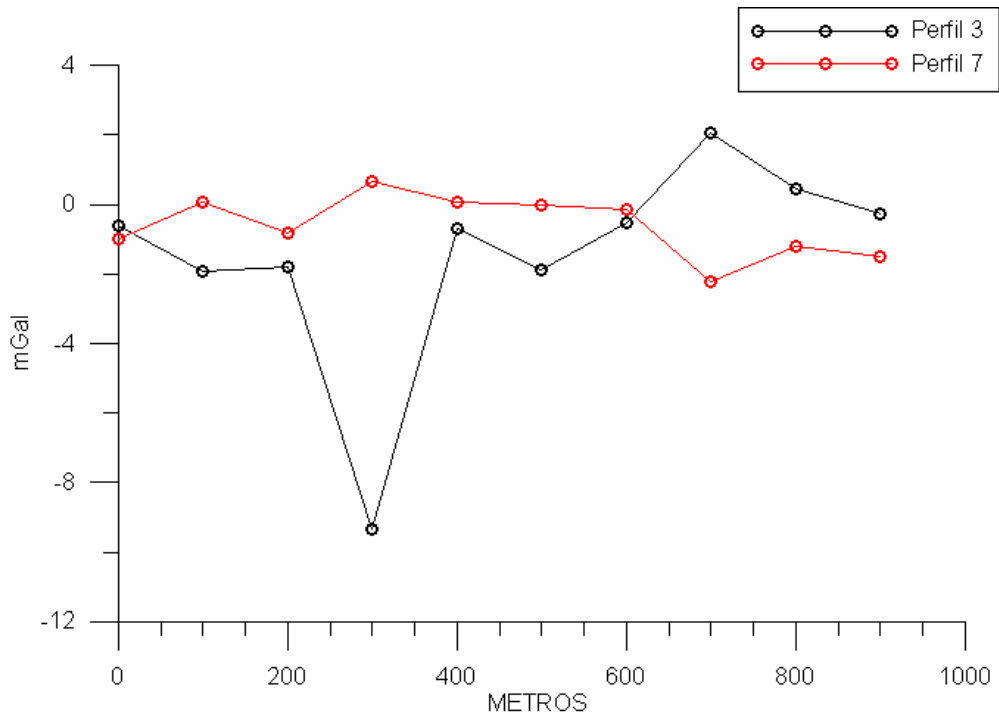
Total de Lineamentos	:	51
Comprimento Total	:	267203.00
Comprimento Médio	:	5239.27 +/- -2527.71
Azimuth Médio	:	8.79 +/- -43.13
Azimuth Médio Ponderado	:	-22.93 +/- -50.94

ANEXO VIII

GRAVIMETRIA CASTANHAL



A



B

A: perfil gravimétrico composto 2, 4, 5 e 6. **B:** perfil gravimétrico composto 3 e 7.

ANEXO IX Perfil litológico dos poços da COSANPA, na cidade de Castanhal.

LIENTE: COSANPA		CONTRATO: 39/96	
LOCAL: JADERLÂNDIA III - CASTANHAL		INÍCIO: NOVEMBRO /96	
POÇO: FEMAC - JADERLÂNDIA III - Nº 01		TÉRMINO: JANEIRO/97	

VESTIMENTO	PROFUNDIDADE QOO	PERFIL LITOLÓGICO	DESCRIÇÃO LITOLÓGICA
12" x 70,29 m	4,00		AREIA SILTICO-ARGILOSA AMARELADA, COM PEDREGULHOS DE GRES DO PARA, BASTANTE FERRUGINOSA.
	10,00		ARGILA SILTICA, CINZA ESBRANQUIÇADA, LOCALMENTE AVERMELHADA.
	12,00		ARENITO FERRUGINOSO, CONCRECIONADO (GRES DO PARA).
	17,00		ARGILA CINZA MÉDIA, EM PARTE SILTICA.
	25,00		AREIA POUCA ARGILOSA, BRANCA HIALINA ACINZENTADA, FINA A MUITO GROSSA
	30,00		ARGILA CINZA MÉDIA, EM PARTE AVERMELHADA, LOCALMENTE SILTICA, GRADANDO PARA SILTITO.
	44,00		AREIA SILTICA, BRANCA HIALINA, EM PARTE ACINZENTADA, MUITO FINA A FINA.
	61,00		AREIA BRANCA HIALINA, EM PARTE ACINZENTADA, MUITO FINA A MÉDIA, LOCALMENTE MUITO GROSSA.
	68,00		ARGILA SILTICA, CINZA MÉDIA A ESCURA, LOCALMENTE ESBRANQUIÇADA E MICROPIRITOSA.
	77,00		CALCARENITO CREME CLARO A ESBRANQUIÇADO, FOSSILÍFERO, COM CAMADAS DE FOLHELHO CINZA ESBRANQUIÇADO, SILTICO.
8" x 48,00 m	81,00		AREIA BRANCA HIALINA, FINA A MUITO GROSSA.
	85,00		FOLHELHO CINZA ESVERDEADO, COM CAMADAS DE SILTITO ARENOSO CINZENTO A AMARELADO/FERRUGINOSO.
	91,00		AREIA BRANCA HIALINA, LEVEMENTE AMARELADA E FERRUGINOSA, FINA A MUITO GROSSA, CONGLOMERADOS DE SEIXOS.
	101,00		CALCARENITO CREME CLARO A ESBRANQUIÇADO, FOSSILÍFERO, SEMI-DURO.
	105,00		AREIA BRANCA HIALINA A ACINZENTADA FINA A MUITO GROSSA.
	107,00		CALCARENITO CREME CLARO A ESBRANQUIÇADO, FOSSILÍFERO, SEMI-DURO.
	112,00		AREIA BRANCA HIALINA, FINA A MUITO GROSSA, COM CONGLOMERADOS DE SEIXOS.
	115,00		CALCARENITO CREME CLARO A ESBRANQUIÇADO, LOCALMENTE DOLOMITIZADO, MUITO DURO COM FOLHELHO CINZA ESVERDEADO, MICROMICACEO.
	118,00		AREIA BRANCA HIALINA, FINA A MUITO GROSSA.
	124,00		FOLHELHO CINZA ESVERDEADO, SILTICO, COM PEQUENAS CAMADAS DE CALCARENITO CREME CLARO E ESBRANQUIÇADO.
9,80m (0,75mm)	130,00		AREIA BRANCA HIALINA, FINA A MUITO GROSSA, COM CONGLOMERADOS DE SEIXOS.
	144,00		DOLOMITO CINZA ESCURO, DURO A MUITO DURO.
	145,00		AREIA BRANCA HIALINA, ARGILOSA, FINA A MUITO GROSSA, COM CONGLOMERADOS DE SEIXOS.
	152,00		FOLHELHO CINZA MÉDIO, LAMINADO, SEMI-DURO, SILTICO, COM FINAS CAMADAS DE CONGLOMERADO.
	159,00		AREIA BRANCA HIALINA, FINA A MUITO GROSSA, COM CONGLOMERADOS DE SEIXOS.
	176,00		FOLHELHO CINZA MÉDIO, EM PARTE PRETO/CARBONOSA, SILTICO, MICROMICACEO, COM INTERCALAÇÕES DE AREIA BRANCA HIALINA FINA A MUITO GROSSA E CONGLOMERADOS DE SEIXOS.
	189,50		AREIA BRANCA HIALINA, FINA A MUITO GROSSA, COM CONGLOMERADOS DE SEIXOS.
16,20m (0,75mm)			
PROFUNDIDADE: 180,89 m		TIPO DE FILTRO: INOX TEFIL	
DIÂMETROS DE PERF.: 24", 17 1/2" e 12 1/4"		COMPRIMENTO DO FILTRO: 32,60m	
DIÂMETROS DO REVESTIMENTO: 12" e 8"		RANHURA DO FILTRO: 0,50mm e 0,75mm	
MATERIAL DO REVEST.: TUBOS GEOMECÂNICOS		DIÂMETRO DO FILTRO: 8"	

CLIENTE: COSANPA		CONTRATO: 39/96 - COSANPA	
LOCAL: JADERLÂNDIA III - CASTANHAL		INÍCIO: FEVEREIRO/97	
POÇO: FEMAC-JADERLÂNDIA III - Nº 02		TÉRMINO: ABRIL/97	

REVESTIMENTO	PROFUNDIDADE	PERFIL LITOLÓGICO	DESCRIÇÃO LITOLÓGICA
	0,00		
	3,00		SILT ARGILOSO, POUCO ARENOSO, AVERMELHADO A CINZA ESBRANQUIÇADO.
	8,00		AREIA FINA A GROSSA, AVERMELHADA, FERRUGINOSA, E COM ALGUNS PEDREGULHOS DE GRÉS DO PARÁ.
	13,00		ARGILA SÍLTICA, CINZA MÉDIA.
	17,00		AREIA FINA A MÉDIA, EM PARTE GROSSA, LOCALMENTE ARGILOSA, BRANCA HIALINA A ACINZENTADA.
	25,00		ARGILA ARENOSA, CINZA ESCURA/CARBONOSA A CINZA MÉDIA, COM MAT. ORGÂNICA VEGETAL.
	30,00		AREIA SÍLTICA, MUITO FINA, EM PARTE ARGILOSA, CINZA MÉDIA, LOCALMENTE PRETA/CARBONOSA.
	43,00		AREIA BRANCA HIALINA A ACINZENTADA, MUITO FINA A FINA, LOCALMENTE MÉDIA, EM PARTE ARGILOSA PRETA / CARBONOSA.
	63,00		ARGILA ARENOSA, CINZA MÉDIA A PRETA/CARBONOSA COM FURFA.
	67,00		AREIA BRANCA HIALINA A ACINZENTADA, MUITO FINA A FINA, EM PARTE ARGILOSA PRETA/CARBONOSA, MICROPIRITOSA.
	71,00		ARGILA ARENOSA, CINZA MÉDIA A ESCURA/CARBONOSA, MICROPIRITOSA.
	75,00		CALCARENITO CREME CLARO A ESBRANQUIÇADO, FOSSILÍFERO.
	78,00		ARGILA SÍLTICA ARENOSA, ACINZENTADA A AMARELADA.
	91,00		AREIA BRANCA HIALINA, FINA A MUITO GROSSA, COM CONGLOMERADOS DE SEIXOS.
	100,00		CALCARENITO, CREME CLARO A ESBRANQUIÇADO, FOSSILÍFERO, SEMI-DURO A DURO, CAVERNOSO ATÉ 105 mts.
	115,00		FOLHELHO CINZA ESVERDEADO COM FRAGMENTOS DE CALCARENITO.
	119,00		CALCARENITO CREME CLARO A ESBRANQUIÇADO, FOSSILÍFERO, COM CAMADAS INTERCALADAS DE AREIA BRANCA MÉDIA A GROSSA.
	123,00		FOLHELHO CINZA ESVERDEADO COM FRAGMENTOS DE CALCARENITO CREME CLARO A ESBRANQUIÇADO.
	129,00		AREIA BRANCA HIALINA A ACINZENTADA, MÉDIA A GROSSA, COM FRAGMENTOS DE CALCARENITO.
	142,00		AREIA BRANCA HIALINA A ACINZENTADA, MÉDIA A MUITO GROSSA, COM CONGLOMERADOS DE SEIXOS.
	146,00		ARGILA CINZA MÉDIA, ARENOSA, LOCALMENTE CONGLOMERÁTICA, COM SEIXOS ACINZENTADOS.
	152,00		

PROFUNDIDADE: 148,70m	TIPO DE FILTRO: INOX TEFIL
DIÂMETROS DE PERE: 24", 17 1/2" e 12 1/4"	COMPRIMENTO DO FILTRO: 28,40m
DIÂMETROS DE REVESTIMENTO: 12" e 8"	RANHURA DO FILTRO: 0,50mm e 0,75mm
MATERIAL DO REVEST.: TUBOS DE AÇO SCHEDULE 40	DIÂMETRO DO FILTRO: 8"

NÍVEL ESTATÍCO: 21,40m	HORAS DE BOMBEAMENTO: 24h
NÍVEL DINÂMICO: 43,56m	VAZÃO MÁXIMA: 150.000 LT/H
VAZÃO DE TESTE: 103.304 LT/H	PROFUNDIDADE RECOMENDADA PARA INSTALAÇÃO DA ELETROBOMBA: 72 metros

CLIENTE: CONSTRUTORA BANDEIRANTE LTDA.		CONTRATO: PP Nº 65/99	
LOCAL: BAIRRO JADERLÂNDIA - CASTANHAL / PA.		INÍCIO: 28/02/00	
POÇO: POÇO TUBULAR FEMAC - P3		TÉRMINO: 07/04/00	
REVESTIMENTO	PROF. (m)	PERFIL LITOLÓGICO	DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS
12" X 78,47m	-10,00		Areia quartzosa, branco amarelada, fina a muito fina, bem selecionada. Porções siltico argilosas. Lente argilosa branca.
	-19,00		Argila cinza / cinza esverdeada plástica.
	-25,00		Areia quartzosa, creme avermelhada, média a grossa, moderadamente selecionada, subangulosa, alta esfericidade.
	-29,00		Argila siltica, cinza / cinza escura, Presença de restos orgânicos. Porções arenosas.
	-38,00		Areia quartzosa, média a grossa, bem selecionada, subangulosa, baixa esfericidade.
	-49,00		Argila cinza / cinza escura, com porções arenosas.
	-65,00		Areia muito fina, siltica, cinza escura, muito bem selecionada, com lentes argilo-arenosas brancas e lente argilosa plástica cinza escura com microcristais de pirita.
	-77,00		Argila plástica cinza / cinza escura.
	-81,00		Calcarenito fino a médio, creme amarelado, fóssilífero (fragmentos de concha e espículas). Caverna a 81m.
	-92,00		Argila plástica, pouco carbonática, cinza esverdeada / cinza escura.
REDUÇÃO 12" X 8" X 0,25m	-101,00		Siltito arenoso a calcarenito muito fino siltico, creme acinzentado
8" X 36,35m	-112,00		Calcarenito médio a calcosiltito, branco amarelado, fóssilífero (fragmentos de conchas, espículas, dentes de peixe). Caverna a 103 m.
	-115,00		Argilito cinza / cinza esverdeado.
8" X 7,63m	-121,00		Areia muito fina a silte arenoso, creme acinzentada.
	-126,00		Folhelho cinza esverdeado a cinza escuro
8" X 3,20m (0,75mm)	-144,00		Conglomerado quartzoso c/ fragmentos de rochas, mal selecionado, anguloso a subanguloso, baixa esfericidade.
	-149,00		Argila siltica arenosa, cinza esverdeada, a areia fina a média siltica,
8" X 4,08m	-156,00		Areia fina a média a silte arenoso.
	-160,00		Folhelho cinza esverdeado.
8" X 10,04m	-165,00		Conglomerado quartzoso, com fragmentos de rocha, mal selecionado, anguloso, baixa esfericidade.
	-168,00		Folhelho cinza esverdeado
PÉ DO POÇO 8" X 2,00 m			
PROFUNDIDADE DO POÇO: 167,66 m		TIPO DE FILTRO: Aço inox AISI 304.	
DIÂMETROS DE PERF.: 12 1/4", 17 1/2", 20" e 24".		COMPRIMENTO DO FILTRO: 28,86	
DIÂMETROS DO REVESTIMENTO: 12" e 8"		RANHURA DO FILTRO: 0,75 mm	
MAT. DE REVEST.: Tubos de aço carbono.		DIÂMETRO DO FILTRO: 8"	
NÍVEL ESTATICO: 24,67 m.		DURAÇÃO DO TESTE DE BOMBEAMENTO: 24 horas.	
NÍVEL DINÂMICO FINAL DE TESTE: 38,77 m.		VAZÃO MÁXIMA DO POÇO: 153.000 lt/h.	
VAZÃO FINAL DE TESTE: 142.000 lt/h.		PROFUNDIDADE DE INST. DA ELETROBOMBA: 60 m.	

CLIENTE: COSANPA		CONTRATO: 39/96	
LOCAL: MILAGRES - CASTANHAL		INÍCIO: ABRIL / 97	
POÇO: FEMAC - MILAGRES - Nº 01		TÉRMINO: MAIO / 97	

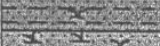
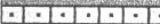
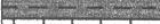
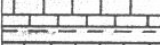
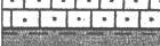
REVESTIMENTO	PROFUNDIDADE	PERFIL LITOLÓGICO	DESCRIÇÃO LITOLÓGICA
12" x 68,83 m 8" x 6,14 m (0,75 mm) 8" x 16,00 m 8" x 6,10 m (0,75 mm) 8" x 12,80 m (0,50 mm) → FIM DO POÇO 8" x 0,50 m.	0,00		AREIA SÍLTICA, BRANCA HIALINA, MUITO FINA.
	5,00		ARGILA SÍLTICO ARENOSA, ESBRANQUIÇADA A AVERMELHADA.
	15,00		AREIA FINA A MÉDIA, AVERMELHADA (FERRUGINOSA).
	17,00		ARGILA SÍLTICO ARENOSA, CINZA ESCURA, CARBONOSA.
	20,00		ARGILA SÍLTICA, CINZA MÉDIA A ESBRANQUIÇADA, EM PARTE AVERMELHADA, LOCALMENTE ARENOSA.
	28,00		ARGILA SÍLTICO ARENOSA, ACINZENTADA, LOCALMENTE AMARELADA
	30,00		ARGILA SÍLTICO ARENOSA, CINZA MÉDIA, EM PARTE CINZA ESBRANQUIÇADA A AVERMELHADA, LOCALMENTE ESCURA E CARBONOSA.
	35,00		SILTE ARGILOSO, CINZA MÉDIO A ESCURO CARBONOSO, LOCALMENTE ARENOSO.
	43,00		ARGILA SÍLTICA, CINZA MÉDIA A ESCURA/CARBONOSA.
	52,00		AREIA SÍLTICA, FINA A MÉDIA, CINZA MÉDIA A ESCURA/CARBONOSA.
	65,00		AREIA BRANCA HIALINA A AVERMELHADA, MÉDIA A GROSSA, LOCALMENTE MUITO GROSSA.
	75,00		ARGILA SÍLTICA, CINZA MÉDIA.
	83,00		AREIA ARGILOSA, BRANCA HIALINA A ACINZENTADA.
	86,00		ARGILA ARENOSA, CINZA MÉDIA A AMARELADA.
	89,00		AREIA BRANCA HIALINA A AVERMELHADA MÉDIA A GROSSA.
	110,37		
	113,00		CALCARENITO ESBRANQUIÇADO, SEMI - DURO
	120,00		FOLHELHO CINZA ESVERDEADO.

PROFUNDIDADE: 110,37m	TIPO DE FILTRO: INOX TEFIL
DIÂMETROS DE PERE: 24", 17 1/2" e 12 1/4"	COMPRIMENTO DO FILTRO: 25,04m
DIÂMETROS DO REVESTIMENTO: 12" e 8"	RANHURA DO FILTRO: 0,50mm e 0,75mm
MATERIAL DO REVEST.: TUBOS GEOMECÂNICOS	DIÂMETRO DO FILTRO: 8"
NÍVEL ESTATICO: 14,40m	HORAS DE BOMBEAMENTO: 24h
NÍVEL DINÂMICO: 52,00m	VAZÃO MÁXIMA: 110.000 LT/H.

CLIENTE: COSANPA	CONTRATO n°: 74 / 98 - COSANPA
LOCAL: Bairro do Milagre - Castanhal	INÍCIO: 05 / 08 / 98
POÇO: FEMAC - Milagre n° 2	TÉRMINO: 05 / 09 / 98

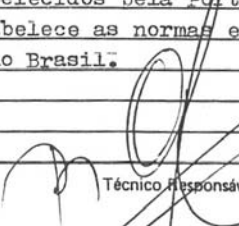
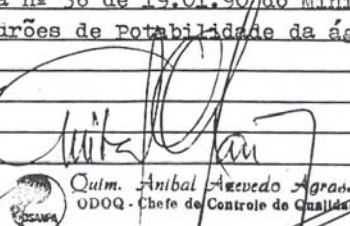
REVESTIMENTO	PROF. (m)	PERFIL LITOLÓGICO	DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS
	3,00		Areia fina a muito fina, sub-arredondada, levemente micácea.
	8,00		Caulim branco hialino, localmente argiloso.
	12,00		Areia creme avermelhada, lateritizada.
	16,00		Areia argilosa creme avermelhada, com pequenas lentes de caulim.
	25,00		Argila arenosa avermelhada, com clastos de quartzo arredondados e caulim branco.
	34,00		Argila creme avermelhada, com pequenas lentes de caulim.
	37,00		Areia marrom escura, lateritizada, com caulim avermelhado e fragmentos de rocha.
	52,00		Intercalações de argila branca avermelhada com folhelho cinza escuro e lentes de argila lateritizada.
	63,00		Areia bastante lateritizada, com pequenas lentes de argila cinza avermelhada.
	66,00		Caulim branco com intercalações de argila cinza escura a preta, folhelho cinza esverdeado e concreções lateríticas.
	70,00		Intercalação argila/conglomerado cinza escuro.
	78,00		Argila cinza escura a preta, intercalada com níveis conglomeráticos e concreções lateríticas.
	98,00		Areia cinza amarelada intercalada com lentes de folhelho cinza esverdeado.
	100,00		Argila cinza escura a preta, intercalada com níveis conglomeráticos.
	106,00		Calcarenito/calculutito creme amarelado, fossilífero, com boa porosidade, intercalado com lentes de folhelho cinza esverdeado.
	109,00		
	121,00		

PROFUNDIDADE: 120,20 m	TIPO DE FILTRO: INOXIDÁVEL
DIÂMETROS DE PERF: 24", 20", 17 ^{1/2} " e 12 ^{1/2} "	COMPRIMENTO DO FILTRO: 29,40 m
DIÂMETROS DO REVESTIMENTO: 12" e 8"	RANHURA DO FILTRO: 0,75 mm
MATERIAL DO REVESTIMENTO: GEOMECÂNICO	DIÂMETRO DO FILTRO: 8"
NÍVEL ESTÁTICO: 17,80 m	HORAS DE BOMBEAMENTO: 48 hs
NÍVEL DINÂMICO: 52,86 m	VAZÃO MÁXIMA: 100.000 Lt / h
VAZÃO DE TESTE: 81.800 Lt / h	PROFUNDIDADE RECOMENDADA PARA INSTALAÇÃO DA ELETROBOMBA: 66 m

CLIENTE: COSANPA		CONTRATO: Nº 42/02-COSANPA	
LOCAL: LOTEAMENTO IMPERADOR, CASTANHAL - PA		INÍCIO: 10/09/02	
POÇO: P2 - IMPERADOR		TÉRMINO: 20/10/02	
REVESTIMENTO	PROF. (m)	PERFIL LITOLÓGICO	DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS
	5,00		ARGILA SILTO ARENOSA, AMARELA.
	10,00		AREIA MÉDIA A GROSSA, AMARELA A CREME, COM PEDREGULHOS DE ARENITO FERRUGINOSO MARROM ESCURO.
	18,00		ARGILA SILTOSA, VARIEGADA A VERMELHA, COM POUCOS PEDREGULHOS DE ARENITO FERRUGINOSO. CAMADA ARENOSA DE 14 A 15 METROS.
	20,00		ARGILA ARENOSA, VARIEGADA A CINZA CLARA.
	52,00		ARGILA ORGÂNICA, CINZA ESCURA, COM PEQUENAS CAMADAS ARENOSAS INTERCALADAS.
	61,00		AREIA MÉDIA, POUCO ARGILOSA, COM MATERIAL ORGÂNICO TURFOSO, CINZA ESCURA A VARIEGADA.
	70,00		AREIA MÉDIA A GROSSA, ARGILOSA, CINZA ESCURA, COM MATERIAL ORGÂNICO TURFOSO.
	81,00		AREIA MÉDIA A GROSSA, CINZA, COM MUITO MATERIAL ORGÂNICO TURFOSO PRETO.
	84,00		ARGILA ARENOSA, CINZA ESCURA, COM MATERIAL ORGÂNICO TURFOSO.
	91,00		AREIA ARGILOSA, CINZA ESCURA.
	94,00		ARGILA CINZA ESCURA.
	104,00		AREIA MÉDIA A GROSSA, POUCO ARGILOSA, CINZA.
	109,00		ARGILA ARENOSA, CINZA.
	117,00		CALCARENITO FOSSILÍFERO, BRANCO.
	129,00		ARGILA CINZA ESVERDEADA, COM INTERCALAÇÕES DE CALCÁRIO BRANCO.
	134,00		CALCÁRIO FOSSILÍFERO, BRANCO.
	136,50		ARGILA CALCÍFERA, BRANCA, COM INTERCALAÇÕES DE CALCÁRIO.
	148,50		CALCÁRIO / CALCARENITO FOSSILÍFERO, BRANCO.
	156,00		ARGILA CINZA ESVERDEADA, COM INTERCALAÇÕES DE CALCÁRIO BRANCO.
	173,00		AREIA MÉDIA A GROSSA, CINZA, COM INTERCALAÇÕES DE CALCARENITO FOSSILÍFERO BRANCO E CINZA.
	177,50		ARGILA ARENOSA CALCÍFERA, CINZA CLARA, COM CAMADAS DE CALCARENITO. ROCHA DE CALCÁRIO CINZA ESCURO, MUITO DURO, DE 175,40 A 176 METROS.
	191,00		AREIA MÉDIA A GROSSA, CINZA, COM INTERCALAÇÕES DE CALCARENITO FOSSILÍFERO BRANCO E CINZA.
			ROCHA CALCÁRIA CINZA.
PROFUNDIDADE DO POÇO: 191,16 m		TIPO DE FILTRO: AÇO INOX AISI 304	
DIÂMETROS DE PERF.: 12 1/4", 17 1/2", 20" E 26"		COMPRIMENTO DO FILTRO: 36,31	
DIÂMETROS DO REVESTIMENTO: 12" e 8"		RANHURA DO FILTRO: 0,75 mm	
MAT. DE REVEST.: TUBOS DE AÇO CARBONO		DIÂMETRO DO FILTRO: 8"	
NÍVEL ESTATÍCO: 33,50 m.		DURAÇÃO DO TESTE DE BOMBEAMENTO: 24:00 hs	
NÍVEL DINÂMICO FINAL DE TESTE: 54,50 m.		VAZÃO MÁXIMA DO POÇO: 80.000 lt/h.	
VAZÃO FINAL DE TESTE: 54.000 lt/h		PROFUNDIDADE DE INST. DA BOMBA P/ VAZÃO MÁXIMA: 75 m.	

CLIENTE: COSANPA		CONTRATO: Nº 42/02-COSANPA	
LOCAL: RUA MARECHAL DEODORO S/Nº, CASTANHAL		INÍCIO: 29/07/02	
POÇO: P1 - SALGADO GRANDE		TÉRMINO: 09/09/02	
REVESTIMENTO	PROF. (m)	PERFIL LITOLÓGICO	DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS
12" X 79,75m	1,00		AREIA FINA, ARGILOSA, CREME.
	5,00		SILTE ARENO ARGILOSO, BRANCO.
	7,00		ARGILA ARENOSA, VERMELHA E BRANCA.
	11,00		AREIA FINA, ARGILOSA, VERMELHA E BRANCA.
	17,00		ARGILA ARENOSA, VERMELHA E BRANCA.
REDUÇÃO 12" X 8" X 0,25m	20,00		AREIA FINA A MÉDIA, ARGILOSA, CINZA CLARA.
	23,00		AREIA FINA A GROSSA, CINZA.
	26,00		ARGILA ARENOSA, CINZA ESCURA.
	34,00		AREIA FINA A GROSSA, ARGILOSA, CINZA ESCURA.
	47,00		ARGILA ORGÂNICA, CINZA ESCURA.
8" X 65,20m	69,00		ARGILA CINZA ESVERDEADA A ESCURA, COM PEQUENAS INTERCALAÇÕES DE FOLHELHOS E AREIA MÉDIA A GROSSA.
	76,00		AREIA FINA A MÉDIA, ARGILOSA, CINZA.
	79,50		ARGILA CINZA ESVERDEADA.
	102,50		AREIA FINA A MÉDIA, ARGILOSA, CINZA ESVERDEADA, COM PEQUENAS INTERCALAÇÕES DE FOLHELHOS E CALCARENITO ESBANQUETADO.
	108,00		ARGILA ARENOSA, CINZA CLARA.
8" X 3,00m	115,00		CALCÁRIO / CALCARENITO FOSSILÍFERO, CINZA CLARO.
	122,50		ARGILA CINZA CLARA.
	128,50		CALCARENITO FOSSILÍFERO, CINZA CLARO.
	132,00		ARGILA CINZA ESVERDEADA A ESCURA.
	134,00		CALCARENITO FOSSILÍFERO, CINZA CLARO.
8" X 3,30m (0,75mm)	138,00		ARGILA ESCURA A ESVERDEADA.
	141,50		AREIA ARGILOSA, CINZA ESVERDEADA.
	144,00		ARGILA CINZA ESVERDEADA.
	148,00		AREIA MÉDIA A GROSSA, QUARTZOSA, CINZA, COM PEQUENAS INTERCALAÇÕES DE CALCARENITO.
	151,00		AREIA ARGILOSA, CINZA ESVERDEADA, COM INTERCALAÇÕES DE ARGILA/FOLHELHOS.
8" X 26,40m (0,75mm)			AREIA MÉDIA A GROSSA, CINZA, COM INTERCALAÇÕES DE CALCARENITO FOSSILÍFERO. ROCHA CALCÁREA CINZA ESCURA DE 157,70 A 158,70 METROS.
	177,50		ARGILA ARENOSA, CINZA CLARA.
	182,00		AREIA MÉDIA, CINZA CLARA.
	184,00		ARGILA ARENOSA, CINZA CLARA.
	187,00		AREIA MÉDIA A GROSSA, CINZA CLARA.
8" X 2,20m	191,00		AREIA ARGILOSA, CINZA CLARA, COM INTERCALAÇÕES DE CALCARENITO FOSSILÍFERO.
	195,00		
PÉ DO POÇO 8" X 2,79 m			
PROFUNDIDADE DO POÇO: 193,59 m		TIPO DE FILTRO: AÇO INOX AISI 304	
DIÂMETROS DE PERF.: 12 1/4", 17 1/2", 20" E 26".		COMPRIMENTO DO FILTRO: 36,30	
DIÂMETROS DO REVESTIMENTO: 12" e 8"		RANHURA DO FILTRO: 0,75 mm	
MAT. DE REVEST.: TUBOS DE AÇO CARBONO		DIÂMETRO DO FILTRO: 8"	
NÍVEL ESTÁTICO: 28,80 m.		DURAÇÃO DO TESTE DE BOMBEAMENTO: 24:00 hs.	
NÍVEL DINÂMICO FINAL DE TESTE: 48,00 m.		VAZÃO MÁXIMA DO POÇO: 150.000 lt/h.	
VAZÃO FINAL DE TESTE: 91.525 lt/h.		PROFUNDIDADE DE INST. DA BOMBA P/ VAZÃO MÁXIMA: 72 m.	

ANEXO X
Análise físico química da água dos poços da COSANPA em Castanhal.

 COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARÁ DIVISÃO DE CONTROLE SANITÁRIO ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA Nº 084/97	
Local da Coleta: <u>PÔÇO TUBULAR Nº 01 - JADERLÂNDIA - II</u>	
Solicitado por: <u>Femac Geosolo Engª LTDA</u>	Procedência: <u>CASTANHAL - PARÁ</u>
Hora/Data da Coleta: <u>-- 05/02/97</u>	Coletor: <u>TÉC. Alfredo Pontes</u>
Chuva no dia da Coleta: <u>não</u>	Temp. da Amostra: <u>--</u>
Hora/Data do Exame: <u>14:00, 05/02/97</u>	Laboratorista: <u>José Maria P. da Silva</u>
Odor à Frio:	-
Odor à Quente:	-
Aspecto:	-
pH:	6,3
Cor mg/1 Pt.:	5,0
Turbidez mg/1 SiO ₂ :	1,2
Nitrogênio Amoniacal mg/1 N:	-
Nitratos mg/1 N:	-
Nitritos mg/1 N:	-
Cloretos mg/1 Cl:	-
Dureza Total mg/1 CaCO ₃ :	-
Cálcio mg/1 Ca:	-
Magnésio mg/1 Mg:	-
Alcalinidade a Fenolftaleína mg/1 CaCO ₃ :	-
Alcalinidade ao Metil Orange mg/1 CaCO ₃ :	-
* Ferro Total mg/1 Fé:	* 0,6 *
Matéria Orgânica (O ₂ Consumido) mg/1 O ₂ :	-
Oxigênio Dissolvido mg/1 O ₂ :	-
Demanda Bioquímica do Oxigênio mg/1 O ₂ (B.O.D.):	-
Bióxido de Carbono Total mg/1 CO ₂ :	-
Bióxido de Carbono Livre mg/1 CO ₂ :	-
Sulfato mg/1 SO ₄ :	-
Sílica mg/1 SiO ₂ :	-
Resíduo Total mg/1:	-
Resíduo Fixo mg/1:	-
Resíduo Volátil mg/1:	-
Matéria Dissolvida mg/1:	-
Matéria em Suspensão mg/1:	-
Cloro Residual mg/1:	-
LAUDO: A amostra examinada apresentou o teor de Ferro Total fora dos Padrões de Potabilidade estabelecidos pela Portaria nº 36 de 19.01.90 do Ministério da Saúde que estabelece as normas e Padrões de Potabilidade da água para consumo humano no Brasil.	
 Técnico Responsável	 Quím. Anibal Azevedo Agradado ODOQ - Chefe de Controle de Qualidade
VISTO: Químico Chefe de ODOQ	



COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARÁ
DIVISÃO DE CONTROLE SANITÁRIO

ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA Nº 306/97

Local da Coleta: JADERLÂNDIA III - PÔÇO Nº 02

Solicitado por: Femac Geosolo Engª Ltda Procedência: CASTANHAL
Hora/Data da Coleta: 10:00, 16/04/97 Coletor: O Interessado
Chuva no dia da Coleta: --- Temp. da Amostra: ---
Hora/Data do Exame: 17:30, 16/04/97 Laboratorista: José Mª P. da Silva

Odor à Frio: --- * Gás Sulfídrico *
Odor à Quente: --- Nenhum
Aspecto: --- * Amarelo *
pH: --- 7,2
* Cor mg/1 Pt.: --- * 50,0 *
* Turbidez mg/1 SiO₂: --- * 30,0 *
Nitrogênio Amoniacal mg/1 N: --- 0,07
Nitratos mg/1 N: --- Menos de 0,02
Nitritos mg/1 N: --- Menos de 0,001
Cloretos mg/1 Cl: --- 7,0
Dureza Total mg/1 CaCO₃: --- 170,0
Cálcio mg/1 Ca: --- 58,0
Magnésio mg/1 Mg: --- 6,0
Alcalinidade a Fenolftaleína mg/1 CaCO₃: --- 0,0
Alcalinidade ao Metil Orange mg/1 CaCO₃: --- 156,0
* Ferro Total mg/1 Fé: --- * 0,5 *
Matéria Orgânica (O₂ Consumido) mg/1 O₂: --- 0,7
Oxigênio Dissolvido mg/1 O₂: ---
Demanda Bioquímica do Oxigênio mg/1 O₂ (B.O.D.): ---
Bióxido de Carbono Total mg/1 CO₂: ---
Bióxido de Carbono Livre mg/1 CO₂: ---
Sulfato mg/1 SO₄: ---
Sílica mg/1 SiO₂: ---
Resíduo Total mg/1: ---
Resíduo Fixo mg/1: ---
Resíduo Volátil mg/1: ---
Matéria Dissolvida mg/1: ---
Matéria em Suspensão mg/1: ---
Cloro Residual mg/1: ---

LAUDO: A amostra examinada apresentou os teores de Cor, Turbidez e Ferro Total fora dos Padrões de Potabilidade estabelecidos pela Portaria nº 36 de 19.01.90 do Ministério da Saúde que estabelece as normas e Padrões de Potabilidade da água para consumo humano no Brasil.

Técnico Responsável

Quím. Anibal Azevedo Aguiar
ODOQ - Chefe de Controle de Qualidade

VISTO:

Químico Chefe da ODPC-CS

COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARÁ
SUBGERENCIA DE CONTROLE DE QUALIDADE
ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA Nº 585/2000

Local da Coleta: POÇO TUBULAR - PT: 03 - JADERLÂNDIA / CASTANHAL

Solicitado por: Femac Geosolo Engª Ltda Procedência: Poço / Femac Geosolo
 Hora/Data da Coleta: 10:00, 07/04/2000 Coletor: 0 Interessado
 Chuva no dia da Coleta: não Temp. da Amostra: --
 Hora/Data do Exame: 11:00, 07/04/2000 Laboratorista: José Maria P; da Silva

PARÂMETROS	TEOR	PADRÕES M.S.	
		Recomend.	Max. Perm.
Odor à Frio:	Nenhum	Nenhum	
Odor à Quente:	Nenhum	Nenhum	
Aspecto:	Turvo	Límpido	
pH:	7,2	6,5 a 8,5	
Cor: mg/1 Pt.:	10,0	5,0	15
* Turbidez mg/1 SiO ₂ :	* 5,08	1,0	5,0
Nitrogênio Amoniacal mg/1 N:	0,1		
Nitratos mg/1 N:	0,03	< 10	10
Nitritos mg/1 N:	Menos de 0,001		
Cloretos mg/1 CL:	7,0	< 250	250
Dureza Total mg/1 CaCo ₃ :	205,0	< 500	500
Cálcio mg/1 Ca:	59,6		
Magnésio mg/1 Mg:	9,3		
Alcalinidade a Fenolftaleína mg/1 CaCo ₃ :	0,0		
Alcalinidade ao Metil Orange mg/1 CaCo ₃ :	203,0		
* Ferro Total mg/1 Fe:	* 0,5	< 0,3	0,3
Matéria orgânica (O ₂ consumido) mg/1 O ₂ :	0,9		
Oxigênio Dissolvido mg/1 O ₂ :			
Demanda Bioquímica do oxigênio mg/1 O ₂ (B.O.D.):			
Bióxido de Carbono Total mg/1 CO ₂ :			
Bióxido de Carbono Livre mg/1 CO ₂ :			
Sulfato mg/1 SO ₄ :		< 400	400
Silica mg SiO ₂ :			
Resíduo Total mg/1:			
Resíduo Fixo mg/1:			
Resíduo Volátil mg/1:			
Matéria Dissolvida mg/1:		< 1000	1000
Matéria em Suspensão mg/1:			
Cloro Residual mg/1:		0,2 a 2,0	2,0

LAUDO: A amostra examinada apresentou os teores de Turbidez e Ferro Total fora dos padrões de Potabilidade estabelecidos pela Portaria nº 36 de 19.01.90 do Ministério da Saúde que estabelece as normas e padrões da água para Consumo Humano no Brasil.

OBS: Amostra Nº 02.

Técnico Responsável

VISTO: Anibal Azevedo Aguiar
 Sub-Ger. de Conx. de Qualidade-EDQ
 Subgerente da TDOQ



COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARÁ
DIVISÃO DE CONTROLE SANITÁRIO

ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA Nº 370/97

Local da Coleta: BAIRRO DO MILAGRE Nº 1

Solicitado por: Femac Geosolo Engª Ltda Procedência: CASTANHAL

Hora/Data da Coleta: 08:30, 10/05/97 Coletor: O Interessado

Chuva no dia da Coleta: --- Temp. da Amostra: ---

Hora/Data do Exame: 16:00, 12/05/97 Laboratorista: José Maria P. da Silva

Odor à Frio: Nenhum

Odor à Quente: "

* Aspecto: * Turvo *

pH: 5,9

Cor mg/1 Pt.: 8,0

* Turbidez mg/1 SiO₂: * 6,0 *

Nitrogênio Amoniacal mg/1 N: 0,05

Nitratos mg/1 N: 0,08

Nitritos mg/1 N: Menos de 0,001

Cloretos mg/1 Cl: 8,0

Dureza Total mg/1 CaCO₃: 26,0

Cálcio mg/1 Ca: 7,6

Magnésio mg/1 Mg: 1,6

Alcalinidade a Fenolftaleína mg/1 CaCO₃: 0,0

Alcalinidade ao Metil Orange mg/1 CaCO₃: 19,0

Ferro Total mg/1 Fé: Menos de 0,2

Matéria Orgânica (O₂ Consumido) mg/1 O₂: 0,6

Oxigênio Dissolvido mg/1 O₂: ---

Demanda Bioquímica do Oxigênio mg/1 O₂ (B.O.D.): ---

Bióxido de Carbono Total mg/1 CO₂: ---

Bióxido de Carbono Livre mg/1 CO₂: ---

Sulfato mg/1 SO₄: ---

Sílica mg/1 SiO₂: ---

Resíduo Total mg/1: ---

Resíduo Fixo mg/1: ---

Resíduo Volátil mg/1: ---

Matéria Dissolvida mg/1: ---

Matéria em Suspensão mg/1: ---

Cloro Residual mg/1: ---

LAUDO: Amostra examinada apresentou o teor Turbidez fora dos Padrões de Potabilidade estabelecidos pela Portaria nº 36 de 19.01.90 do Ministério da Saúde que estabelece as normas e padrões de Potabilidade da água para consumo humano no Brasil.

OBSERVAÇÃO: Amostra procedente do Pôço Tubular de 12 X 120 metros.

Técnico Responsável



Quím. Anibal Almeida Aguiar
ODOQ - Chefe do Controle de Qualidade

VISTO:

Químico Chefe da ODPC-CS



COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARÁ
DIVISÃO DE CONTROLE SANITÁRIO

ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA Nº 370/97

Local da Coleta: BAIRRO DO MILAGRE

Solicitado por: Femac Geosolo Engª Ltda Procedência: CASTANHAL
Hora/Data da Coleta: 08:30, 10/05/97 Coletor: 0 Interessado
Chuva no dia da Coleta: --- Temp. da Amostra: ---
Hora/Data do Exame: 16:00, 12/05/97 Laboratorista: José Maria P. da Silva

Odor à Frio:	Nenhum
Odor à Quente:	"
* Aspecto:	* Turvo *
pH:	5,9
Cor mg/1 Pt.:	8,0
* Turbidez mg/1 SiO ₂ :	* 6,0 *
Nitrogênio Amoniacal mg/1 N:	0,05
Nitratos mg/1 N:	0,08
Nitritos mg/1 N:	Menos de 0,001
Cloretos mg/1 Cl:	8,0
Dureza Total mg/1 CaCO ₃ :	26,0
Cálcio mg/1 Ca:	7,6
Magnésio mg/1 Mg:	1,6
Alcalinidade a Fenolftaleína mg/1 CaCO ₃ :	0,0
Alcalinidade ao Metil Orange mg/1 CaCO ₃ :	19,0
Ferro Total mg/1 Fé:	Menos de 0,2
Matéria Orgânica (O ₂ Consumido) mg/1 O ₂ :	0,6
Oxigênio Dissolvido mg/1 O ₂ :	
Demanda Bioquímica do Oxigênio mg/1 O ₂ (B.O.D.):	
Bióxido de Carbono Total mg/1 CO ₂ :	
Bióxido de Carbono Livre mg/1 CO ₂ :	
Sulfato mg/1 SO ₄ :	
Silica mg/1 SiO ₂ :	
Resíduo Total mg/1:	
Resíduo Fixo mg/1:	
Resíduo Volátil mg/1:	
Matéria Dissolvida mg/1:	
Matéria em Suspensão mg/1:	
Cloro Residual mg/1:	

LAUDO: Amostra examinada apresentou o teor Turbidez fora dos Padrões de Potabilidade estabelecidos pela Portaria nº 36 de 19.01.90 do Ministério da Saúde que estabelece as normas e Padrões de Potabilidade da água para consumo humano no Brasil.

OBSERVAÇÃO: Amostra procedente do Poço Tubular de 12 X 110 metros.

Técnico Responsável



Quím. Aníbal Azevedo Aguiar
ODOQ - Chefe de Controle de Qualidade

VISTO:

Químico Chefe da ODPC-CS


Companhia de Saneamento do Pará
 Laboratório de Controle de Qualidade
 ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA N.º 1322/02 E BACTERIOLÓGICA N.º

Local da Coleta: **CAPTAÇÃO DE ÁGUA DA COSANPA - CASTANHAL -**
BAIRRO IMPERADOR.

Solicitado por: **COSANPA** Procedência: **Foço Tubular 12" X 190 m**
 Hora/Data da Coleta: **09:00, 23/10/02** Coletor: **Tec. Alfredo**
 Chuva no dia da Coleta: **--** Temp. da Amostra: **--**
 Hora/Data do Exame: **-- 24/10/02** Laboratorista: **Silvio Mauro Monteiro**

PARÂMETROS	TEOR	PADRÕES DE POTABILIDADE M.S.	
		Portaria N.º 1469 de 29/12/2000	
		Recomend.	Max. Perm.
Odor:	Não Objetável	Não Objetável	
Gosto:	" "	Não Objetável	
pH:	7,4	6,0 a 9,5	9,5
Cor mg/l Pt-Co:	-	<15	15
Turbidez mg/l SiO ₂ :	4,70	1,0	5,0
Nitrogênio Amoniacal mg/l NH ₃ :	-	<1,5	1,5
Nitratos mg/l N:	-	<10	10
Nitritos mg/l N:	-	<1,0	1,0
Cloretos mg/l Cl:	9,0	<250	250
Dureza Total mg/l CaCO ₃ :	240,0	<500	500
Cálcio mg/l Ca:	-		
Magnésio mg/l Mg:	-		
Alcalinidade a Fenolftaleína mg/l CaCO ₃ :	0,0		
Alcalinidade a Metil Orange mg/l CaCO ₃ :	240,0		
Ferro Total mg/l Fe:	0,5	<0,3	0,3
Matéria Orgânica (O ₂ consumido) mg/l O ₂ :	-		
Oxigênio Dissolvido mg/l O ₂ :			
Demanda Bioquímica de Oxigênio mg/l O ₂ (DBO):			
Dióxido de Carbono Total mg/l CO ₂ :			
Dióxido de Carbono Livre mg/l CO ₂ :			
Sulfato mg/l SO ₄ :		<400	400
Silica mg/l SiO ₂ :			
Resíduo Total mg/l:			
Resíduo Fixo mg/l:			
Resíduo Volátil mg/l:			
Matéria Dissolvida mg/l:		<1000	1000
Matéria em Suspensão mg/l:			
Cloro Residual Livre mg/l Cl ₂ :		0,2 a 2,0	2,0
Alumínio Residual mg/l Al:		<0,2	0,2
Fluoreto mg/l F:		0,6 a 0,8	0,8
Coliforme Fecal NMP/100ml:		0,0	0,0
Coliforme Total NMP/100ml:		0,0	0,0

LAUDO: O teor de Ferro Total encontra-se acima do padrão de potabilidade estabelecidos pela Portaria 1469 de 29/12/00 do Ministério da Saúde.


José Carlos de Oliveira
 Ass. Químico - Controle de Qualidade
 DRT-DIA 27865

VISTO:

Técnico Responsável _____ Químico Chefe LCQ _____

PARÂMETROS		TEOR	PADRÕES DE POTABILIDADE M S	
			Portaria N.º 1469 de 29/12/2000	
			Recomend	Max. Perm
Odor:		Não Objetável	Não Objetável	
Gosto:		" "	Não Objetável	
pH:		7,4	6,0 a 9,5	9,5
Cor mg/l Pt-Co:		12,0	<15	15
Turbidez mg/l SiO ₂ :		4,04	1,0	5,0
Nitrogênio Amoniacal mg/l NH ₃ :		Menos de 0,06	<1,5	1,5
Nitratos mg/l N:		Menos de 0,02	<10	10
Nítrilos mg/l N:		Menos de 0,001	<1,0	1,0
Cloretos mg/l Cl:		9,0	<250	250
Dureza Total mg/l CaCO ₃ :		214,0	<500	500
Cálcio mg/l Ca:		-		
Magnésio mg/l Mg:		-		
Alcalinidade a Fenolftaleína mg/l CaCO ₃ :		0,0		
Alcalinidade a Metil Orange mg/l CaCO ₃ :		220,0		
Ferro Total mg/l Fe:		0,4	<0,3	0,3
Matéria Orgânica (O ₂ consumido) mg/l O ₂ :		1,0		
Oxigênio Dissolvido mg/l O ₂ :				
Demanda Bioquímica de Oxigênio mg/l O ₂ (DBO):				
Dióxido de Carbono Total mg/l CO ₂ :				
Dióxido de Carbono Livre mg/l CO ₂ :				
Sulfato mg/l SO ₄ :			<400	400
Silica mg/l SiO ₂ :				
Resíduo Total mg/l:				
Resíduo Fixo mg/l:				
Resíduo Volátil mg/l:				
Matéria Dissolvida mg/l:			<1000	1000
Matéria em Suspensão mg/l:				
Cloro Residual Livre mg/l Cl ₂ :			0,2 a 2,0	2,0
Alumínio Residual mg/l Al:			<0,2	0,2
Fluoreto mg/l F:			0,6 a 0,8	0,8
Coliforme Fecal NMP/100ml:			0,0	0,0
Coliforme Total NMP/100ml:			0,0	0,0
LAUDO: O valor do Ferro Total está acima do padrão de potabilidade estabelecidos pela Portaria 1469 de 29/12/00 do Ministério da Saúde.				
Técnico Responsável VISTO: Químico Controlador de Qualidade DR-DM-04780-5				
Químico Chefe LCQ				