

**Aos meus estimados pais *José de Alencar Costa* e *Raimunda Fernandes Costa*,
minha irmã e amiga *Fernanda Cristina F. Costa*, dizer que gratidão é a palavra mais certa para expressar este momento.**

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ser a força que sempre faz brotar a vida.

À Universidade Federal do Pará e ao Centro de Geociências por intermédio do Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica (CPGG).

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo subsídio financeiro no período de 24 meses.

Ao meu orientador prof. Dr. Waterloo Napoleão de Lima, dizer que é difícil agradecer por tudo o que fez por mim, então peço a Deus que continue iluminando os seus dias, para que todos os que cruzarem o seu caminho encontrem luz.

Aos docentes do Centro de Geociências, Antônio Vaquera, Cândido Moura, Eliene Lopes, José A. Neves, José F. Ramos, José Geraldo Alves, Mário Caputo, Michel Lafon, Raimundo Netuno, Roberto Vizeu, Rômulo S. Angélica e Werner Trunckbrondt, pelas diversas informações construtivas dadas durante a execução deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Ricardo de O. Figueiredo (EMBRAPA) pela grande contribuição dada durante a correção deste trabalho.

Aos docentes do Departamento de Química, Afonso Mendes, Antônio Cláudio Bastos e Vanda Porpino, pelo modo como recebi tantas provas de carinho, buscando sempre compartilhar comigo seus conhecimentos de vida, me ensinando a não ter medo de errar.

Aos funcionários, estagiários e amigos do Centro de Geociências, Alcindo R. da Costa, Álvaro S. Prestes, Antônio Aguiar, Carlos Alberto da S. Dias, Clediane Caldeira, Elinete do N. Almeida, Francisco C. N. Batista, Gladys P. Pimental, Hedileuza H. Viana, João L. Barbosa Filho, José J. Esteves, Leila M^a M. Hanna, Maria de Jesus R. Corrêa, Maria do Livramento R. Teixeira, Natalino V. M. de Siqueira, Roselene Garcia e “tia” Wilma, por toda dedicação e preocupação para que este trabalho se concretizasse.

Aos funcionários e amigos do Departamento de Química, Argemiro R. Neto, Márcia Cristina da C. Freitas, Sônia Pamplona e Raimundo Elias B. Miranda, pela grande paciência, compreensão e auxílio em diversas atividades de suporte.

A Prefeitura Municipal de Maracanã através do Secretário de Administração José Gomes pela aquisição de documentos e aos moradores locais Cláudio e Valdemir F. da Silva pelo apoio no trabalho de campo.

A Prefeitura Municipal de Santarém Novo através do Secretário Executivo Paulo Campos e do Prefeito Pedro Japonês pelo auxílio na aquisição de documentos referentes a Santarém Novo e ao pescador Pedro Corrêa e o Sr. “Taíco” pela considerável ajuda no campo.

Aos pesquisadores e funcionários da Fundação Nacional de Saúde (FUNASA), Engº Luís Otávio Motta Souza (Seção de Acompanhamento e Avaliação – SACAV) e Edilton J. da S. Mesquita (Seção de Análises de Projetos – SAPRO), pela aquisição de material de arquivo.

Aos pesquisadores e funcionários do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), Vergara Filho (Centro Nacional de Populações Tradicionais e Desenvolvimento Sustentável – CNPT) e o sociólogo Dr. Marcílio de Abreu Monteiro (Gerente executivo do IBAMA), pela aquisição de material de arquivo.

Ao pesquisador e amigo do Instituto Evandro Chagas (IEC), Arthur Mascarenhas por todo apoio dado na aquisição de bibliografia.

Aos pesquisadores e funcionários do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), Carlos Moreira (Seção de Observações e Meteorologia Aplicada – SEOMA) e a Aylci Barros (Seção de Previsão – SEPPE), pela aquisição de dados de arquivo.

Aos pesquisadores, funcionários e amigos do Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG), Prof. José Francisco Berredo R. da Silva, profª Cléa A. Silva, técnico Hudson, técnico Paulo Sarmiento e Profª Dra. Maria Thereza R. da C. Prost, pelo espaço cedido para realização de trabalhos de laboratório e aquisição de material.

Aos pesquisadores, funcionários e estagiários da Secretaria Executiva de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente (SECTAM), Aline Meiguins de Lima, Eldonor Sampaio, Flávio Rayol, Giselle Queirós (eterna amiga), Giselle Parise, Ivan Cardoso, Lúcia Porpino, Manoel Ayres, Dr. Manoel Guerreiro, Oneide Coutinho, Paulo Altieri, Ronaldo J. da S. Lima e Vicente Souza, pela aquisição de arquivos (mapas, documentos e relatórios).

Aos meus amigos e “irmãos” Jailson C. Dias e Gilberto C. Barreto, agradeço a solidez de ambas amizades e que por trás da minha vitória, haverá sempre o brilho das suas batalhas.

Aos meus amigos do curso de Química, Débora Arruda, Erylyson Fernandes, Joana Luiza S. Pires, Juliana S. dos Santos, Márcia Nunes, Maria do P. S. Progene, Milta M. da M. Martins e Paulo Bahia, pela forma como me ensinaram que a amizade tem uma linguagem que só se compreende com o coração.

A minha turma e amigos do CPGG, Aderson de Lima, Prof^ª. Msc. Ana Valéria Pinheiro, Prof^ª Msc. Bianca Passinho, Charles de A. Carvalho, Daniele F. Gonçalves, Débora da G. de Jesus, Prof. Msc. Denis Guerra, Prof. Msc. Edgar Lima, Prof^ª Msc. Elma Oliveira, Prof. Msc. Elton Castro, Elem Lopes, Érica C. A. Viana, Fábio H. G. Domingos, Fhábio G. R. Pinheiro, Francisco R. da Costa, Gisele dos Anjos, Henrique Almeida, José Calaf, Prof. Msc. Marcelo Moreno, Prof^ª Msc. Marlis E. Requelme, Prof^ª Msc. Risete Braga, Prof^ª Msc. Thaís Sajad, Thereza C. C. de Araújo, Valéria Ribeiro, Prof^ª Msc. Zilma L. de Carvalho e todos que contribuíram de forma indireta, dizer obrigada pelas palavras carinhosas, pela compreensão, pelo exemplo e coragem que me influenciaram de forma singular.

Aos meus familiares (paternos e maternos), que mesmo na distância ou no silêncio, a ternura nos mantém sempre unidos.

**“Água irmã que nos refaz, vital e humilde,
preciosa e cristalina.”**

(São Francisco de Assis)

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	i
AGRADECIMENTOS	ii
EPÍGRAFE	v
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	ix
LISTA DE SIGLAS	xii
RESUMO	1
ABSTRACT	3
1 – INTRODUÇÃO	5
1.1 APRESENTAÇÃO	5
1.2 OBJETIVOS	5
2 – RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS DA ÁREA FISIAGRÁFICA	7
2.1 LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA E ACESSO POR RODOVIA	7
2.2 CLIMA	7
2.3 VEGETAÇÃO	9
2.4 SOLOS.....	12
2.4.1 Solos com horizonte B latossólico	12
2.4.2 Solos com horizonte B textural não-hidromórficos	12
2.4.3 Solos halomórficos	13
2.4.4 Solos hidromórficos gleizados	13
2.5 RELEVO	14
2.6 HIDROGRAFIA	15
2.7 GEOMORFOLOGIA E DINÂMICA COSTEIRA	20
2.7.1 Circulação das águas costeiras	20
2.7.2 Cobertura sedimentar e geomorfologia	22
2.8 ASPECTOS GEOLÓGICOS RELEVANTES: AS COBERTURAS CENOZÓICAS	26
2.8.1 Terciário	26
2.8.2 Quaternário	28
2.9 ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS-HIDROGEOQUÍMICOS E SISTEMAS AQÜÍFEROS DOMINANTES	30

2.10 OCUPAÇÃO ANTRÓPICA DO ESPAÇO FÍSICO	33
3 – MÉTODOS DE TRABALHO	43
3.1 SELEÇÃO DE ÁREAS PARA COLETA E AMOSTRAGEM	43
3.2 PROCEDIMENTOS DE CAMPO	68
3.3 PROCEDIMENTOS DE LABORATÓRIO	69
3.3.1 Águas subterrâneas	69
3.3.2 Águas superficiais	73
3.3.3 Sedimentos em suspensão	78
4 – APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS E DISCUSSÃO	81
4.1 ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	81
4.1.1 Parâmetros físicos, físico-químicos e químicos	81
4.1.2 Diagrama Eh-pH e caracterização química do ambiente secundário	92
4.1.3 Diagrama de Stiff, classificação geoquímica e identificação do sistema aquífero	93
4.1.4 Equilíbrios termodinâmicos e diagrama de estabilidade	95
4.2 ÁGUAS SUPERFICIAIS	98
4.2.1 Distribuição de dados analíticos: tendências segundo a localização geográfica, a sazonalidade e a dinâmica de marés	98
4.2.2 Diagrama Eh-pH e caracterização química do ambiente secundário	105
4.2.3 Aspectos hidrodinâmicos: marés, correntes de maré, ambiente de deposição	106
4.3 SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO	108
4.3.1 Identificação de argilominerais dominantes	108
4.3.2 Ocorrência e quantificação da matéria orgânica	112
4.4 CONSIDERAÇÕES GEOQUÍMICAS E INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE OU DEGRADAÇÃO DO MEIO NATURAL	115
5 – CONCLUSÕES	118
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	120
ANEXOS	137

Anexo A1 – Perfil litológico de poço tubular destinado à captação de água subterrânea (FUNASA)	138
Anexo A2 – Perfil litológico de poço tubular destinado à captação de água subterrânea (prefeitura de Santarém Novo)	138
Anexo B – Mapa ilustrado de parte da bacia do rio Maracanã. Adaptado da folha Salinópolis (DSG 3ª DL/CPRM-DNPM, 1982 a)	139
Anexo C – Mapa ilustrado de parte da bacia do rio Maracanã (Prefeitura de Santarém Novo, 2000)	140
Anexo D – Mapa ilustrado de parte da bacia do rio Maracanã (IBGE, 1994)	141
Anexo E – Vista parcial da laje de calcário (Quarenta de Mocooca, Maracanã)	142
Anexo F – Mapa temático da área de proteção ambiental de Maracanã e das reservas extrativistas de Chocaréu-Mato Grosso (Santarém Novo) e Maracanã	143

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS

Figura 1	– Localização e acesso rodoviário à bacia hidrográfica do rio Maracanã	7
Figura 2a	– Distribuição da precipitação total e temperatura média (2003)	8
Figura 2b	– Distribuição da precipitação total e temperatura média (2002)	8
Figura 3	– Vegetação da bacia hidrográfica do rio Maracanã	11
Figura 4	– Drenagem da bacia hidrográfica do rio Maracanã	18
Figura 5	– Mapa geomorfológico do município de Maracanã	25
Figura 6	– Coluna estratigráfica da região Nordeste do Pará	29
Quadro 1	– Características gerais dos pontos de coleta (águas subterrâneas)	44
Figura 7	– Localização de pontos de coleta das águas subterrâneas	45
Figura 8	– Vila de Tacioteua, captação de água subterrânea (COSANPA)	46
Figura 9	– Nova Timboteua, captação de água subterrânea (COSANPA)	46
Figura 10	– Velha Timboteua, captação de água subterrânea (prefeitura)	47
Figura 11	– “Cacimba” na estrada de Nova Timboteua-Livramento	47
Figura 12	– Boa Vista, captação de água subterrânea (prefeitura)	48
Figura 13	– Boa Vista, às margens do rio Maracanã (estiagem)	48
Figura 14	– Bacuriteua, captação de água subterrânea (prefeitura)	49
Figura 15	– Santarém Novo, captação de água subterrânea (COPASAN)	49
Figura 16	– Santarém Novo, captação de água subterrânea (prefeitura).....	50
Figura 17	– Santarém Novo, captação de água subterrânea (salobra)	50
Figura 18	– Maracanã, captação de água subterrânea (FSESP)	51
Figura 19	– Poço aberto do Bocal, cidade de Maracanã (estiagem).....	51
Figura 20	– Poço aberto do Bocal, cidade de Maracanã (chuvoso)	52
Figura 21	– Maracanã, captação de água subterrânea particular (hotel Atlanta)	52
Figura 22	– Maracanã, captação de água subterrânea, nascentes do ig. Apeteua. ...	53
Figura 23	– Maracanã, captação de água subterrânea (poço Jango)	53
Figura 24	– Vila de São Bento, captação de água subterrânea (prefeitura).....	54
Figura 25	– Tatuteua, captação de água subterrânea (prefeitura)	54

Quadro 2 – Características gerais dos pontos de coleta (águas superficiais)	62
Figura 26 – Localização de pontos de coleta das águas superficiais	56
Figura 27 – Área de nascentes do rio Maracanã. Igarapé do Tubo	57
Figura 28 – Área de nascentes do rio Maracanã. Rio Jeju - vila Jeju (estiagem)	57
Figura 29 – Área de nascentes do rio Maracanã. Rio Jeju - vila Jeju (chuvoso)	58
Figura 30 – Rio Maracanã, porto do Caju - ramal da PA-324 (estiagem)	58
Figura 31 – Rio Maracanã, porto do Caju (chuvoso)	59
Figura 32 – Rio Tacioteua, afluente do rio Maracanã (estiagem)	59
Figura 33 – Rio Tacioteua, mesmo local (chuvoso)	60
Figura 34 – Rio Maracanã, porto Livramento (estiagem)	60
Figura 35 – Área de várzea, às proximidades do porto Livramento	61
Figura 36 – Rio Peixe-Boi, Velha Timboteua (estiagem).....	61
Figura 37 – Rio Peixe-Boi, mesmo local (chuvoso)	62
Figura 38 – Rio Maracanã. Ao fundo, o porto de Santarém Novo	62
Figura 39 – Baía de Maracanã em ponto fixado na falésia da cidade de Maracanã. ...	63
Figura 40 – Falésia da cidade de Maracanã	63
Figura 41 – Igarapé rio Escuro, arrabaldes de Maracanã (estiagem).....	64
Figura 42 – Igarapé Apeteua, arrabaldes de Maracanã (estiagem)	64
Figura 43 – Área de nascentes do rio Chocaréu (estiagem)	65
Figura 44 – Área de nascentes do rio Chocaréu (chuvoso)	65
Figura 45 – Baía de Maracanã (porção leste). Localidade Derrubada	66
Figura 46 – Área de nascentes do igarapé Tatuteua	66
Figura 47 – Vila de Penha, Nordeste da baía de Maracanã (saída para o oceano) ...	67
Figura 48 – Estrutura molecular de clorofila-a	76
Figura 49a – Espectro de absorção molecular de clorofilas (estiagem 2002)	77
Figura 49b – Espectro de absorção molecular de clorofilas (chuvoso 2003)	78
Figura 50 – Fluxograma da preparação e análise de sedimentos em suspensão	80
Figura 51 – Desenho esquemático de intrusão nos aquíferos costeiros (Teixeira <i>et al.</i> , 2000)	85
Figura 52 – Diagrama Eh-pH, águas subterrâneas	93
Figura 53 – Diagrama de Stiff das águas subterrâneas	94

Figura 54 – Diagrama de estabilidade de águas subterrâneas selecionadas	97
Figura 55 – Distribuição de parâmetros ambientais em áreas selecionadas	104
Figura 56 – Diagrama Eh-pH, águas superficiais	106
Figura 57 – Difractogramas de amostras selecionadas	111

LISTA DE SIGLAS

APA – Área de Proteção Ambiental

CETESB – Companhia Estadual de Tecnologia e Saneamento Ambiental

CNPT – Centro Nacional de Populações Tradicionais e Desenvolvimento Sustentável

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente

COPASAN – Companhia de Saneamento de Santarém Novo

COSANPA – Companhia de Saneamento do Pará

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

CPTEC – Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral

FSESP – Fundação de Serviços de Saúde Pública

FUNASA – Fundação Nacional de Saúde

GERCO – Programa Nacional de Gerenciamento Costeiro

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INPA – Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

RESEX – Projeto Reservas Extrativistas

SAAEB – Serviço Autônomo de Águas e Esgotos do município de Belém

RESUMO

A área fisiográfica selecionada para este estudo pertence à bacia do rio Maracanã, situada na mesorregião Nordeste do Pará e ocupa extensão aproximada de 3500 km². Por suas características geoambientais, representa importante pólo de desenvolvimento regional. Por esse motivo, buscou-se, neste trabalho, o formalismo geoquímico para a interpretação de resultados analíticos relacionados com as águas subterrâneas e superficiais, na procura de aspectos relevantes sobre a sustentabilidade dos recursos hídricos.

A área selecionada pode ser subdividida em áreas de nascentes, de topografia algo mais elevada (cotas pouco acima de 40m) com vegetação típica de hiléia e capoeira sustentadas principalmente por material do Pós-Barreiras; em áreas estuarinas, sob forte domínio da dinâmica de marés, resultantes da mistura de águas fluviais e oceânicas, aparecendo notadamente os sedimentos holocênicos (manguezais) nas margens do rio principal e na baía; áreas de transição, sob influência mínima ou já perceptível de marés, onde esta influência se manifesta de modo lento, gradual, misturando-se os três tipos de vegetação já mencionados.

Os resultados de todos os parâmetros aqui selecionados, sobretudo no que diz respeito às análises físico-químicas e químicas para as águas subterrâneas, permitiram uma avaliação referente à sua composição química e a possível inter-relação com o material geológico. Nas águas superficiais foram selecionados os mesmos parâmetros ambientais e análise de clorofila-a, buscando caracterização do ambiente segundo tendências da localização geográfica, da sazonalidade e da dinâmica de marés.

As interpretações geoquímicas dos resultados analíticos confirmam as características particulares de cada aquífero estudado, como 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 valores elevados de condutividade e alcalinidade (434 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ e 200 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de CaCO_3 , respectivamente), ratificando a influência dos sedimentos de carbonato da Formação Pirabas, predominando águas bicarbonatadas cálcicas. Os resultados de diagrama de estabilidade mostram domínio de terrenos caulíníticos, fato coerente com as “regiões geoquímicas” da Amazônia.

A caracterização geoquímica e observações de campo evidenciaram a disponibilidade hídrica apreciável, manifestada por abundantes áreas de recarga e qualidade química para essas águas. No entanto, detectaram-se problemas relacionados com intrusão salina (máximo observado em torno de 33 mg.L^{-1} de Cl^-) e a vulnerabilidade de aquíferos à ação antrópica (Vila Nova $13,42 \text{ mg.L}^{-1} \text{ NO}_3^-$ e Maracanã - poço Jango, com 20; Bocal com 39; e hotel Atlanta, com $56,51$ expressos em $\text{mg.L}^{-1} \text{ NO}_3^-$).

Para as águas superficiais a caracterização hidrogeoquímica é discutida por sub-áreas da bacia do rio Maracanã tais como áreas de nascentes, onde a estiagem provoca um aumento de eletrólitos, enquanto que no período chuvoso há incremento de coloração (máximo de 165 UC) compatível com o aumento da acidez (pH diminui para 4,8), diminuição de oxigênio dissolvido ($4 \text{ mg.L}^{-1} \text{ O}_2$) e aportes de matéria orgânica (máximo em $5,8 \text{ mg.L}^{-1}$), predominantemente húmica.

Nas áreas de transição, percebe-se nitidamente a mudança entre os valores. Destaque-se a elevada acidez e baixa condutividade (com mínimos em pH 4,8 e $21,2 \mu\text{S.cm}^{-1}$, respectivamente) nos pontos sem influência de maré, no período chuvoso, enquanto que no rio Peixe-Boi a condutividade aumenta para $52,4 \mu\text{S.cm}^{-1}$, já sob influência de maré, no mesmo período sazonal.

Nas áreas estuarinas, deve-se levar em conta a dinâmica das marés. Esse efeito é bem exemplificado no rio Maracanã, sob influência de águas oceânicas, onde a condutividade elétrica chega ao máximo de $3130 \mu\text{S.cm}^{-1}$, $7,4 \text{ mg.L}^{-1}$ para matéria orgânica e $49,3 \text{ mg.m}^{-3}$ de clorofila-a na localidade de Penha (nordeste da baía). Já à montante da baía (Santarém Novo), a condutividade, a matéria orgânica (tanto de origem fluvial como estuarina) e a clorofila-a decrescem para $34,4 \mu\text{S.cm}^{-1}$, $6,5 \text{ mg.L}^{-1}$ e $3,0 \text{ mg.m}^{-3}$ respectivamente.

A importância do ciclo hidrológico, das variações sazonais, a presença do manguezal, a ciclagem de nutrientes, a energia do ambiente como um todo permitem dentro desse contexto práticas de sustentabilidade, aqui exemplificadas por atividades de captura de pescado, em diferentes períodos, com predominância diferenciada para a fauna aquática, notadamente peixe, camarão e caranguejo. Um planejamento estratégico para a sustentabilidade deve levar em conta as variáveis aqui discutidas.

ABSTRACT

The basin of the Maracanã River, located in the Northeastern portion of the State of Pará, represents an important pole of regional development. For this reason, the selected area (3500 km²) was chosen, in order to obtain the geochemical formalism for the interpretation of analytic results related to the groundwater and surficial waters, in the search for relevant aspects on the sustainability of hydric resources.

The selected region can be subdivided into three areas. First, an area of springs, characterized by higher topography (share above 40m) with vegetation of hiléia-like and capoeira-like sustained mainly by material of the Pós-Barreiras; estuarine area, under strong domain of the tides dynamics, resulting from the mixture of fluvial and oceanic waters being colonized by mangrove at the main river margins and in the bay area appearing Holocenic sediments; and transition area, under minimum influence or some marked influence of tides, itself in a slow and gradual way, mixing the three types of vegetation mentioned above.

The results of all studied parameters, physical, physical-chemical and chemical groundwater analyses permitted an evaluation regarding chemical composition and a possible interrelation with geological material. For the surficial waters, the same environmental parameters and analyses of chlorophyll-a were selected, trying to better characterize the environment according to the geographical location, seasonality and the dynamics of tides.

The geochemical interpretations of the analytic results confirms the peculiar characteristics of each studied aquifer as poor in electrolytes and low values of pH, which are originating from much leached profile characteristic of aquifer of Pós-Barreiras and or semi-confined of the Barreiras prevailing waters sodium chloride-rich. In contrast, the aquifers of Pirabas high values of conductivity and alkalinity (434 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ and 200 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ of CaCO_3 , respectively), ratifying the influence of the limestone in the Formation Pirabas prevailing waters calcium bicarbonate-rich. The results of diagram of stability show domain of kaolinitic's soils, coherent fact with the Amazon geochemical areas.

Geochemical interpretations and field observations suggest appreciable hydric availability, shown by abundant recharge area and chemical quality for these waters.

However, it has been detected some problems related to saline intrusion (maximum observed around 33 mg.L^{-1} of Cl^-) and to the vulnerability of aquifer from anthropogenic activities (Nova Vila $13,42 \text{ mg.L}^{-1} \text{ NO}_3^-$ and Maracanã - well Jango, with 20; Bocal with 39; and hotel Atlanta, with $56,51$ expressed in $\text{mg.L}^{-1} \text{ NO}_3^-$).

Surficial waters, hidrogeochemical characterization is discussed by sub-areas, such as spring areas, become more enriched in electrolytes during the dry season, whereas in the rainy season there is an increase in turbidity, color (maximum of 165 UC) and in organic matter (maximum in $5,8 \text{ mg.L}^{-1}$) of a predominantly humic nature and a decrease of dissolved oxygen ($4 \text{ mg.L}^{-1} \text{ O}_2$) and in acidity (pH decreases to 4,8).

In the transition areas changes in the values of the selected parameters are clearly observed. During the rainy season, one points out, the high acidity and low conductivity (with minimum in pH 4,8 and $21,2 \mu\text{S.Cm}^{-1}$, respectively) in places without any influence of tides; whereas in Peixe-Boi River the conductivity can reach $52,4 \mu\text{S.cm}^{-1}$.

In the estuarine areas, it should be taken into account the dynamics of the tides. That effect is exemplified in the Maracanã River, under influence of oceanic waters, the electric conductivity reaches the maximum of $3130 \mu\text{S.cm}^{-1}$, $7,4 \text{ mg.L}^{-1}$ for organic matter and chlorophyll-a evaluation maximum of $49,3 \text{ mg.m}^{-3}$ in Penha (Northeastern bay). However, up stream bay (Santarém Novo) the conductivity, the organic matter (such from fluvial as from estuarine origin) and the chlorophyll-a decreases to $34,4 \mu\text{S.cm}^{-1}$, $6,5 \text{ mg.L}^{-1}$ and $3,0 \text{ mg.m}^{-3}$ respectively.

The importance of the hydrologic cycle, the seasonal variations, the presence of mangroves, the cycling of nutrients, energy of the environment as a whole, permit in this context activities of sustainability, as fishing practices in different seasons, with differentiated predominance for fish, shrimps and crabs are good examples. A strategic planning for sustainability must take into account the variables discussed here.

1 – INTRODUÇÃO

1.1 – APRESENTAÇÃO

A comunidade científica influenciou de modo persistente e salutar, levando à legislação brasileira subsídios, que permitiram caracterizar a bacia hidrográfica como unidade fundamental à gestão integrada de recursos hídricos (superficiais e subterrâneos). Além disso, congressos científicos nacionais e internacionais, realizados por pesquisadores das áreas de ciências da Terra e tecnologia, têm enfatizado, na temática (conferências, cursos, sessões técnicas), assuntos voltados à questão ambiental, sustentabilidade e aproveitamento racional de recursos naturais, aí incluídos, portanto, os recursos hídricos. Exemplo disso foi o último congresso de geoquímica, realizado em Curitiba 2001, cujo tema fundamental, motivo maior do evento, voltou-se à geoquímica e à sustentabilidade. Com efeito, o que se espera é que o formalismo geoquímico apresente estudos e subsídios que conduzam alternativas para o desenvolvimento (nacional, regional), de modo inteligente, evitando a possibilidade de ocorrência de impactos.

Neste trabalho, selecionou-se a bacia hidrográfica do rio Maracanã (mesorregião Nordeste do Pará), por se tratar de importante pólo de desenvolvimento regional, graças às suas características geoambientais, permitindo o aproveitamento de seus recursos hídricos, na oportunidade em que dominam, ainda, as influências naturais da paisagem na abordagem geoquímica de seus diferentes ecossistemas.

1.2 – OBJETIVOS

Objetiva-se, com esse trabalho, uma avaliação geoquímica das águas naturais e dos sedimentos associados a essas águas na bacia do rio Maracanã, no trecho que vai desde as nascentes às proximidades do município de Santa Maria do Pará até a foz (porção Nordeste do município de Maracanã), abrangendo assim áreas estuarinas que abrigam um ecossistema que denota uma riqueza significativa e com grande potencial paisagístico e econômico, como é o caso dos manguezais.

A correlação de tais parâmetros visa à identificação dos indicadores de sustentabilidade e vulnerabilidade desses recursos hídricos.

Tais parâmetros foram verificados por amostragem representativa, sendo que para as águas naturais observa-se a qualidade hidrogeoquímica da área em estudo (análises

físicas, físico-químicas, químicas e hidrobiológicas), bem como os efeitos da sazonalidade; e para os sedimentos (material particulado em suspensão) verificar a conformidade com o ambiente geológico, através de análises mineralógicas (difração de raios-X) e análise química da matéria orgânica.

O diagnóstico ambiental é baseado a partir de resultados que indicam vários vetores de impacto causados por ações antrópicas (desmatamento, ocupação desordenada em áreas próximas à bacia, área de lazer, carreamento de rejeitos humanos, etc.) e ações naturais (intrusão salina, sobretudo em períodos de estiagem), visando à compreensão dos processos geoquímicos e suas relações com o ecossistema.

2 – RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS DA ÁREA FISIAGRÁFICA

2.1 – LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA E ACESSO POR RODOVIA

A área fisiográfica selecionada para este estudo (cerca de 3500 km²) faz parte da bacia do rio Maracanã e está situada na mesorregião Nordeste do Pará (figura 1). O acesso (a partir de Belém, PA) é feito através da rodovia federal BR-316 e estaduais PA-127 (Igarapé-Açu a Maracanã), PA-324 (Nova Timboteua a Santa Luzia) e seu ramal, PA-438 (Santarém Novo e adjacências) e PA-124 (Santa Luzia a Salinópolis) com o ramal, PA-442 para as vilas localizadas às margens do rio Maracanã. A área selecionada limita-se entre os paralelos 00°30'00" e 01°20'00" de latitude Sul e os meridianos 47°15'00" e 47°35'00" de longitude Oeste de Greenwich.

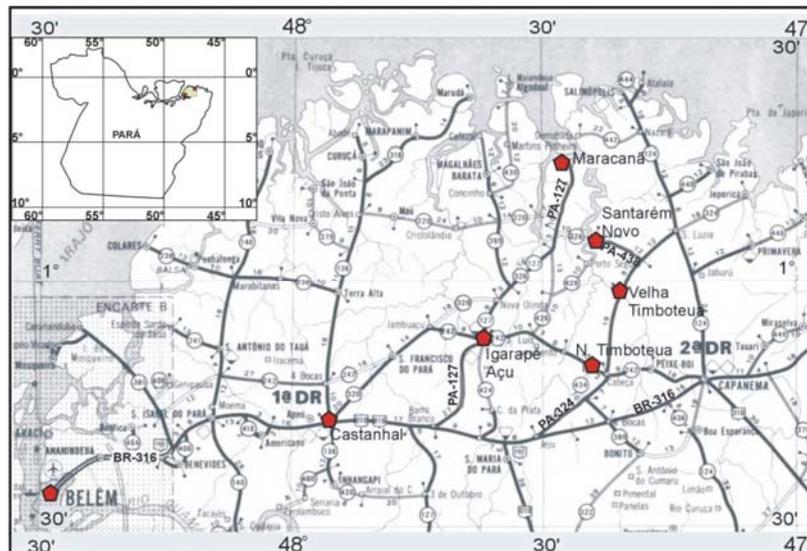


Figura 1 – Localização e acesso rodoviário à área fisiográfica em estudo (bacia hidrográfica do rio Maracanã, Nordeste do Pará). Escala aproximada: 1cm ≅ 16,7km.

2.2 – CLIMA

O clima local é do tipo Am (Tropical Úmido e Monções), que segundo a classificação de Köppen é caracterizado por ser quente e úmido (clima equatorial amazônico), com pequena amplitude térmica mensal (em torno de 3°C), oscilando de 25°C a 28°C, face às condições de localização do município, beneficiada pelos ventos do mar. Período seco marcante, nos meses de julho a dezembro (precipitação inferior a 60mm) e uma estação chuvosa bem acentuada, que se estende de janeiro a julho, distinguida por uma faixa onde a precipitação pluviométrica média anual varia de 2.000

a 3.000mm (Figura 2). A umidade relativa do ar é bastante elevada, apresentando valores médios mensais entre 77% a 91%, (Martorano *et al.*, 1992).

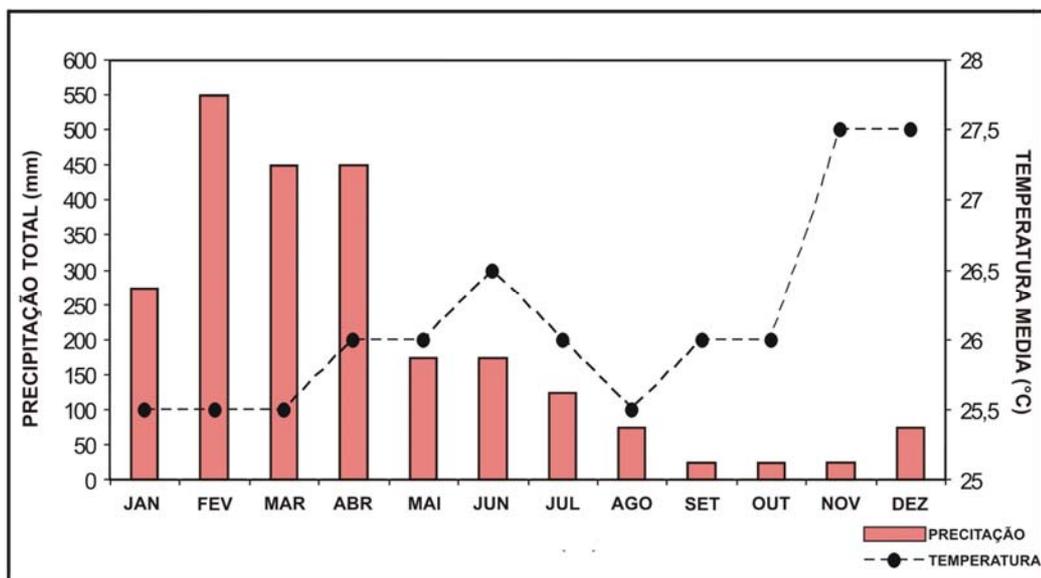


Figura 2a – Distribuição da precipitação total e temperatura média da região Nordeste do Pará no ano de 2003 (INPE & CPTEC - 2003).

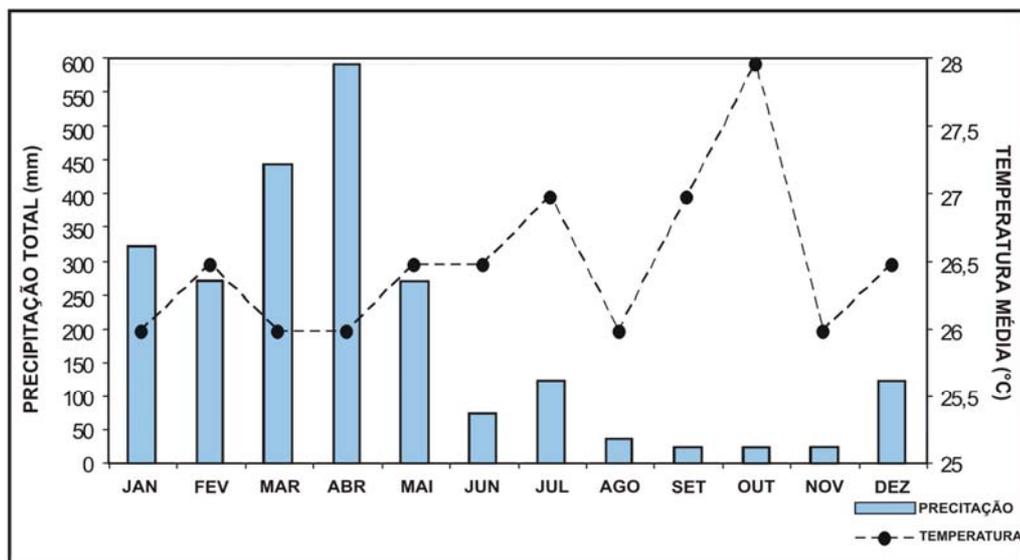


Figura 2b – Distribuição da precipitação total e temperatura média da região Nordeste do Pará no ano de 2002 (INPE & CPTEC - 2003).

2.3 – VEGETAÇÃO

A diversificação dos tipos de vegetação da Amazônia foi revelada por trabalhos anteriores (Japiassú & Góes-Filho, 1974). Notadamente para a região Nordeste do Pará observam-se floresta Ombrófila Densa, florestas secundárias e Formações Pioneiras (campos e vegetação litorânea).

Nas áreas de nascentes, arredores de Santa Maria do Pará destacam-se as florestas tipo hiléia remanescentes nas margens do rio Maracanã e florestas secundárias (capoeira) que notadamente resultam de desmatamentos para o plantio de espécies agrícolas e práticas de pecuária. Além do mais, abundantes palmeiras com espécies mais comuns de *Mauritia flexuosa* (buriti) e *Euterpe sp.* (açai). Na figura 3 é notável a propagação da capoeira sobre a hiléia Amazônica que acompanha as margens do rio Maracanã até arrabaldes de Nova Timboteua.

Nas áreas estuarinas prevalece à vegetação pioneira com espécies que ocupam depósitos sedimentares influenciados por processos estuarinos e/ou marinhos adaptada às condições ecológicas desses ambientes (Japiassú & Góes-Filho, 1974); observando a figura 3, essa individualidade permite subdividi-la em influência marinha (restinga) e influência fluviomarinha (manguezal) presentes nas margens do rio principal, arrabaldes de Santarém Novo até a baía de Maracanã, abrangendo a cidade de Maracanã, vila de Derrubada (porção leste) e vila de Penha a Nordeste da baía, saída para o oceano.

A restinga está ligada diretamente à influência do mar, disposta ao longo do litoral abrangendo as faixas de praias, as dunas e uma sucessão de cordões litorâneos das planícies fluviomarinhas (Bohrer & Gonçalves, 1991); aparece mais bem formada na costa paraense entre as localidades de Salinópolis e de Algodual. Nas baixadas, onde a água acumulada é permanente, seja pelo efeito das inundações provocadas pelos índices pluviométricos, ou seja, pelo represamento ocasionado pelas marés, a composição florística que mais contribuiu para caracterizar as comunidades é constituída predominantemente por buriti (*Mauritia flexuosa*) e açai (*Euterpe sp.*) comportando-se como pioneiras indicadoras da transição de mangue para a vegetação das áreas continentais (influência fluvial).

Nas áreas próximas à baía, a dinâmica de marés e as condições edáficas propiciam formação de espécies comuns dos manguezais ao longo do estuário, tais

como mangue vermelho (*Rhizophora mangle*), mangue branco ou tinteiro (*Laguncularia racemosa*) e o mangue preto ou siriúba (*Avicennia germinans*), que possuem necessidades ecológicas distintas e, portanto explicam sua participação e o lugar que ocupam na zanação dessa vegetação costeira (Bohrer & Gonçalves, 1991).

Na área de transição foi possível identificar as vegetações já mencionadas (hiléia, capoeira e manguezal) além de campos baixos, alagados, com espécies que acompanham o crescimento das águas no período chuvoso; dentre elas destaca-se o junco (*Eleocharis* sp) notadamente em porto Livramento-Nova Timboteua. Essa substituição gradual da vegetação nas áreas estuarinas se dá em resposta à dessalinização do meio, com maior domínio fluvial, definindo assim um limite botânico para o ambiente estuarino (Costa *et al.*, 1977; Prost & Mendes, 2001) (ver figura 3).

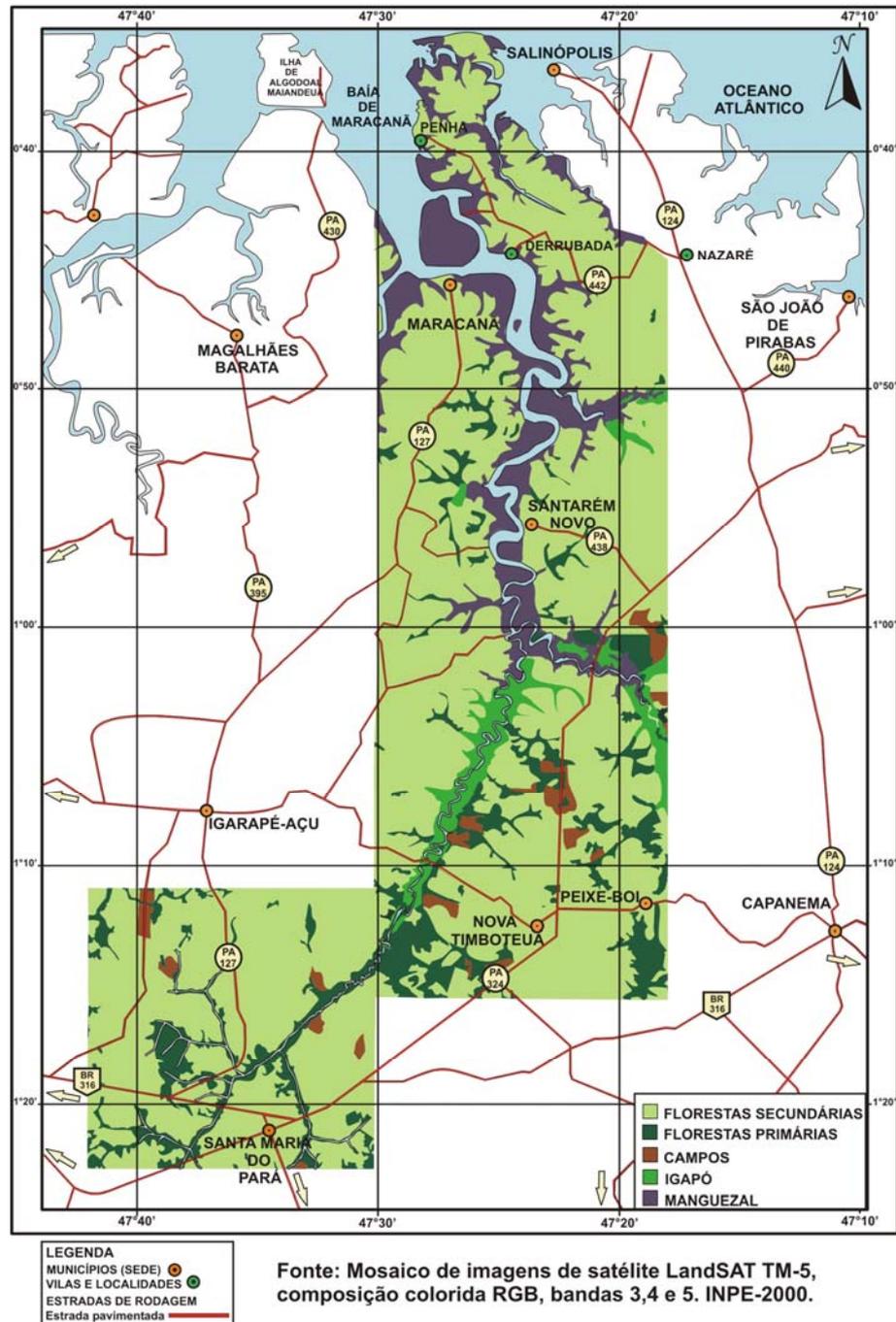


Figura 3 – Vegetação da bacia hidrográfica do rio Maracanã. Adaptado da folha Salinópolis (MI-338) e Capanema (MI-386); BRASIL. MINISTÉRIO DO EXÉRCITO & CPRM-DNPM (1982 a,b). Distância de Nova Timboteua a Santarém Novo \cong 39,00 km.

2.4 – SOLOS

Buscou-se uma descrição sucinta das características físicas, químicas e morfológicas dos solos do Nordeste do Pará como já foram descritos em Araújo *et al.* (1973), Leite *et al.* (1992), Silva *et al.* (1994) dentre outros.

2.4.1 – Solos com horizonte B latossólico

Latossolo amarelo

Está relacionado a sedimentos areno-argilosos do Quaternário e Terciário, presentes em topografia que varia de plano a suavemente ondulado, sob capoeira. Apresentam boas características físicas, são friáveis, ácidos (pH 4,2 a 5), textura argilosa, coloração em geral vermelho-amarelada e soma de bases muito baixa nos horizontes superficiais (Silva *et al.*, 1994). As principais limitações ao uso desses solos advêm de suas propriedades químicas – baixa reserva de nutrientes minerais, elevados teores de alumínio trocável e altas percentagens de saturação com alumínio trocável (Souza *et al.*, 1991).

2.4.2 – Solos com horizonte B textural não-hidromórficos

Podzólicos vermelho-amarelos

Associados a sedimentos do Terciário e Quaternário, encontram-se em áreas com relevo plano a suavemente ondulado, sob vegetação primária e capoeira. Apresentam normalmente argilominerais do grupo da caulinita e quartzo, além de baixos valores de óxidos de ferro. São ácidos (pH 4,2 a 5,2) de coloração vermelho-amarelado e baixas relações silte/argila, o que se assemelha bastante ao latossolo amarelo. A baixa fertilidade natural é oriunda de baixos valores de soma e saturação de bases, além de elevados valores de saturação com alumínio (Souza *et al.*, 1991; Silva *et al.*, 1994).

As observações de campo revelaram apreciável ocorrência de podzóis nas áreas de nascentes, arredores de Santa Maria do Pará (igarapé do Tubo e rios Jeju e Tacioteua), de Santarém Novo (principalmente nos igarapés Santo Antônio, Trombetas e Pacujá), de Santa Luzia (nascentes do rio Chocaréu) e arrabaldes de Maracanã (igarapés Apeteua e rio Escuro), com águas de coloração característica castanho-amarelado ou castanho-avermelhado. Nas áreas de transição, nos arrabaldes de porto Livramento-Nova Timboteua, o local se apresenta segundo várzea bem característica.

2.4.3 – Solos halomórficos

Solos indiscriminados de mangue

São constituídos de sedimentos do Quaternário, geralmente mal drenados formados por material fino misturado com matéria orgânica proveniente da deposição de detritos e das atividades biológicas que se distribuem nas partes baixas da orla marítima, sob influência das marés e com vegetação de manguezais (Souza *et al.*, 1991).

Esses solos possuem limitações à agricultura devido ao excesso de água e sais solúveis prejudiciais ao desenvolvimento vegetativo (Araújo *et al.*, 1973; Souza *et al.*, 1991).

São nitidamente observados a partir do rio Peixe-Boi em Velha Timboteua, nas margens do rio Maracanã em Santarém Novo e na foz do rio Maracanã onde a influência das marés é bem mais pronunciada (ver figura 3).

2.4.4 – Solos hidromórficos gleizados

Gleissolos (glei pouco húmicos)

São desenvolvidos de sedimentos holocênicos e caracterizados por apresentarem pH de 4,5 a 6,3, condições anóxicas evidenciadas pela coloração acinzentada e mal drenados. Encontram-se em planícies aluviais, submetidos a um regime de inundação freqüente (várzea) e sob vegetação típica. Pela sua fertilidade natural, são utilizados na microrregião com culturas de arroz (Silva *et al.*, 1994) e na área de estudo para produção de junco (*Eleocharis sp.*), sobretudo em Livramento-Nova Timboteua.

Areias quartzosas

Derivadas de sedimentos arenosos do Holoceno, ocorrem em áreas de cotas baixas e dunas ao longo da faixa costeira. As características físicas e químicas são, em geral, solos minerais pouco desenvolvidos, conteúdo de argila menor que 15% em profundidades acima de 200 cm (Silva *et al.*, 1994). Possuem baixa fertilidade natural, altos teores de alumínio trocável e baixa retenção de umidade. Por isso, apresentam severas restrições para o uso agrícola, advindas de suas características físicas e químicas desfavoráveis (Souza *et al.*, 1991).

No campo, observações mostram ocorrência de areias quartzosas nos arredores de Santa Maria do Pará (igarapé do Tubo e rios Jeju e Tacioteua, notadamente), de Santarém Novo (principalmente nos igarapés Santo Antônio, Trombetas e Pacujá), de Santa Luzia (nascentes do rio Chocaréu, no “balneário” Fortaleza) e de Maracanã (igarapés Apeteua e rio Escuro).

2.5 – RELEVO

Informações mais detalhadas sobre o relevo da Amazônia são discutidas desde o Projeto RADAMBRASIL (Barbosa & Pinto, 1973), o qual forneceu uma visão global do relevo contribuindo de forma específica para estudos posteriores. O texto a seguir apresenta uma descrição sucinta dessas unidades para a mesorregião Nordeste do Pará.

Na área de nascentes, relevos tabulares rebaixados do Grupo Barreiras caracterizam a área segundo a direção norte-sul, com drenagem que em geral deságua no litoral formando em alguns cursos terrenos inclinados de cotas de aproximadamente 2 a 5 m acima do nível das águas, de litologia sedimentar pouco resistente derivada de cobertura vegetal que constitui em sua maioria, extensas áreas de agricultura com diferentes estágios de regeneração abrangendo capoeiras, pastagens e hiléia remanescente (Barbosa & Pinto, 1973).

Em direção às áreas de transição e estuarinas o relevo constitui feições aplainadas, cotas médias entre 40 e 50 metros. Segundo Ackermann (1964) foram registradas altitudes para Velha Timboteua em 50,2m e Peixe-Boi 11,18m, ratificando as informações do GPS (55m e 12m, respectivamente).

A estrutura geológica é formada por sedimentos da Formação Pirabas, Grupo Barreiras e sedimentos areno-argilosos do Pós-Barreiras. A existência de falésias nessa unidade evidencia o seu contato à beira-mar, localizadas notadamente na cidade de Maracanã (33m, ver figura 40), São Tomé, Aricuru, e Quarenta de Mocooca (ver anexo F).

A foz do rio Maracanã encontra-se sob a forma de “trombetas”, constituindo assim as rias que em certos trechos, por ocasião da vazante, ficam totalmente secas expondo em seus leitos os sedimentos holocênicos dos manguezais nas costas baixas (Barbosa & Pinto, 1973; Leite *et al.*, 1992).

2.6 – HIDROGRAFIA

O litoral paraense revela uma drenagem bem diversificada com médios e baixos cursos de rios que desembocam no Atlântico (costa Norte), formando extensas baías afuniladas (estuários) e pontas arenosas como é o caso da baía do rio Maracanã (Costa *et al.*, 1977).

A bacia do rio Maracanã está inserida na região hidrográfica Costa Atlântica-Nordeste, e tem como principal rio o Maracanã, com uma extensão de aproximadamente 101 km a partir do igarapé do Tubo até a ilha do Cumarú. Quanto a seu perfil é um rio tipicamente meandrante, de baixa declividade que permite o escoamento superficial, possibilitando assim o desenvolvimento de um padrão de drenagem com ampla quantidade de cursos d'água (alta densidade) em várias direções. No entanto, o padrão subdendrítico ocorre em razão da maior permeabilidade do terreno, formado por sedimentos areno-argilosos da Formação Barreiras que tem elevada capacidade de infiltração. Apresenta todas as características da hidrologia intertropical, tais como: abundância de descargas específicas apesar da temperatura, ritmo de origem pluviométrica e contrastes de regimes atenuados pelo efeito da permeabilidade dos solos (Soares, 1991).

As nascentes do rio Maracanã estão localizadas às proximidades do município de Santa Maria do Pará destacando-se o igarapé do Tubo, o rio Jeju, o rio Tacioteua e o rio Maracanã (porto Caju) com profundidade de 4m (período chuvoso) e largura de 30 a 60m. Em direção ao litoral, o rio Maracanã passa por uma área de transição, arrabaldes de Nova Timboteua (porto Livramento), com profundidades de 4 a 8m (no período chuvoso) e largura de 250 a 350m, destaque também para os igarapés Mirim, Pau Amarelo, Tamanduá e o rio Peixe-Boi, um dos seus principais afluentes com cerca de 71km de extensão, localizado no município de Velha Timboteua. Já nas áreas estuarinas, observou-se nitidamente o seu alargamento em Santarém Novo da ordem de 400 a 600m e profundidade de 4 a 17m (na maré máxima) com seu curso em direção à costa desaguando por fim na baía de Maracanã (ver figura 4).

As características da bacia hidrográfica e os padrões de drenagem identificados ratificam a sua disponibilidade hídrica (vazão da ordem de 10^3 a 10^4 $m^3 \cdot s^{-1}$), as

similaridades com outros rios da mesorregião Nordeste (rio Marapanim, rio Caripi, entre outros) e a quantidade de ecossistemas evidentes em cada área descrita.

O regime do rio antes de tudo é condicionado ao regime pluvial reinante nesta área fisiográfica. A “primeira enchente” (de março a junho) observa-se inúmeros subafluentes não-perenes que deságuam em geral para o rio Maracanã. Nos meses de julho a setembro ocorre a estiagem e o nível do rio “normaliza” permanecendo assim até novembro quando se inicia a segunda estação chuvosa que se estende até janeiro, a “segunda enchente”.

Como já citado a bacia é subdividida em nascentes, transição e estuarina; deste modo, uma descrição breve de cada ambiente será retratada. Nas áreas de nascentes as “rias fluviais”, ou interiores, apresentam notável desproporção entre suas larguras e extensões em relação às “rias marinhas” (Soares, 1991), corroborando as observações de campo. As águas são de coloração castanho-avermelhadas ou castanho-amareladas que segundo a literatura (Sioli, 1967) são rios de “água preta” que apresentam essa coloração devido a forte dissolução de substâncias húmicas coloidais que provêm do manto de matéria orgânica em decomposição, fornecida pela vegetação florestal.

As áreas de transição formam importantes sistemas de trocas entre as águas interiores e os sistemas marinhos, sendo assim áreas de maior produtividade primária e reprodução para peixes e crustáceos, além de funcionarem como recipientes de matéria orgânica dissolvida e particulada que tem como origens o próprio manguezal e o material particulado em suspensão das águas continentais (Rebouças *et al.*, 2002). A coloração das águas até o porto Livramento são “águas pretas”; a partir do rio Peixe-Boi à jusante, com exceção de alguns afluentes, são “águas brancas” denominadas assim pela considerável quantidade de argila proveniente dos manguezais (Sioli, 1967).

Nas áreas estuarinas, a riqueza biológica dos ecossistemas costeiros faz com que essas áreas sejam de imensa fertilidade; desta forma, a fauna e flora se integram em constante renovação.

O pescado corresponde a uma importante sustentação econômica na microrregião do Salgado. As práticas de captura são a pesca tradicional (caniço, tarrafas,

malhadeiras, curral) e o extrativismo de fauna (caranguejo, mexilhão, sarnambi, siri), sobretudo em Maracanã.

Informações de alguns rios e afluentes selecionados da bacia hidrográfica do rio Maracanã (IDESP, 1993).

- (1) rio Tacioteua: afluente do rio Maracanã; tem como afluente o igarapé Galho Grande; limita-se com os municípios de Bonito, Santa Maria, Nova Timboteua e Igarapé-Açu;
- (2) rio Peixe-Boi: no limite com o município de mesmo nome; banha excelentes terras para agricultura e pecuária, além do município de Nova Timboteua; navegável somente por pequenas embarcações;
- (3) igarapé Mato Grosso: afluente da margem esquerda do rio Maracanã; serve como parte dos limites com os municípios de Maracanã, Nova Timboteua, Igarapé-Açu, Santarém Novo e Peixe-Boi;
- (4) rio Chocaréu: afluente da margem direita do Maracanã; situado nos limites com os municípios de Salinópolis e Maracanã;
- (5) rio Maracanã: pequenas e médias embarcações trafegam com boa navegabilidade devido a sua profundidade e largura, tornando-se a via de maior influência para o desenvolvimento da região;
- (6) rio Caripi: possui 18 km de extensão e não é navegável por grandes embarcações devido a pequena profundidade;
- (7) na baía de Maracanã, no oceano Atlântico, encontram-se várias ilhas, tais como Algodoal-Maiandeua, ilha do Cumarú e ilha do Marco (figura 4).

Na tabela abaixo são apresentados alguns dos numerosos igarapés, que se encontram às proximidades de estradas de terra e asfaltadas, dentro da área fisiográfica selecionada (figura 4).

Tabela 1 – Localização de igarapés visitados nas excursões de campo.

Estrada	Trecho	Denominação	Uso dominante	
BR-316	Km 101, à beira da estrada Km 101, a 1,3km da BR	igarapé do Tubo (Maracanã)	(1)	
		“balneário Tony Ramos”	(2)	
PA-324	a 1 km da entrada para Santarém Novo a 2 km da entrada para Santarém Novo ramal para Boa Vista ramal para Boa Vista	Jutaí Grande	(2)	
		Jutaizinho	(2)	
		Trombetas	(2)	
		Aquariquara	(2)	
PA-438	Pau Amarelo – Santarém Novo	Pau Amarelo	(2)	
	Santo Antônio – Santarém Novo	Santo Antônio	(2)	
		Pacujá	(2)	
	ramal para Peri-Meri	2 igarapés sem denominação	(2)	
		Trombetas	(2)	
	ramal para Faustina	1 igarapé sem denominação	(2)	
	ramal para Pedrinhas	Peri-Meri	(2)	
ramal para Bacuriteua	2 igarapés sem denominação	(2)		
PA-124	ramal para Piratuba	Piratuba	(2)	
	ramal para Bacuriteua	Igarapé do Tubo	(2)	
		Capiteira	(2)	
		Lava-Pés	(2)	
	ramal Cruzeiro – Jararaca	5 igarapés sem denominação	(1)	
PA-442	ramal Jararaca – Boitento	Açaizal	(2)	
		4 igarapés sem denominação	(1)	
PA-442	Nazaré – São Bento	Igarapé do Major	(2)	
		3 igarapés sem denominação	(1)	
	ramal para Derrubada	1 igarapé sem denominação	(1)	
PA-127	Igarapé-Açu – Maracanã	1 igarapé sem denominação	(1)	
		ramal para Bom Jesus	1 igarapé sem denominação	(1)
			4 igarapés sem denominação	(2)
	Maracanã (arrabaldes)	rio Caripi (trecho)	(2)	
	rio Caripi (outro trecho)	(2)		
	igarapé Apeteua	(3)		
	igarapé rio Escuro	(2)		

(1) apenas banho e/ou lavagem de roupa

(2) “balneário” (lazer e banho)

(3) “balneário” (lazer e banho) e captação de água subterrânea

2.7 – GEOMORFOLOGIA E DINÂMICA COSTEIRA

2.7.1 – Circulação das águas costeiras

O litoral paraense estende-se por cerca de 600 km exibindo numerosos ecossistemas.

A ocorrência desses ecossistemas na costa brasileira, em geral, é principalmente dependente da morfologia costeira, das condições climáticas locais e dos processos hidrodinâmicos. Essa diversidade tem levado vários grupos de pesquisa a realizar programas costeiros institucionais, alguns em cooperação internacional, sobre o conhecimento científico da margem continental brasileira. Tais programas têm intensificado aspectos oceanográficos físicos, químicos, biológicos e geológicos, e têm sido realizados desde a década de 60 até a atualidade (ver, a propósito, uma abordagem sucinta sobre esses programas em Siqueira, 2003).

O programa AmasSeds, desenvolvido nas décadas de 80 e 90, constituiu-se um estudo multidisciplinar, envolvendo universidades federais (do Pará e fluminense) e norte-americanas (de New York e Washington), entre outros colaboradores, e investigando processos oceanográficos (geológicos, físicos, químicos, biológicos) ocorrentes no sistema de dispersão do rio Amazonas, notadamente na plataforma continental.

Considera-se que, em geral, os principais agentes que regem os mecanismos de circulação das águas nos oceanos e na atmosfera próxima são os movimentos de rotação e translação do planeta e os aportes de energia solar, responsáveis pelos regimes meteorológicos (envolvendo, principalmente, temperatura, precipitação pluviométrica, evaporação, ventos), ondas, correntes litorâneas (Chester, 1990; Degens *et al.*, 1991).

Embora aparentemente homogênea, a mesorregião Nordeste do Pará é dominada por “microclimas”, isto é, áreas climáticas onde predominam características e condicionantes locais (SUDAM, 1984).

O regime climático dessa mesorregião é, no geral, bem definido e marcado por períodos chuvosos (em geral, de janeiro a junho, com chuvas mais intensas em fevereiro, março e abril) e menos chuvosos (quase sempre, de julho a dezembro, com certa estiagem em outubro, novembro e dezembro), com índices pluviométricos anuais

que podem ultrapassar 2.500mm e evapotranspiração capaz de produzir deficiência hídrica em certas situações (acionamento de água subterrânea em algumas vilas e localidades menores e sensível diminuição no volume de água de pequenos cursos). Essas características produzem variações sazonais capazes de influenciar o ciclo das águas litorâneas e a energia dos ecossistemas aquáticos costeiros.

Nesse ambiente costeiro dominam os ventos alísios NE, que atingem maior intensidade de janeiro a abril, sendo mais fracos entre julho e outubro (Fontes, 2000). Segundo dados de BRASIL. MARINHA DO BRASIL (1986, 1994) a velocidade desses ventos pode atingir valores da ordem de $5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

São os ventos agentes atuantes no mecanismo complexo de ocorrência de correntes litorâneas e de formação de ondas capazes de produzir modificações na geomorfologia dessa linha de costa, dominada por manguezais, através do transporte e deposição de sedimentos nesse litoral (BRASIL. MINISTÉRIO DA MARINHA, 1972; Fontes, 2000).

A Marinha do Brasil edita “carta de correntes de maré” referentes à “direção e velocidade da corrente de maré” no trecho compreendido entre Salinópolis (PA) e Belém (PA). Essas cartas oferecem setas dispostas em mapas, assinalando valores das velocidades da corrente, expressos em nós e décimos de nó, e se referem à situação de sigízia média, significando dizer que existem valores ainda mais elevados. Nessas cartas editadas, observa-se, por exemplo, que 6 horas antes da preamar em Salinópolis, os valores de velocidade de corrente de maré, ao largo da costa, à altura da baía de Curuçá (PA), são da ordem de 4,1 a 6 nós (cerca de 210 a $306\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$). Tais valores correspondem à vazante com velocidades de corrente mais expressivas para esse trecho considerado, de Salinópolis a Belém (BRASIL. MARINHA DO BRASIL, 1986).

A dinâmica costeira condiciona diretamente a construção geomorfológica da linha de costa. Deste modo, a costa norte é batida por ondas geradas por ventos alísios de NE, predominantemente. Por outro lado, no que se refere ao regime de marés, a costa norte brasileira apresenta o fenômeno das macromarés (amplitudes acima de 4m); alguns pesquisadores registraram amplitudes ainda mais elevadas até um máximo de 12m (Beardsley *et al.*, 1995). Essas marés exercem um papel importante na gênese da

cobertura de sedimentos móveis e na configuração geomorfológica do litoral (BRASIL. MINISTÉRIO DA MARINHA, 1972).

Uma das características marcantes, no que diz respeito à circulação das águas costeiras, é a manifestação de diferentes salinidades. A apreciável descarga hídrica do rio Amazonas para o oceano Atlântico manifesta-se tanto no período de “vazante” (menos chuvoso ou estiagem), quanto no de “enchente” (período mais chuvoso). Nesse período, a vazão registrada é da ordem de $2 - 2,5 \times 10^5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, enquanto na estiagem é de $1 - 1,25 \times 10^5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (Geyer *et al.*, 1996). Há, em consequência, forte influência nessas águas costeiras, produzindo sensíveis variações de salinidade (Diégues, 1972; Nittrouer & DeMaster, 1986; Geyer *et al.*, 1996).

O clássico trabalho de Diégues (1972) mostra o deslocamento de massas de água, sob influência da Corrente das Guianas (também conhecida como Corrente Norte Brasileira), registrando valores de salinidade desde 12‰ (às proximidades da foz do rio Amazonas) até 36‰ (mais ao largo da costa). Por outro lado, durante o período de “vazante”, as águas oceânicas penetram no continente adentro, pela calha do rio (Diégues, 1972), fato esse também registrado por diversos outros pesquisadores (Gibbs, 1967; Nittrouer & DeMaster, 1986 e suas referências pertinentes).

2.7.2 – Cobertura sedimentar e geomorfologia

A costa norte brasileira estende-se desde o cabo Orange (AP) até a baía de São Marcos (MA). A margem continental enquadra-se no tipo denominada deposicional, ou seja, a formação da plataforma e do talude continental está relacionada a processos deposicionais, restringindo-se os aspectos erosivos a eventos locais isolados (Geomar, 1972).

De acordo com Fontes (2000), a plataforma continental do Amazonas estende-se desde o cabo Orange (AP) até a baía de Turiaçu (MA). A batimetria varia ao longo dessa plataforma apresentando inclinações características dos diversos processos de formações geomorfológicas da linha de costa.

O alargamento da plataforma continental do Amazonas é resultante da sedimentação do sistema de dispersão do rio Amazonas, com seu complexo de delta e estuário, na plataforma interior, desde baixas profundidades, com média de 20m, até quase 180km de extensão em direção ao oceano (Martins, 1987).

É consenso entre os pesquisadores que a plataforma continental do Amazonas representa um sugestivo exemplo de área de sedimentação terrígena ativa, pretérita e atual. A influência das características hidrodinâmicas e transporte de sedimentos pelo rio Amazonas constitui o elemento modelador da maior importância no desenvolvimento do padrão geomorfológico para caracterizar essa área fisiográfica da margem continental norte brasileira (BRASIL. MINISTÉRIO DA MARINHA, 1972; Martins, 1987; Nittrouer & DeMaster, 1986).

Com efeito, o gigantesco aporte de sedimentos terrígenos (o suprimento de sedimentos fornecido pelo rio Amazonas à plataforma é avaliado em 11 a 13×10^8 t.ano⁻¹, segundo dados levantados por diversos pesquisadores - Nittrouer & DeMaster, 1986), predominantemente finos, além de ser o responsável pelo desenvolvimento de uma morfologia esculpida, envolvendo o cone, a plataforma e o talude, produz diferentes ambientes, representados pela plataforma interna, média e externa, que exibem características diferenciadas, notadamente no que diz respeito às profundidades (Nittrouer & DeMaster, 1986).

Na porção situada ao longo da costa Pará-Maranhão, a plataforma continental é suave, de pequenos declives, sem níveis topográficos marcantes, e limitada por uma quebra ou borda de profundidade bem pronunciada, a uma profundidade em torno de 80m. Essas características modificam-se gradativamente, mais ou menos a partir de Salinópolis (PA), com a plataforma alargando-se às proximidades da embocadura do Amazonas (BRASIL. MINISTÉRIO DA MARINHA, 1972).

Sob o ponto de vista mineralógico nesses sedimentos finos dominam argilominerais tais como caulinita, montmorillonita e illita, associadas ao quartzo, apresentando variações quantitativas de acordo com a maior ou menor proximidade da costa (Gibbs, 1967; Nittrouer & DeMaster, 1986).

Na microrregião do Salgado caracterizam-se duas feições geomorfológicas distintas: (1) o relevo continental (Planalto Rebaixado da Amazônia), formado por uma superfície tabular erosiva com altitude média de 50m, baixas declividades, tabuleiros extensos e alongados na direção NW-SE dissecados em vales com planícies aluvionares restritas; essas feições formam falésias esculpidas nos depósitos areno-argilosos do Grupo Barreiras ao longo das baías, estendendo-se a leste da baía de

Marajó até a baía de São João de Pirabas; (2) a leste da baía de Pirabas, por sedimentos quaternários que compõem uma costa muito irregular, recortada por “rias” e vales aplainados, formada em grande parte por planícies arenosas, manguezais, cordões de dunas, que se alternam com baías nas quais deságuam em estuários com larga desembocadura (Barbosa & Pinto, 1973; Franzinelli, 1982, 1991; Bemerguy *et al.*, 1992; Silva, 1996; Silva Júnior, 1998).

O planalto costeiro é uma superfície tabular erosiva, levemente ondulada e pouco dissecada, com altitudes em torno de 30 m e máximos em torno de 45 m, constituído por sedimentos do Grupo Barreiras e do Pós-Barreiras com cobertura vegetal de florestas secundárias e manguezal. Apresenta contato morfológico abrupto com a planície costeira, formando falésias ativas e inativas de aproximadamente 20 m de altitude ao longo da costa. São bem representativas, entre outras, as falésias que se encontram expostas nas cidades de Maracanã, Salinópolis e São João de Pirabas, nas ilhas de Mocooca (município de Maracanã), Fortaleza (município de São João de Pirabas) e na vila Boa Vista.

As planícies costeiras são superfícies de suave inclinação em direção ao mar, com cotas quase ao nível do mesmo. Correspondem às áreas de acumulação quaternária localizada na faixa litorânea com sedimentos argilosos e arenosos resultantes da ação construtiva de ondas e ventos, traduzindo-se em um relevo eminentemente plano (Costa *et al.*, 1977). Estão inseridas dentro dos limites de influência da maré rio acima e processos marinhos na foz. São constituídas por canais estuarinos e contornadas por manguezais e falésias ativas e inativas do planalto costeiro (Silva, 1996).

Geomorfologicamente, a figura 5 mostra uma área composta por domínios de agradação, desenvolvido principalmente no litoral como as paleodunas, dunas, praias, barras de maré, mangues e várzeas; e pelo domínio de degradação, representado pelo relevo colinoso e a superfície aplainada situados no interior do continente (Leite *et al.*, 1992).

Alguns aspectos relacionados com a topografia do litoral se encontram descritos no subitem (2.7.2 – Cobertura sedimentar e geomorfologia).

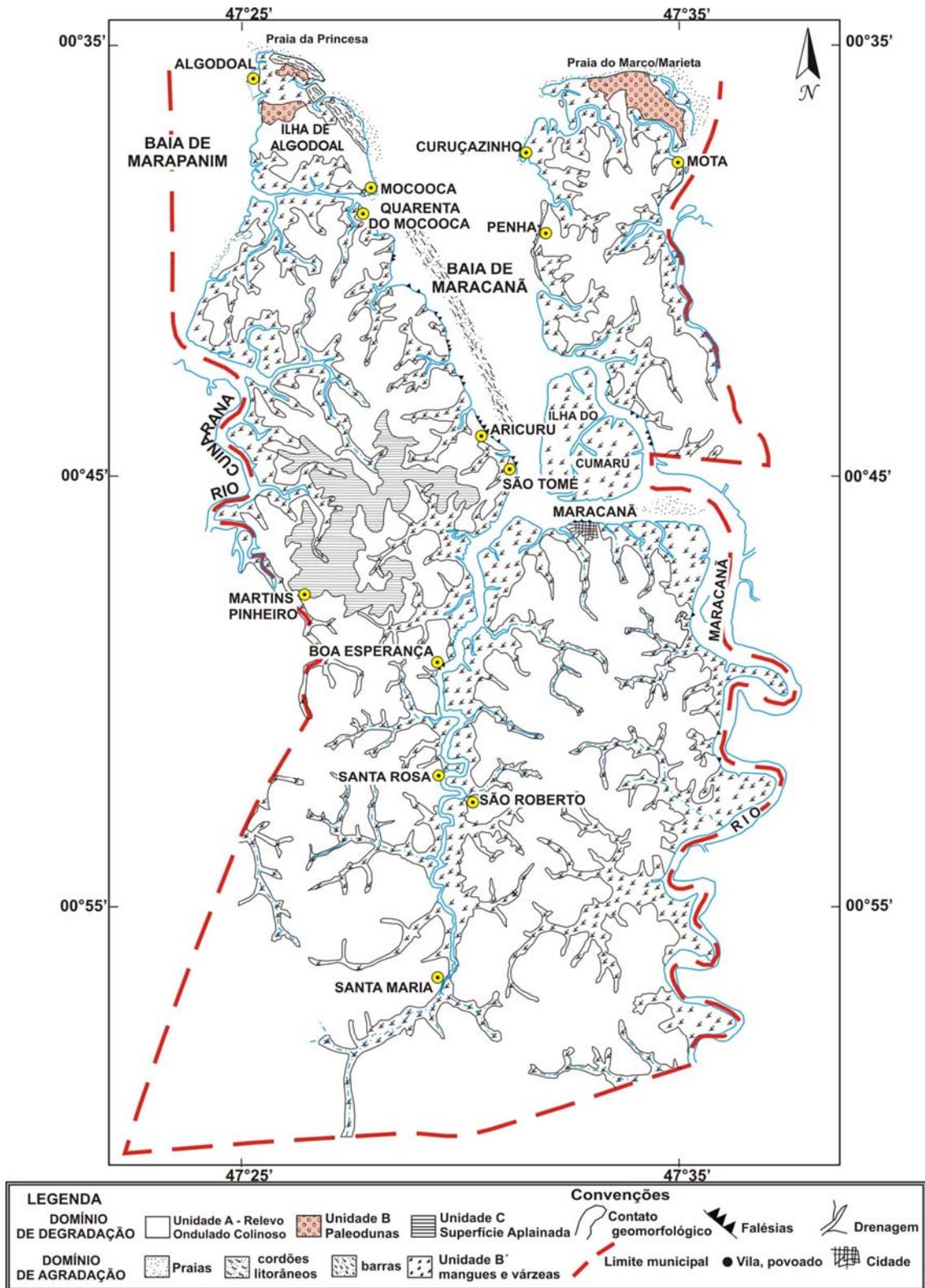


Figura 5 – Mapa geomorfológico do município de Maracanã (modificado de Leite *et al.*, 1992). Escala 1:250.000.

2.8 – ASPECTOS GEOLÓGICOS RELEVANTES: AS COBERTURAS CENOZÓICAS

O texto abaixo pretende mostrar em linhas gerais informações referentes às coberturas cenozóicas que já foram tratadas em trabalhos anteriores (Ackermann, 1975; Costa *et al.*, 1977; Petri & Fúlfaro, 1983; dentre outros).

2.8.1. – Terciário

Formação Pirabas

Aflora em áreas restritas da região Nordeste do Pará mais precisamente na zona Bragantina, nos municípios de Capanema, Peixe-Boi, Nova Timboteua, Bragança, Irituia e na faixa litorânea da zona do Salgado, nos municípios de Primavera, Marapanim, Maracanã e Salinópolis (Costa *et al.*, 1977; Bezerra, 1991).

É constituída principalmente por camadas horizontais de calcárioossilífero, formação marinha, intercaladas por camadas de areia e argila (Ackermann, 1975). Avaliações sobre o calcário da Formação Pirabas (ilha Fortaleza) revelaram resultados analíticos com teores de 51% a 37,50% de CaO; 11,5% a 0,20% de MgO e 1,94% a 0,42% de Fe₂O₃ (Almaraz, 1979). Além disso, outra análise química de material colhido em Maracanã apresentou teor de 20,25% em MgO (Ackermann, 1964).

Na interpretação dos diferentes ambientes, a análise entre a fácies ratificou que os calcários foram depositados em ambiente marinho de plataforma rasa e, secundariamente, em lagunas e mangues (Costa *et al.*, 1977; Bezerra, 1991).

Segundo Ferreira & Cunha (1957) a Formação Pirabas é dividida em três fácies:

(1) fácies Castelo (inferior), caracterizada por apresentar calcários de composições variadas;

(2) fácies Baunilha Grande (intermediária), constituída por argilas negras com vegetais piritizados e nódulos de calcários escuros típico de mangue;

(3) fácies Capanema (superior), composta por calcários argilosos (margas), micritos, bioclóstos, folhelhos rítmicos e arenitos calcíferos.

Góes *et al.* (1990) individualizaram oito fácies na Formação Pirabas, caracterizadas predominantemente por biocalciruditos maciços, biocalcarenitos estratificados, biocalcarenitos não-estratificados, margas, biohermitos, argilas negras, argilas esverdeadas e calcilutitos. Mostram ainda que a fauna fóssil abundante encontra-se representada pelos biocalciruditos maciços, que por sua vez, em

associação com biocalcarenitos estratificados são fortes indicadores de depósitos de plataforma rasa. As associações de sua outra fácies apontam para uma ambiente lagunar, com presença de mangues.

A gênese desses argilominerais parece corresponder a origens diferentes: ambientes detríticos (caulinita e illita), de neoformação e/ou transformação (esmectitas e interestratificados), pelo ambiente marinho e de alteração (alguma caulinita), dentre outras (Almaraz, 1979).

Grupo Barreiras

A expressão “Grupo Barreiras” é usada para especificar sedimentos clásticos pertencentes ao Cenozóico continental e lacustre, restringindo sua ocorrência ao Nordeste brasileiro (Ackermann, 1964, 1969; Petri & Fúlfaro, 1983; Arai *et al.*, 1988).

Litologicamente é constituído de argilas coloridas observadas na sua porção mais inferior, argila cinza (presença de matéria orgânica) e sedimentos inconsolidados argilo-arenosos e areno-argilosos, geralmente nas cores amareladas e/ou avermelhadas, às vezes, com seixos de quartzo de tamanhos variados, arredondados. Observam-se também, níveis descontínuos de arenito ferruginoso (grês do Pará) em blocos soltos, irregulares e de tamanhos variados (Petri & Fúlfaro, 1983; Arai *et al.*, 1988; Góes *et al.*, 1990; Bezerra, 1991).

Normalmente os sedimentos do Grupo Barreiras estão sobrepostos às camadas da Formação Pirabas ou em contato direto com Formações mais antigas (Arai *et al.*, 1988).

Estudo das estruturas sedimentares e do arranjo faciológico do Grupo Barreiras ratificam a presença de planície de maré que, de acordo com dados palinológicos, está ligada a mangues e ao sistema estuarino (Rossetti *et al.*, 1989).

Góes & Truckenbrodt (1980) propuseram uma divisão para os sedimentos “Barreiras”, em três litofácies: argilo-arenosa, arenosa e conglomerática:

(1) fácies argilo-arenosa - constitui-se de camadas argilosas, argilo-arenosas e areno-argilosas interdigitadas; as argilas apresentam coloração variada e os outros sedimentos, aparência mosqueada; em alguns locais ocorrem lentes de areia com granulometria fina a grossa;

(2) fácies arenosa (sobrejacente) - apresenta contato brusco com a anterior e é composta por arenitos amarelados de granulação média, mal selecionados e microconglomerados moderadamente selecionados;

(3) fácies conglomerática - constituído de areia grossa.

Estudos das estruturas sedimentares e aspectos texturais dividiram os sedimentos Barreiras em três associações (A, B e C) representadas por 11 fácies, caracterizando um modelo de sistema deposicional em leques aluviais-planície, fluviais entrelaçados e flúvio-lagunar. As análises de arranjo faciológico e de estruturas sedimentares caracterizam o ambiente como de planície de lama, evidenciando a influência marinha nessa unidade (Alheiros *et al.*, 1988; Rossetti *et al.*, 1989, 1990).

As melhores exposições da Formação Barreiras são encontradas na costa atlântica, onde a ação erosiva do mar deu origem a inúmeras falésias, comuns à faixa costeira de até 36m de altura. Entre essas, destaque para as falésias de Marapanim, Maracanã, Salinópolis e ilha de Fortaleza (Ackermann, 1964; Almaraz, 1979; Costa *et al.*, 1992).

2.8.2- Quaternário

Sedimentos do Pós-Barreiras

Litologicamente são constituídos de sedimentos areno-argilosos e seixos de quartzo, de coloração geralmente amarelada ou avermelhada na porção inferior do pacote. A deposição ocorre acima de superfícies erosivas lateralmente contínuas, além de alguns afloramentos com estruturas de dissipação de dunas eólicas, principalmente na ilha de Fortaleza. Esses sedimentos foram interpretados como holocênicos, a partir da concentração de resíduos de conchas inseridas neste pacote (Sá, 1969; Rossetti *et al.*, 1989).

Sedimentos recentes

Estão relacionados a depósitos fluviais com acúmulos de seixos, areias de granulação fina a média, argilas escuras (ricas em húmus, de coloração cinza-amarronzada) associadas à influência de maré, caracterizando as baixadas atuais de rios, mangue e praias (Ackermann, 1964; Sá, 1969).

A figura 6 mostra uma descrição sucinta do quadro estratigráfico da mesorregião Nordeste do Pará, representado por unidades litológicas do Terciário (Formação Pirabas e Grupo Barreiras) e do Quaternário (Pós-Barreiras e sedimentos recentes) já descritos.

ERA	PERÍODO	ÉPOCA	UNIDADE ESTRATIGRÁFICA	LITOLOGIA	DESCRIÇÃO
CENOZÓICA	QUATERNÁRIO	HOLOCENO	Sedimentos Modernos (aluviões e dunas)		Areias de granulometria fina a média de cor marrom, intercaladas a argilas escuras, com restos de vegetais, distribuídas nas orlas dos rios e igarapés.
		PLEISTOCENO	Pós-Barreiras		Sedimentos areno-argilosos sem estruturas, depósitos aluvionares siliciclásticos areno-argilosos com tons amarelados e localmente avermelhados nas porções inferiores.
	TERCIÁRIO	PLIOCENO	Grupo Barreiras		Sedimentos areno-argilosos, arenosos, conglomeráticos polimíticos, cores mosqueadas, arenitos amarelados de granulação média.
		MIOCENO INFERIOR	Formação Pirabas		Calcários fossilíferos e margas intercalados a folhelhos cinza esverdeados e negros.

Figura 6 – Coluna estratigráfica da região Nordeste do Pará (modificado de Borges¹, 1988 *apud* Souza Júnior *et al.*, 1992).

¹ BORGES, M.S.; ANGÉLICA, R. S.; COSTA, M.L. 1988. Contribuição à geologia dos arredores de Santa Luzia (Ourém-PA). In: CONG. BRAS. GEOL., 35. *Anais...* Belém-PA, SBG, v.6, p. 2689-2703.

2.9 – ASPECTOS HIDROGEOLOGICOS-HIDROGEOQUÍMICOS E SISTEMAS AQUÍFEROS DOMINANTES

Os trabalhos de perfuração de poços tubulares visando captação de água subterrânea para abastecimento público, com vistas ao saneamento básico e prevenção de doenças endêmicas, sempre constituíram atividade do antigo Serviço Especial de Saúde Pública (SESP), órgão vinculado à administração pública federal. No Pará, o SESP executou (ou administrou) perfuração de poços em vários municípios (cidades, vilas, localidades), incluindo a capital (Belém) e adjacências. Essas atividades, no Pará, foram mais intensas a partir da década de 60, tendo sido contempladas cidades e vilas tais como Icoaraci, Ananideua, Santa Isabel, Castanhal, Capanema, Igarapé-Açu, Maracanã, Salinópolis, São João de Pirabas, Quatipuru, entre outras. Esse arquivo encontra-se disponível na Fundação Nacional de Saúde (FUNASA), sob administração federal, com regional em Belém (PA).

Nesses arquivos constam perfis litológicos com descrição sumária dos diferentes horizontes relacionados com as coberturas cenozóicas dominantes, bem como resultados analíticos disponíveis para os poços cadastrados.

Posteriormente, notadamente a partir da década de 60, a ampliação dos serviços de perfuração e instalação de poços tubulares pela Companhia de Saneamento do Pará (COSANPA), a rede de distribuição de água subterrânea tornou-se mais efetiva, tanto na capital como na mesorregião Nordeste do Pará. Mais recentemente, enquanto no município de Belém e adjacências instala-se o Serviço Autônomo de Águas e Esgotos do município de Belém (SAAEB), com atividades dominantes em Icoaraci e Mosqueiro, algumas prefeituras de municípios situados na mesorregião NE do Pará se utilizam empresas particulares para esses trabalhos de perfuração e instalação de poços tubulares.

Dados coletados nos arquivos da Fundação Serviços de Saúde Pública (Belém, PA) mostram que nos perfis litológicos de terrenos situados na cidade de Maracanã o calcário aparece em profundidades às proximidades de 20-30m, bem como em profundidades algo mais elevadas, em torno de 100m. Associados ao calcário aparecem folhelhos, mais ou menos ricos em matéria orgânica e abundante material argiloso. Sobrepostos ao calcário aparecem camadas areno-argilosas e argilo-arenosas

associadas a material ferruginoso e ao grês-do-Pará. O anexo A1 é representativo de perfil litológico de furo efetuado na área de captação de água subterrânea em Maracanã.

Os perfis litológicos sob influência de material geológico do Pós-Barreiras são constituídos, em geral, de material arenoso, areno-argiloso e argilo-arenoso, mais ou menos associado a material ferruginoso e à matéria orgânica. Nas camadas mais superficiais (em torno de 30 cm de profundidade) aparece “terra vegetal”, que é, em geral, arenosa ou areno-argilosa, de coloração cinza escura; a partir de, aproximadamente, 1m dominam camadas de argila e areia, associadas ou não a material ferruginoso (de coloração rósea a vermelha) e matéria orgânica (coloração cinza a cinza escura). O nível hidrostático aparece às proximidades de 10-12m de profundidade. Um exemplo sugestivo de perfil litológico, mostrando as camadas características do Pós-Barreiras sobrejacentes ao calcário da Formação Pirabas, encontra-se no anexo A2.

Uma breve interpretação de resultados analíticos disponíveis nesses arquivos ratificam a influência desses terrenos geológicos, revelando a fraca disponibilidade de eletrólitos nas águas subterrâneas associadas às coberturas cenozóicas de origem continental (material aluvionar do Grupo Barreiras e suas alterações intempéricas), bem como as apreciáveis concentrações de eletrólitos nas águas subterrâneas relacionadas com a Formação Pirabas. Ainda nesses arquivos chamam atenção aspectos relacionados com a intrusão de águas salobras em São João de Pirabas e teores elevados de ferro (em torno e acima de 1 ppm) em diferentes localidades dessa mesorregião.

Com base nos arquivos antigos do SESP e da Cosanpa, principalmente, Sauma Filho (1996) elaboraram um resumo bastante elucidativo de características hidrogeoquímicas de águas subterrâneas, ocorrentes na região metropolitana de Belém e adjacências e áreas fisiográficas situadas no Nordeste do Pará; nesse resumo é enfatizada a condutividade elétrica como critério preliminar na avaliação de parâmetros hidrogeoquímicos úteis à caracterização de águas subterrâneas.

Especificamente, sobre as características hidrogeológicas e hidrogeoquímicas da região metropolitana de Belém (PA) são a dissertação de mestrado de Sauma Filho

(1996) e as teses de doutorado de Matta (2002) e Cabral (2004). Em tais abordagens, ratifica-se a ocorrência de aquíferos relacionados com material do Quaternário (Pós-Barreiras) e do Terciário (Grupos Barreiras e Formação Pirabas).

As características hidrogeoquímicas de águas subterrâneas associadas às coberturas cenozóicas (Pós-Barreiras, Grupo Barreiras e Formação Pirabas), na mesorregião Nordeste do Pará, foram exemplificadas na dissertação de mestrado de Otobo (1995) e na tese de doutorado de Souza (1996). Enquanto Otobo concentra-se em águas subterrâneas de Capanema, Salinópolis e outras localidades, Souza (1996) avalia situações observadas em Tauari e Salinópolis. Em ambos os trabalhos é enfatizada a influência do calcário de Pirabas na rica composição quantitativa dos íons dominantes, em contraste com a influência do material areno-argiloso do Pós-Barreiras (mais superficial) e do Grupo Barreiras (situado na porção intermediária dos perfis) com baixos conteúdo eletrolíticos.

Esse quadro exposto identifica nessa mesorregião ocorrência de sistemas aquíferos relacionados com material arenoso e areno-argiloso de baixas profundidades (em geral, até cerca de 20m) pertencentes aos sedimentos inconsolidados do Pós-Barreiras; de argilitos, siltitos e arenitos do Grupo Barreiras (que podem atingir profundidades mais elevadas, em torno de 65m); ou de arenitos calcíferos da Formação Pirabas (de diferentes profundidades, desde, praticamente, aflorantes até acima de 150m). Tais profundidades foram coletadas em arquivos de perfis disponíveis na Funasa, na Cosanpa e dados compilados dos trabalhos de Otobo (1995) e Souza (1996) efetuados nas mesorregiões do Salgado e da Bragantina.

Sob o ponto de vista hidrogeológico, com base na interpretação de dados geofísicos, coleta de material e monitoramento químico de águas de diferentes níveis piezométricos (enquanto na região metropolitana de Belém já é possível definir, entre outras características, prováveis geometrias e dimensões de aquíferos) faltam dados integrados para uma avaliação mais abrangente dos sistemas aquíferos conhecidos na mesorregião NE do Pará. Aparentemente, a julgar pelos dados disponíveis e observações de campo (facilidade de armazenamento e captação de água subterrânea em toda essa mesorregião, chuvas abundantes, apesar de períodos de estiagem algo mais intensos do que na região metropolitana de Belém, exuberante rede hidrográfica,

reunindo inúmeras nascentes, numerosos córregos menores e igarapés e rios afluentes do Maracanã, manutenção de mata ciliar em áreas de nascentes, por exemplo) há apreciável disponibilidade hídrica subterrânea. No entanto, observações de campo e laboratório e entrevistas com moradores locais mostram que há problemas relacionados com a influência antrópica (ocorrência de nitrato em águas para consumo público), ineficiência na locação e nos trabalhos de instalação de poços tubulares, intrusão de águas salobras, teores elevados de ferro e matéria orgânica (produzindo sabor desagradável), entre outros inconvenientes.

2.10 – OCUPAÇÃO ANTRÓPICA DO ESPAÇO FÍSICO

A área selecionada da bacia hidrográfica do rio Maracanã para este trabalho está delimitada pelas coordenadas 47°15'00" – 47°35'00" WGr e 00°30'00" – 01°20'00"S. Essa escolha é resultante de trabalhos preliminares, envolvendo excursão de campo na baía de Maracanã e Santarém Novo, razão pela qual foram contempladas áreas de nascentes, sem influência de maré, áreas estuarinas e intermediárias dessa bacia hidrográfica por questões operacionais e de abrangência (recursos naturais, estradas, projetos instalados).

Este texto foi subdividido segundo quatro centros urbanos de influência: (1) Santa Maria do Pará (área de influência de nascentes), (2) Nova Timboteua (área de transição, envolvendo maior ou menor influência de maré), (3) Santarém Novo (à montante da baía de Maracanã) e (4) Maracanã (na própria baía, sob maior influência marinha). O contexto fisiográfico influencia diretamente as atividades produtivas (figura 1).

(1) Área de influência de Santa Maria do Pará (a 103 km de Belém). Cidade estrategicamente situada no encontro de duas rodovias federais, a BR-316 (que segue para o Maranhão) e a BR-010 (que se dirige para o Planalto Central). A cidade contém equipamentos urbanos indispensáveis (hospitais, escolas, água subterrânea para consumo público, telefonia, subestação de distribuição de eletricidade, agência bancária, hotéis e restaurantes de médio porte); possui comércio ativo e variado (entreposto rodoviário de carga pesada, notadamente madeira e cerâmica vermelha); é parada obrigatória de linhas de ônibus, que se dirigem para o Nordeste e Centro-Oeste, Sudeste e Sul do país.

Vila Jeju (BR-316, km 107). Trata-se de um povoado apresentando 100 a 150 residências, incluindo escola de ensino fundamental, ocupando-se, principalmente, de comércio de frutas de pomares locais (banana, biribá, tangerina, melancia, principalmente), de produtos agrícolas locais (mandioca, macaxeira, cará) e outros oriundos de outras áreas rurais (laranja, coco-da-baía, farinha de mandioca). Está situada às margens do rio Jeju, onde está instalado um "balneário" denominado Sol e Lua, que oferece área de lazer (figuras 28 e 29). Existe um poço tubular de pequena capacidade (abaixo de $20\text{m}^3/\text{h}$) mantido pela prefeitura do município de Santa Maria do Pará.

Vila Nova (PA-324, no encontro com a BR-316, a 115 km de Belém). Povoado com cerca de 100 a 150 residências, grande parte servindo de comércio de venda de alimentos locais (mingau de milho e tapioca), incluindo escola de ensino fundamental, ocupando-se, principalmente, de venda dos alimentos citados. Está situada à cerca de 6 km do rio Maracanã, através de estrada-de-terra (sem pavimentação), onde se situa um "balneário" denominado porto do Caju, denominação essa devida ao igarapé do Caju, existente às proximidades, que desemboca no rio Maracanã. Em Vila Nova, está instalado um poço tubular com pequena capacidade (abaixo de $20\text{m}^3/\text{h}$) mantido pela prefeitura de Santa Maria do Pará.

Vila de Tacioteua (BR-316, km 124). Vila mais antiga, mais bem ordenada, talvez já considerada como cidade de pequeno porte (menos de 10.000 habitantes) ocupando-se, principalmente, de comércio de produtos agrícolas e pecuários, mantendo escolas de ensino fundamental, situada às margens do rio Tacioteua, onde se encontra "balneário" sob intensa movimentação local. Outrora, talvez nas décadas de 40 ou 50, o rio era mais navegável, podendo transportar embarcações de porte médio até sua desembocadura com o rio Maracanã, segundo informações de moradores locais. Possui poço tubular bem construído, capacidade da ordem de $20\text{m}^3/\text{h}$, sendo a água considerada de excelente qualidade (ver figura 8).

(2) Área de influência de Nova Timboteua. Nova Timboteua (PA-324, km 130). Trata-se de cidade de pequeno porte (abaixo de 40.000 habitantes), razoavelmente instalada em terreno cercado por áreas agrícolas e pecuárias, onde já desenvolvem pequenas empresas. Possui escolas de ensino fundamental e médio,

agência bancária e comércio local aparentemente crescente. A população recebe água subterrânea de poços tubulares da Cosanpa (figura 9) e da prefeitura (a Cosanpa amplia sua rede na cidade). Situada à cerca de 11 km do rio Maracanã, em local denominado porto Livramento, ponto de eventuais desembarques de produtos agrícolas e pesqueiros. Nova Timboteua poderá representar, no futuro, um município com reais possibilidades de pólo de desenvolvimento regional com maior aproveitamento de suas potencialidades agrícolas e agropecuárias. Em suas áreas de várzea, às proximidades das margens do rio Maracanã, espera-se possibilidade de maior aproveitamento agrícola. Nessa área, os moradores colhem uma espécie de junco muito utilizada na confecção de utensílios.

Velha Timboteua (PA-324, a 148 km de Belém). Vila antiga, muito pobre, situada à margem de estrada pavimentada, representa um entreposto de troca e passagem de veículos. Com cerca de 150 a 200 residências, tem escola de ensino fundamental e poço tubular com capacidade da ordem de 20 m³/h de vazão, sendo a água considerada de excelente qualidade (figura 10).

Boa Vista (vila) às margens dos rios Maracanã e Peixe-Boi (ver figura 13). Povoado muito pobre, instalado em terreno firme do Pós-Barreiras, não possui iluminação elétrica nem poço tubular para captação de água subterrânea (ver figura 12). A população local reclama da falta de atenção do poder público. Pertence ao município de Nova Timboteua, com o qual se comunica por via rodoviária através de um ramal, com entrada em Vista Alegre, um povoado situado na PA-324.

(3) Área de influência de Santarém Novo (ver mapas ilustrados, anexos B e C)

Santarém Novo (PA-438, a 11 km da PA-324). Cidade de pequeno porte (abaixo de 40.000 habitantes), razoavelmente instalada em terreno de topografia mais elevada, situada às margens do rio Maracanã, à montante da área estuarina de sua bacia hidrográfica. Possui escolas de ensino fundamental e médio, agência bancária e comércio local aparentemente crescente. Comercializa pescado (notadamente peixe, camarão e caranguejo) e produtos agrícolas (mandioca, macaxeira, milho, feijão) e agropecuários (leite e queijo). A prefeitura desenvolve proveitoso trabalho de instalação de poços tubulares (ver figuras 15,16 e 17) para captação de água subterrânea em,

praticamente, todas as vilas e localidades do município (Pau Amarelo, Santo Antônio, Bacuriteua, Peri-Meri, Pedrinhas, Fortaleza, entre outras não visitadas).

Vila Fortaleza (PA-326 a 5 km da PA-124). Povoado muito pobre, com cerca de 20 a 25 residências, muito modestas, instaladas às margens do rio Chocaréu (também denominado Chocoaréu). Praticamente, não se observou movimento de comércio local. Nas proximidades, situa-se área de nascentes do rio Chocaréu, onde existe um “balneário” para lazer e atividades de pesca artesanal praticada por moradores locais. Possui poço tubular com pequena capacidade (abaixo de 15m³/h) que atende a demanda local e uma escola de ensino fundamental.

Pedrinhas (vila), às margens do rio Maracanã, a 30 minutos de barco (motor de popa) de Santarém Novo, distante desta de 7,5 km por estrada de terra. Povoado instalado em falésia do Pós-Barreiras, com trapiche de madeira, bem construído, destinado ao embarque e desembarque de mercado. Comercializa farinha de mandioca e pescado, principalmente. Realiza um “festival” do caranguejo, na tentativa de atrair investimentos. Possui poço tubular para captação de água subterrânea para consumo público.

Peri-Meri (vila). Povoado instalado em área de nascentes do igarapé Peri-Meri, formando um “balneário”, e situado a 6 km de Santarém Novo por estrada de terra. Possui água subterrânea de excelente qualidade, com instalações situadas em terreno alto e firme do Pós-Barreiras. Com o crescimento da vila, a última prefeitura realizou trabalhos de ampliação de captação e distribuição de água para consumo público. Representa importante entreposto de distribuição de mercadorias locais (comercialização de farinha de mandioca, principalmente), pois se encontra ligada a Santarém Novo por linha de ônibus.

Santo Antônio (PA-438, que liga PA-324 a Santarém Novo). Povoado situado às margens de estrada pavimentada (asfalto), representando importante entreposto de comercialização de mercadorias locais (principalmente, farinha de mandioca e caranguejo), pois se encontra ligado a Santarém Novo e à PA-324 por estrada pavimentada (asfalto). Possui poço tubular para captação de água subterrânea de excelente qualidade (poço instalado em terreno firme do Pós-Barreiras).

Bacuriteua (vila), às margens do rio Maracanã, final de ramal da PA-438, com entrada em Santo Antônio. Povoado modesto instalado em terreno firme do Pós-Barreiras, com trapiche, poço tubular (figura 14) destinado à captação de água subterrânea destinada ao consumo público. A prefeitura mantém uma linha de ônibus destinada à população e sua pequena produção (principalmente farinha da mandioca e pescado).

(4) Área de influência de Maracanã (ver mapa ilustrado, anexo D)

Boitento (a 9 km da PA-124, com entrada em Cruzeiro). Trata-se de uma localidade, apenas, um marco, onde está situado um trapiche modesto para troca e comercialização de pescado (peixe, camarão, caranguejo). O trapiche se encontra instalado às margens do rio Maracanã, em meio ao manguezal.

Vila Jararaca (a 6 km da PA-124, com entrada em Cruzeiro). Povoado muito pobre, com casas modestas, situado na estrada de terra (sem pavimentação) que comunica Cruzeiro com Boitento. Aparentemente, é um local de passagem e moradia de pescadores que desenvolvem atividades em Boitento (captura de peixe, camarão e caranguejo).

Vila São Bento (PA-442, rodovia de terra, sem asfalto; a 12 km da PA-124, com entrada em Nazaré). Vila progressista, com misto de residências modestas e casas bem instaladas, com serviços de telefonia, escola de ensino fundamental e captação de água subterrânea (ver figura 24). Ainda longe de se constituir uma cidade (população abaixo de 5.000 habitantes), a prefeitura (município de Salinópolis) e os moradores tem otimizado parcerias visando produção e venda de produtos agrícolas (notadamente feijão e milho). Situada às margens do rio Maracanã, protegida por “furos” e igarapés, e instalada em terreno firme do Pós-Barreiras, às proximidades de Salinópolis, espera-se que a vila de São Bento venha a ter possibilidade de ampliação de “cativeiros” para desenvolvimento de frutos-do-mar (camarão, notadamente).

Vila Tatuteua (PA-442, a 19,2 km da PA-124, com entrada em Nazaré). Povoado situado em terreno alto, às proximidades das margens do rio Maracanã, com residências modestas, escola de ensino fundamental, telefone público comunitário e captação de água subterrânea (ver figura 25) de pequena capacidade (abaixo de 8m³/h). Seus moradores são, na maioria, pescadores que se espalham nas áreas

próximas na captura de pescado (peixe, camarão, caranguejo). Mais distante, os pescadores chegam às baías de Maracanã ou de Urindeua, ou penetram no rio São Paulo, onde procedem pesca mais variada e abundante (baía) ou mais restrita (ostras, no curso do rio São Paulo).

Vila de Penha (PA-442 a 32 km da PA-124, com entrada em Nazaré). Instalada nas falésias da baía de Maracanã, esse povoado representa interessante alternativa para produção de pescado e ecoturismo. Em toda a área observa-se instalação de “currais” para captura de peixe e camarão; em certas áreas, ocorrem manguezais, com captura de caranguejo; às proximidades, há extração de mexilhões e no curso do rio São Paulo, de ostras. Um planejamento estratégico, envolvendo poder público e empresários, resultaria em maior aproveitamento dessas riquezas. Por outro lado, por toda área adjacente, desenvolvem-se belas praias com recursos paisagísticos exuberantes, áreas florestadas e de manguezais, aí incluídos a existente ilha do Marco.

Vila de Bom Jesus (a 24 km da PA-124, com entrada em Nazaré). Povoado pobre de pescadores, instalado sobre falésias da baía de Maracanã, às proximidades de Derrubada, apresenta pouca movimentação de vendas. Às proximidades, área florestadas e ricas em nascentes. Seu acesso rodoviário se faz pela PA-442.

Derrubada (a 19,5 km da PA-124, com entrada em Nazaré). Trata-se de uma localidade, com poucas residências espalhadas por área de floresta. Não tem sequer um trapiche para embarque e desembarque de pessoas e mercadorias. É, apenas, um marco, uma referência, onde as embarcações aportam, dirigindo-se as pessoas para um ramal que se comunica com a PA-442.

Área de Proteção Ambiental Algodoal-Maiandeuá (final da PA-430 em Quarenta de Mocooca) e Reservas Extrativistas de Chocaréu-Mato Grosso e Maracanã (mapa ilustrado, anexo F).

Os ecossistemas costeiros estão resguardados pela legislação ambiental por serem áreas de preservação permanente; entretanto, diversas atividades antrópicas como o crescimento urbano e rural, o turismo, a coleta desordenada de caranguejo, as práticas agropecuárias e a exploração de areias e grês-do-Pará têm causado degradações preocupantes.

A maioria das comunidades tradicionais dessa região mantém-se da exploração de recursos da biodiversidade. Diante disso, ressalta-se a importância de uma proteção ambiental aplicada a esses recursos que podem ser gerenciados através de reservas extrativistas, APA's, dentre outras organizações.

Foram criadas duas reservas extrativistas e uma área de proteção ambiental abrangendo os municípios de Santarém Novo e Maracanã.

As reservas extrativistas Chocoaré-Mato Grosso e Maracanã (Lei 9.985/00), nos municípios de Santarém Novo e Maracanã, respectivamente, têm como principal objetivo garantir o uso sustentável e conservação dos recursos renováveis, protegendo as condições de vida e cultura da população que, em geral, são pescadores, pequenos comerciantes e a própria comunidade local. A administração dessas reservas cabe ao governo federal mais especificamente ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis-IBAMA.

A APA Algodual-Maiandeuá (Lei 5.621/90-Estadual), situada entre as coordenadas geográficas aproximadas de 00°34'45" a 00°37'30" de latitude Sul e 47°32'05" a 47°34'12" de longitude (W.Gr) assegura a proteção e manejo dos ecossistemas somente sob o domínio dos processos naturais atuantes no seu desenvolvimento. A população nativa em geral como nas reservas extrativistas são pescadores e comerciantes que vivem do turismo da ilha, sobretudo em julho (alta estação) onde o fluxo de pessoas é bem mais intenso.

Maracanã (a 172 km de Belém). Cidade maior de toda a bacia hidrográfica do rio Maracanã. Considerada, porém, de pequeno porte (abaixo de 40.000 habitantes), Maracanã possui, praticamente, todos os equipamentos básicos de uma urbanização moderna interiorana nortista: escolas de ensino fundamental e médio, unidades hospitalares e ambulatoriais, telefonia pública e particular, captação de água subterrânea (ver figuras 18, 19, 20, 21, 22 e 23). No entanto, como em toda a área fisiográfica dessa bacia hidrográfica, não há coleta de lixo satisfatória nem destino inteligente (o lixo, quando coletado, é abandonado nas margens de estradas ou em locais vulneráveis). A cidade mantém linha regular diária de ônibus coletivos para a população. Destaca-se na produção do pescado, com vendas de produto fresco e salgado, quase sempre de modo artesanal e empírico. A população reclama da falta de

oportunidades para emprego. Embora incipiente, há movimentação para instalação de empresa visando produção agrícola e agropecuária. É entreposto de comercialização de pescado, que é originário de, praticamente, todas as “colônias” de pescadores instaladas na baía de Maracanã. Aparentemente, talvez a vocação maior para a cidade de Maracanã seja a instalação de frigoríficos para armazenamento de pescado; desenvolvimento de ecoturismo, considerando o potencial existente na baía de Maracanã e adjacências (praias, afloramentos da Formação Pirabas, lagoas de água doce, viveiros de peixes, “cativeiros” de ostras, captura de caranguejo, festas folclóricas).

Os trabalhos de campo permitiram não só investigar a abordagem geoquímica sobre os ecossistemas considerados, como também coletar dados e informações nos órgãos públicos federais, estaduais e municipais e nas comunidades locais, visando interpretar as características e as potencialidades do meio físico e da ocupação antrópica.

Elaboraram-se, algumas considerações e interpretações.

(1) Uso e ocupação do solo urbano. Caracterizados por desmatamentos indisciplinados, intensa erosão costeira nas falésias urbanizadas indevidamente, assoreamento de córregos nas áreas suburbanas, coleta desordenada (ou ausência da coleta) de lixo e acomodação caótica (nas margens das estradas, na mata ciliar de rios e igarapés, nas áreas de nascentes, por exemplo).

(2) Saúde e saneamento. Pouca disponibilidade de ambulatórios e apenas um ou dois hospitais nas cidades maiores (Maracanã e Nova Timboteua). Aparentemente, há disponibilidade de água subterrânea para consumo humano, graças ao esforço do poder público; no entanto, há reclamações quanto à qualidade (notadamente, em Maracanã). Há necessidade de rede de esgotamento sanitário; às vezes, nas cidades maiores vê-se alguma drenagem para esgotamento pluvial.

(3) Educação e programas sociais. Aparentemente, há escolas de ensino fundamental em praticamente todas as localidades visitadas. Apenas nas cidades de maior porte há escola de ensino médio. Aparentemente, os programas sociais ficam restritos aos centros comunitários e religiosos e às escolas. Embora o IBAMA já tenha iniciado gestões, há necessidade de implantação de um programa mais amplo de

educação ambiental visando a sustentabilidade (proteção dos recursos naturais e aproveitamento sustentado).

(4) Transporte urbano e lazer. Cidades e vilas maiores são supridas por transporte coletivo (deficiente). Apenas as cidades de maior porte têm linha direta com Belém (PA). Praticamente, todas as localidades têm campo de futebol e “balneário” para o lazer. Algumas cidades e vilas maiores organizam “festivais” de caranguejo.

(5) Trabalho, circulação de mercadorias e geração de rendas. Nas localidades e povoados mais pobres, a falta de empresas organizadas leva os pequenos agricultores e pescadores a atividades relacionadas com o plantio de mandioca (principalmente) e captura de pescado (peixe, camarão, caranguejo). Em Maracanã, cidade situada às margens da baía, a circulação de mercadorias (pescado), na área portuária, é razoavelmente intensa, porém a falta de equipamentos (frigoríficos, por exemplo) leva os trabalhadores a atividades de “salga” do pescado, que é realizada em condições precárias. Situação ainda mais primitiva ocorre em Santarém Novo e outras vilas menores, situadas às margens do rio Maracanã. Na PA-127, que liga Igarapé-Açu a Maracanã, porém já se manifesta implantação de projetos agropecuários e agrícolas envolvendo o dendê, principalmente (a empresa Palmasa). Às proximidades de Quarenta do Mocooca (vila situada na baía de Maracanã), no povoado de Nazaré do Seco, um projeto inteligente aglutina instituições públicas e particulares e a comunidade de pescadores locais, e tenta a implementação de viveiros para o crescimento e comercialização de ostras, que já está se consolidando. Um trabalho de conscientização ambiental, coordenado pelo IBAMA e a comunidade local, visa o aproveitamento sustentado dos recursos pesqueiros. É necessário, porém, que se concretize a implantação de áreas de proteção ambiental e outras modalidades racionais visando o desenvolvimento sustentado.

(6) Desenvolvimento sustentado. A implantação de políticas públicas voltadas à produção e geração de trabalho, aí incluídas as atividades profissionais de grau superior, relacionadas com serviços de prospecção, exploração e controle de qualidade de recursos naturais (matérias primas de origens animal, vegetal e mineral), notadamente pescado, produtos da floresta, areia, barro, piçarra, pedra de grês-do-Pará, seixos, água subterrânea, produtos agrícolas mais elaborados como mandioca,

milho, feijão, arroz, tubérculos regionais constitui meta indispensável ao desenvolvimento regional. São atividades a serem desenvolvidas por hidrogeólogos e químicos (água subterrânea), engenheiros e geólogos (recursos minerais já citados), químicos e farmacêuticos (produtos da floresta, notadamente óleos essenciais, comestíveis e fitoterápicos), agrônomos (aproveitamento e recuperação de solos e implementação de produção agrícola regional), veterinários (produtos da agropecuária) e engenheiros de pesca e modalidades correlatas (viveiro de crustáceos e moluscos). O que se observa, em toda essa área fisiográfica, é a existência dessas atividades realizada de modo empírico, sem o devido conhecimento técnico e sem sustentabilidade, prejudicando sensivelmente o planejamento sócio-econômico e o meio ambiente natural.

Em simpósio realizado em Belém (PA), o poder público, a comunidade científica local e as associações profissionais discutiram aspectos relevantes sobre o desenvolvimento regional sustentado (Simdamazônia, 1992). Também os técnicos do extinto Instituto do Desenvolvimento Social e Econômico do Pará elaboraram um documento síntese do zoneamento econômico-ecológico (IDESP, 1992).

Além de numerosas alternativas apresentadas e discutidas, chamaram atenção as relacionadas com a vocação natural da região amazônica, no que diz respeito à biodiversidade. Clamou-se por maiores investimentos (conhecimento, aproveitamento sustentado) para os ecossistemas interiores e costeiros (fitogeografia, fitoecologia, inventário fitoquímico para óleos comestíveis e essenciais e fitoterápicos, por exemplo); para os recursos hídricos (água subterrânea para consumo humano, água superficial satisfatória para a vida aquática); para o aproveitamento racional do solo para fins agrícola e agropecuário; para implantação de reservas biológicas, áreas de proteção ambiental e outras modalidades racionais, envolvendo parcerias entre o poder público (federal, estadual, municipal), instituições públicas e particulares (ensino, pesquisa, extensão), comunidades locais (agricultores, pescadores e outros ainda não configurados).

3 – MÉTODOS DE TRABALHO

3.1 – SELEÇÃO DE ÁREAS PARA COLETA E AMOSTRAGEM

A escolha dos pontos para amostragem foi baseada em excursões preliminares à área fisiográfica, entrevistas com populares das vilas, localidades e sedes dos municípios, a própria legislação que resguarda a bacia como unidade territorial, além de levantamento de dados junto a instituições federais, estaduais e municipais.

A finalidade dessa seleção é justamente mostrar os indicadores de sustentabilidade da bacia, a disponibilidade hídrica e vulnerabilidade decorrentes tanto de ações antrópicas como naturais.

Os períodos de amostragem foram realizados de outubro a dezembro de 2002, o qual corresponde à época da “vazante” dos rios da bacia Amazônica e, conseqüentemente, de maior penetração de águas oceânicas para os estuários. No período chuvoso (janeiro a junho de 2003), caracterizado por chuvas abundantes (o índice pluviométrico pode chegar até às proximidades de 2900mm/ano) e finalizando o ciclo sazonal, a estiagem de 2003 (setembro a novembro).

No quadro 1 estão descritas as características do meio fisiográfico dos pontos selecionados na área da bacia, além de valores da profundidade e a sua utilização ao abastecimento público segundo a ocorrência de sistemas aquíferos dominantes na microrregião do Salgado.

Quadro 1 – Características gerais dos pontos de coleta para as águas subterrâneas. Bacia hidrográfica do rio Maracanã. Mesorregião Nordeste do Pará (microrregião do Salgado).

Ponto de coleta	Local/Referência	Coordenadas*	Profundidade do poço	Vegetação no entorno do poço	Material geológico no entorno do poço	Utilidade
SUB ₁	Vila Nova (prefeitura)	S 01°18'41,6" W 47°30'30,7"	40 m	hiléia e capoeira	terrenos altos; Pós-Barreiras	consumo público
SUB ₂	Taciateua (prefeitura)	S 01°18'55,7" W 47°25'43,5"	36 m	hiléia e capoeira	aluvião, terrenos até 6m	consumo público
SUB ₃	Nova Timboteua (COSANPA)	S 01°12'05,8" W 47°23'11,1"	≈ 60m	hiléia e capoeira	6m abaixo do nível da rua; arenoso	consumo público
SUB ₄	Nova Timboteua (prefeitura)	S 01°11'59,8" W 47°22'49,3"	60 m	hiléia e capoeira	terreno alto (acima de 40m em relação ao nível do mar)	consumo público
SUB ₅	cacimba (poço aberto), estrada Livramento-Nova Timboteua (km10)	S 01°10'17,1" W 47°26'46,8"	abaixo do nível da estrada	hiléia e capoeira; palmeiras (açai, buriti)	areno-argilosos do Pós-Barreiras; baixa cota topográfica 16 m abaixo do nível da rua.	consumo público restrito
SUB ₆	Velha Timboteua (prefeitura)	S 01°02'15,9" W 47°20'48,1"	60 m	hiléia e capoeira	cotas superiores a 40m em relação ao nível do mar	consumo público
SUB ₇	Boa Vista (poço escavado)	S 00°59'51,6" W 47°22'58,5"	8 m	manguezal e palmeiras (açai, buriti)	areno-argilosos do Pós-Barreiras; baixa cota topográfica 15 m	consumo público
SUB ₈	Bacuriteua (poço escavado)	S 00°57'45,1" W 47° 23'36,3"	18 m	Manguezal	topografia baixa; próximo a manguezais	consumo público
SUB ₉	Santarém Novo (terreno alto, COPASAN)	S 00°55'50,5" W 47°23'37,4"	40 m	área desmatada	topografia elevada (cotas acima de 40m em relação ao nível do mar)	consumo público
SUB ₁₀	Santarém Novo (terreno baixo, captação, prefeitura)	S 00°55'37,5" W 47°23'58,2"	18 m	hiléia, capoeira e manguezal	topografia baixa; próximo a manguezais	consumo público
SUB ₁₁	Santarém Novo (terreno alto, captação, prefeitura); água salobra	S 00°55'38,3" W 47° 24'07,4"	18 m	Manguezal	falésia, altura 13m	consumo público
SUB ₁₂	vila Fortaleza, poço tubular (prefeitura)	S 00°50'40,7" W 47°17'55,5"	18 m	área urbana	terrenos do Pós-Barreiras	consumo público
SUB ₁₃	cacimba; Maracanã (cidade), final da rua Minas Gerais; bairro da Liberdade.	S 00°46'37,0" W 47°26'49,1"	abaixo do nível da estrada	hiléia e capoeira; palmeiras (açai, buriti); perto de manguezal	areno-argilosos do Pós-Barreiras, terrenos baixos	consumo humano restrito
SUB ₁₄	Maracanã (cidade); Apeteua, captação (prefeitura)	S 00°47'08,6" W 47°27'06,8"	18 m	hiléia e capoeira; palmeiras (açai, buriti)	terrenos baixos (aluvião); areno-argilosos	consumo público
SUB ₁₅	Maracanã (cidade), poço FSESP	S 00°45'55,8" W 47°27'23,8"	≈ 60m	área urbana	terreno alto; cotas superiores a 20m em relação ao nível do mar	consumo público
SUB ₁₆	Maracanã (cidade), poço Bocal (escavado)	S 00°46'15,9" W 47°27'18,5"	abaixo do nível da rua	área suburbana vulnerável	6m abaixo do nível da rua mais alta; terrenos baixos; areno-argiloso (amarelo a preto)	lazer (banho) e consumo público
SUB ₁₇	Maracanã (cidade), hotel Atlanta; captação (poço tubular)	S 00°45'44,0" W 47°27'34,4"	60 m	área urbana (falésia)	terreno alto; cotas superiores a 20m em relação ao nível do mar	consumo público (hotel)
SUB ₁₈	poço Jango, Maracanã (cidade)	S 00° 46'10 W 47° 27'13	≈ 35m	área urbana vulnerável	terreno baixo	consumo público
SUB ₁₉	vila São Bento, poço tubular (prefeitura); captação	S 00°45'65" W 47°21'72"	36 m	área urbana	terrenos do Pós-Barreiras	consumo público
SUB ₂₀	Tatuteua (vila), poço SECTAM	S 00°42'23,2" W 47°25'22,8"	32m	área urbana	terrenos do Pós-Barreiras	consumo público
SUB ₂₁	vila de Penha, poço SECTAM	S 00°39'26,3" W 47°28'47,2"	40 m	área urbana	terrenos altos; areno-argilosos do Pós-Barreiras	consumo público

* coordenadas geográficas - aparelho Magelan 2000 XL; observação: poços tubulares, salvo indicação.

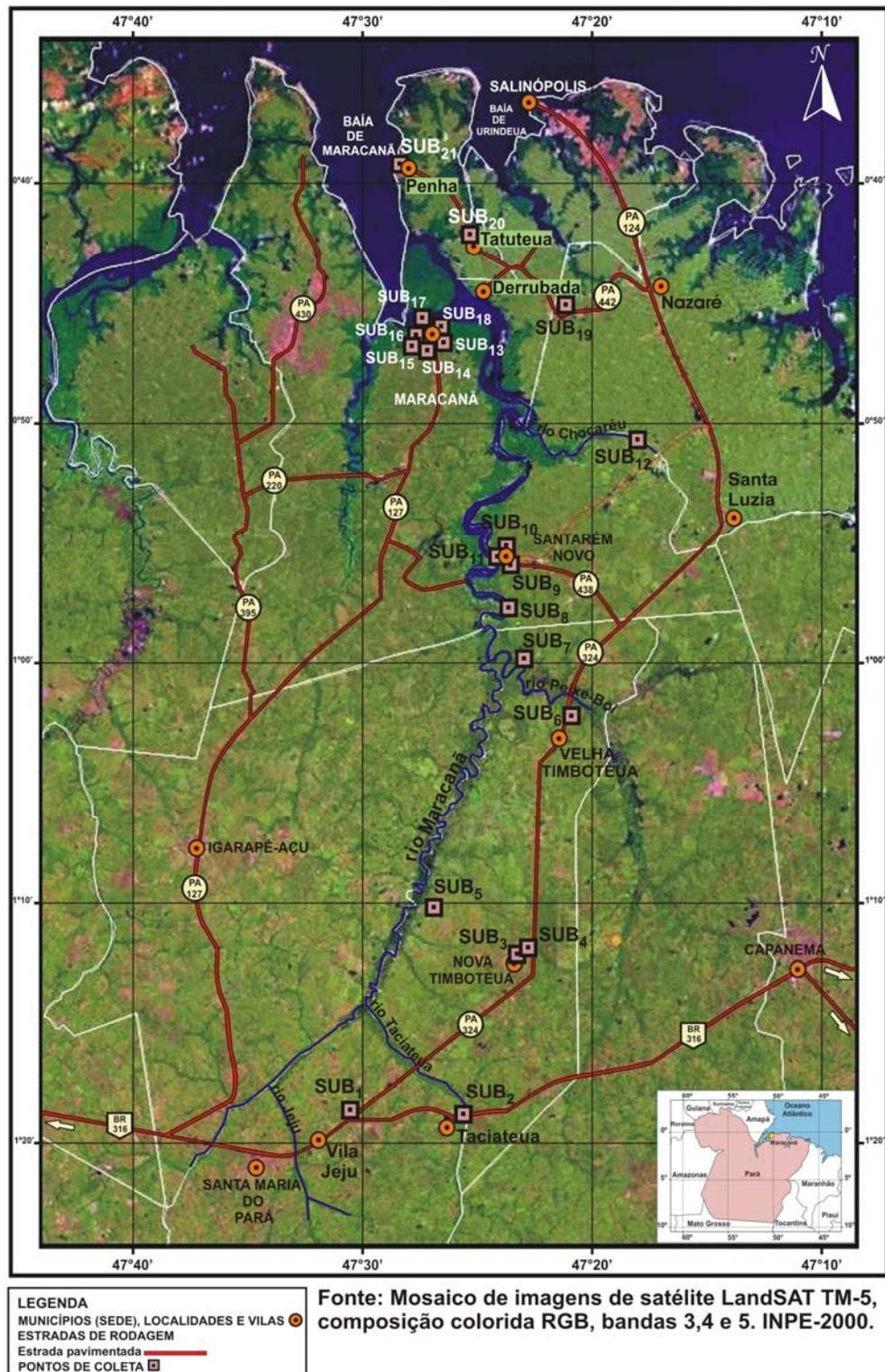


Figura 7 – Localização de pontos de coleta das águas subterrâneas em áreas selecionadas da bacia do rio Maracanã. Escala: 1cm \cong 5km.

Águas subterrâneas



Figura 8 – Vila de Tacioteua, captação de água subterrânea; situada à margem da rodovia BR-316. Área de baixada; local apresentando numerosos “olhos d’água”. Terreno predominantemente argiloso, área de mata secundária (capoeira), pouco habitada. Os moradores consideram água potável de excelente qualidade. Não sofre efeitos maiores da sazonalidade.

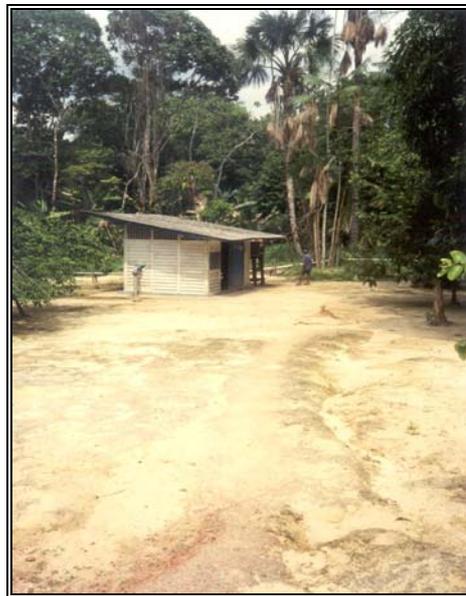


Figura 9 – Nova Timboteua, captação de água subterrânea; terreno de topografia baixa (cerca de 6m abaixo do nível da rua), pertencente à Cosanpa. Trata-se de captação que utiliza uma série de 5 a 6 poços. Água considerada pelos moradores de excelente qualidade. Não sofre efeitos maiores da sazonalidade.



Figura 10 – Velha Timboteua, captação de água subterrânea; terreno de topografia elevada (cotas superiores a 40 m em relação ao nível do mar), pertencente a uma associação de moradores com a prefeitura. Trata-se de água de excelente qualidade. Aparentemente, não sofre efeitos da sazonalidade (terrenos predominantemente areno-argiloso, esbranquiçado).



Figura 11 – “Cacimba” típica de terrenos areno-argilosos do Pós-Barreiras. Terreno de baixa cota topográfica (cerca de 6m abaixo do nível da rodovia PA-247 e 150m distante desta); área de floresta. Foto obtida durante a estiagem. Espera-se que no período chuvoso esta “cacimba” fique bastante desprotegida por causa das lixiviações de terrenos às proximidades (criação de aves e animais). Situada a 3 km do rio Maracanã, entre o porto Livramento e Nova Timboteua. Profundidade 1,5m e diâmetro 50cm. Água potável de excelente qualidade química.

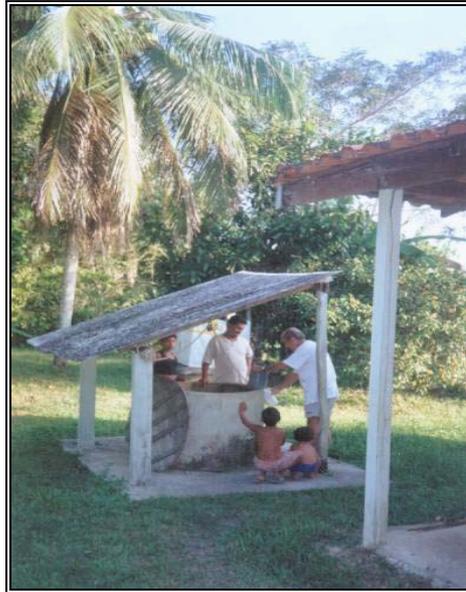


Figura 12 – Boa Vista, captação de água subterrânea; terreno de topografia baixa (cotas inferiores a 4m em relação ao nível do mar), pertencente à prefeitura de Velha Timboteua. Localiza-se a 50 m do barranco às margens do rio Maracanã. Poço escavado, predominantemente argilo-arenoso do Pós-Barreiras.



Figura 13 – Boa Vista, às margens do rio Maracanã (cota baixa, 4 m em relação ao nível do mar). Deste ponto até outra margem a distância é de aproximadamente 200 m; observa-se influência de sedimentos holocênicos do mangue, bem como sua vegetação típica.



Figura 14 – Bacuriteua, captação de água subterrânea; terreno de topografia baixa (cotas inferiores a 4m em relação ao nível do mar), pertencente à prefeitura de Santarém Novo. Localiza-se a 100 m do barranco às margens do rio Maracanã, observando-se influência de sedimentos holocênicos do mangue. Trata-se de água de excelente qualidade. Aparentemente, não sofre efeitos da sazonalidade.



Figura 15 – Santarém Novo, captação de água subterrânea (COPASAN); situada em terreno de topografia elevada (cotas acima de 40m em relação ao nível do mar). Localizada à margem da rodovia PA-438, já dentro da cidade. Água potável de excelente qualidade.



Figura 16 – Santarém Novo, captação de água subterrânea; situada em terreno de topografia baixa, às proximidades do manguezal (área florestada ao fundo). Trata-se de água de excelente qualidade. Aparentemente, não sofre efeitos da sazonalidade. Terreno sujeito à drenagem de áreas urbanas de topografia mais elevada.

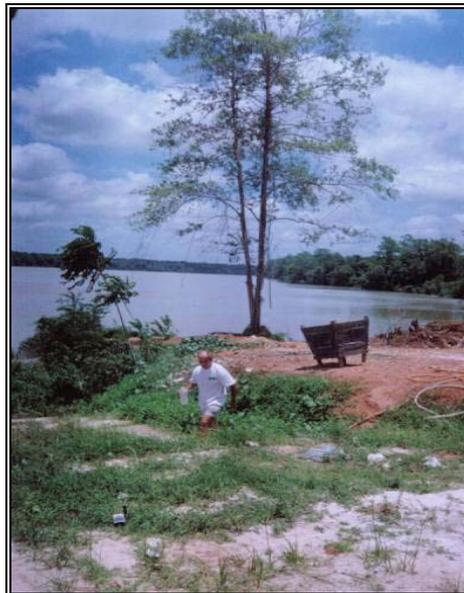


Figura 17 – Santarém Novo, captação de água subterrânea; situada em terreno de topografia média (aproximadamente 10 m), às proximidades do manguezal (área florestada ao fundo). Trata-se de água com intrusão salina. Terreno sujeito à drenagem de áreas urbanas de topografia mais elevada.



Figura 18 – Maracanã, captação de água subterrânea pertencente à prefeitura (FSESP). Terreno de topografia elevada (cota de 40 m). Trata-se de água de excelente qualidade. Aparentemente, não sofre maiores efeitos da sazonalidade.



Figura 19 – Poço aberto do Bocal, cidade de Maracanã. Local freqüentado por “banhistas” no fim-de-semana. Terreno vulnerável às drenagens de áreas urbanas sob forte impacto antrópico (criação de animais). Água potável considerada de excelente qualidade pelos moradores. Foto obtida durante a estiagem de 2002.



Figura 20 – Poço aberto do Bocal, cidade de Maracanã. Local de topografia baixa (cerca de 6m abaixo do nível das ruas mais altas). Foto obtida no período chuvoso de 2003; observa-se apreciável aumento de nível hidrostático, praticamente à borda de proteção do poço, tendo a prefeitura procedido recuperação do abrigo. No entorno do terreno permanece forte ação antrópica (contínuo movimento de “banhistas” no fim de semana, bem como circulação de animais de criação).



Figura 21 – Maracanã, captação de água subterrânea particular (hotel Atlanta). Localizado sobre falésia da cidade (cota acima de 40 m). Terrenos areno-argilosos, esbranquiçados do Pós-Barreiras.



Figura 22 – Maracanã, captação de água subterrânea; terreno de nascentes do igarapé Apeteua. A captação é feita por uma série de poços tubulares dispostos nessa área protegida pela vegetação e situada nos arredores da cidade. Terreno vulnerável às drenagens oriundas de áreas urbanas próximas. A população reclama da qualidade da água (contém ferro e sabor desagradável).



Figura 23 – Maracanã, captação de água subterrânea (poço Jango). Localizado em área de terreno alto (cota abaixo de 35 m), terrenos areno-argilosos, esbranquiçado do Pós-Barreiras, com algumas palmeiras e árvores frutíferas ao fundo.



Figura 24 – Vila de São Bento, captação de água subterrânea; terreno de topografia elevada, típico de sedimentos Pós-Barreiras. Água considerada de excelente qualidade, poço pertencente à prefeitura do município de Salinópolis.



Figura 25 – Tatuteua, captação de água subterrânea (sistema de abastecimento de água tratada da comunidade de Tatuteua – Maracanã). Água considerada de excelente qualidade, segundo moradores.

No quadro 2 estão descritas as características fisiográficas dos pontos selecionados ao longo do curso do rio Maracanã, desde a área de nascentes até sua foz nas áreas estuarinas e aplicação segundo abastecimento doméstico, recreação (balneário), atividades de pesca e captura de mariscos.

Quadro 2 – Características gerais dos pontos de coleta para as águas superficiais. Bacia hidrográfica do rio Maracanã. Mesorregião Nordeste do Pará (microrregião do Salgado).

Ponto de coleta	Local/Referência	Coordenadas*	Coloração e profundidade	Vegetação	Material geológico (local)	Utilidade
SUP ₁	igarapé do Tubo (área de nascente, BR-316)	01°20'06,4" S 47°36'09,8" W	águas límpidas; ligeiramente castanho-avermelhadas; 1m	hiléia, capoeira e vegetação aquática	terrenos areno-argilosos (aluvião)	consumo humano, doméstico e lazer
SUP ₂	rio Jeju (vila Jeju, BR-316)	01°20'15,3" S 47°32'37,9" W	águas límpidas; ligeiramente castanho-avermelhadas; < 4 m	hiléia, capoeira e vegetação aquática	arenosos (aluvião)	lazer (balneário)
SUP ₃	rio Tacioteua (vila de Tacioteua, BR-316)	01°18'44,4" S 47°25'28,2" W	águas límpidas; ligeiramente castanho-avermelhadas; < 4 m	hiléia, capoeira e vegetação aquática	argilas branco-amareladas; barranco do Pós-Barreiras (margem esquerda)	lazer (balneário)
SUP ₄	rio Maracanã, porto Caju (a 6km de Vila Nova, PA-124)	01°15'23,8" S 47°31'20,1" W	águas límpidas; ligeiramente castanho-avermelhadas; < 4 m	hiléia, capoeira e vegetação aquática	arenito do Pós-Barreiras (margem direita)	lazer (balneário) e pesca
SUP ₅	rio Maracanã, porto Livramento (PA)	01°09'42,6" S 47°28'04,4" W	águas límpidas; ligeiramente castanho-avermelhadas; < 4 m	hiléia, capoeira e vegetação aquática	arenito do Pós-Barreiras (margem esquerda)	lazer e pesca; navegação
SUP ₆	rio Peixe-Boi, PA-324 (vila de Velha Timboteua).	01°01'47,0" S 47°21'08,4" W	águas turvas; castanho-avermelhadas (influência dos manguezais); < 6 m	hiléia, capoeira e vegetação aquática	influência de sedimentos de manguezais	pesca (peixe, caranguejo, camarão); lazer
SUP _{7A}	rio Maracanã, Pauxis	00°53'37,3" S 47°25'13,2" W	águas turvas; de coloração esverdeada (influência dos manguezais); > 10 m	hiléia, capoeira e mangue	influência de sedimentos de manguezais	pesca (peixe, caranguejo, camarão); lazer; navegação
SUP ₇	rio Maracanã, Santarém Novo (trapiche)	00°55'41,0" S 47°24'09,5" W	águas turvas; de coloração esverdeada; (influência dos manguezais); > 10 m	hiléia, capoeira e mangue	influência de sedimentos de manguezais	pesca (peixe, caranguejo, camarão); lazer; navegação
SUP _{8A}	igarapé rio Escuro (arrabalde de Maracanã)	00°46'55,7" S 47°26'33,9" W	águas límpidas; ligeiramente castanho-avermelhadas; < 2 m	hiléia, capoeira e vegetação aquática	aluvião, arenoso	lazer e consumo doméstico
SUP _{8B}	igarapé Apeteua, arrabalde da cidade de Maracanã	00°47'00,1" S 47°27'19,6" W	águas límpidas; ligeiramente castanho-avermelhadas; < 2 m	hiléia, capoeira e vegetação aquática	aluvião, arenoso	lazer e captação de água subterrânea para consumo público
SUP ₈	baía de Maracanã, em frente à falésia (cidade)	00°45'43,1" S 47°27'13,0" W	águas turvas; de coloração esverdeadas; > 10m	Manguezal	terrenos ondulados e firmes do Pós-Barreiras	pesca, lazer e navegação
SUP ₉	baía de Maracanã, localidade Derrubada	00°44'58 S 47°24'94 W	águas turvas; esverdeadas; > 10 m	hiléia, capoeira e manguezal	terrenos arenosos, nas margens	pesca; navegação
SUP ₁₀	baía de Maracanã, vila de Penha	00°39'26,3" S 47°28'47,2" W	águas turvas; de coloração esverdeadas; > 10 m	hiléia, capoeira e manguezal	terrenos ondulados e firmes do Pós-Barreiras	pesca, lazer e navegação
SUP ₁₁	Rio Chocaréu, área de nascentes (balneário Fortaleza)	00°50'47,4" S 47°17'28,8" W	águas límpidas, castanho-avermelhadas; > 2m	hiléia, capoeira e vegetação aquática	terrenos areno-argilosos do Pós-Barreiras	pesca e lazer
SUP ₁₂	igarapé Tatuteua, afluente do rio Maracanã	00°42'23,2" S 47°25'22,8" W	águas límpidas, castanho-avermelhadas; < 50 cm	hiléia, capoeira e vegetação aquática	terrenos areno-argilosos do Pós-Barreiras	pesca e lazer

* coordenadas geográficas; aparelho Magelan 2000 XL

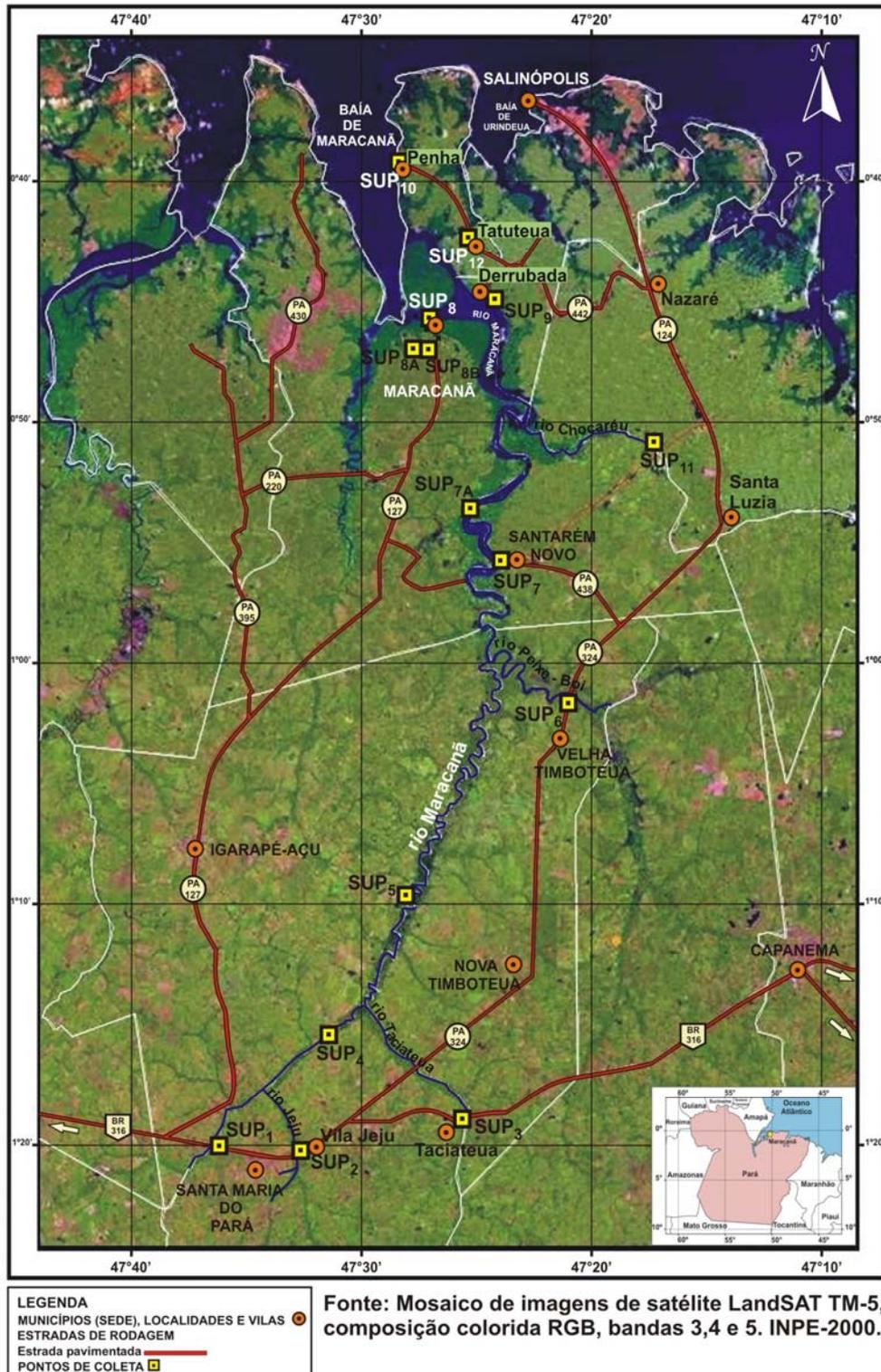


Figura 26 – Localização de pontos de coleta das águas superficiais em áreas selecionadas da bacia do rio Maracanã. Escala: 1cm \cong 5km.

Águas superficiais



Figura 27 – Área de nascentes do rio Maracanã. Local denominado igarapé do Tubo pelos moradores. A rodovia BR-316 atravessa o igarapé neste ponto. Área de aluvião (terrenos predominantemente arenosos), coberta por vegetação (capoeira) contendo buritizeiros no leito do igarapé. Local de banho e lavagem de roupa.



Figura 28 – Área de nascentes do rio Maracanã. Rio Jeju, “balneário” Sol e Lua (vila Jeju, situada na BR-316). Terrenos predominantemente arenosos no leito do rio; na margem alta, sedimentos do Pós-Barreiras. Foto obtida durante o período de estiagem.



Figura 29 – Rio Jeju, “balneário” Sol e Lua. Foto obtida durante o período chuvoso. Observa-se o apreciável aumento de amplitude de nível do rio.



Figura 30 – Rio Maracanã, porto do Caju. “Balneário” situado a 6km de vila Nova (localizada na PA-324). Águas castanho-avermelhadas, típicas de igarapé. Segundo os moradores, praticamente não se observa influência da maré. Local de captura de peixes menores. Na margem alta (barranco de aproximadamente 3,5m de altura) manifesta-se o Pós-Barreiras com sedimentos predominantemente areno-argilosos esbranquiçados. Área densamente florestada. Período de estiagem.



Figura 31 – Rio Maracanã, porto do Caju. Mesmo local, período chuvoso. Observe-se apreciável aumento do nível d'água do rio em relação ao período de estiagem.



Figura 32 – Rio Tacioteua, afluente do rio Maracanã. Local de banho e lazer situado na vila de Tacioteua, localizada às margens da BR-316, entre Santa Maria do Pará e Capanema. A vila situa-se em terrenos de topografia elevada (cotas acima de 30m em relação ao nível do mar), enquanto o rio atravessa áreas alagadiças de terrenos baixos. Os terrenos elevados pertencem ao Pós-Barreiras. Foto obtida no período de estiagem.



Figura 33 – Rio Tacioteua, mesmo local. Observe-se o apreciável aumento de volume d'água, que alaga os terrenos baixos. Águas de coloração castanho-avermelhadas, típicas de igarapé da Amazônia.



Figura 34 – Rio Maracanã, porto Livramento. Mesmo durante a estiagem as águas se mostram abundantes. Macrófitas aquáticas invadem as águas nas margens. Águas de coloração castanho-avermelhadas, típicas. Foto obtida durante o período de estiagem. Aparentemente, não se observa manifestação de influência da maré. No entanto, fragmentos soltos de sedimentos do mangue aportam de modo sutil nas margens do rio neste local.



Figura 35 – Área de várzea permanente sob influência do rio Maracanã, às proximidades do porto Livramento. Terrenos que permanecem alagados praticamente o ano inteiro. Os moradores retiram uma variedade de junco que é utilizada na confecção de utensílios.



Figura 36 – Rio Peixe-Boi; foto obtida a partir de ponto fixado na ponte sobre a rodovia PA-324 (vila de Velha Timboteua). Na margem alta (cotas acima de 40m) desenvolvem-se terrenos do Pós-Barreiras. Águas predominantemente ricas em sedimentos em suspensão e de coloração castanho-avermelhada. Há nítida influência de sedimentos de mangue nessas águas. Período de estiagem.



Figura 37 – Rio Peixe-Boi, mesmo local. Observam-se modificações no aspecto das águas. Foto obtida durante o período chuvoso. As águas tornam-se menos ricas em sedimentos em suspensão e há maior influência das águas de áreas de nascentes (continentais) em relação ao período de estiagem.



Figura 38 – Foto obtida em barco navegando o rio Maracanã. Ao fundo, o porto de Santarém Novo. A vegetação no entorno são florestas de manguezais. Período de estiagem.



Figura 39 – Baía de Maracanã vendo-se em frente os manguezais da ilha de Cumaru e ao fundo falésias de Pós-Barreiras na porção continental. A foto foi obtida em ponto fixado na falésia da cidade de Maracanã.

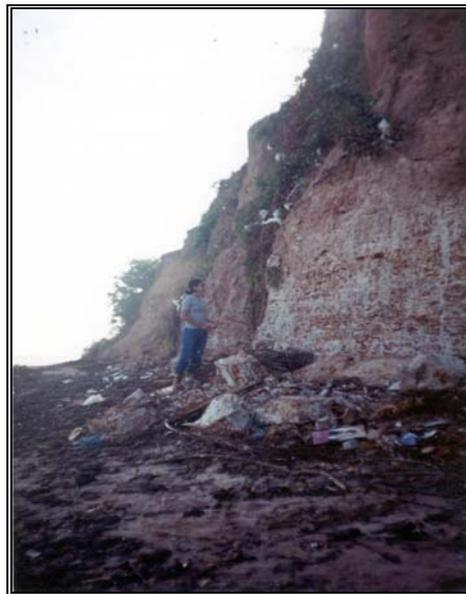


Figura 40 – Falésia da cidade de Maracanã. As camadas de sedimentação aparecem com nitidez. Material argiloso, argilo-arenoso e arenoso, de coloração variada (branco, amarelo, vermelho, roxo), e apresentando concreções ferruginosas.



Figura 41 – Área de nascentes nos arredores da cidade de Maracanã. “Balneário” rio Escuro. Nas margens manifestam-se terrenos de topografia mais elevada pertencentes ao Pós-Barreiras. Período de estiagem.



Figura 42 – Área de nascentes nos arredores da cidade de Maracanã. “Balneário” do igarapé Apeteua. Área topograficamente mais baixa. Nos terrenos mais altos (cotas acima de 40m em relação ao nível do mar) desenvolve-se vegetação de capoeira ou surgem bairros periféricos.



Figura 43 – Área de nascentes do rio Chocaréu, afluente do rio Maracanã. Áreas alagadas de topografia mais baixa. Nos terrenos mais elevados, aparecem sedimentos do Pós-Barreiras. Local de atividades pesqueiras artesanais de moradores da região. Área aproximada de 50 km², florestada, que já se apresenta parcialmente desmatada. Situa-se a 5km da rodovia PA-124 (em frente à entrada para o ramal que leva à São João de Pirabas). Período de estiagem.



Figura 44 – Área de nascentes do rio Chocaréu. Canal de drenagem das águas das nascentes. Observe-se o deslocamento das águas para a esquerda, na foto; a partir desse ponto o rio segue o seu curso em direção à desembocadura, no rio Maracanã. Período Chuvoso.



Figura 45 – Baía de Maracanã (porção leste). Local denominado Derrubada. Ao fundo, a cidade de Maracanã.



Figura 46 – Tatuteua. Área de nascentes do igarapé Tatuteua. O conjunto de palmeiras e árvores de médio a grande porte nessa determinada área bem como o regime das águas contribuem para um sistema no qual observou-se um ambiente bem preservado; profundidade < 50 cm e solos arenosos. Águas de coloração castanho-avermelhadas.



Figura 47 – Vila de Penha, nordeste da baía de Maracanã (saída para o oceano). Na margem águas de coloração castanho-avermelhada (ricas em sedimentos em suspensão) e no canal, águas de coloração esverdeada (final de enchente). Observa-se em primeiro plano vegetação de mangue vermelho e currais (indicativo de produtividade) e ao fundo Siriúbas. Período Chuvoso 2003.

3.2 – PROCEDIMENTOS DE CAMPO

As campanhas envolveram coletas de águas subterrâneas e superficiais (junto a sedimentos em suspensão), nas quais necessitaram de procedimentos e cuidados específicos, de acordo com as orientações de Normas Técnicas da CETESB (1978 e 1987).

As águas superficiais foram coletadas ao longo do rio Maracanã em pontos previamente selecionados (áreas de nascentes, transição, estuário e alguns afluentes). Utilizaram-se garrafas de polietileno com tampa de enroscar (duas para cada amostra) e volume de 1000mL, devidamente purificadas com solução ácida e posterior lavagens com água desionizada, evitando assim qualquer tipo de contaminação proveniente do frasco. No caso da análise de pigmentos fotossintetizantes foram usadas garrafas de polietileno com tampa de enroscar de 5000mL previamente esterilizadas e protegidas contra a luz. Na coleta das amostras, a profundidade estipulada foi de 20 cm da superfície da água, sendo posteriormente acondicionadas em isopor com gelo à temperatura de 4° a 10°C por um intervalo de no máximo 12h.

Foram determinados parâmetros físicos, físico-químicos *in situ* (temperatura, condutividade elétrica, pH, Eh e sólidos totais dissolvidos), visando obter as características originais dessas águas. Para os sedimentos em suspensão realizou-se filtração das águas superficiais em laboratório (APHA, 1995).

Para as águas subterrâneas os procedimentos de limpeza dos frascos e preservação são similares aos das águas superficiais (CETESB, 1978 e 1988). Na análise dos metais (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e K^+) preservou-se com 0,5 mL de HNO_3 a 80% v/v.

Na coleta das amostras, deixou-se escoar a água por 5 minutos, tomando-se certas alíquotas segundo parâmetros a serem determinados. Posteriormente; foram acondicionadas em isopor com gelo à temperatura de 4° a 10°C e transportadas até o Laboratório de Hidroquímica do Centro de Geociências (UFPA).

3.3 – PROCEDIMENTOS DE LABORATÓRIO

3.3.1 – Águas subterrâneas

Os parâmetros físico-químicos e químicos foram determinadas por meio de metodologias recomendadas pelo APHA, AWWA, WPCF (1995) e CETESB (1978), com exceção de metodologias específicas que são indicadas junto aos respectivos parâmetros.

◆ **Temperatura**

Utilizou-se um aparelho próprio para viagens de campo, multifuncional (termômetro, condutivímetro e STD), com propriedades digitais, eletrodo combinado de vidro (calomelano), correção de temperatura para 25°C, aparelho ORION 115A.

◆ **pH e Eh**

O método aplicado é o potenciométrico, aparelho WTW 91. A calibração é realizada imergindo o eletrodo de vidro em soluções-tampão de pH 6,865 e 4,008 (CETESB, 1978). Para o Eh (eletrodo de platina sob +218mV).

◆ **Condutividade elétrica**

A condutividade varia com a concentração total de substâncias ionizadas dissolvidas, temperatura, mobilidade e valência dos íons. O método aplicado é o condutimétrico (CETESB, 1978); o aparelho utilizado é ORION 115A calibrado para fornecer as condutividades diretamente.

◆ **Turbidez**

O método usualmente empregado é o nefelométrico; o aparelho usado é o turbidímetro de bancada HACH 2100 P, com as seguintes características físicas: nefelômetro com escalas de leitura 0-0,2; 0-1; 0-10; 0-100; 0-1000; e sensibilidade que permite observação de diferenças de 0,02 unidades em amostras de turbidez menor a 1.

◆ **Cor**

- **Aparente**

HACH DR/2010 spectrophotometer (aparelho); medidor de cor Aqua-Tester, $\lambda=455\text{nm}$ contendo um disco colorimétrico. Escala HANSEN – APHA de 0 a 100 unidades (ppm de Pt).

◆ **Alcalinidade**

Foi determinada através de método titulométrico com H_2SO_4 0,02N, padronizado, pipetando 100 mL das amostras e o mesmo volume aplicado para um branco obtido com água destilada. Como indicadores foram usados a fenolftaleína e o alaranjado de metila, e os resultados expressos em mg.L^{-1} de CaCO_3 (Rodier, 1981).

◆ **Acidez**

Determinada por titulometria ácido-base, com NaOH 0,02N, padronizado, e indicador fenolftaleína, pipetando 100 mL das amostras e o mesmo volume aplicado para um branco, os resultados expressos em mg.L^{-1} de CO_2 (Rodier, 1981).

◆ **Oxigênio consumido**

Por titulometria de oxi-redução com KMnO_4 0,0125N observando no ponto final o aparecimento de uma coloração rósea permanente. Este método clássico consiste em consumir a matéria orgânica presente nas amostras com KMnO_4 0,0125N. Aplica-se este método para amostras de águas de quaisquer valores a partir de 1 mg/L de O_2 (CETESB, 1978).

◆ **Oxigênio dissolvido**

Método de Winkler modificado pela azida sódica. O oxigênio dissolvido é um dos parâmetros mais importantes de que se dispõe no campo do controle da poluição das águas; é fundamental para se verificar e manter condições aeróbicas num curso d'água que recebe material poluidor; é utilizado para controlar processos de aeração; é dado indispensável nos estudos da atividade fotossintetizadora (CETESB, 1978).

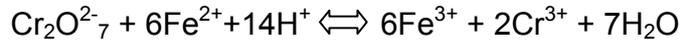
◆ **Carbono orgânico em águas naturais ou demanda química de oxigênio**

Método da oxidação por dicromato de potássio em meio ácido. Princípio do método é a determinação da quantidade de oxigênio equivalente à quantidade de matéria orgânica contida na amostra líquida, que é suscetível a oxidação por um agente oxidante forte (oxidada por uma mistura de íon dicromato e ácido sulfúrico).

A amostra é refluxada em solução fortemente ácida com um excesso de dicromato de potássio, no período de duas horas. Depois da digestão o excesso de dicromato é titulado com sulfato ferroso amoniacal para determinação da quantidade de dicromato

de potássio consumido e a matéria orgânica oxidável é calculada em termos de oxigênio equivalente (CETESB, 1978).

A reação que ocorre é:



◆ Ferro total

Método da orto-fenantrolina. Determinação espectrofotométrica de ferro, aparelho BECKMAN DU-6 a $\lambda=510$ nm em cubeta de 1 cm. Nesse método, o ferro solúvel é reduzido a ferro ferroso com hidroxilamina em meio ácido e, em seguida, tratado com orto-fenantrolina em pH 3,2 a 3,3. A coloração do complexo vermelho-alaranjado é independente do pH (faixa 3 a 9) (CETESB, 1978). A concentração de ferro total é realizada mediante curva de calibração a partir de padrões pré-estabelecidos (CETESB, 1978). A curva utilizada foi:

mg.L⁻¹ Fe	0,0	0,5	1,0	2,0
absorvância	0,000	0,094	0,185	0,380

◆ Bicarbonato

Determinado a partir dos valores numéricos da alcalinidade total, expressa em mg.L⁻¹ de CaCO₃, que são multiplicados pela constante 1,22 (Custódio & Llamas, 1976).

◆ Cloreto

Determinação mercurimétrica de cloreto. Titulação com Hg(NO₃)₂ 0,0141N, adição de um indicador misto (difenilcarbazona + azul de bromofenol) e gotas de HNO₃ 0,1N. Tomou-se como volume de amostras e branco 25 mL. Nesta prática, observa-se que o nitrato de mercúrio (II) forma um complexo com o íon cloreto em meio ácido, gerando o cloreto de mercúrio (II) e íons de nitrato em solução. O ponto final é uma mudança de coloração da solução para uma cor púrpura permanente, oriundo da combinação do excesso dos íons de mercúrio (II) com o indicador misto (CETESB, 1978).

A reação que ocorre:



◆ Sulfato

A determinação é turbidimétrica, baseando-se na formação de uma suspensão de sulfato de bário (Ohlweiler, 1974). Espectrofotometria de absorção, aparelho ZEISS PM 6 a $\lambda=420$ nm em cubeta de 2cm. A determinação da concentração de sulfato é realizada mediante curva de calibração a partir de padrões pré-estabelecidos (CETESB, 1978). No caso desta pesquisa, a curva utilizada foi:

mg.L⁻¹SO₄²⁻	0,0	10,0	20,0	30,0
absorvância	0,000	0,056	0,102	0,164

◆ Nitrato

Método do ácido fenoldissulfônico. O estudo da concentração de nitrato é empregado na verificação do grau de oxidação e avaliação dos níveis de purificação. A concentração elevada de nitrato está relacionada à contaminação mais remota (CETESB, 1978). Os nitratos reagem com ácido fenoldissulfônico formando um composto que em solução alcalina adquire uma coloração amarela.

O aparelho usado é BECKMAN DU-6 cuja absorvância é medida em 480 nm em cubeta de 1cm. A determinação da concentração de nitrato é realizada mediante curva de calibração a partir de padrões pré-estabelecidos (CETESB, 1978). A curva utilizada foi:

mg.L⁻¹NO₃⁻	0,0	2,5	5,0	10,0
absorvância	0,000	0,082	0,168	0,336

◆ Fosfato total

Método do ácido ascórbico. O íon fosfato reage com o molibdato de amônio na presença de ácido sulfúrico formando um complexo de fosfomolibdato de amônio. Por ação do ácido ascórbico, em meio alcalino, o complexo formado é reduzido a azul de molibdênio, cuja absorvância medida está em 880 nm em cubeta de 1cm. A concentração de fosfato é realizada mediante curva de calibração a partir de padrões pré-estabelecidos (CETESB, 1978). A curva utilizada foi:

mg.L⁻¹PO₄³⁻	0,0	0,05	0,10	0,20
absorvância	0,000	0,026	0,057	0,103

♦ Silicato solúvel

Determinação espectrofotométrica de silicato utilizando molibdato de amônio (7,5%), ácido tartárico (10%) e solução redutora (1-amino, 2-naftol, 4-sulfônico). Espectrofotometria de absorção, aparelho ZEISS PM6 a $\lambda=810$ nm em cubeta de 1 cm (APHA, AWWA, WPCF, 1995). A concentração de silicato solúvel é realizada mediante curva de calibração a partir de padrões pré-estabelecidos (CETESB, 1978). A curva utilizada foi:

mg.L⁻¹SiO₂	0,0	0,5	1,0	2,0
absorvância	0,000	0,196	0,393	0,787

♦ Cátions dominantes (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ e K⁺)

Empregou-se a espectrofotometria de absorção atômica, aparelho PERKIN ELMER 3300, utilizando lâmpadas de cátodo oco dos elementos analisados, nebulizadas em chama com gases ar sintético/acetileno, comprimentos de onda para Na⁺ ($\lambda=589,6$ nm), K⁺ ($\lambda= 776,5$ nm), Ca²⁺ ($\lambda= 427,2$ nm) e Mg²⁺ ($\lambda= 202,5$ nm), solução-tampão (Na⁺ + K⁺; 1mL Cs 10.000 ppm) e (Ca²⁺ + Mg²⁺ ; 1mL Sr 10.000 ppm). A curva de calibração utilizada foi:

Ca ²⁺		Mg ²⁺		Na ⁺		K ⁺	
mg.L ⁻¹	absorv.*						
1,0	0,074	0,5	0,177	1,0	0,234	1,0	0,076
2,0	0,137	1,0	0,358	2,0	0,469	2,0	0,148
3,0	0,198	1,5	0,531	3,0	0,683	3,0	0,221
4,0	0,274	2,0	0,716	4,0	0,895	4,0	0,293

* - absorvância

3.3.2 – Águas superficiais

Os parâmetros físico-químicos e químicos selecionados para as águas subterrâneas também foram empregados para as águas superficiais, conforme APHA, AWWA, WPCF (1995) e CETESB (1978).

♦ Cor**- Verdadeira**

As amostras foram submetidas a uma filtração com membrana MILLIPORE® (membrana HA em éster de celulose 0,45 μ m e 47mm de diâmetro). HACH DR/2010 spectrophotometer (aparelho); medidor de cor Aqua-Tester, $\lambda=455$ nm contendo um disco colorimétrico. Escala HANSEN – APHA de 0 a 100 unidades (ppm de Pt).

- Aparente

HACH DR/2010 spectrophotometer (aparelho); medidor de cor Aqua-Tester, $\lambda=455$ nm contendo um disco colorimétrico. Escala HANSEN – APHA de 0 a 100 unidades (ppm de Pt).

♦ Material particulado em suspensão

Método gravimétrico; uma porção homogênea de amostra de 250 mL foi filtrada sob pressão reduzida em filtro de acetato de celulose 0,45 μ m de porosidade e 47mm de diâmetro; o material retido foi seco em estufa a 80°C; o aumento de peso do filtro em relação ao peso do mesmo antes da filtração representa o resíduo não-filtrável (APHA, 1995; CETESB, 1978).

♦ Clorofila-a

A concentração da clorofila-a (figura 48) é uma medida indireta da quantidade das algas verdes presentes num ambiente hídrico, podendo determinar a produtividade dos ecossistemas (APHA, 1995; CETESB, 1978).

A quantificação de clorofila-a foi realizada segundo o método espectrofotométrico tricromático (APHA, AWWA, WPCF, 1995), que consiste, resumidamente, na filtração da amostra (bomba de “vácuo” e membrana 0,45 μ m de porosidade e 47mm de diâmetro) com posterior extração do pigmento verde através da maceração dos filtros e dissolução em solução aquosa de acetona a 90% por 24 horas, centrifugação e leituras de absorvâncias em espectrofotômetro GBC, modelo 911A, em 750 (corrigir a turbidez), 664, 647 e 630nm, executadas com auxílio de cubeta de 1cm de caminho ótico.

Estudos de clorofila têm sido realizados em ecossistemas aquáticos, pois permitem abordagem preliminar sobre a ocorrência de microrganismos fitoplanctônicos

que indicam a qualidade dessas águas, a capacidade de reoxigenação e a densidade populacional de algas (Esteves, 1988; Riley & Chester, 1987).

As leituras dos extratos de clorofila nos diferentes comprimentos de onda (períodos sazonais diferenciados) se encontram, assim, distribuídas:

Comprimento de onda (nm)	Absorvância (estiagem/2002)			Absorvância (chuvoso/2003)		
750	0,043	0,059	0,030	0,000	0,000	0,000
664	0,066	0,106	0,151	0,004	0,025	0,084
647	0,059	0,098	0,064	0,001	0,003	0,022
630	0,059	0,098	0,055	0,002	0,003	0,017

A equação tricromática (APHA, 1995) usada para cálculo da concentração de clorofila-a é:

$$C'_a = 11,85 \times A_{664} - 1,54 \times A_{647} - 0,08 \times A_{630}$$

sendo

A_{630} ≡ absorvância em comprimento de onda de 630nm;

A_{647} ≡ absorvância em comprimento de onda de 647nm;

A_{664} ≡ absorvância em comprimento de onda de 664nm.

Após a obtenção de C'_a as concentrações de clorofila-a foram expressas em $\mu\text{g.L}^{-1}$ utilizando-se a equação geral abaixo (APHA, 1995).

$$\text{Clorofila } (\mu\text{g.L}^{-1}) = [C'_a \times V_{AC}] / [V_{AM} \times E_C]$$

sendo

C' ≡ C'_a (para determinação de clorofila-a);

V_{AC} ≡ volume de solução de acetona em mL;

V_{AM} ≡ volume de amostra filtrado em L;

E_C ≡ espessura da cubeta em cm.

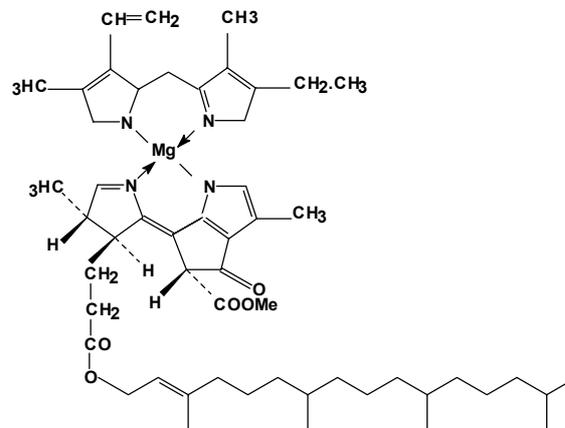


Figura 48 - Estrutura molecular da clorofila-a (Britton, 1983).

Nas figuras (49a e 49b) os espectros em ambos períodos sazonais ratificam a dominância da clorofila-a com os comprimentos de onda em 663,3 nm (estiagem) e 669,0 nm (chuvoso).

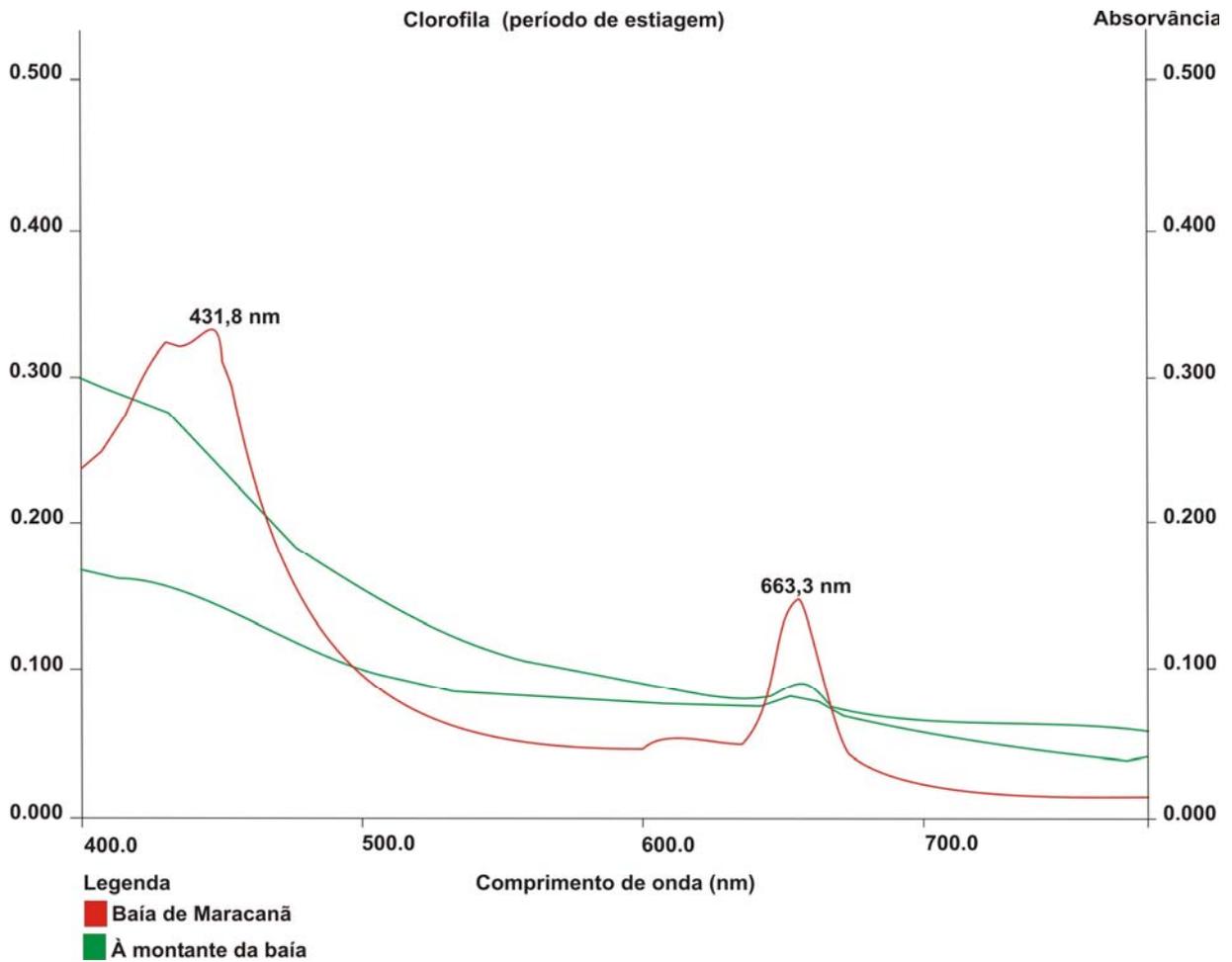


Figura 49a – Espectro de absorção molecular da clorofila-a extraída em acetona 90% de águas superficiais das áreas de transição (à montante da baía) e estuarina. Período de estiagem 2002.

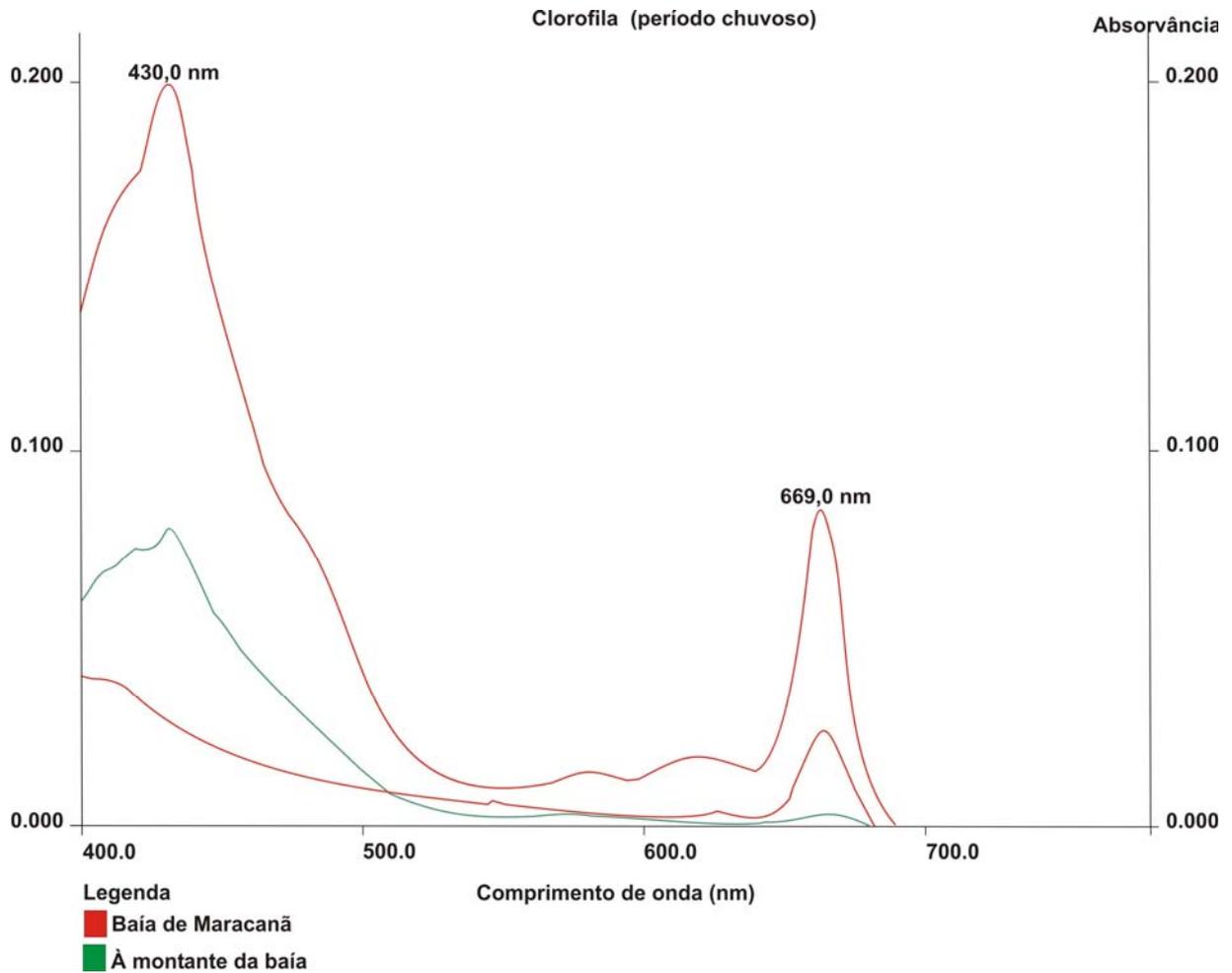


Figura 49b – Espectro de absorção molecular da clorofila-a extraída em acetona 90% de águas superficiais das áreas de transição (à montante da baía) e estuarina. Período chuvoso 2003.

3.3.3 – Sedimentos em suspensão

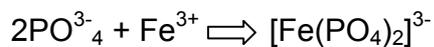
Tratamento preliminar

Método gravimétrico, que consiste em uma porção homogênea de amostra de 250 mL foi filtrada sob pressão reduzida em filtro de acetato de celulose 0,45 μ m de porosidade e 47mm de diâmetro; o material retido foi seco em estufa a 80°C; o aumento de peso do filtro em relação ao peso do mesmo antes da filtração representa o resíduo não-filtrável (Strickland & Parsons, 1972; APHA, 1995).

♦ Carbono orgânico

O método baseia-se na ação oxidante do dicromato de potássio em meio ácido, sobre a fração denominada carbono orgânico. A amostra geralmente libera o íon Fe^{3+} , em solução, o qual provoca o aparecimento de coloração amarela, dificultando a detecção do ponto final da titulação. A eliminação desse interferente se dá adicionando ácido orto-fosfórico, o qual forma através do íon PO_4^{3-} um complexo incolor com o ferro trivalente.

A reação que ocorre é:



O ácido fosfórico faz baixar o potencial de oxidação do sistema férrico-ferroso ao complexar os íons férricos. O indicador difenilamina muda de coloração dentro dos limites de alteração do potencial na curva de titulação, resultando assim uma solução violeta de difenilbenzidina (Gaudette *et al.*, 1974).

♦ Matéria orgânica

Calculada através da multiplicação do resultado do carbono orgânico por 1,724. Este fator é usado admitindo-se que na composição média do húmus, o carbono participa em cerca de 58% (EMBRAPA, 1997).

♦ Nitrogênio orgânico

O método clássico de Kjeldahl emprega como solução digestora uma mistura de H_2SO_4 , CuSO_4 e Na_2SO_4 , a fim de decompor a matéria orgânica transformando o nitrogênio da amostra em nitrogênio amoniacal. O ácido sulfúrico tem as funções de conversão a sulfatos ácidos; oxidação de catalisadores orgânicos como sucrose, ácido benzóico, ácido salicílico e oxidação da amostra. Uma parte do ácido é perdida por ebulição e um excesso do mesmo é necessário, na fase de digestão da amostra, a fim de assegurar a ausência de perdas por volatilização dos sais amoniacais (Vettori, 1969; Vogel, 1981).

O sulfato de sódio, em mistura com ácido sulfúrico, funciona como agente térmico, elevando o ponto de ebulição da mistura, assegurando a manutenção da temperatura desejável ao processo.

O sulfato de cobre age como catalisador acelerando a decomposição da matéria orgânica que após a digestão, faz com que o nitrogênio amoniacal seja deslocado pelo hidróxido de sódio e arraste por vapor d'água. O recolhimento do nitrogênio amoniacal é feito em solução de ácido bórico 4% em presença da mistura de indicadores: tetrabromo-m-cresol, sulfonftaleína (verde de bromocresol) e o-carboxibenzeno-azodimetil anilina (vermelho de metila) (Vettori, 1969; Vogel, 1981).

Análise mineralógica em sedimentos

Nas amostras selecionadas de sedimentos em suspensão empregou-se a técnica por difração de raios-X (DRX) a fim de prestar informações quanto à identificação e caracterização dos minerais, sobretudo os argilominerais (Reynolds & Moore, 1991). Utilizou-se o difratômetro PHILIPS, modelo PW 1050/80 com gerador (PW3710) de alta tensão, acoplado a um registrador de pena automático, sendo as amostras posteriormente submetidas à radiação de $\text{CuK}\alpha 1$. A figura 50 mostra de forma sucinta a preparação das amostras e análise dos argilominerais.

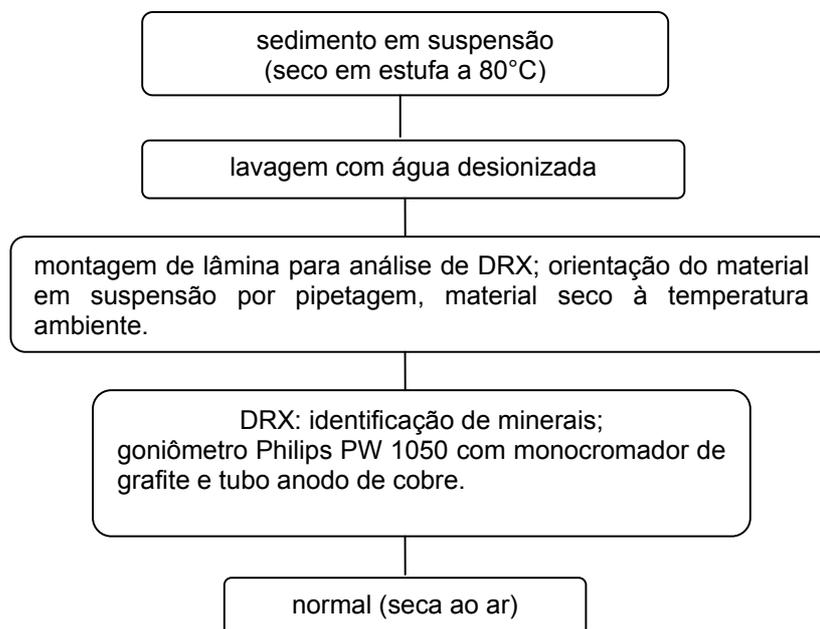


Figura 50 – Fluxograma da preparação e análise dos sedimentos em suspensão selecionados.

Para a identificação e interpretação dos argilominerais foi utilizado o Mineral Powder Diffraction File (data book) compilado do JCPDS-ICCD (International Centre for Diffraction Data®).

4 – APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 – ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

4.1.1 – Parâmetros físicos, físico-químicos e químicos das águas subterrâneas

Procedeu-se à composição de uma tabela de resultados analíticos, englobando parâmetros físicos, físico-químicos e químicos selecionados (tabela 2) visando discussão geoquímica com base na distribuição desses componentes e parâmetros segundo os diferentes aquíferos.

Para essa composição levou-se em conta as considerações constantes dos trabalhos de Sauma Filho (1996), que se basearam nos arquivos de dados da COSANPA, da CIBRASA e da Fundação SESP; da dissertação de mestrado de Otobo (1995) sobre águas subterrâneas de poços rasos de Capanema, Salinópolis e Quatipuru, entre outros; da tese de doutorado de Souza (1996), no que se refere às águas subterrâneas pesquisadas em Tauari e Salinópolis; bem como no arquivo disponível na Funasa sobre perfis litológicos e parâmetros físico-químicos selecionados de águas subterrâneas situadas (em todos os casos aqui citados) na mesorregião Nordeste do Pará.

Foram selecionados 21 pontos de coleta, envolvendo 2 cacimbas, 2 poços escavados e 17 poços tubulares de diferentes profundidades (de 12m até 60m).

Com base nas considerações dos pesquisadores anteriormente citados, reunindo, principalmente, dados sobre condutividade elétrica (condutância específica, expressa em $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) e concentrações de Ca^{2+} e Na^+ , agruparam-se as amostras segundo o aquífero dominante. A julgar por estimativas sobre o conteúdo eletrolítico (e conseqüente valor de condutividade elétrica), considerou-se o limite abaixo de 55 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ como sendo característico do aquífero livre do Pós-Barreiras (do Pleistoceno) ou semi-confinado Barreiras, do Plio-Pleistoceno (Terciário). Estudo de águas subterrâneas associadas ao Grupo Barreiras, em área livre de influências antropogênicas, Lima e Kobayashi (1988) registraram valores de condutividade elétrica sempre abaixo de 50 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, mesmo em profundidades superiores a 150m, justificando o intenso intemperismo de minerais de silicato como responsável pelo baixo conteúdo eletrolítico dessas águas.

Consultando a tabela 3, como é de se esperar, as razões $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ (em miliequivalentes) são sempre superiores a 1 para as águas subterrâneas associadas ao Quaternário amazônico ou ao Grupo Barreiras, de acordo com as observações de Lima & Kobayashi (1988).

Foram consideradas pertencentes aos aquíferos de transição, isto é, os reservatórios constituídos por material alterado do Grupo Barreiras e de indícios de calcário da Formação Pirabas, as amostras de água que apresentassem condutividade elétrica acima de $60 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ no período de estiagem. É nesse período sazonal que melhor se interpretam os resultados analíticos associados à condutividade elétrica, ao quociente $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ (em miliequivalentes) e à concentração de Cl^- . A razão $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ poderá estender-se acima de 1 ou tornar-se abaixo de 1, de acordo com a menor ou maior influência do calcário de Pirabas no perfil litológico do poço amostrado (tabela 3).

Somente com condutividade elétrica acima de $100 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ garante-se um pleno domínio dos sedimentos de carbonato da Formação Pirabas na composição química dessas águas subterrâneas. Embora outros pesquisadores (Otobo & Lima, 1993) e Souza & Lima (1994) tenham registrado valores mais elevados de condutividade elétrica para águas subterrâneas associadas à Formação Pirabas (valores acima de 440 e abaixo de $550 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), o máximo aqui observado foi de $434 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ durante a estiagem. Nessas águas sob influência de Pirabas registraram-se quocientes de $\text{Ca}^{2+}/(\text{Na}^+ + \text{K}^+)$ (em miliequivalentes) acima de 1 (máximo observado em 1,46, trabalhando-se com a média de resultados disponíveis na tabela 3).

Uma observação mais atenta da tabela 2 mostra que há diminuição de conteúdo eletrolítico quando se passa da estiagem para o período mais chuvoso. Nesse período, revela-se a vulnerabilidade do aquífero pela penetração de águas de rolamento, que percolam o perfil, arrastando eletrólitos de toda origem para o aquífero. É o que se observou em Vila Nova, quando a condutividade elétrica passou de $77,6 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, na estiagem, para $154 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, no período chuvoso; esse fato é corroborado pelo aumento significativo de Cl^- , passando de $5,44 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (estiagem) para $9,33 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (chuvoso). Com efeito, esse poço de Vila Nova encontra-se mal instalado, em área vulnerável, com teor de nitrato da ordem de $13,42 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$.

Os resultados de pH (tabela 2) mostram valores a partir de 3,62, que é característico de águas de baixa alcalinidade (mínima registrada abaixo de $0,5 \text{ mg.L}^{-1} \text{ CaCO}_3$), o que é comum em aquíferos pertencentes ao material lixiviado do Grupo Barreiras e de suas alterações intempéricas. A acidez dessas águas é resultante da ocorrência de gás carbônico dissolvido e de eventuais contribuições de ácidos orgânicos livres oriundos da decomposição de matéria orgânica natural (resíduos da floresta em geral).

Em contraste com baixos valores de pH, os aquíferos de Pirabas apresentam os mais elevados índices (máximo observado em 7,25) correspondentes às mais expressivas alcalinidades (máxima observada em $200 \text{ mg.L}^{-1} \text{ de CaCO}_3$).

A coloração das águas naturais, em geral, pode estar associada à ocorrência de substâncias húmicas (variando do amarelo ao castanho-avermelhado) liberadas pelos geopolímeros (Thurman, 1986; Stumm & Morgan, 1995). Tais águas naturais são muito comuns nos rios e igarapés amazônicos (Sioli, 1967; Leenheer, 1980; Lima & Kobayashi, 1988). Observou-se, neste estudo, que as águas subterrâneas captadas nos mananciais do igarapé Apeteua (Maracanã) apresentam os índices mais elevados de cor (49 UC). Observou-se, também, que embora reduzida, a turbidez mostrou-se bastante associada à coloração; registrou-se um máximo de turbidez em 6,23 UNT.

Também a coloração das águas naturais está associada à ocorrência de matéria orgânica (Thurman, 1986; Berner & Berner, 1995). Na tabela 2 os valores de oxigênio consumido (OC) foram convertidos em carbono orgânico e matéria orgânica; em conformidade, o valor mais elevado para a matéria orgânica ($1,4 \text{ mg.L}^{-1}$) refere-se às águas subterrâneas da captação no Apeteua. Essas considerações confirmam as informações coletadas entre os moradores locais (Maracanã), que afirmam sabor incômodo para essa água subterrânea do Apeteua destinada ao consumo público.

As concentrações de Fe (total) se mostram, em várias situações, bem compatíveis com o ambiente laterítico, muito comum na Amazônia. Aliás, a ocorrência de Fe em águas subterrâneas tem merecido muita atenção do poder público, de empresas (perfuradoras e consumidoras) e de pesquisadores em geral (ver, a propósito, Souza & Luiz, 1994; Sauma Filho, 1996); tais estudos comprovaram que, em geral, o aumento da profundidade provoca a diminuição do teor de ferro, embora apareçam

descontinuidades. Situações mais extremas atingem praticamente 7 mg.L^{-1} de Fe total (Sauma Filho, 1996), valor esse registrado em águas de poço tubular situado na região metropolitana de Belém (PA).

As concentrações elevadas de nitrato (máximo observada em $56,51 \text{ mg.L}^{-1}\text{NO}_3^-$) evidencia a vulnerabilidade da maioria dos poços amostrados (tabela 2). Ocorre naturalmente por oxidação bacteriana de matéria orgânica de origem predominantemente animal resultante de esgotos domésticos e efluentes orgânicos em processo de decomposição (Chapelle, 1992). É necessário investigar mais detalhadamente a situação desses poços e dos aquíferos respectivos. Chamam atenção os poços de Vila Nova (13,42), de Nova Timboteua (15,5) e Maracanã (poço Jango, com 20, Bocal com 39 e do hotel, com 56,51), todos expressos em $\text{mg.L}^{-1} \text{NO}_3^-$.

Compatíveis com a natureza dos terrenos sedimentares da Amazônia, as concentrações de fosfato são, relativamente, muito baixas (na maioria das amostras, abaixo de $20 \text{ }\mu\text{g.L}^{-1} \text{PO}_4^{3-}$); no entanto, registrou-se um máximo em aquífero Pirabas ($230 \text{ }\mu\text{g.L}^{-1} \text{PO}_4^{3-}$ no poço tubular da vila de Penha).

Outro registro importante é o de intrusão de águas salobras nas águas subterrâneas situadas em aquíferos costeiros. Nas águas sob influência da Formação Pirabas não se registra concentrações mais elevadas de Cl^- . Deste modo, todos os poços sob influência de Pirabas situados na cidade de Maracanã encontram-se sofrendo intrusão de águas salobras; eis a razão pela qual aparecem concentrações elevadas em aquíferos dominados por Pirabas (máximo em torno de 33 mg.L^{-1} de Cl^- registrado na tabela 2).

Sobre essa intrusão de águas salobras em aquíferos costeiros são notáveis as situações registradas em Salinópolis e São João de Pirabas (resultados disponíveis nos arquivos da FUNASA). Neste estudo, observou-se também a intrusão de águas salobras em poço tubular instalado em Santarém Novo situado às proximidades do trapiche municipal (condutância específica da ordem de $232 \text{ }\mu\text{S.cm}^{-1}$) que eventualmente é utilizado pela prefeitura para serviços de limpeza.

A figura 51 trata a relação entre água subterrânea e água salgada em área de descarga do aquífero. Esse fenômeno pode acentuar-se com a extração de grandes

volumes de água doce subterrânea provocando o avanço da água salgada no interior do aquífero e a conseqüente salinização da água

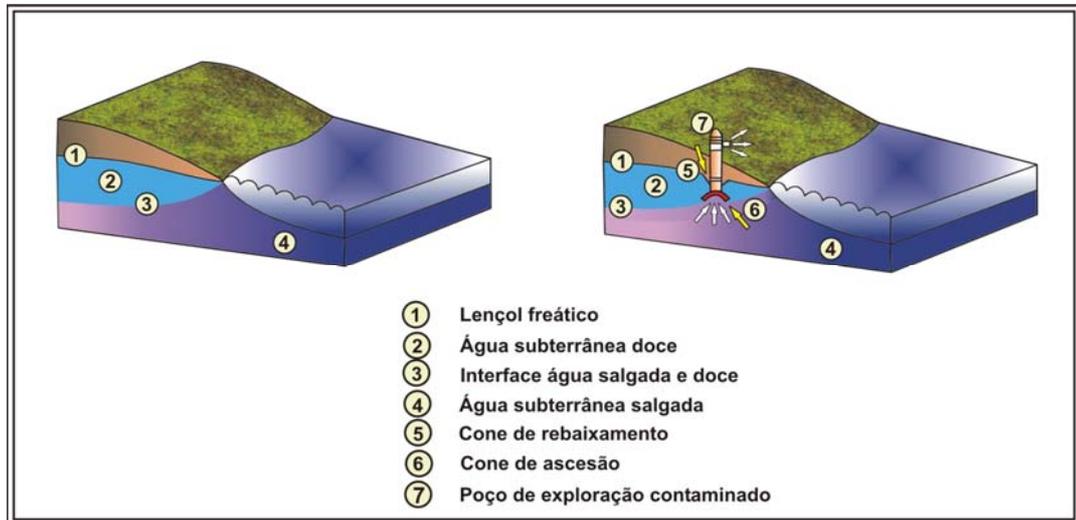


Figura 51 – Desenho esquemático sobre a intrusão nos aquíferos costeiros (modificado de Teixeira *et al.*, 2000).

O conceito de qualidade das águas subterrâneas geralmente está associado à sua composição e relação com o meio físico. Dentro desse contexto, o conhecimento das propriedades e constituintes dessas águas são fundamentais, permitindo evidenciar padrões de qualidade da água, classificando-as, assim, de acordo com a sua utilização - consumo humano e agrícola (Custódio & Llamas, 1976; Feitosa & M. Filho, 1997).

A dureza da água está diretamente associada à presença de bicarbonatos nas formações geológicas, permitindo classificar a água em mg.L^{-1} de CaCO_3 . Custódio & Llamas (1976) ressalta quatro tipos: branda ($<50 \text{ mg.L}^{-1} \text{CaCO}_3$), pouco dura ($50-100 \text{ mg.L}^{-1} \text{CaCO}_3$), dura ($100-200 \text{ mg.L}^{-1} \text{CaCO}_3$) e muito dura ($>200 \text{ mg.L}^{-1} \text{CaCO}_3$). Por essa referência, as águas dos aquíferos do Pós-Barreiras/Barreiras e transição são classificadas como brandas (máximo de $24,94 \text{ mg.L}^{-1} \text{CaCO}_3$), enquanto que as águas dos aquíferos de Pirabas como pouco dura (máximo de $86,44 \text{ mg.L}^{-1} \text{CaCO}_3$).

O resíduo seco está relacionado à soma de todos os constituintes químicos subtraídos de metade do bicarbonato (Custódio & Llamas, 1976). As classificações geoquímicas segundo o resíduo seco (mg.L^{-1}) podem ser destacadas como: água doce ($<2000 \text{ mg.L}^{-1}$), água salobra ($5000-10000 \text{ mg.L}^{-1}$), água salgada ($40000-100000 \text{ mg.L}^{-1}$) e salmoura (até saturação). Deste modo, as águas dos aquíferos do Pós-

Barreiras/Barreiras, transição e Pirabas são classificadas como águas doces (máximo observado em 71,50 mg.L⁻¹).

Os padrões de potabilidade que determinam o modelo de água destinada ao consumo humano compreendem critérios no que diz respeito à proteção contra contaminação de origem antrópica, efeitos tóxicos e aspectos organolépticos ou estéticos. As análises de controle ambiental, em geral, são parâmetros físicos, químicos, microbiológicos e bacteriológicos que acompanham o desenvolvimento da técnica de tratamento e das pesquisas epidemiológicas (Batalha & Parlato, 1977; Feitosa & M. Filho, 1997). Segundo os padrões de qualidade ambiental no Brasil, de acordo com a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, nº 20 de 18/06/86), os resultados dos parâmetros físico-químicos e químicos selecionados nos aquíferos do Pós-Barreiras/Barreiras, transição e Pirabas mostraram que a água subterrânea captada é de boa qualidade para consumo humano.

Tabela 2 – Parâmetros físicos, físico-químicos e químicos selecionados de águas subterrâneas. Bacia do rio Maracanã. Teores máximos, mínimos e média aritmética de resultados mais freqüentes (continua).

Sistemas aquíferos		Estiagem (2002)			Chuvoso (2003)		
		Pós-Barreiras/ Barreiras *	transição**	Pirabas***	Pós-Barreiras/ Barreiras*	transição**	Pirabas***
Parâmetros							
temperatura (°C)	mín.	27,20	27,00	27,00	27,00	26,00	25,00
	máx.	30,50	29,70	30,10	27,10	29,10	29,20
	méd.	29,18	28,97	29,40	27,03	27,20	26,66
pH	mín.	3,62	3,99	4,75	3,85	3,71	3,85
	máx.	5,59	6,70	7,25	4,30	5,77	6,80
	méd.	4,73	5,29	6,50	4,15	4,83	5,10
Eh (volt)	mín.	0,251	0,175	0,165	0,166	0,152	0,120
	máx.	0,317	0,346	0,350	0,220	0,299	0,313
	méd.	0,284	0,276	0,239	0,199	0,230	0,239
condutividade elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	mín.	25,80	63,70	207,00	20,80	59,10	132,00
	máx.	51,50	91,00	434,00	43,40	91,20	430,00
	méd.	40,16	70,50	279,20	31,10	70,32	252,30
cor (UC-APHA)	mín.	1,00	0,00	0,00	4,00	1,00	0,00
	máx.	24,00	5,00	11,00	49,00	13,00	13,00
	méd.	2,00	1,40	2,50	14,25	7,00	8,00
turbidez (UNT)	mín.	0,44	0,24	0,63	0,46	0,36	0,00
	máx.	4,82	1,86	6,23	2,39	2,24	1,72
	méd.	0,65	0,33	2,88	1,22	0,81	0,74
sólidos totais dissolvidos ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	mín.	10,00	30,00	97,00	10,00	28,40	63,90
	máx.	24,00	43,00	206,00	20,00	43,30	206,70
	méd.	17,38	35,17	130,00	14,50	33,40	120,00

* Aquíferos livres (Pós-Barreiras) ou semiconfinados (Barreiras);

** Aquíferos formados por material do Grupo Barreiras e da Formação Pirabas;

*** Aquífero dominante: Pirabas.

Condutividade elétrica de águas de precipitação pluviométrica; máximo ($17 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) e mínimo ($13,6 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$).

Tabela 2 – Parâmetros físicos, físico-químicos e químicos selecionados de águas subterrâneas. Bacia do rio Maracanã. Teores máximos, mínimos e média aritmética de resultados mais frequentes (continua).

Sistemas aquíferos		Estiagem (2002)			Chuvoso (2003)		
		Pós-Barreiras/ Barreiras *	transição**	Pirabas***	Pós-Barreiras/ Barreiras*	transição**	Pirabas***
Parâmetros							
alcalinidade total (mg.L ⁻¹ CaCO ₃)	mín.	< 0,5	33,60	38,40	1,07	23,60	28,80
	máx.	15,84	48,90	200,00	3,22	48,85	178,00
	méd.	3,74	30,10	118,00	1,79	28,50	79,40
acidez (mg.L ⁻¹ CO ₂)	mín.	10,70	18,09		12,34	7,40	
	máx.	46,87	32,07		38,65	32,89	
	méd.	32,24	26,07		24,95	25,77	
oxigênio consumido (mg.L ⁻¹ O ₂)	mín.	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
	máx.	1,40	0,43	0,64	2,25	0,10	0,10
	méd.	0,35	0,35	0,28	1,15	0,075	0,075
carbono orgânico (mg.L ⁻¹ C)	mín.	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
	máx.	0,53	0,16	0,24	0,84	0,038	0,038
	méd.	0,13	0,13	0,105	0,43	0,03	0,03
matéria orgânica (mg.L ⁻¹)	mín.	< 0,03	< 0,03	< 0,034	< 0,03	< 0,03	< 0,03
	máx.	0,91	0,28	0,41	1,46	0,066	0,066
	méd.	0,22	0,22	0,20	0,74	0,052	0,052
ferro total (mg.L ⁻¹ Fe)	mín.	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
	máx.	0,014	0,05	0,02	0,02	0,09	0,02
	méd.	0,012	0,03	0,015	0,015	0,02	0,015

* Aquíferos livres (Pós-Barreiras) ou semiconfinados (Barreiras);

** Aquíferos formados por material do grupo Barreiras e da Formação Pirabas;

*** Aquífero dominante: Pirabas.

Tabela 2 – Parâmetros físicos, físico-químicos e químicos selecionados de águas subterrâneas. Bacia do rio Maracanã. Teores máximos, mínimos e média aritmética de resultados mais freqüentes (continua).

Sistemas aquíferos		Estiagem (2002)			Chuvoso (2003)		
		Pós-Barreiras/ Barreiras *	transição**	Pirabas***	Pós-Barreiras/ Barreiras*	transição**	Pirabas***
Parâmetros							
HCO_3^- (mg.L ⁻¹)	mín.	< 0,6	41,00	46,80	1,31	28,80	35,10
	máx.	19,30	59,70	244,00	3,93	59,60	217,00
	méd.	4,50	36,70	144,00	2,18	34,80	97,00
HCO_3^- (meq.L ⁻¹)	mín.	< 0,10	0,67	0,76	0,02	0,47	0,58
	máx.	0,32	0,98	4,00	0,06	0,98	3,56
	méd.	0,074	0,60	1,57	0,04	0,57	1,60
Cl^- (mg.L ⁻¹)	mín.	2,33	2,33	7,25	4,14	2,06	11,39
	máx.	8,24	9,58	32,98	8,29	9,32	32,98
	méd.	4,23	5,33	21,72	5,87	4,92	24,15
Cl^- (meq.L ⁻¹)	mín.	0,07	0,07	0,20	0,12	0,06	0,32
	máx.	0,23	0,27	0,93	0,23	0,26	0,93
	méd.	0,12	0,15	0,61	0,17	0,14	0,68
SO_4^{2-} (mg.L ⁻¹)	mín.	< 0,20	< 0,20	0,36	< 0,20	< 0,20	< 0,20
	máx.	6,07	1,96	49,39	1,92	9,25	12,65
	méd.	2,19	1,11	14,98	1,06	3,01	5,80
SO_4^{2-} (meq.L ⁻¹)	mín.	< 0,004	< 0,004	0,008	< 0,004	< 0,004	< 0,004
	máx.	0,13	0,04	1,03	0,04	0,19	0,26
	méd.	0,046	0,02	0,31	0,022	0,06	0,12
NO_3^- (mg.L ⁻¹)	mín.	2,08	2,73	1,69	< 0,05	< 0,05	0,71
	máx.	8,03	15,49	56,51	4,75	7,54	40,45
	méd.	5,57	10,54	24,64	2,40	3,98	20,59
NO_3^- (meq.L ⁻¹)	mín.	0,03	0,04	0,03	< 0,0008	< 0,0008	0,01
	máx.	0,13	0,25	0,91	0,08	0,12	0,65
	méd.	0,09	0,17	0,40	0,04	0,064	0,33
PO_4^{3-} ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	mín.	< 3,00	< 3,00	< 3,00	< 3,00	< 3,00	< 3,00
	máx.	6,10	36,70	138,4	16,00	26,00	230,00
	méd.	3,28	15,28	6,10	13,00	18,00	22,00

* Aquíferos livres (Pós-Barreiras) ou semiconfinados (Barreiras);

** Aquíferos formados por material do grupo Barreiras e da Formação Pirabas;

*** Aquífero dominante: Pirabas.

Tabela 2 – Parâmetros físicos, físico-químicos e químicos selecionados de águas subterrâneas. Bacia do rio Maracanã. Teores máximos, mínimos e média aritmética de resultados mais freqüentes (conclusão).

Sistemas aquíferos		Estiagem (2002)			Chuvoso (2003)		
		Pós-Barreiras/ Barreiras *	transição**	Pirabas***	Pós-Barreiras/ Barreiras*	transição**	Pirabas***
Ca²⁺ (mg.L⁻¹)	mín.	0,10	1,00	5,00	< 0,10	0,70	4,00
	máx.	1,00	10,20	65,00	0,70	8,24	58,00
	méd.	0,85	6,60	23,60	0,35	5,51	21,00
Ca²⁺ (meq.L⁻¹)	mín.	0,005	0,05	0,03	< 0,005	0,04	0,20
	máx.	0,05	0,51	3,25	0,04	0,41	2,89
	méd.	0,043	0,33	1,20	0,02	0,28	1,05
Mg²⁺ (mg.L⁻¹)	mín.	0,30	0,70	1,00	< 0,10	0,40	1,00
	máx.	1,30	2,00	10,00	0,50	0,41	3,00
	méd.	0,75	1,42	4,20	0,25	0,28	2,40
Mg²⁺ (meq.L⁻¹)	mín.	0,025	0,06	0,08	< 0,008	0,03	0,08
	máx.	0,11	0,16	0,82	0,04	0,14	0,25
	méd.	0,06	0,12	0,35	0,02	0,10	0,20
Na⁺ (mg.L⁻¹)	mín.	1,60	1,80	6,00	1,60	1,60	13,00
	máx.	4,10	7,00	25,00	4,10	9,00	23,00
	méd.	3,15	5,29	17,20	3,45	6,70	18,20
Na⁺ (meq.L⁻¹)	mín.	0,07	0,08	0,26	0,07	0,07	0,57
	máx.	0,18	0,30	1,09	0,18	0,40	1,00
	méd.	0,14	0,23	0,75	0,15	0,29	0,79
K⁺ (mg.L⁻¹)	mín.	0,10	0,60	1,00	< 0,10	< 0,10	< 0,10
	máx.	1,30	1,70	4,00	1,00	1,00	4,00
	méd.	0,43	1,04	2,60	0,35	0,40	2,40
K⁺ (meq.L⁻¹)	mín.	0,003	0,02	0,03	< 0,003	< 0,003	< 0,003
	máx.	0,03	0,04	0,10	0,03	0,03	0,10
	méd.	0,01	0,03	0,07	0,009	0,01	0,06

* Aquíferos livres (Pós-Barreiras) ou semiconfinados (Barreiras);

** Aquíferos formados por material do grupo Barreiras e da Formação Pirabas;

*** Aquífero dominante: Pirabas.

Tabela 3 – Razões iônicas selecionadas de águas subterrâneas. Bacia do rio Maracanã. Médias aritméticas de resultados mais freqüentes.

Sistemas aquíferos Razões iônicas	Estiagem (2002)			Chuvoso (2003)		
	Pós-Barreiras/ Barreiras *	transição**	Pirabas***	Pós-Barreiras/ Barreiras*	transição**	Pirabas***
$rCa^{2+}/r(Na^{+} + K^{+})$	0,29	1,27	1,46	0,13	0,93	1,24
rNa^{+}/rCa^{2+}	3,26	0,70	0,63	7,50	1,04	0,75
$rHCO_3^{-}/rCa^{2+}$	1,72	1,82	1,31	2,00	2,04	1,52
$rHCO_3^{-}/rCl^{-}$	0,62	4,00	2,57	0,24	4,07	2,35
$rHCO_3^{-}/r(Na^{+} + K^{+})$	0,49	2,31	1,91	0,25	1,90	1,88

* Aquíferos livres (Pós-Barreiras) ou semiconfinados (Barreiras);

** Aquíferos formados por material do grupo Barreiras e da Formação Pirabas;

*** Aquífero dominante: Pirabas.

4.1.2 – Diagrama Eh-pH e caracterização química do ambiente secundário

Na tentativa de compreender o ambiente geoquímico atual e os processos que influenciam o quimismo dessas águas naturais, buscou-se representar tais situações por diagrama Eh-pH mostrado na figura 52.

Nas águas subterrâneas (figura 52), o potencial redox está diretamente relacionado com as características geológicas do terreno. O aquífero sujeito à entrada de oxigênio da atmosfera, resultando águas mais aeradas se apresenta, portanto, com potenciais Eh positivo mais expressivos (Garrels & Christ, 1965; Levinson, 1974; Stumm & Morgan, 1995).

A análise do diagrama de Eh-pH (figura 52) mostra que as amostras aqui selecionadas se encontram em ambiente aerado, característico de ambiente intemperizado. Registraram-se valores mínimos para as águas subterrâneas às proximidades de +0,17 volt (vila de Penha, poço SECTAM, profundidade 40m) e máximo de +0,35 volt (hotel Atlanta - poço particular, Maracanã) referentes ao aquífero Pirabas, período de estiagem. No período chuvoso, mínimo de +0,12 volt (cidade de Maracanã, poço FSESP, profundidade 60m) e máximo de +0,31 volt (poço Jango, cidade de Maracanã; profundidade 35m), ambos pertencentes ao aquífero de Pirabas.

Nessas águas subterrâneas a tendência para pH mais alcalino é devida à influência de rochas calcárias, típicas de Pirabas, com máximo observado de 7,25. Observando a linha-limite relacionada com ocorrência de Fe^{2+} e Fe^{3+} , a figura 52 mostra as duas tendências: em meio mais ácido, há predominância de Fe^{2+} , enquanto em meio menos ácido (às proximidades de 6 e pouco acima de 7) domina o Fe^{3+} .

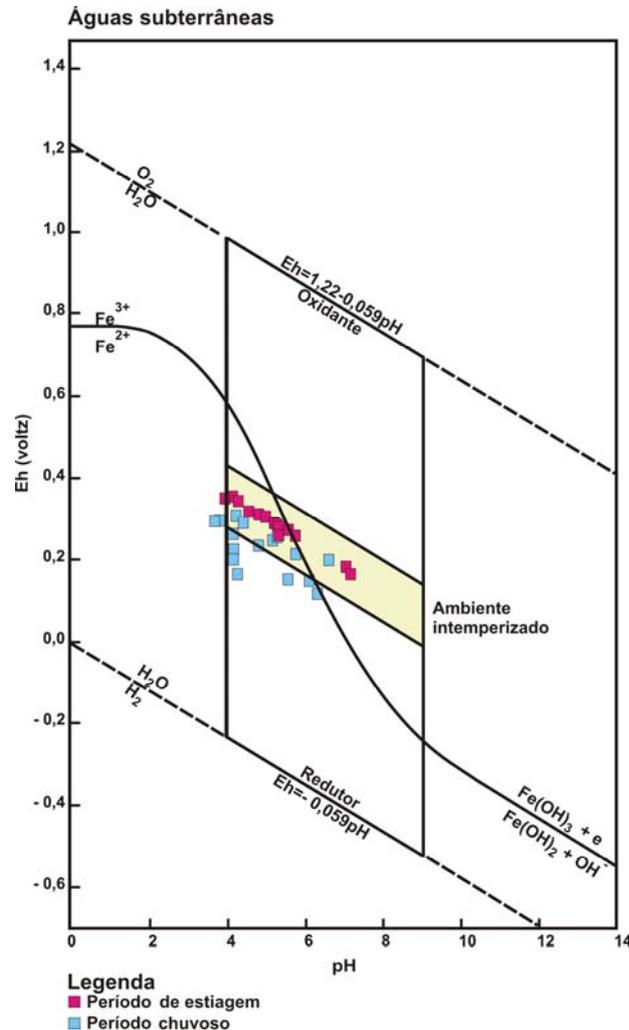


Figura 52 – Diagrama Eh-pH, águas subterrâneas da bacia hidrográfica do rio Maracanã; período de estiagem de 2002 e período chuvoso de 2003.

4.1.3 – Diagramas de Stiff, classificação geoquímica e identificação do sistema aquífero

A aplicação do diagrama de Stiff permite estabelecer uma classificação hidrogeoquímica preliminar para águas subterrâneas segundo os íons dominantes (Custodio & Llamas, 1976).

Para a montagem de diagramas de Stiff (valores em miliequivalentes), utilizou-se as médias aritméticas de resultados mais freqüentes (tabela 2) por se interpretar tais dados como os mais representativos. Essa interpretação é consequência de avaliações (cálculos numéricos) de dados disponíveis sobre o conteúdo eletrolítico (cátions e

ânions dominantes, expressos em mg.L^{-1}) nos trabalhos de Otobo (1995) e Souza (1996), sobre águas subterrâneas ocorrentes na mesorregião Nordeste do Pará, mas que não constam na tabela 2. Considerou-se, também, interpretar os resultados segundo o aquífero dominante e em períodos sazonais contrastantes, o mais chuvoso (anualmente, dominante) e o de estiagem mais pronunciada (mais curto, anualmente, pouco dominante).

A simples observação da figura 53 mostra ocorrência de domínio de águas cloretadas sódicas para os aquíferos livres (Pós-Barreiras e Barreiras), sob maior influência da composição química quantitativa de precipitação pluviométrica, em ambos períodos sazonais. Por outro lado, a menor (aquífero de transição) ou maior (aquífero Pirabas) influência de sedimentos de carbonatos da Formação Pirabas deslocam equilíbrios iônicos para domínios de Ca^{2+} e HCO_3^- , produzindo águas bicarbonatadas sódico-cálcicas (aquífero de transição, período chuvoso) e cálcico-sódicas (sob maior influência de Pirabas, em ambos os períodos).

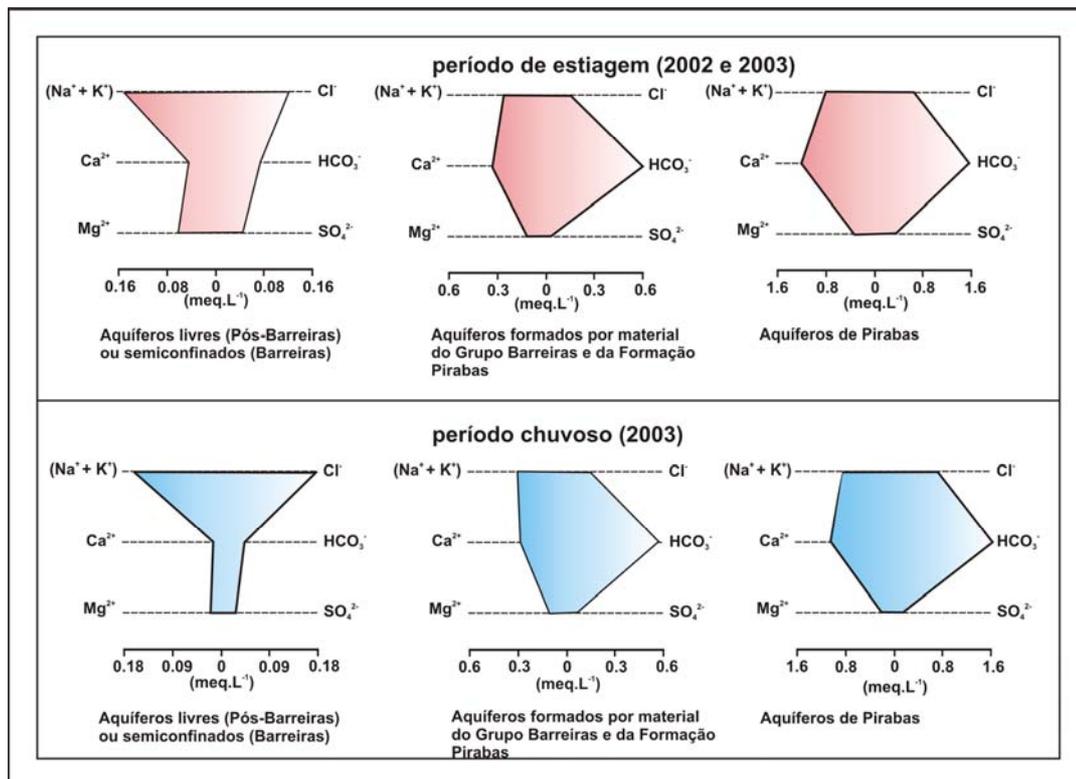


Figura 53 – Diagramas de Stiff para as águas subterrâneas, considerando a média aritmética dos resultados mais freqüentes.

4.1.4 – Equilíbrios termodinâmicos e diagrama de estabilidade

O comportamento químico de águas subterrâneas depende da interação entre a água, o gás carbônico (do solo, da atmosfera), de ácidos orgânicos livres em solução, de minerais do solo e de rochas alteradas com os quais a água tem contato (Custodio & Llamas, 1976; Berner & Berner, 1995). Evidências mais diretas envolvendo essa interação entre produtos de alteração resultantes do intemperismo químico de rochas de silicato podem ser exemplificadas através da utilização de diagramas de estabilidade, que são construídos a partir de dados termodinâmicos de energia livre de Gibbs e constantes de equilíbrio para os prováveis sistemas químicos, no ambiente geológico, envolvendo observações de campo e informações coletadas na literatura disponível (Loughnan, 1969; Drever, 1988; Berner & Berner, 1995).

Resultados analíticos sobre o pH e concentrações de Na^+ e SiO_2 , por exemplo, são convertidos em $\log [\text{H}^+]$, $\log [\text{Na}^+]$ e $\log [\text{H}_4\text{SiO}_4]$ e estes são utilizados na montagem desses diagramas, visando evidenciar prováveis influências nas interações soluto-solvente em sistemas aquosos naturais. Os solutos considerados são, em geral, a gibbsita, a caulinita, a montmorillonita, a albita. O diagrama resultante permite estabelecer associações entre as águas subterrâneas percolantes em terrenos ricos em material geológico oriundo do intemperismo químico de silicatos formadores de rochas (Loughnan, 1969; Stumm & Morgan, 1995; Berner & Berner, 1995).

Trabalhando-se com amostras coletadas no período chuvoso em 10 poços tubulares, associados a aquíferos submetidos à influência de perfis geológicos dominados por caulinita e quartzo, com alguma contribuição de minerais de carbonato em certos casos, foi possível caracterizar esse ambiente sob diferentes valores de pH e concentrações de sódio e silicato solúvel. Registraram-se valores de pH de 3,65 a 6,61; concentrações de sódio desde 1,6 até 18 mg.L^{-1} ; e silicato reativo com vista a proceder posterior apreciação hidrogeoquímica, revelaram teores mais razoáveis em profundidades maiores (60m) de 7,73 mg.L^{-1} SiO_2 em Velha Timboteua e mínimo de 0,04 mg.L^{-1} SiO_2 no poço de captação em Apeteua, profundidade de 18m.

Os resultados obtidos foram utilizados na montagem do diagrama constante da figura 54.

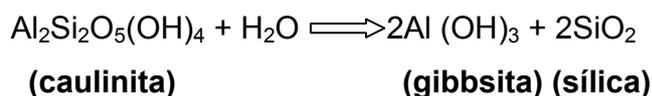
A interpretação desse diagrama leva a inferir sobre os minerais dominantes nos aquíferos considerados. É evidente o domínio de terrenos ricos em caulinita no ambiente geológico adjacente a essas águas subterrâneas, ou seja, o argilomineral dominante no aquífero.

São bem conhecidos os argilominerais componentes do pacote sedimentar típico da mesorregião Nordeste do Pará representados por material do Quaternário (sedimentos holocênicos e pleistocênicos) e do Terciário (Grupo Barreiras e Formação Pirabas). Aí dominam nas frações argila, silte e areia, o quartzo, a caulinita, a illita, a montmorillonita, dependendo do porcentual de cada fração granulométrica e da natureza geológica (notadamente fácies) do terreno (Almaraz, 1979; Trunckenbrodt, 1981; Lima *et al.*, 1983; Otobo, 1995; Souza, 1996).

Nos perfis mais superficiais, constituídos de material predominantemente areno-argiloso do Pós-Barreiras e de argilitos, siltitos e arenitos do Grupo Barreiras dominam o quartzo e a caulinita (Otobo, 1995; Souza, 1996). Nos perfis característicos da Formação Pirabas podem dominar a caulinita ou montmorillonita juntamente com o quartzo (Almaraz, 1979; Trunckenbrodt, 1981).

Certamente as amostras que apresentam um certo deslocamento para o campo de estabilidade de montmorillonita estão associadas a aquíferos de Pirabas. Com efeito, tais amostras referem-se às águas de poços tubulares de Maracanã (poço perfurado pela FUNASA) e vila de Penha (figura 54).

Uma única amostra (Apeteua, captação) apresenta-se situada no campo de estabilidade da gibbsita. É compreensível que a gibbsita resulte de ambientes com alto grau de lixiviação resultante do intemperismo químico de argilominerais como a caulinita, a illita e a montmorillonita. Para o caso da caulinita, representa-se (Loughnan, 1969; Berner & Berner, 1995):



As relações de estabilidade, que permitem a montagem desses diagramas, dizem respeito aos sistemas, tais como $\text{K}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$, a 25° C e 1 atm de pressão, e $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$, nas mesmas condições, têm sido registradas na literatura científica (Loughnan, 1969; Berner & Berner, 1995).

A figura 54 bem demonstra que, a julgar pelas concentrações de ácido ortossilícico, de íons de sódio e hidrogênio, o enquadramento dessas águas recairá no campo de estabilidade da caulinita, preferencialmente, fato este coerente com os resultados esperados.

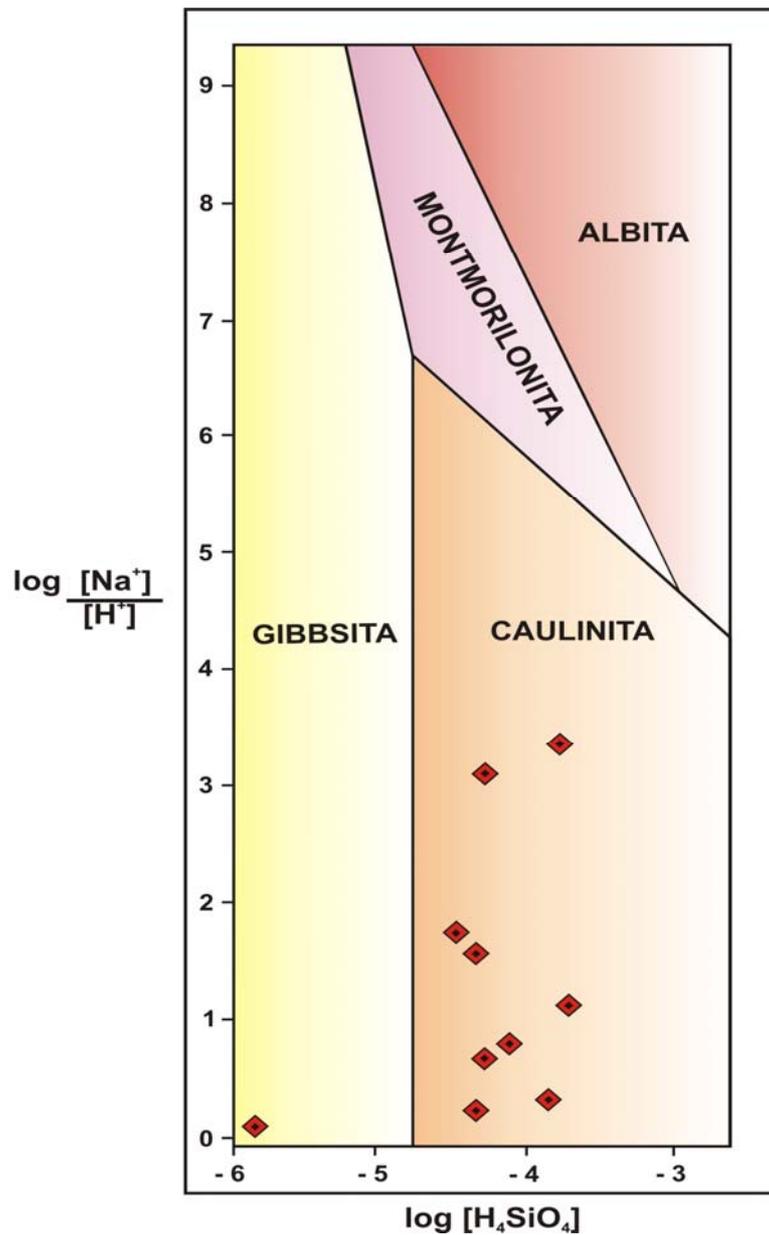


Figura 54 – Diagrama de estabilidade das águas subterrâneas selecionadas da bacia hidrográfica do rio Maracaná (baseado em modelo modificado de Loughnan, 1969).

4.2 – ÁGUAS SUPERFICIAIS

4.2.1 – Distribuição de dados analíticos: tendências segundo a localização geográfica, a sazonalidade e a dinâmica de marés

Foram selecionadas três áreas fisiográficas distribuídas em três pontos (1, 2 e 3) representativos de áreas de nascentes do rio Maracanã (igarapé do Tubo, rio Jeju e rio Tacioteua, respectivamente); três pontos de coleta (4, 5 e 6) indicativos de área de transição (portos do Caju e Livramento, no rio Maracanã, e rio Peixe-Boi, este sob visível influência de maré, em Velha Timboteua); e quatro pontos na área estuarina (rio Maracanã em Santarém Novo (7), situado à montante da baía, na própria baía de Maracanã, em frente à cidade de mesmo nome (8), na porção leste (Derrubada, 9) e a Nordeste da baía (Penha, 10), à saída da baía para o oceano).

Na tentativa de compreender os mecanismos de variação e transporte de eletrólitos e nutrientes selecionados nas duas áreas limites e sua transição nas áreas intermediárias, selecionou-se representar em figura uma distribuição preliminar de parâmetros físicos, físico-químicos, químicos e hidrobiológicos (figura 55), enfatizando-se, tanto quanto possível, a exemplificação de valores máximos e mínimos registrados durante dois períodos sazonais contrastantes (estiagem de 2002 e chuvoso de 2003).

As temperaturas observadas apresentam nítidas características de ambientes aquáticos sob influência da linha do Equador, ou seja, com valores numéricos em torno de 28°C. Na área de nascentes, sob influência de cobertura vegetal, as águas são um pouco mais frias (registraram-se mínimos às proximidades de 21°C, no período chuvoso); com o aumento de incidência da radiação solar, notadamente, entre 10 a 15 horas e com menor influência de cobertura vegetal, registrou-se temperaturas mais elevadas, podendo atingir pouco mais de 31°C.

Observando-se os pontos situados nas áreas de nascentes, destaca-se, na estiagem, máximos em pH (6,8), condutividade elétrica (59,5 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), cor (24 UC), STD (28 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$), MPS (3,6 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) e matéria orgânica (4,1 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$), enquanto no período chuvoso aparecem mínimos em pH (4,8), condutividade elétrica (21 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) e STD (10 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) associados a valores máximos para os outros parâmetros selecionados. Nesse conjunto de resultados o que se infere é que a estiagem provoca um aumento de concentração de eletrólitos, enquanto que no período chuvoso há incremento de

coloração (máximo de 165 UC) compatível com o aumento de matéria orgânica (máximo em $5,8 \text{ mg.L}^{-1}$), MPS (máximo em $23,2 \text{ mg.L}^{-1}$), turbidez (14,3 UNT) e acidez (pH diminui para 4,8).

Com efeito, a lixiviação de terrenos, na área de influência da bacia, durante o período das chuvas mais abundantes, provoca o arraste de matéria orgânica colorida (dissolvida, particulada), predominantemente húmica, fazendo aumentar a acidez, com liberação de ácidos orgânicos livres (Aiken *et al.*, 1985), fato esse muito comum em rios amazônicos (Sioli, 1967; Leenheer, 1980; Lima & Kobayashi, 1988). No entanto, o aumento apreciável de precipitação pluviométrica (índices anuais, em geral, acima de 2500mm) causa efeito diluidor, registrando-se um mínimo de eletrólitos (STD em 10 mg.L^{-1}).

Ao contrário, nas áreas estuarinas, sob competição entre regimes de chuvas e estiagem, e maior ou menor influência dos componentes hidrodinâmicos fluviais e oceânicos, deve-se levar em conta a dinâmica das marés. Esse efeito pode ser bem exemplificado no rio Maracanã, em Santarém Novo. Na estiagem, enquanto na maré máxima, sob influência de eletrólitos oriundos da penetração de águas oceânicas, a condutividade elétrica chega ao máximo de $1527 \mu\text{S.cm}^{-1}$, no período chuvoso desce para $34,4 \mu\text{S.cm}^{-1}$ registrado sob maré mínima e durante a vazante, revelando nítida influência de águas fluviais, com fluxo no sentido da foz.

As águas estuarinas e marinhas são bem caracterizadas pelo parâmetro denominado salinidade. A salinidade identifica de forma evidente o ambiente estuarino, estando os valores mais elevados na parte mais externa do estuário (Chester, 1990). Máximos registrados em 18,4‰, 9,6‰ e 9,1‰ na baía de Maracanã e Santarém Novo, à montante da baía, respectivamente.

A matéria orgânica presente em ambientes estuarinos pode estar relacionada a MO dissolvida, a MO particulada e a MO oriunda de diferentes ambientes, tais como continental, marinha e do próprio estuário. A origem continental se dá principalmente através do transporte de compostos húmicos, derivados da decomposição de restos de plantas e animais. A matéria orgânica de origem marinha é representada, principalmente, pelo plâncton, podendo ser avaliada através da determinação da clorofila-a, a qual constitui aproximadamente 1 a 2% da massa seca do material

orgânico em toda alga planctônica e é, por essa razão, o indicador preferido para estimar a biomassa devida a algas (Chester, 1990; APHA, 1995). A presença de ambientes de mangue, ricos em matéria orgânica, em ecossistemas estuarinos é responsável pela origem estuarina (Chester, 1990).

Por sua vez, na baía de Maracanã, durante forte estiagem, sob influência de águas oceânicas e dinâmica de manguezais, a concentração de matéria orgânica atinge um máximo registrado em $7,4 \text{ mg.L}^{-1}$ durante o início de vazante. Essa situação parece compatível com o teor de clorofila-a, que atinge o máximo de $44,0 \text{ mg.m}^{-3}$.

Como seria de se esperar, a transparência dessas águas é mais elevada na área de nascentes; ao contrário, em áreas estuarinas, sob influência da dinâmica de marés nos manguezais, a transparência diminui sensivelmente. Como a turbidez se mostrava um parâmetro mais realista para comparação entre esses ambientes aquáticos, procederam-se leituras mais freqüentes dessa variável. Em geral, nas águas estuarinas, sob turbidez às proximidades de 150 UNT, a transparência é da ordem de 0,50m. Deste modo, como nas águas estuarinas, mesmo sob influência de manguezais, a transparência aumenta com a salinidade, a turbidez acompanha esse comportamento.

A distribuição de clorofila-a em águas costeiras, sob influência de grandes rios, tem merecido atenção de pesquisadores (Degens *et al.*, 1991).

No período chuvoso, embora haja contribuição para a matéria orgânica de origem fluvial (águas interiores) e estuarina (oriunda da dinâmica de manguezais), levando a uma concentração de $6,5 \text{ mg.L}^{-1}$, o teor de clorofila-a decresce apreciavelmente para abaixo de $3,0 \text{ mg.m}^{-3}$ em Santarém Novo, à montante da baía, situação essa contrastante com as águas da baía de Maracanã (em Derrubada), cujo teor de matéria orgânica (pouco acima de $3,0 \text{ mg.L}^{-1}$) parece mais associado com a concentração de clorofila-a (pouco acima de $28,8 \text{ mg.m}^{-3}$), sob maior influência de águas oceânicas.

Nas áreas de transição, com pontos de amostragem sob influência mínima de fluxos de maré, no rio Maracanã (como se observa nos portos do Caju e Livramento), e sob efeitos de maré mais sensíveis (como é o caso do rio Peixe-Boi em Velha Timboteua), percebe-se que há transição entre os valores dos parâmetros selecionados. Destaque-se, por exemplo, a elevada acidez e baixa condutividade (com mínimos em pH 4,8 e $21,2 \text{ }\mu\text{S.cm}^{-1}$, respectivamente) nos pontos sem influência de

maré, no período de chuvas mais abundantes, enquanto que no rio Peixe-Boi a condutividade pode atingir $52,4 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Também a coloração das águas atinge máximos em 173 UC (áreas mais distantes de manguezais) e acima de 250 UC (no rio Peixe-Boi, mais próximo da área de manguezal), índices esses compatíveis com o teor de matéria orgânica (máximo em $5,7 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$).

A capacidade de complexação de íons metálicos, notadamente Fe^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+} , Ca^{2+} e Mg^{2+} , por substâncias húmicas do solo é particularmente notável em podzóis (Stevenson, 1982; Aiken *et al.*, 1985; Thurman, 1986). Esses tipos de solo desenvolvem-se em condições climáticas (quente, úmido) e biológicas (ocorrência de fungos e bactérias, notadamente), que possibilitam mobilização e transporte de apreciáveis quantidades desses íons ocorrentes na camada orgânica de liteiras de floresta para o subsolo (Stevenson, 1982; Aiken *et al.*, 1985; Thurman, 1986). Sioli e Klinge (1962) e Klinge (1967) também observaram o fenômeno em áreas de capoeira e vegetação rasteira na Amazônia, nas quais os podzóis permitiram que águas subterrâneas percolantes transferissem coloração característica para o rio Negro (AM).

Tanto a lixiviação desses solos como as águas subterrâneas percoladas das nascentes para o fluxo fluvial transportam esses componentes húmicos capazes de produzir coloração nas águas superficiais adjacentes (Leenheer, 1980; Stevenson, 1982; Thurman, 1986).

Segundo dados coletados por Thurman (1986), a maior parte da matéria orgânica presente nessas águas naturais apresenta-se dissolvida. Exemplo clássico de quantificação de C orgânico dissolvido, o estudo de Leenheer (1980) registrou concentração máximo da ordem de, aproximadamente, $12 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ no rio Negro (AM), sendo $5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ a média de C orgânico dissolvido para rios em geral (Thurman, 1986).

Observações de campo mostram notável ocorrência de podzóis e areias quartzosas em terrenos situados em áreas de nascentes, seja nos arredores de Santa Maria do Pará (igarapé do Tubo e rios Jeju e Tacioteua), de Santarém Novo (principalmente Peri-Meri e os igarapés Santo Antônio, Trombetas e Pacujá), de Santa Luzia (nascentes do rio Chocaréu, no “balneário” Fortaleza) e arrabaldes de Maracanã (igarapés Apeteua e rio Escuro), que exibem coloração característica de infusão de chá (variando do amarelo até castanho-amarelado ou castanho-avermelhado, dependendo

da concentração de extratos vegetais e material húmico dissolvido), e que oferecem valores expressivos de cor.

Essas considerações sobre coloração e matéria orgânica se encontram em conformidade com os estudos de Sioli (1967), de Leenheer (1980) e de Lima & Kobayashi (1988) para as águas superficiais amazônicas.

As concentrações de oxigênio dissolvido são geralmente uma imagem especular da concentração de nutrientes, sendo um parâmetro indispensável nos estudos da atividade fotossintetizadora (Gross, 1990).

A associação entre oxigênio dissolvido (OD) e a transparência é bem conhecida. Em áreas de nascentes, onde há influência de coloração nessas águas, há tendência à diminuição de oxigênio dissolvido. Por sua vez, em águas estuarinas aqui estudadas, observou-se que, sob maior turbidez, os valores de OD diminuam (mínimo registrado em $4 \text{ mg.L}^{-1}\text{O}_2$), notadamente sob maré mínima; no entanto, com a hidrodinâmica da entrada de águas oceânicas nessas áreas estuarinas, a circulação das águas promove também a entrada de oxigênio no meio aquático. Os valores observados mostram, aparentemente, maior tendência para aumento de OD, no período chuvoso, com a recarga para a bacia, enquanto que, no período de maior estiagem, com a entrada de águas oceânicas nas áreas estuarinas (máximo registrado em $6 \text{ mg.L}^{-1}\text{O}_2$).

Visando comparar parâmetros destinados ao mesmo fim, registrou-se leituras de Eh para essas águas em estudo. Com efeito, o monitoramento de águas naturais através da determinação da concentração de oxigênio dissolvido é bastante difundido. Em geral, essas concentrações são obtidas pelo método titrimétrico de Winkler ou por leituras em potenciômetro usando eletrodos especiais (APHA, 1995). A estreita associação entre OD e Eh tem sido ressaltada por diversos pesquisadores (Stumm & Morgan, 1995; Garrels & Christ, 1965; Baas Beeking *et al.*, 1960). Além disso, a utilização de leituras de Eh (eletrodos redox) simplifica os trabalhos de campo e laboratório. Registrou-se valores mínimos para essas águas às proximidades de +183 mV (área de nascentes) e +139 mV (para áreas estuarinas sob influência da dinâmica das marés) e máximos em torno de +302 mV (área de nascentes) e +268 mV (para áreas estuarinas).

A produtividade biológica devida ao fitoplâncton ocorrente em águas costeiras adjacentes à foz do rio Amazonas tem sido pesquisada desde a década de 1960. Com efeito, às proximidades da costa ocorrem significativas concentrações de flora de diatomáceas (notadamente) e dinoflagelados. Deste modo, a coleta de material em suspensão, nessas águas costeiras, pode conter apreciáveis concentrações de carapaças de diatomáceas, de acordo com as observações de Milliman *et al.* (1974), DeMaster *et al.* (1986), entre outros.

Espera-se que os efeitos produzidos pelo material particulado em suspensão nas águas estuarinas da bacia do rio Maracanã gerem processos geoquímicos envolvendo a produção biológica devida ao fitoplâncton, do mesmo modo como acontece nas águas costeiras adjacentes à foz do rio Amazonas. Desta feita, serão também as diatomáceas responsáveis por variação do teor de silicato nessas águas, envolvendo processos de absorção pelo fitoplâncton?

Nas águas interiores, ricas em material húmico e elevada acidez não se detectou concentrações de clorofilas. Nessas áreas de nascentes dominam microrganismos que ora tornam-se alimento para cadeia trófica, ora são capazes de produzir matéria orgânica degradada. Em águas amazônicas interiores são pouco os estudos envolvendo microbiologia aquática (Wissmar *et al.*, 1981). Bactérias e fungos heterotróficos agem principalmente na matéria orgânica, promovendo o retorno de nutrientes inorgânicos ao ambiente aquático. Embora a biomassa microbiana seja quantitativamente pouco expressiva, seu papel ecológico é de extrema importância na manutenção da biodiversidade e da cadeia trófica (Esteves, 1988).

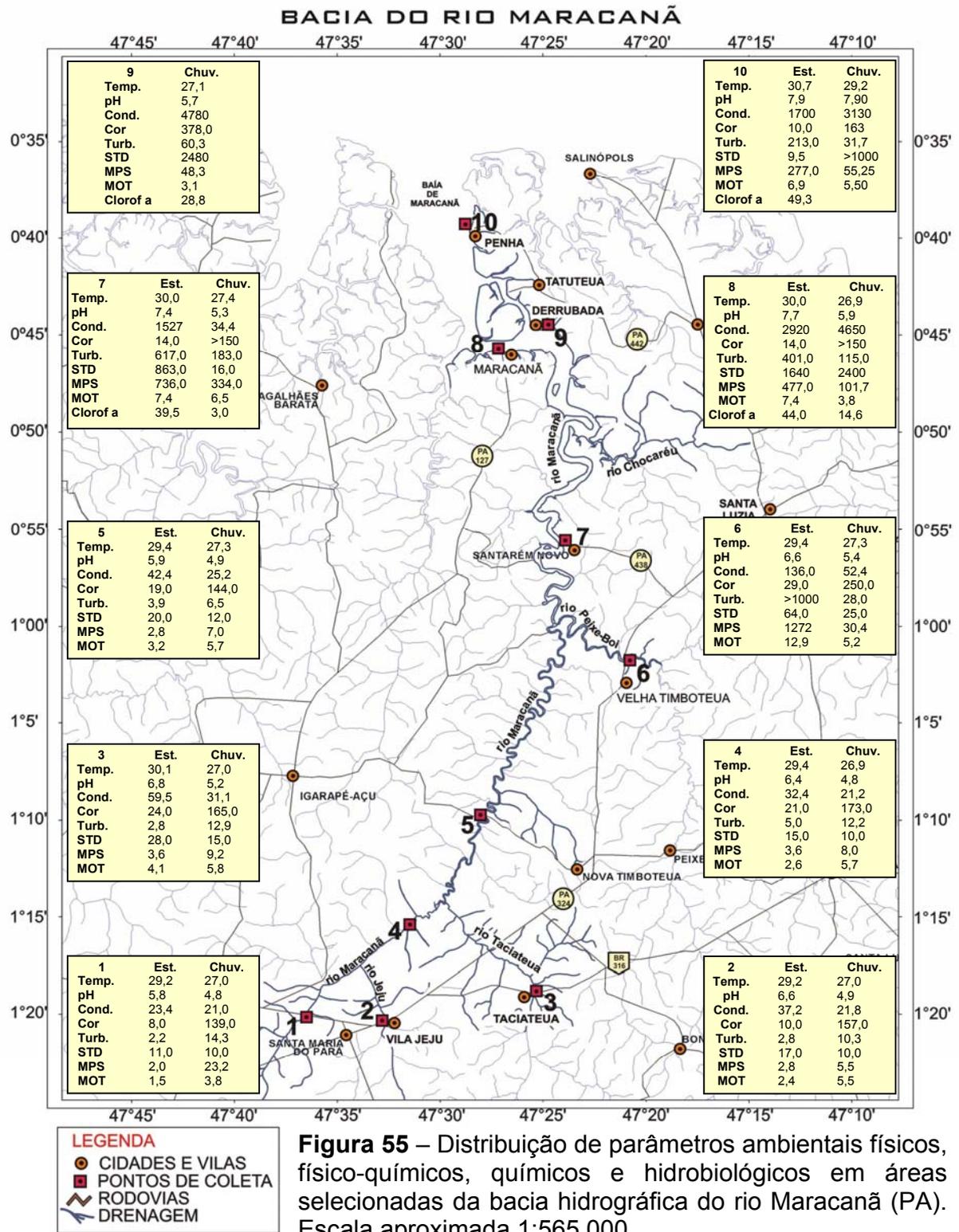


Figura 55 – Distribuição de parâmetros ambientais físicos, físico-químicos, químicos e hidrobiológicos em áreas selecionadas da bacia hidrográfica do rio Maracanã (PA). Escala aproximada 1:565.000.

Obs.: Est. (período de estiagem de 2002); Chuv. (período mais chuvoso de 2003); Temp. (temperatura em °C); Cond. (condutividade elétrica em $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$); cor (verdadeira) APHA; Turb. (turbidez em UNT); STD (sólidos totais dissolvidos em $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$); MPS (material particulado em suspensão em $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$); MOT (matéria orgânica total em $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$); Clorof.-a (clorofila-a em $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$).

4.2.2 – Diagrama Eh-pH e caracterização química do ambiente secundário

Na tentativa de interpretar o ambiente geoquímico presente e os processos que influenciam o quimismo dessas águas superficiais, buscou-se representar tais situações por diagrama Eh-pH mostrado na figura 56.

Nas águas superficiais, o potencial redox está diretamente relacionado com a introdução de oxigênio por circulação, as características geológicas do terreno e o consumo de oxigênio mediante decomposição de matéria orgânica, dentre outras situações (Levinson, 1974; Stumm & Morgan, 1995; Berner & Berner, 1995).

Registraram-se na área de nascentes, mínimos às proximidades de +0,18 volt (Tacioteua) e máximos em +0,24 volt (igarapé do Tubo); na área de transição, mínimos em +0,20 (rio Peixe-Boi) e máximos em +0,25 (rio Maracanã, porto Livramento) e nas áreas estuarinas, mínimos de +0,11 (vila de Penha) e máximos em +0,30 (rio Escuro) em ambos períodos sazonais.

Os valores menos expressivos de Eh estão relacionados a uma produção de matéria orgânica mais significativa controlada pela disponibilidade de nutrientes, decomposição por microorganismos (e, portanto subsequente consumo de oxigênio), sobretudo nas áreas estuarinas onde a dinâmica é bem mais acentuada do que nas nascentes. Os valores mais elevados estão associados a ambientes em que a velocidade de corrente e a turbulência são bem maiores, favorecendo a aeração dessas águas.

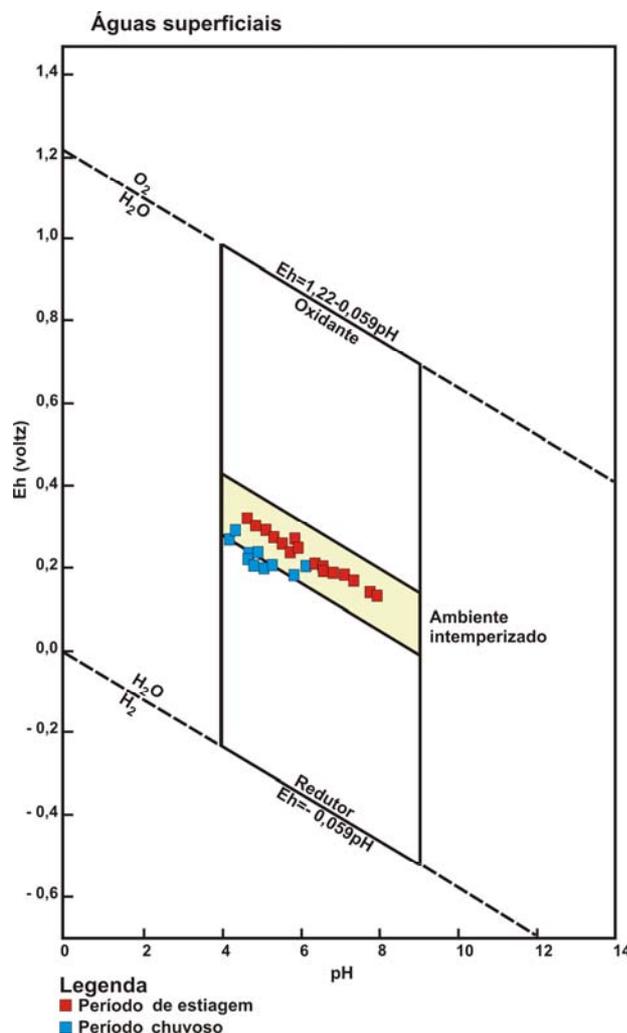


Figura 56 – Diagrama Eh-pH, águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Maracanã; período de estiagem de 2002 e período chuvoso de 2003.

4.2.3 – Aspectos hidrodinâmicos: marés, correntes de maré, ambiente de deposição

Em áreas de nascentes, as águas interiores exibem características tais onde dominam a matéria orgânica dissolvida e a carência de eletrólitos, sob drenagem ainda pouco pronunciada, típica de córregos pequenos e médios (vazões de ordem de $30\text{m}^3/\text{h}$, estiagem e $40\text{m}^3/\text{h}$, no período chuvoso). Na área de transição já se manifesta influência de maré, onde domina a matéria orgânica (dissolvida, particulada) e contribuição algo mais pronunciada de eletrólitos, sob drenagem já algo pronunciada, típica de rios de médio porte (vazões da ordem de $60\text{m}^3/\text{h}$, estiagem e $70\text{m}^3/\text{h}$, no período chuvoso). Na área estuarina, aparecem duas sub-áreas marcantes: uma, à

montante da baía de Maracanã, e outra, na própria baía, onde se manifesta ocorrência de matéria orgânica de origem continental e marinha, aportes consideráveis de eletrólitos e presença, mais ou menos pronunciada, de clorofila, sob drenagem intensa, sujeita aos efeitos de maré, aí incluídos velocidade de corrente de maré, amplitude, ventos e ondas.

Esses aspectos hidrodinâmicos podem esclarecer parte dos fenômenos observados nessas áreas estuarinas do litoral paraense dominado por macromarés, efeitos de sazonalidade e ocorrência de geomorfologia tipificada por manguezais.

As marés desempenham importante papel no transporte sedimentar no litoral paraense e sua influência se faz sentir à cerca de 8 a 10 milhas da linha de costa (BRASIL. MARINHA DO BRASIL, 1994). No Nordeste do Pará são classificadas do tipo semidiurna, com amplitude máxima de 5,5m e durante o período de sizígia com amplitude média de 4,8m e, na quadratura, atingindo cerca de 2,5m (BRASIL. MARINHA DO BRASIL, 1994).

Nas áreas estuarinas (à montante da baía e na própria baía de Maracanã) nitidamente observa-se canais de maré conduzindo águas mais salinas para o continente, bem como sedimentos em suspensão, que se elevam paulatinamente a partir dos meses de maior pluviosidade (janeiro a abril), atingindo valores máximos de salinidade nos meses de maior evaporação, 18,4‰, 9,6‰ e 9,1‰ na baía e à montante (Santarém Novo) e máximos de MPS registrados em 736,00 mg.L⁻¹ e 477,0 mg.L⁻¹ à montante da baía (Santarém Novo) e na própria baía, respectivamente.

Em sua penetração em direção ao continente, as águas salgadas de superfície, encontram o fluxo contrário da água doce, contribuindo para diminuir os valores da salinidade ao longo do rio Maracanã, em todos os períodos do ano. Aparentemente acompanhando as variações da salinidade, a distribuição das espécies botânicas delinea uma faixa de transição definida entre a água doce e a salgada. As plantas constituem um excelente indicador ambiental e as áreas de transição entre o mangue e a planície fluvial inundável (várzea).

As principais correntes que atuam no litoral paraense são as correntes de maré e, secundariamente, as correntes litorâneas. As primeiras, ao atingirem suas velocidades máximas, direcionam-se para E-NE na vazante, enquanto que na enchente, projetam-

se no sentido W-SW (BRASIL. MARINHA DO BRASIL, 1994), constituindo-se em correntes de fluxo e refluxo que se formam principalmente no interior dos estuários e canais de maré. As velocidades máximas ocorrem durante o período de sizígia e atingem 2,8 nós (1,43 m/s), enquanto que as velocidades mínimas são registradas 1 hora antes da preamar, não ultrapassando 2,2 nós (Silva, 1998).

Nessas condições, o estuário do rio Maracanã é formado por extensas planícies lamosas, onde se desenvolvem manguezais, e planícies arenosas que envolvem o canal estuarino sob ação das marés, correntes fluviais e secundariamente por ondas.

A distribuição de sedimentos no interior do estuário de Maracanã é muito variável, refletindo condições hidrodinâmicas e processos particulares de transporte. Dessa forma, observou-se uma série de cordões arenosos intercalados a sedimentos lamosos indicando variações no nível de energia hidrodinâmica, um bom exemplo dessa variação é a ilha de Cumaru em frente a cidade de Maracanã onde provavelmente uma barra arenosa foi colonizada e transformada em uma ilha de manguezal.

4.3 – SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO

4.3.1 – Identificação de argilominerais dominantes e sua ocorrência em sedimentos em suspensão

É fato bem conhecido que a sedimentação pode ser terrígena ou carbonática. Nos sedimentos terrígenos predominam feldspatos, micas e argilominerais; nos sedimentos carbonáticos, os carbonatos e acessórios como sulfatos, fosfatos, nitratos, haletos (Chester, 1990; Berner & Berner, 1995).

No litoral brasileiro há exemplos de sedimentação predominantemente carbonática na região Nordeste (Sugio, 1973; Coutinho, 1981). Na plataforma continental do Amazonas, por sua vez, há predominância de sedimentação terrígena, por influência das descargas do rio Amazonas (Gibbs, 1967), mas há também manifestação de sedimentação carbonática, notadamente na porção mais externa (Nittrouer & De Master, 1986 e suas referências pertinentes ao assunto).

Na baía de Maracanã afloram sedimentos da Formação Pirabas. Na vila de Quarenta de Mocooca, por exemplo, lajedo de dimensão algo apreciável (aproximadamente, 40 a 60m de comprimento e 10 a 20m de largura) aparece em maré vazante (ver fotografia, anexo E).

Considerando que o calcário da Formação Pirabas tem sua área de influência (depósitos apreciáveis em Capanema) na mesorregião Nordeste do Pará, identificado em subsuperfície em numerosos perfis litológicos de poços tubulares destinados à captação de água subterrânea, é de se esperar manifestação de sedimentação carbonática ao longo do curso do rio Maracanã. No entanto, nos sedimentos em suspensão coletados para este estudo, não se identificou ocorrência de carbonato, considerando os resultados obtidos pela interpretação de difratogramas (figura 57).

Enquanto na área de nascentes do rio Maracanã, graças às características dominantes de rios e igarapés de “água preta”, de acordo com a classificação de Sioli (1967), não se obteve material residual suficiente, após filtração sob membrana de 0,45 μm . Os efeitos erosivos continentais, que podem afetar a quantidade de material transportado em solução, não são suficientes para produzir resíduo ponderável no filtro, por meio do volume de amostra coletado. Deste modo, as águas coletadas no igarapé do Tubo (o próprio igarapé Maracanã) e nos rios Jeju, Maracanã (nos portos do Caju e Livramento) e Tacioteua, situados em área de nascentes, transportam concentrações mínimas de material particulado em suspensão, em contraposição com os pontos de coleta situados em área sob influência de maré. Semelhantemente aos demais pontos supracitados, as águas do rio Chocaréu (“balneário” Fortaleza) e dos igarapés Apeteua e rio Escuro, típicas de rios de ‘água preta’, também transportam mínimas concentrações de material em suspensão.

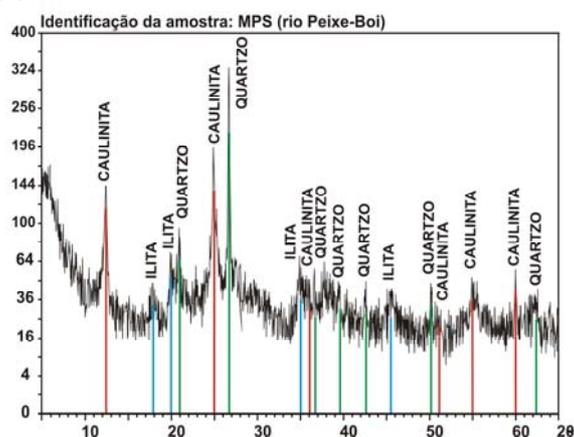
Nos pontos sob influência de maré, movimenta-se material particulado em suspensão, sob os efeitos de áreas onde se desenvolvem manguezais. São as situações observadas no rio Peixe-Boi (em Velha Timboteua) e no rio Maracanã (em Santarém Novo, Pauxis, Pedrinhas, Boitento e nos demais pontos de coleta na baía de Maracanã).

Os sedimentos em suspensão (holocênicos), que percorrem a calha estuarina (notadamente) são, aparentemente, argilosos, argilo-arenosos e areno-argilosos, de coloração amarelada, castanha, acizentada e cinza-esverdeada, de acordo com o ponto de coleta e influências de matéria orgânica diferenciada, planctônica, bentônica e húmica. Nessa fração fina, obtida por filtração em membrana 0,45 μm , domina o quartzo, a caulinita e a illita nas cinco amostras selecionadas (mais representativas); em

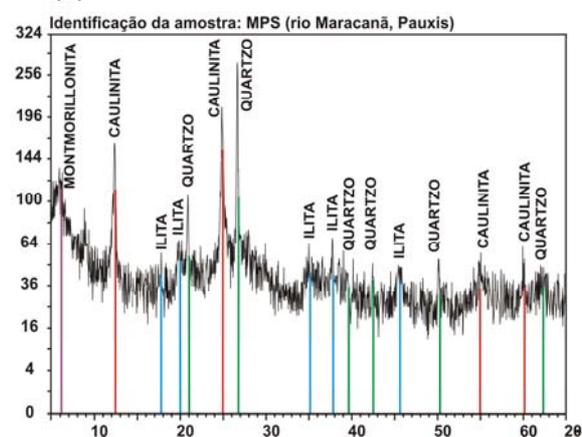
certas situações aparece a montmorillonita em proporções menores; em outras, ocorre a illita.

O quartzo foi identificado, principalmente, pelas linhas 3,34Å, 4,246Å e 2,46 Å; a caulinita, pelas linhas 7,12Å, 3,57Å e 4,41Å. As linhas 16,65Å e 14,72Å foram associadas à ocorrência de interestratificados illita-montmorillonita. As linhas 9,85 Å, 5,02 Å e 10,06Å serviram para confirmar ocorrência de illita (figura 57).

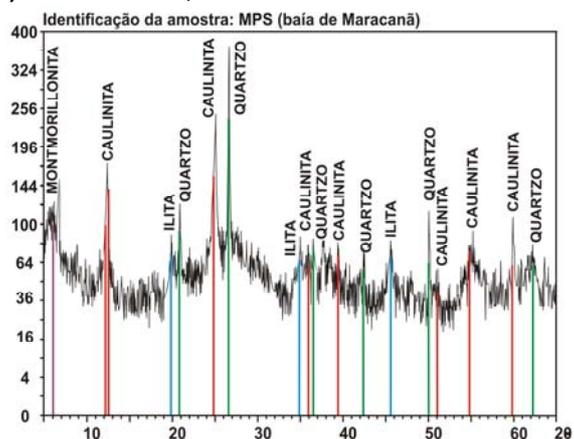
(a) rio Peixe-Boi



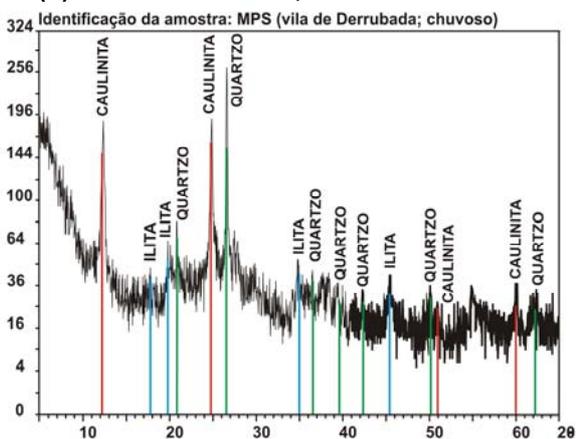
(b) rio Maracanã, Pauxis



(c) rio Maracanã, em frente à falésia da cidade



(d) baía de Maracanã, vila de Derrubada



(e) baía de Maracanã, vila de Penha

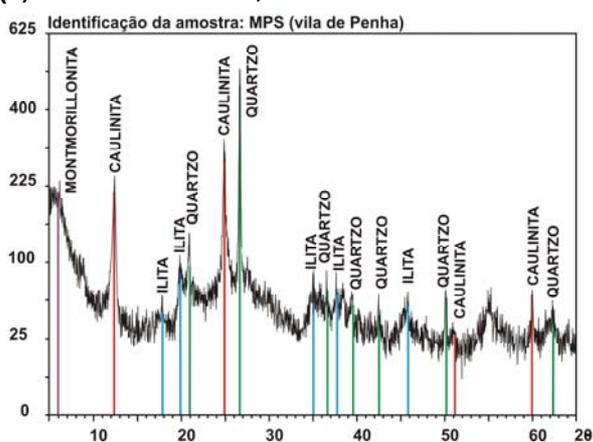


Figura 57 – Difrátogramas das amostras selecionadas (material particulado em suspensão). Amostras (a) rio Peixe-Boi; (b) rio Maracanã, Pauxis; (c) rio Maracanã, em frente à falésia da cidade, (d) baía de Maracanã, vila de Derrubada e (e) baía de Maracanã, vila de Penha.

Os resultados aqui obtidos bem confirmam as características descritas para águas estuarinas e costeiras sob influência da foz do rio Amazonas. Os trabalhos de Gibbs (1967), às proximidades e na foz do rio Amazonas, mostram que 85 a 95% dos sedimentos transportados em suspensão pelo rio Amazonas são silte + argila (material lamoso), sendo que acima de 80% são provenientes dos Andes; a mineralogia dominante nesses sedimentos coletados por Gibbs (1967) são quartzo, caulinita, illita, montmorillonita e feldspatos. Nas águas costeiras adjacentes à foz do Amazonas, a concentração de sedimentos em suspensão varia de 100 a 400 mg.L⁻¹ (Meade *et al.*, 1979), e diminui sensivelmente quando aumenta a salinidade (Nittrouer & De Master, 1986 e suas referências pertinentes ao assunto).

Deste modo, infere-se que a baía de Maracanã (desde a sua montante, à altura de Santarém Novo até às proximidades de Penha) representa um sugestivo modelo de sedimentação terrígena. Aí dominam sedimentos finos (lamosos), que se depositam e sustentam extensos manguezais. A influência fluvial é marcante nessa sedimentação. Além disso, observações de campo mostram que essa influência fluvial exerce acentuado controle sobre a circulação das águas costeiras. Somente na orla litorânea, sob nítida influência de águas marinhas, desenvolvem-se extensas praias arenosas e campos de dunas; são exemplos significativos as praias de Mocooca e das ilhas de Maiandeuá (Algodoal) e do Marco.

4.3.2 – Ocorrência e quantificação de matéria orgânica

Os clássicos trabalhos de Sioli & Klinge (1962) e Klinge (1967) mostraram que as águas subterrâneas, que drenam os solos podzólicos, são fonte primária de rios de “água preta”. Por sua vez, a coloração dessas águas depende da ocorrência de materiais orgânicos cujas propriedades físicas e químicas são semelhantes às das substâncias húmicas ocorrentes no solo (Leenheer, 1980; Aiken *et al.*, 1985).

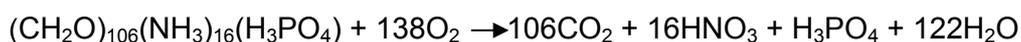
O conhecido estudo de Leenheer (1980), sobre origem e natureza de solutos orgânicos naturais em águas tropicais da Amazônia, levou subsídios à compreensão de processos geoquímicos envolvendo a matéria orgânica. Nesse estudo de Leenheer (1980), a matéria orgânica (dissolvida e particulada), transportada por rios de “água preta”, afluentes do Amazonas, exibem concentrações apreciáveis. Para o rio Negro

(AM), os trabalhos de Leenheer (1980) levaram a concentrações de carbono orgânico dissolvido de ordem de $12,0 \text{ mg.L}^{-1}$ (sob pH 4,2 e condutância específica de $12 \text{ }\mu\text{S.cm}^{-1}$).

Neste estudo, as colorações características das águas em áreas de nascentes da bacia do rio Maracanã (com índices máximos da ordem de 173 UC) tipificam essas águas como rios de “água preta”. Deste modo, infere-se que a matéria orgânica transportada para as áreas de transição (notadamente no rio Peixe-Boi, em Velha Timboteua) e estuarina (à montante da baía, em Santarém Novo, ou na própria baía de Maracanã, nos diversos pontos de coleta), seja de natureza predominantemente húmica.

Por sua vez, nas águas estuarinas (à montante da baía e na própria baía de Maracanã), sob forte influência de manguezais, há sensível aumento de coloração e de concentração de matéria orgânica (figura 55).

Os processos de decomposição da matéria orgânica sob ação de bactérias e em presença de oxigênio levam à produção de CO_2 e de nutrientes como nitrato (NO_3^-) e fosfato (PO_4^{3-}) em camadas mais superficiais; o processo de desnitrificação é também provocado por bactérias na matéria orgânica nitrificada resultando na redução de NO_3^- em N_2 ou N_2O (Song & Müller, 1999).



Em solos e sedimentos ricos em material húmico, praticamente toda a fração húmica encontra-se associada a argilominerais, provavelmente formando complexo metálicos (Stevenson, 1982; Forstner & Wittmann, 1983; Aiken *et al.*, 1985; Thurman, 1986). A geoquímica de sedimentos procura a compreensão de mecanismos relacionados com o intemperismo químico, a translocação de minerais em perfis (formação de podzóis, por exemplo) e as transformações diagenéticas envolvendo substâncias húmicas na formação de paleo-húmus (Berner, 1971, 1980; Thurman, 1986; Berner & Berner, 1995). A acumulação de material húmico pode levar, por exemplo, à formação de depósitos de turfa, que é um estágio mais recente do carvão mineral; nas turfas, o percentual de C orgânico varia, em geral, de 46,7 a 54,9 e a razão C/N, de 15,4 a 99,2 (Aiken *et al.*, 1985).

A tabela 4 apresenta resultados analíticos para o C orgânico, o N orgânico e valores para a razão C/N. Os percentuais de C orgânico (máximo de 3,52) mostram-se suficientemente distantes de uma acumulação correspondente ao de turfas, porém os valores para a razão C/N permitem considerações sobre diferentes estádios de maturação desses sedimentos em suspensão coletados na bacia hidrográfica do rio Maracanã.

Os quocientes aqui obtidos para C/N se estendem desde 9,17 até praticamente 158,27 mostrando diferentes estádios de maturação. No conjunto de amostras coletadas no rio Peixe-Boi (média de 9,17 para C/N), embora predomine compostos orgânicos não-nitrogenados, os compostos nitrogenados se mostram mais presentes em relação às demais coletas, evidenciando estágio de maturação mais recente, revelando presença de microfauna associada ao sedimento. Por outro lado, o quociente C/N de 129 revela domínio mais acentuado de compostos orgânicos não-nitrogenados, associados, certamente, aos resíduos de decomposição de complexos de lignina e celulose oriundos da vegetação.

Tabela 4 – Resultados analíticos para carbono orgânico, nitrogênio orgânico e razão C/N no MPS de águas superficiais selecionadas.

Pontos de coleta	Estiagem (2002)			Chuvoso (2003)		
	Carbono orgânico (%)	Nitrogênio orgânico (%)	C/N	Carbono orgânico (%)	Nitrogênio orgânico (%)	C/N
SUP ₆ (rio Peixe-Boi)	1,7410	0,0110	158,27	9,5300	1,0388	9,17
SUP _{7A} (rio Maracanã, Pauxis)	3,5244	0,1519	23,20	**	**	**
SUP ₇ (rio Maracanã, Santarém Novo)	1,9224	0,1142	16,83	8,1100	0,4158	19,50
SUP ₈ (baía de Maracanã); cidade	2,4131	0,1078	22,38	6,5700	0,0509	129,08
SUP ₁₀ (baía de Maracanã); Penha	2,8495	0,0456	62,49	**	**	**
SUP ₉ (baía de Maracanã); Derrubada	**	**	**	4,1700	0,1493	27,93

** não determinado

4.4 – CONSIDERAÇÕES GEOQUÍMICAS AMBIENTAIS E INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE OU DEGRADAÇÃO DO MEIO NATURAL

No que diz respeito à atmosfera da área fisiográfica aqui considerada, registraram-se predominância das condições naturais, apesar da observação de queimadas realizadas nessa área fisiográfica por conta de pequenos pecuaristas e agricultores; ventilação permanente, com ausência de fenômenos mais energéticos como ciclones ou semelhantes; ocorrência de chuvas abundantes em toda a área, produzindo situações de microclimas; e, aparentemente, não se registrou problemas mais graves relacionados com deficiência hídrica. Tais fatos evidenciam a predominância de condições naturais favoráveis ao desenvolvimento de atividades humanas.

Quanto à hidrosfera, uma densa rede hidrográfica, representada por numerosas nascentes e abundância de igarapés e rios menores, formando uma distribuição de fluxos direcionados para a calha do rio maior - o Maracanã; ocorrência de áreas de várzea permanentemente alagadas, mesmo em períodos de estiagem, representadas por campos contendo variedade de juncos usados por comunidades locais, exemplificadas nas margens do rio Maracanã, às proximidades do porto Livramento; o percurso dos fluxos levando a trechos cada vez mais caudalosos até atingir o oceano Atlântico através da baía de Maracanã, permitindo diversificação de ecossistemas e, conseqüentemente, de atividades humanas na busca de alimento.

A geoquímica das águas superficiais interiores, caracterizada por domínio de igarapés e rios de "águas pretas", nas áreas de nascentes, cuja influência maior resulta da composição química quantitativa de águas de precipitação pluviométrica e lixiviação de terrenos bastante intemperizados, sob floresta ou capoeira. Por sua vez, a geoquímica das águas estuarinas, caracterizadas pela intersecção entre ambientes aquáticos bem diferenciados, de transição entre terra e oceano, exibe maior riqueza e diversidade em relação às áreas de nascentes, intensificando os processos físicos, físico-químicos, químicos e hidrobiológicos resultantes da mistura de águas e dinâmica das marés. A geoquímica de águas subterrâneas confirma os fatos evidenciados pela abundância de chuvas e a densa rede hidrográfica; aparentemente, há grande disponibilidade hídrica subterrânea com água de razoável a excelente qualidade química.

A ocorrência de solos característicos, tais como latossolos e podzóis bem como de areias quartzosas, sob domínio de áreas remanescentes de floresta (tipo hiléia) e capoeira, assim como vegetação de campos (interiores), manguezais e campos de dunas e restingas (costeiras), permitindo diversificação de atividades (extração mineral e madeira, plantas terapêuticas, óleos comestíveis, agricultura de subsistência, desenvolvimento de trabalho agro-pastoril).

Na biosfera, a área fisiográfica de nascentes, apresenta-se com energia suficiente para manutenção da vida. A sazonalidade permite renovação, notadamente pela ciclagem de nutrientes, componentes do ciclo biogeoquímico, e de eletrólitos, capazes de possibilitar as transformações necessárias, sob ação de microorganismos autotróficos e heterotróficos. São esses organismos vivos os principais responsáveis pela liberação de nutrientes necessários aos primeiros estágios da cadeia trófica; os peixes, assim alimentados, são alimentos, por sua vez, para o homem da região, garantindo sustentabilidade. Já na área estuarina, com a intensificação dos processos resultantes da intersecção entre águas fluviais e oceânicas, a produtividade primária devida ao fitoplâncton se mostra bem evidente, resultando na ocorrência de alimentos diversificados - peixe, camarão, siri, caranguejo, ostra, mexilhão, sarnambi.

Os efeitos da ação antrópica, porém, podem se manifestar, aumentando a vulnerabilidade do meio ambiente. Embora as emissões gasosas sejam, comparativamente mais baixas às regiões metropolitanas mais densamente povoadas, é preciso registrar os efeitos nocivos de queimadas visando desmatamento. A poluição das águas já se faz sentir pelo acúmulo de lixo em áreas de nascentes nas principais cidades, vilas e localidades visitadas; além disso, é preciso disciplinar o uso de "balneários" públicos nessas áreas de nascentes, face à fragilidade desses ecossistemas (em geral, são igarapés, de capacidade restrita, recebendo, cada vez mais, maior densidade de banhistas); observou-se, ainda, que na construção de estradas, o trabalho mal feito leva ao represamento ineficiente das águas, produzindo pequenas e médias catástrofes. Nos portos do curso do rio já navegável os principais efeitos poluidores observados foram o derramamento de óleo lubrificante residual, ocupação desordenada às margens do rio (despejos sanitários para as águas fluviais) e erosão costeira, produzindo assoreamento e dificultando a navegação. Nas águas

subterrâneas, registraram-se os efeitos nocivos da locação e instalação inadequadas de poços tubulares para captação de águas para consumo público; tais águas (situações observadas em Maracanã, Santarém Novo, Nova Timboteua e Vila Nova) já apresentam características de degradação do meio natural. O uso indisciplinado do solo é representado, principalmente, pelo acúmulo de lixo em locais altamente vulneráveis (em geral, às proximidades de nascentes, nas praias e manguezais), pela ausência de esgotamento sanitário e ocupação desordenada em falésias (com despejos sanitários para a bala de Maracanã).

5 – CONCLUSÕES

Observações de campo mostram apreciáveis redes de drenagem (numerosos igarapés, nascentes, afluentes menores e rios principais), exuberância de vegetação em certas áreas fisiográficas (e, notadamente, manutenção de mata ciliar ao longo dos cursos de rios e igarapés), abundância de chuvas e aparente disponibilidade hídrica subterrânea (cuja qualidade e vulnerabilidade das águas foram aqui evidenciadas) são indicativos de sustentabilidade para o desenvolvimento regional disciplinado.

A vulnerabilidade dos aquíferos foi evidenciada em casos de poços tubulares mal instalados, bem como na seleção inadequada de áreas de captação reveladas pela identificação de intrusão de águas salobras. A aplicação da metodologia hidrogeoquímica mostrou-se indispensável nesta abordagem geoquímica ambiental.

Para as águas superficiais, nas áreas de nascentes, onde dominam águas ácidas sob intensa coloração castanho-avermelhada, que são características de áreas drenadas sob floresta, não se detectou concentrações de clorofila; é de se esperar, portanto, que a ciclagem de nutrientes ocorra por interferência de microorganismos aquáticos, já que estes desempenham importante papel no metabolismo desses ecossistemas, agindo não só na degradação da matéria orgânica como na remineralização da mesma.

Nessas áreas de nascentes, as concentrações de matéria orgânica (nessas águas coloridas ácidas) se estendem desde 1,5 até às proximidades de 5,8 mg.L⁻¹, valores esses tão característicos do ambiente amazônico; considerando que praticamente não se obteve resíduo, após filtração em 0,45µm, considera-se que toda essa matéria orgânica seja, predominantemente, dissolvida, em contraposição à matéria orgânica particulada que se apresenta em áreas sob influência de lixiviação de manguezais.

Em áreas de lixiviação de manguezais, as concentrações de matéria orgânica nessas águas estuarinas se estendem desde 3,1 até às proximidades de 7,40 mg.L⁻¹, revelando nítida contribuição do ambiente estuarino e marinho. Considerando que aporte marinho se dá, principalmente, pela contribuição do plâncton, resta considerar que, nos casos em que hajam baixas concentrações de clorofila-a, a maior contribuição da matéria orgânica particulada é oriunda da ciclagem dos manguezais. É essa matéria orgânica que é transportada para as águas costeiras adjacentes.

Tais aspectos mostram a importância da sazonalidade nas variações desses parâmetros, evidenciando a constante renovação desses ecossistemas através deste estudo geoquímico ambiental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACKERMANN, F. L. 1964. *Esboço para a geologia entre a cidade de Belém – rio Gurupi e Atlântico – rio Guamá*. Belém-PA, Universidade Federal do Pará. Imprensa Universitária, 79 p., 26 fotos, 1 mapa.

ACKERMANN, F. L. 1969. *Geologia e fisiografia da região Bragantina – Estado do Pará*. Manaus-AM, *Cadernos da Amazônica*, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), 2:1 – 90.

ACKERMANN, F. L. 1975. *A Formação Pirabas, sua evolução e interpretação*. Belém-PA, Universidade Federal do Pará. Imprensa Universitária. 83 p.

AIKEN, G.R.; McKnight, D.M.; WERSHAW, R.L.; MacCarthy, P. 1985. *Humic substances in soil, sediments, and water: geochemistry, isolation, and characterization*. New York, John Wiley & Sons. 692 p.

ALHEIROS, M.M.; LIMA FILHO, M.F.; MONTEIRO, F.A.J.; OLIVEIRA FILHO, J.S. 1988. Sistemas deposicionais da Formação Barreiras do Nordeste ocidental. In: CONG. BRAS. GEOL., 35. *Anais...* Belém-PA, SBG, v.2, p. 753-760.

ALMARAZ, J.S.U. 1979. *Aspectos geoquímicos e ambientais dos calcários da Formação Pirabas - Estado do Pará*. Porto Alegre-RS, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências, 198 p. (Tese de Doutorado).

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA 1995. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. Washington. American Public Health Association. 19th ed., 140 p.

ARAÍ, M.; UESEGUI, N.; ROSSETTI, D.F. de; GÓES, A.M. 1988. Considerações sobre a idade do Grupo Barreiras, no Nordeste do Estado do Pará. In: CONG. BRAS. GEOL., 35. *Anais...* Belém-PA, SBG, v.2, p. 738-750.

ARAÚJO, J.V.; VIEIRA, L.S.; ARAÚJO, M.P. de; MARTINS, J.S. 1973. Levantamento exploratório de solos da folha SA. 23 São Luís e parte da folha SA. 24 Fortaleza. In: Brasil. Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. Projeto RADAMBRASIL. *Folha SA.-23 São Luís e parte da folha SA-24 Fortaleza*. Rio de Janeiro-RJ, p. 3-113 (Levantamento de Recursos Naturais, 3).

BAAS BECKING, L. G.M.; KAPLAN, I. R.; MOORE, D. 1960. Limits of the natural environment in terms of pH and oxidation-reduction potentials. *Jour. Geology*, 68: 243-284.

BARBOSA, G.V. & PINTO, M.N. 1973. Geomorfologia In: Brasil. Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. Projeto RADAMBRASIL. *Folha SA-23 São Luís e parte da folha SA-24 Fortaleza: Geologia, geomorfologia, vegetação e uso potencial da terra*. Rio de Janeiro-RJ, DNPM. p. 24-26.

BARBOSA, G.V.; RENNÓ, C.V.; FRANCO, E.M.S. 1974. Geomorfologia In: Brasil. Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. Projeto RADAMBRASIL. *Folha SA-22 Belém*, Rio de Janeiro-RJ, p. 1-36 (Levantamento de Recursos Naturais, 5).

BATALHA, B.L.; & PARLATORE, A.C. 1977. *Controle de qualidade da água para consumo humano: bases conceituais e operacionais*. São Paulo-SP, CETESB. 198 p.

BEARDSLEY, R.C.; CANDELA, J.; LIMEBURNER, R.; GEYER, W.R.; LENTZ, S.J.; CASTRO, B.M.; CACCHIONE, D.; CARNEIRO, N. 1995. The M2 tide on the Amazon. *Journal of Geophysical Research*, 100: 2283–2320.

BEMERGUY, R. L.; BORGES, M. da S.; COSTA, J. B. S. 1992. Geomorfologia da região do Salgado, NE do Estado do Pará. In: CONG. BRAS. GEOL, 37. *Anais...* São Paulo-SP, SBG, v.1, p. 269-270.

BERNER, E. K. & BERNER, R.A. 1995. *Global Environment: Water, Air and Geochemical Cycles*. New Jersey, Ed. Prentice Hall. 376 p.

BERNER, R.A. 1971. *Principles of Chemical Sedimentology*. New York, McGraw-Hill Book. 240 p.

BERNER, R.A. 1980. *Early diagenesis: a theoretical approach*. Princeton, NJ. Princeton Univ. Press. 256 p.

BEZERRA, P. E. L. 1991. Geologia. In: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Geografia do Brasil (Região Norte)*. Diretoria de Geociências, Rio de Janeiro-RJ, v. 3, 307 p.

BOHRER, C. B. de A.; GONÇALVES, L. M. C. 1991. Vegetação. In: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Geografia do Brasil (Região Norte)*. Diretoria de Geociências, Rio de Janeiro-RJ, v. 3, 307 p.

BRASIL. MARINHA DO BRASIL. DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO. 1986. *Tábuas das marés*. Rio de Janeiro - RJ. Ministério da Marinha.

BRASIL. MARINHA DO BRASIL. DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO. 1994. *Tábuas das marés para 1994*. Rio de Janeiro - RJ. Ministério da Marinha.

BRASIL. MINISTÉRIO DO EXÉRCITO. DIRETORIA DE SERVIÇO GEOGRÁFICO - 3ª DL & CPRM/DNPM 1982 a. *Folha SA. 23-V-A-V Salinópolis (MI-338)*. Escala:1:100.000. Diretoria de Serviço Geográfico/ Região Norte do Brasil. Brasília-DF.

BRASIL. MINISTÉRIO DO EXÉRCITO. DIRETORIA DE SERVIÇO GEOGRÁFICO - 3ª DL & CPRM/DNPM 1982 b. *Folha SA. 23-V-C-II Capanema (MI-386)*. Escala:1:100.000. Diretoria de Serviço Geográfico/ Região Norte do Brasil. Brasília-DF.

BRASIL. MINISTÉRIO DA MARINHA. DIRETORIA DE HIDROLOGIA E NAVEGAÇÃO 1972. GEOMAR I. In: COMIS. OCEAN. COSTA NORTE-NORDESTE (GEOLOGIA MARINHA), 40. *Anais...* Rio de Janeiro – RJ, 69 p.

BRASIL. MINISTÉRIO DA MARINHA. DIRETORIA DE HIDROLOGIA E NAVEGAÇÃO 1972. GEOMAR II. In: COMIS. OCEAN. COSTA NORTE (GEOLOGIA MARINHA), 46. *Anais...* Rio de Janeiro – RJ, 79 p.

BRASIL. MINISTÉRIO DA MARINHA. DIRETORIA DE HIDROLOGIA E NAVEGAÇÃO 1974. GEOMAR III. In: COMIS. OCEAN. COSTA NORTE (GEOLOGIA MARINHA), 47. *Anais...* Rio de Janeiro – RJ, 109 p.

BRITTON G., 1983. *The Biochemistry of Natural Pigments*. Cambridge, London, Cambridge University Press. p. 74-256.

CABRAL, N.M.T. 2004. *Impacto da urbanização na qualidade das águas subterrâneas nos bairros do Reduto, Nazaré e Umarizal*. Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, 278 p. (Tese de Doutorado).

CETESB 1978. *Normalização Técnica NT-07. Análise físico-química das águas*. São Paulo-SP, CETESB. 340 p.

CETESB 1987. *Guia de coleta e preservação de amostras de água*. São Paulo-SP, CETESB. 150 p.

CHAPELLE, F. 1992. *Groundwater Microbiology and Geochemistry*. New York, John Wiley & Sons. 424 p.

CHESTER, R. 1990. *Marine geochemistry*. London, UK. Unwin Hyman Ltd. 698 p.

COSTA, J. B. S.; BORGES, M. da S.; BEMERGUY, R. L.; FERNANDES, J.M. G.; COSTA JÚNIOR, P. S. da; COSTA, M. L. da 1992. Geologia da folha Salinópolis, NE do Estado do Pará. In: CONG. BRAS. GEOL., 37. *Anais...* São Paulo-SP, SBG/ SP, p. 148-149.

COSTA, J.L.; VILLAS BOAS, J. M.; PESTANA, J. M.N; WANDERLEY, V.J.R.; ARAÚJO, A.A.F.; FRIZZO, J.S. 1977. *Projeto Gurupi: relatório final de etapa*. Belém-PA, Ministério das Minas e Energia (MME). Departamento Nacional da Produção Mineral (Convênio DNPM/CPRM), v. 2, 258 p.

COSTA JÚNIOR, P. S. da; COSTA, J. B. S.; BORGES, M. da S.; BEMERGUY, R. L.; FERNANDES, J.M. G.; COSTA, M. L. da 1992. Aspectos geológico-ambientais do litoral do município de Salinópolis, NE do estado do Pará. In: CONG. BRAS. GEOL., 37. *Anais...* São Paulo-SP, SBG/ SP, 46 p.

COUTINHO, P.N. 1981. Sedimentação na Plataforma Continental Alagoas-Sergipe. *Ar. Ciênc. Mar.* 21(1/2): 1-18.

CUSTODIO, E. & LLAMAS, M.R. 1976. *Hidrología subterránea*. Barcelona, Ediciones Omega. Vol.1, 1157 p.

DEGENS, E. T.; KEMPE, S.; RICHEY, J. E. 1991. *Biogeochemistry of major world rivers*. London, John Wiley & Sons. 356 p.

DeMASTER D.J.; KUEHL, S.A.; NITTROUER, C.A. 1986. Effects of suspended sediments on geochemical processes near the mouth of the Amazon River: examination of biological uptake and the fate of particle-reactive elements. *Cont. Shelf. Res.* 6(1/2): 107-125.

DIÉGUES, F.M. F. 1972. Introdução à oceanografia do estuário amazônico. In: CONG. BRAS. GEOL., 36. *Anais...* Belém-PA, SBG, v.2, p. 301-317.

DREVER, J. I. 1988. *The Geochemistry of natural waters 2ª ed.* New Jersey, Ed. Prentice Hall. 437 p.

EMBRAPA 1997. *Manual de métodos de análise de solos 2ª ed.* Rio de Janeiro-RJ, Centro Nacional de Pesquisa de Solos (CNPq), 212 p. (Documentos, 1).

ESTEVEZ, F. de A. 1988. *Fundamentos de limnologia*. Rio de Janeiro-RJ. Interamericana/FINEP, 575 p.

FAURE, G. 1991. *Principles and Application of Inorganic Geochemistry*. Englewood Cliffs, NY. Macmillan Publishing. 626 p.

FEITOSA, F. A. C. & M. FILHO, J. 1997. *Hidrogeologia: Conceito e Aplicações*. Fortaleza-CE, CPRM-Fortaleza. LABMID-UFPE. 412 p.

FERNANDES, J.M.G. 1992. Considerações sobre a ocorrência de Ophiomorpha em sedimentos do Grupo Barreiras no Nordeste do Estado do Pará. In: CONG. BRAS. GEOL., 37, *Anais...* São Paulo-SP, SBG, v.2. 497 p.

FERREIRA, C.S & CUNHA, O.R. 1957. Contribuição à paleontologia do Estado do Pará. Notas sobre a Formação Pirabas com descrição de novos invertebrados fósseis. I(Mollusca-Gastropoda). Belém-PA, *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, nova série Geologia*, 2: 1-61.

FERREIRA, C.S. & FRANCISCO, B.H.R. 1988. As Relações da Formação Pirabas (Oligoceno-Mioceno), com as Formações Continentais Terciárias no NE do Pará. In: CONG. BRAS. GEOL., 35. *Anais...* Belém-PA, SBG, v.2, p. 761-764.

FONTES, R.F.C. 2000. *Estudo numérico da circulação na Plataforma Continental Amazônica*. São Paulo-SP, Universidade de São Paulo. Instituto Oceanográfico, 198 p. (Tese de Doutorado).

FÖRSTNER, U. & WITTMANN, G.T.W. 1983. *Metal pollution in the aquatic environment*. Heidelberg, Springer-Verlag. 486 p.

FRANCISCO, B.H.R.; SILVA, O.F.; LOEWENSTEIN, P.; SILVA, G.G. 1971. Contribuição à geologia da folha de São Luis (SA-23) no Estado do Pará. III- Estratigrafia. IV – Recursos Minerais. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, nova série Geologia, 17: 1-40.

FRANZINELLI, E. 1982. Contribuição à geologia da costa do Estado do Pará (entre a baía de Curuçá e Maiaú). In: SIMPÓSIO DO QUATERNÁRIO NO BRASIL, 4. *Atas...* Rio de Janeiro-RJ, p. 305-322.

FRANZINELLI, E. 1991. Evolução e origem da costa Atlântica do Estado do Pará. In: CONGRESSO DA ABEQUA, 3. *Publicação especial...* Belo Horizonte, ABEQUA. v. 1, p. 117-118.

GAMA, J.R.N.F.; LOPES, D.N.; REGO, R.S.; SANTOS, P.L. dos; FILHO, Z.P. do A; FONTINHAS, R.L. 1975. *Estudo detalhado dos solos de uma área do município de Maracanã*. Belém-PA. IDESP 13 p. (série monografias, 18).

GARRELS, R. M. & CHRIST, C. L. 1965. *Solutions, Minerals and Equilibria*. New York, Harper & Row - Publishers Incorporated. 450 p.

GATTO, L. C. S. 1991 Relevo. In: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Geografia do Brasil (Região Norte)*. Diretoria de Geociências, Rio de Janeiro-RJ, v. 3, 307 p.

GAUDETTE, H. E.; FLIGHT, W.R.; TONER, L.; FOLGER, D.W. 1974. An inexpensive titration method for the determination of organic carbon in recent sediments. *Journal. of Sedimentary Petrology*, 44(1): 249-253.

GEYER, W. R.; BEARDSLEY, R. C.; LENTZ, S. J.; CANDELA, J.; LIMEBURNER, R.; JOHNS, W. E.; CASTRO, B. M.; SOARES, I. D. 1996 Physical oceanography of the Amazon shelf. *Continental Shelf Research*. 16:575-616.

GIBBS, R.J. 1967. The geochemistry of the Amazon River system. Part I. The factors that control the salinity and the composition and concentration of the suspended solids. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 78:1203-1232.

GÓES, A.M. 1981. *Estudo sedimentológico dos sedimentos Barreiras, Ipixuna e Itapecuru no Nordeste do Estado do Pará e Noroeste do Maranhão*. Belém-PA. Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, 130 p. (Dissertação de Mestrado).

GÓES, A.M. & TRUCKENBRODT, W. 1980. Caracterização faciológica e interpretação ambiental dos sedimentos Barreiras na Região Bragantina, Nordeste do Pará. In: CONG. BRAS. GEOL., 31, Camboriú-SC. *Anais...* SBG, v.2, p. 766-771.

GÓES, A.M.; ROSSETTI, D.F.; NOGUEIRA, A.C.R.; TOLEDO, P.M. 1990. Modelo deposicional preliminar da Formação Pirabas no Nordeste do estado do Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi (série Ciências da Terra)*. Belém-PA, 2: 3-15.

GROSS, M. G. 1990. *Oceanography: a view of the earth*. New Jersey, Prentice-Hall, 406 p.

GUIMARÃES, G. de A.; BASTOS, J. B.; LOPES, E. de C. 1970. Métodos de análise física, química e instrumental de solos. Belém-PA, Instituto de Pesquisas e Experimentação Agropecuárias do Norte (IPEAN), v.1 (*Série química de solos*, 1).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE) 1994. *Mapa ilustrativo da bacia do rio Maracanã (MI-338)*. Escala 1: 100.000. Brasília-DF, Diretoria de Serviço Geográfico/ Região Norte do Brasil.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE) 2002. *Indicadores de sustentabilidade: estudos e pesquisa (informação geográfica)*. Rio de Janeiro-RJ, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. p. 90-110.

INSTITUTO DO DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO-SOCIAL DO PARÁ (IDESP) 1992. *Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Pará*, v.1, 113 p.

INSTITUTO DO DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO-SOCIAL DO PARÁ (IDESP) 1993. *Setor de coleta e tratamento de dados (município de Maracanã)*. p. 1-13.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE) 2000. *Mosaicos de imagens de satélite*. Composição colorida RGB, bandas 3,4 e 5. Landsat TM-5.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE)/CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS (CPTEC) 2003. Disponível em: <<http://www.inpe.org.br/cptec>>. Acesso em: janeiro de 2003.

JAPIASSU, A. M. S. & GÓES FILHO, L. 1974. As regiões fitoecológicas, sua natureza e seus recursos econômicos. In: BRASIL. Projeto RADAMBRASIL. *Folha SA-22 Belém*. Rio de Janeiro, DNPM (Levantamento de Recursos Naturais, 5).

KLINGE, H. 1967. Podzol soils: a source of black-water rivers in Amazonia. In: SIMPÓSIO SOBRE A BIOTA AMAZÔNICA, *Atas...3 (Limnologia)*. Rio de Janeiro-RJ, Conselho Nacional de Pesquisa e Museu Paraense Emílio Goeldi, p. 117-125.

LEENHEER, J.A. 1980. Origin and nature of humic substances in the waters of the Amazon River Basin. *Acta Amazonica*, 10(3): 513-526.

LEITE, A.A. da S.; FILHO, R.L.G. do N.; JÚNIOR, R.O. da S. 1992. *Mapeamento geológico do município de Maracanã, Nordeste do estado do Pará: Relatório final*. Belém-PA, Centro de Geociências. Departamento de Geologia. Estágio de campo III, p. 1-140.

LEVINSON, A.A. 1974. *Introduction to Exploration Geochemistry*. Wilmette-IL, Calgary: Applied Publishing Ltd. 612 p.

LIMA, W.N. de & KOBAYASHI, C.N. 1988. Sobre o quimismo predominante nas águas dos sistemas flúvio-estuarino de Barcarena, Pará. *Geochimica Brasiliensis*, 2 (1): 53-71.

LIMA, W.N. de; RODRIGUES, M. D. R.; OLIVEIRA, J.L.R. de 1983. Estudo sobre o conteúdo mineralógico de argilas por difratometria de raios-X e análise térmica diferencial. Amostras da ilha de Mosqueiro (PA). In: ENCONTRO DOS PROFISSIONAIS DA QUÍMICA DA AMAZÔNIA, 4, Belém-PA. *Anais...*, CRQ e UFPA, p. 155-176.

LOUGHNAN, F.C. 1969. *Chemical weathering of the silicate minerals*. New York,, American Elsevier Publ. Co, p. 27-66.

MARTINS, L.R. 1987. Sedimentos quaternários da plataforma continental brasileira. In: CONGR. DA ASSOC. BRAS. DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO (ABEQUA), Porto Alegre-RS, 1. *Anais...*, p. 11-25.

MARTORANO, L.G.; PEREIRA, L.C.; CESAR, E.G.M.; PEREIRA, I.C.B. SANTOS, E.C.R. dos; SANTOS, F.A.C dos; MORAES, W.F.M; NERY, F.A.S.; RODRIGUES, T.E.; ROLIM, P.A.M. 1992. Estudos climáticos do estado do Pará, classificação climática (Köppen) e deficiências hídrica (Thornthwaite, Mather). In: CONG. BRAS. DE METEOR., 7, São Paulo-SP, *Anais...* SBM.

MATHESS, G. 1982. *The properties of groundwater*. New York, John Wiley & Sons. 406 p.

MATTA, M.A.S. 2002. *Fundamentos hidrogeológicos para a gestão integrada dos recursos hídricos da região de Belém - Ananindeua-Pará, Brasil*. Belém-PA. Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências. Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica. 292 p. (Tese de doutorado).

MEADE, R.H.; NORDIN, JR., C.F.; CURTIS, W.F.; RODRIGUES, F.M.C.; VALE, C.M. DO; EDMOND, J.M. 1979. Transporte de sedimentos no rio Amazonas. *Acta Amazonica*, 9 (3):543-547.

MILLIMAN, J.D.; SUMMERHAYES, C.P.; BARRETO, H.T. 1974. Contribuição ao estudo de material em suspensão na plataforma continental do Amazonas. In: CONG. BRASIL. GEOLOG., Porto Alegre-RS, *Anais...*, v. 3, p. 263-282.

NITTROUER, C. & DEMASTER, D.J. 1986. Sedimentary processes on the Amazon Continental Shelf. *Continental Shelf Research* 6(1/2): 5-30.

ODUM, E.P. 1997. *Fundamentos de ecologia* 5ª ed. Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian. 901 p.

OHWEILER, O.A. 1974. *Química Analítica Quantitativa*. Rio de Janeiro-RJ, Ed. Livros Técnicos e Científicos, v. 2, 643 p.

OLIVEIRA, J. R. de; SOUZA LEAL, A. de; TANCREDI, A.C.F.N.S 2001. Projeto Estudos Hidrogeológicos da Região Metropolitana de Belém e Adjacências. Serviço Geológico do Brasil (CPRM), 115 p. il.

OTOBO, A. O. & LIMA, W. N. de 1993. The influence of Pirabas Formation sediments on natural waters (Physiographic zones of Salgado and Bragantina). In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM FOR PERSPECTIVES FOR ENVIRONMENTAL GEOCHEMISTRY IN TROPICAL COUNTRIES. Niterói-RJ. *Proceedings*, p. 27-31.

OTOBO, A. O. 1995. *Caracterização de águas naturais sujeitas à influência da formação Pirabas-(PA)*. Belém-PA. Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, 118 p. (Dissertação de Mestrado).

PENNA, D.S.F. 1876. Breve notícia sobre os Sambaquis do Pará. Rio de Janeiro-RJ, *Arquivos do Museu Nacional*, 1: 85-99.

PETRI, S. 1952. Ocorrência de Foraminíferos fósseis no Brasil. São Paulo-SP. Universidade de São Paulo. *Boletim Faculdade Filosofia, Ciências e Letras* 134, Geologia 7, p. 29-42.

PETRI, S. 1957. Foraminíferos miocênicos da Formação Pirabas. *Boletim Faculdade Filosofia, Ciências e Letras* 216, Geologia 16, 79 p.

PETRI, S. & FULFARO, V. J. 1983. *Geologia do Brasil (Fanerozóico)*. São Paulo-SP. Ed. T. A. Queiroz & Ed. da USP, 613 p.

PINHEIRO, R. V. L. 1987. *Estudo Hidrodinâmico e Sedimentológico estuarino Guajará – Belém (PA)*. Belém-PA. Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, 164 p. (Dissertação de Mestrado).

PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTARÉM NOVO (PMSN) 2000. *Mapa ilustrativo do município Santarém Novo*. Belém-PA. Secretaria de Obras e Urbanismo do município de Santarém Novo.

PROST, M.T. & MENDES, A.C. 2001. *Ecossistemas costeiros: Impactos e Gestão Ambiental*. Belém-PA, Museu Emílio Goeldi, 216 p.

REBOUÇAS, A.; BRAGA, B., TUNDISI, J. G. 2002. *Águas doces do Brasil: Capital ecológico, uso e conservação 2ª ed.* São Paulo-SP, São Paulo Escrituras Editora, 704 p.

REYNOLDS, R. C.; & MOORE, D. M. 1991. *X-Ray Diffraction and the Analysis of clays minerals*. Oxford, Oxford University Press. 332 p.

RILEY, J.P. 1958. The rapid analysis of silicate rocks and minerals. *Anal. Chim. Acta*, 19: 325-334.

RILEY, J.P. & CHESTER, R. 1987. *Introduction to Marine Chemistry*. London, Ed. Academic Press Inc., p. 1-465.

RODIER, J. 1981. *Análisis de las aguas: aguas naturales, aguas residuales, agua de mar*. Barcelona, Ed. Omega. 200-230 p.

ROSSETTI, D.F.; GÓES, A.M.; TRUCKENBROUDT, W.; GÓES, A.M. 1989. Estudo paleoambiental e estratigráfico dos sedimentos Barreiras e Pós-Barreiras na região Bragantina, Nordeste do Estado do Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Série Ciências da Terra*. 1 (1): 25-74.

ROSSETTI, D.F.; GÓES, A.M.; TRUCKENBROUDT, W.; GÓES, A.M. 1990. A influência marinha nos sedimentos Barreiras. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Série Ciências da Terra*. 2: 17-29.

SÁ, J.H.S. 1969. Contribuição à geologia dos sedimentos Terciários e Quaternários da Região Bragantina. *Bol. Inst. Geol.* 3: 21-36, Rio de Janeiro-RJ.

SANTOS, P. S. 1975. *Tecnologia de argilas aplicadas às argilas brasileiras*. São Paulo-SP, Universidade de São Paulo. Ed. Edgard Blücher, v. 1, p. 1-340.

SANTOS, V.F. 1996. *Estratigrafia holocênica e morfodinâmica atual da planície costeira da ilha de Algodal e Marudá*. Belém-PA. Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, 139 p. (Dissertação de Mestrado).

SAUMA FILHO, M. 1996. *As águas subterrâneas de Belém e adjacências: influência da formação Pirabas e parâmetros físicos-químicos para medidas de qualidade*. Belém-PA. Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, 128 p. (Dissertação de Mestrado).

SAWYER, C. N. & McCARTY, P. L. 1978. *Chemistry for Environmental Engineering* 3 Ed. New York, Ed. McGraw – Hill. 535 p.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y. 1999. *Avaliação e ações prioritárias para a conservação da biodiversidade da zona costeira e marinha: Projeto de conservação e utilização sustentável da diversidade biológica brasileira (PROBIO)*, Rio de Janeiro-RJ, p. 1-48. Disponível em: <<http://www.bdt.fat.org.br/workshop/costa/mangue>>. Acesso em: novembro de 2003.

SILVA, C. A. da 1998. *Análise morfoestratigráfica do estuário do rio Marapanim – NE do Pará*. Belém-PA. Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, 140 p. (Dissertação de Mestrado).

SILVA, J.M.L da; OLIVEIRA JÚNIOR, R.C de; RODRIGUES, T. E. 1994. Levantamento de reconhecimento de alta intensidade dos solos da folha Salinópolis. *Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. Série Ciência da Terra*, (6): 61-90.

SILVA, M. A. da 1997. *Caracterização biogeoquímica de águas subterrâneas da zona urbana de Porto Velho (RO)*. Belém-PA. Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, 127 p. (Dissertação de Mestrado).

SILVA, M.S. 1996. *Morfoestratigrafia e evolução holocênica da planície costeira de Salinópolis, NE do Pará*. Belém-PA. Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, 142 p. (Dissertação de Mestrado).

SILVA JÚNIOR, O. G. 1998. *Morfoestratigrafia da planície costeira do município de São João de Pirabas (porção NW): NE do Estado do Pará*. Belém-PA. Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, 89 p. (Dissertação de Mestrado).

SIMDAMAZÔNIA 1992. Seminário Internacional sobre Meio Ambiente, Pobreza e Desenvolvimento da Amazônia. Belém-PA. *Anais...* PARÁ - Secretaria de Estado de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente (SECTAM)/PRODEPA., 567p.

SIOLI, H. 1967. *Studies in Amazonian waters*. In: *SIMPÓSIO SOBRE A BIOTA AMAZÔNICA*. Belém-PA, 1996. *Atas...* Rio de Janeiro, CNPq. v. 3, p. 9-50.

SIOLI, H. 1975. Tropical river: the Amazon. In: WHITTON, B. A. *Ecology*. Oxford, Ed. Blackwell, p. 461-488.

SIOLI, H. & KLINGE, G. 1962. Solos, tipos de vegetação e águas na Amazônia brasileira. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Série Avulsa* 1:27- 41.

SIOLI, H. 1960. Pesquisas limnológicas na região da estrada-de-ferro de Bragança, Estado do Pará, Brasil. *Boletim Técnico do Instituto Agrônomo do Norte* (37): 1-91.

SIQUEIRA, G.W. 2003. *Estudo dos teores de metais pesados e outros elementos em sedimentos superficiais do sistema estuarino de Santos (Baixada Santista) e da Plataforma Continental do Amazonas (Margem Continental Norte)*. São Paulo-SP. Universidade de São Paulo. Instituto de Oceanografia, 372 p. (Tese de Doutorado).

SOARES, L. de C. 1991 Hidrografia. In: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Geografia do Brasil (Região Norte)*. Diretoria de Geociências, Rio de Janeiro-RJ, v. 3, 307 p.

SONG, Y. & MÜLLER, G. 1999. *Sediment-water interactions in anoxic freshwater sediments (mobility of heavy metals and nutrients)*. Berlin, Ed. Springer-Verlag. 111 p.

SOUZA, C. S.; OLIVEIRA, V. de; COUTINHO, R. C. P. 1991 Solos. In: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Geografia do Brasil (Região Norte)*. Diretoria de Geociências, Rio de Janeiro-RJ, v. 3, 307 p.

SOUZA, C.W.M.F de & LUIZ, J.G. 1994. Aquíferos na região de Belém: um estudo com base em perfilagem de poços. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Série ciências da Terra*, 6: 31-52.

SOUZA, E. L. & LIMA, W. N. de 1994. Águas de percolação, mineralogia e teor de carbono orgânico de solos, como indicadores de preservação de áreas degradadas, na região Bragantina, NE do Pará. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE ECOSISTEMAS FLORESTAIS, 3. Porto Alegre-RS, 1994. Sociedade Brasileira para Valorização do Meio Ambiente. *Volume de Resumos*, p. 7-8.

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

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

STEVENSON, F.J. 1982. *Humus Chemistry: genesis, composition, reactions*. New York. John Wiley & Sons. 433 p.

STRICKLAND, J. D. H. & PARSONS, T. R. 1972. A Practical handbook of seawater analysis. *Fisheries Research Board Canadian Bulletin*, 167: 1-310.

STUMM, W. & MORGAN J.J. 1995. *Aquatic Chemistry: Chemical Equilibria and Rates in Natural Waters 3ª ed*. New York, Ed. John Wiley & Sons. 1022 p.

SUGUIO, K. 1973. *Introdução à sedimentologia*. São Paulo-SP, Ed. Edgard Blücher. 317 p.

SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DA AMAZÔNIA (SUDAM) 1984. *Atlas climatológico da Amazônia*. Brasília-DF, Ministério do Interior, Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia. 125p.

TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M.C.M. DE; FAIRCHILD, T.R.; TAIOLI, F. 2000. *Decifrando a Terra*. São Paulo-SP, Ed. Oficina de textos. 568 p.

THURMAN, E.M. 1986. *Organic Geochemistry of natural waters*. Boston, Nijhoff/Junk Publishers. 497 p.

TRUCKENBRODT, W. 1981. Contribuição à mineralogia e geoquímica da Formação Pirabas (Mioceno Inferior), Estado do Pará. *Boletim do Museu Goeldi. Nova Série Geologia*, 25:1-26.

VETTORI, L. 1969. *Métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro-RJ, 24 p. (*Boletim Técnico*).

VOGEL, A. 1981. *Análise inorgânica quantitativa 4ª ed.* Rio de Janeiro-RJ, Ed. Guanabara. 690 p.

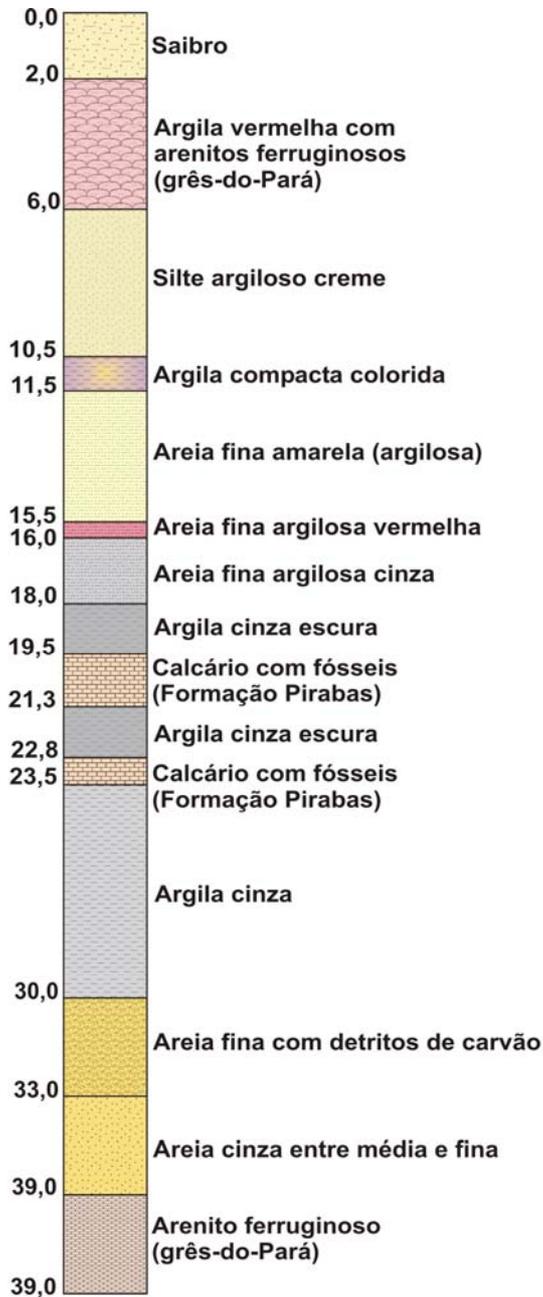
WHITE, C.A. 1887. Contribuição à paleontologia do Brasil. Rio de Janeiro-RJ, *Arquivos do Museu Nacional*, 7: 1-273, 28 est.

WISSMAR, R.C.; RICHEY, J.E.; STALLARD, R.F.; EDMOND, J.M. 1981. Metabolismo do plâncton e ciclo de carbono no rio Amazonas, seus tributários e águas de várzea, Peru-Brasil, maio-junho. *Acta Amazônica*, 10(4): 823-834.

ZEISS, C. 1974. *FMD4 Atomic Absorption Spectroscopy (manual do Aparelho)*, Alemanha.

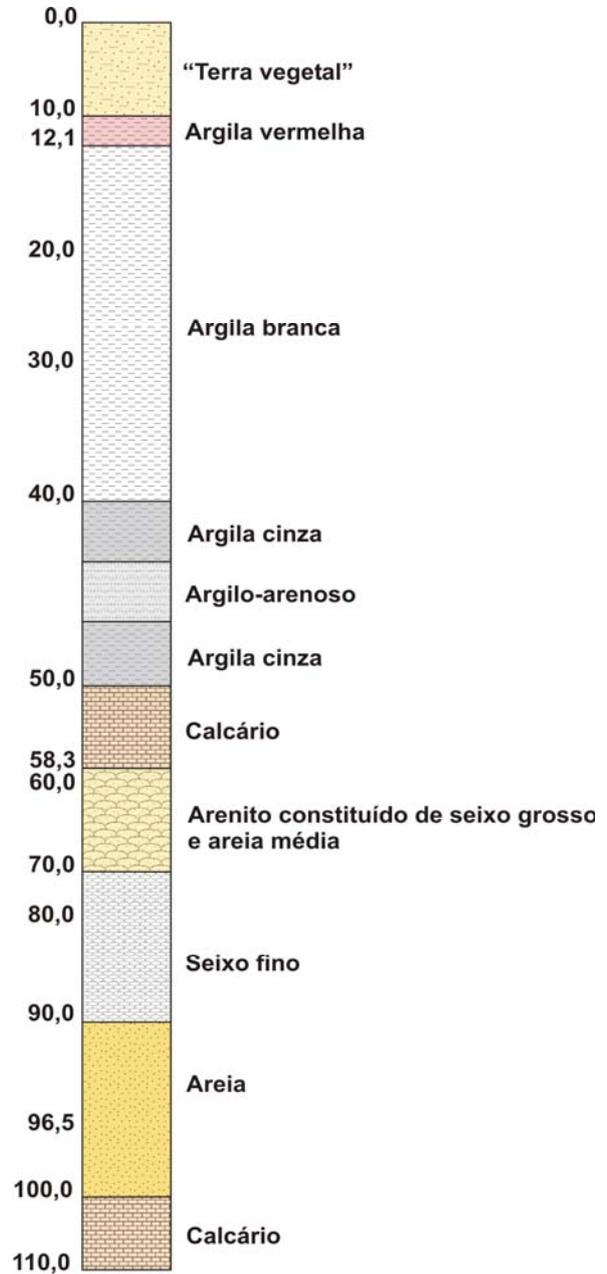
ANEXOS

Anexo A1



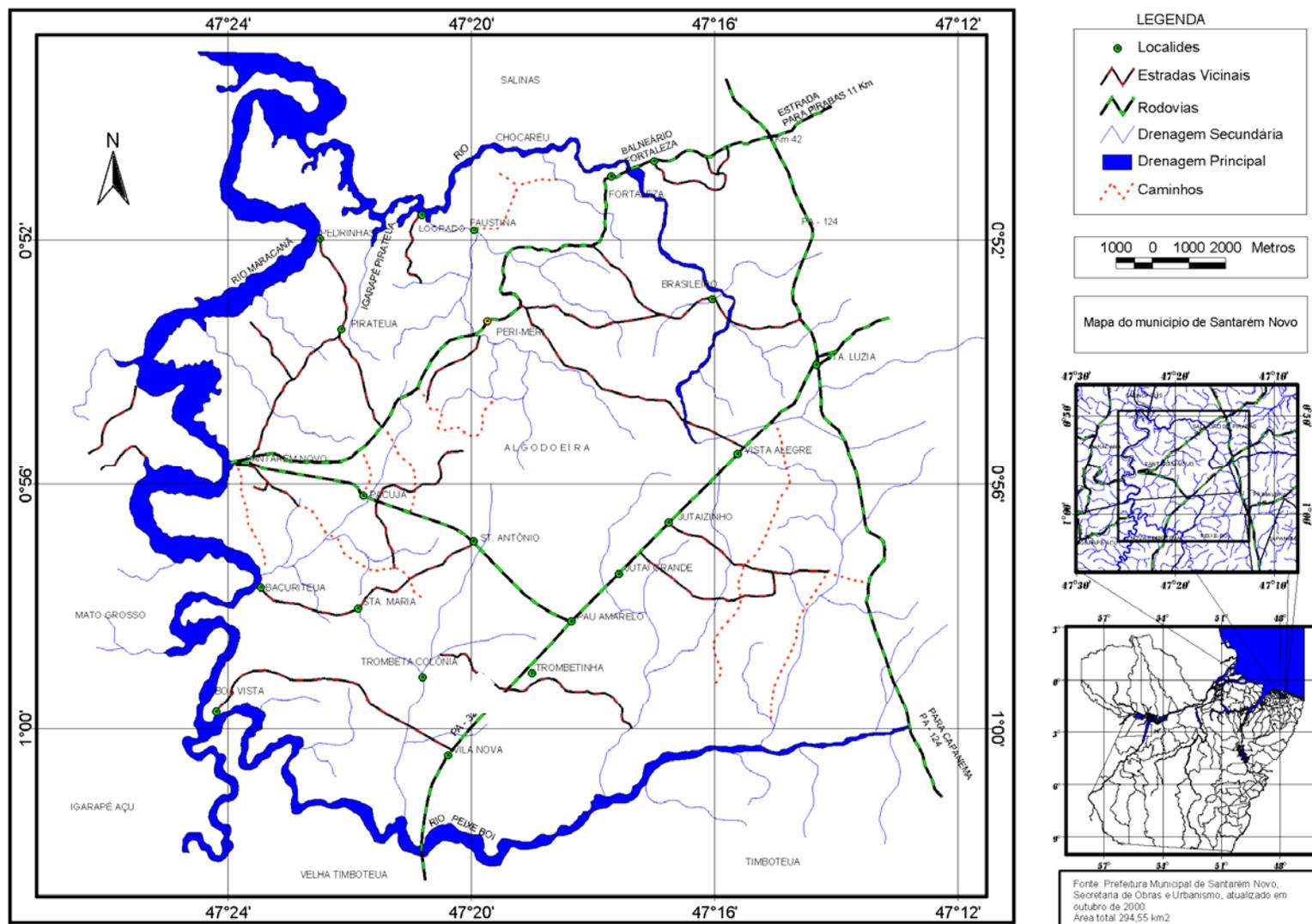
Perfil litológico de poço tubular destinado à captação de água subterrânea	
Dados compilados do arquivo da FUNASA, Belém (PA)	
Município: Maracanã	Localidade: Maracanã
Poço: Furo de sondagem, área de captação (Apeteua)	Profundidade: 39m
Vazão: 24.000 litros/h	

Anexo A2



Perfil litológico de poço tubular destinado à captação de água subterrânea	
Dados compilados do arquivo da Prefeitura de Santarém Novo	
Município: Santarém Novo	Localidade: vila Sto. Antônio de Trombetas
Poço: Furo de sondagem, área de captação (vila Sto. Antônio de Trombetas)	Profundidade: 110m

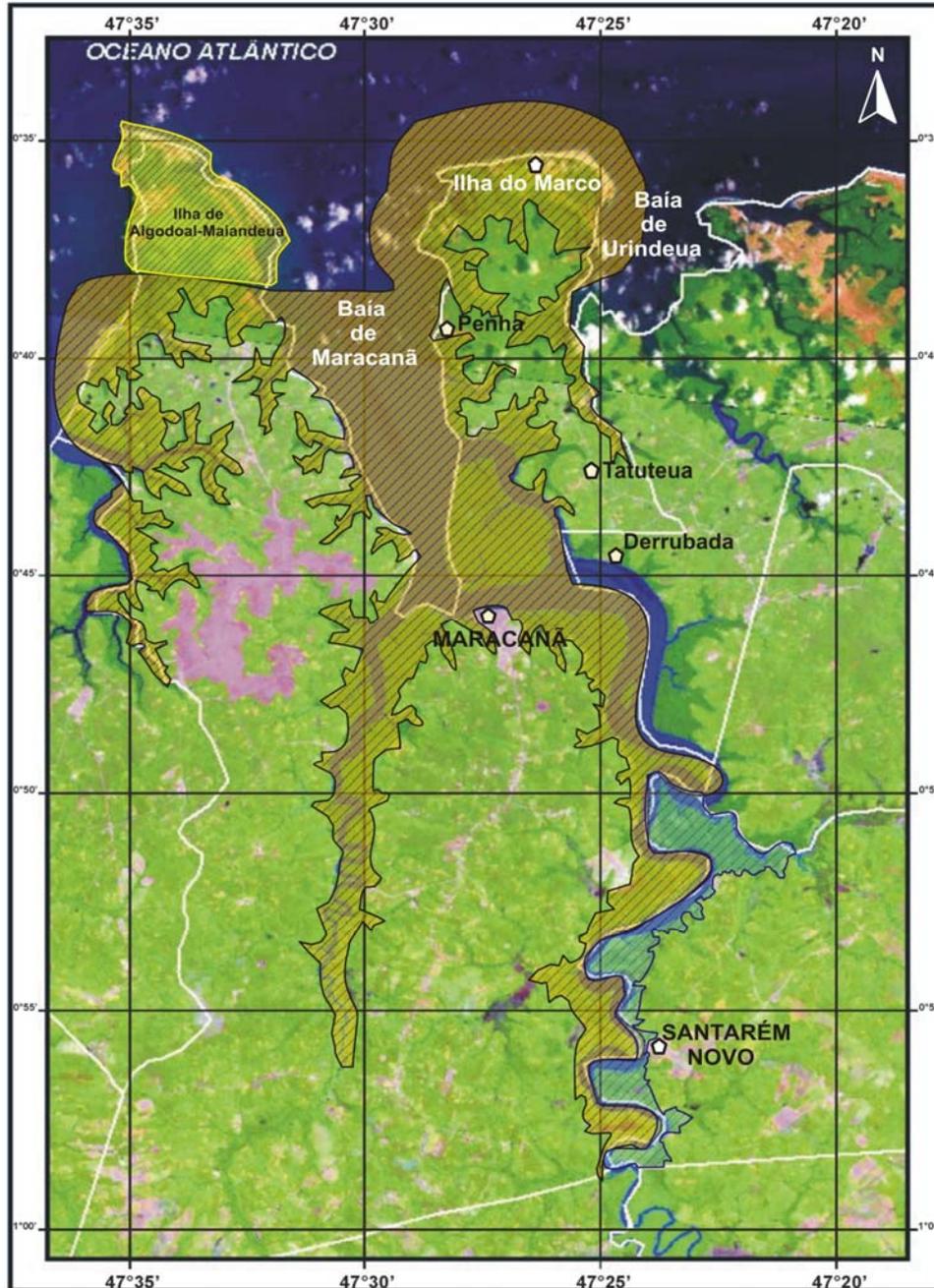
Anexo C – Mapa ilustrado de parte da bacia do rio Maracanã (Santarém Novo). Fonte: Prefeitura Municipal de Santarém Novo; Secretaria de Obras e Urbanismo, atualizado em outubro de 2000.



Anexo E – Vista parcial da laje de calcário aflorante nas praias de Quarenta de Mocooca, baía de Maracanã. Ao fundo, as falésias do Pós-Barreiras (altura de 15 a 20m).



Figura F – Mapa temático da área de proteção ambiental (APA) de Maracanã e das reservas extrativistas de Chocaréu-Mato Grosso (Santarém Novo) e Maracanã.



Legenda

- Limite Reserva Extrativista Marinha de Maracanã (1)
- Limite Reserva Extrativista Marinha de Chocaré-Mato Grosso (2)
- Limite Área de Proteção Ambiental (APA) Algodão-Maiandeuá (3)
- Limites municipais
- (1) Área total aproximada 30.018,88 ha, município de Maracanã
- (2) Área total aproximada 2.785,72 ha, município de Santarém Novo
- (3) Área total aproximada 2.378 ha, município de Maracanã

Escala: Derrubada à Tatuteua \cong 5,85km
 Elaborado a partir de levantamento de campo e interpretação de imagem de satélite LandSat 7; Centro Nacional de Populações Tradicionais e Desenvolvimento Sustentável (CNPT/IBAMA).

Fonte: Mosaico de imagens de satélite LandSat TM- 5, composição colorida RGB, bandas 3,4,5; INPE-2000