

AValiação Hidrogeoquímica em Áreas Selecionadas na Bacia Hidrográfica do Rio Maracanã (Nordeste do Pará)

HYDROGEOCHEMICAL EVALUATION IN SELECTED SITES OF THE MARACANã RIVER WATERSHED (NORTHEAST - PARá, BRAZIL)

Fabíola Fernandes Costa¹; Waterloo Napoleão de Lima¹ (*In Memoriam*); Jailson Cardoso Dias²

⁽¹⁾Instituto de Geociências. Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica - UFPA, Campus Universitário do Guamá, caixa postal 1611, CEP 66.075-110, Belém (PA). E-mail: fabiolaffc@yahoo.com.br.

⁽²⁾Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Química, Cidade Universitária "Zeferino Vaz", Barão Geraldo, caixa postal 6154, CEP 13.083-970, Campinas (SP). E-mail: jcarddias@yahoo.com.br

RESUMO

A área fisiográfica selecionada para este estudo possui uma extensão aproximada de 3.500 km² e pertence à bacia hidrográfica do rio Maracanã, mesorregião Nordeste do Pará. Por suas características geoambientais representa importante pólo de desenvolvimento regional, sobretudo por atividades de subsistência agrícola e de pesca. A bacia estudada pode ser subdividida em áreas de nascentes; área de transição, sob efeito mínimo ou já perceptível de marés; e área estuarina, sob forte domínio da dinâmica de marés. A interpretação geoquímica dos resultados analíticos aponta que, nas áreas de nascentes encontram-se os valores mais baixos de pH (mínimos de 4,8) e condutividade elétrica (mínima de 21 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), notadamente no período mais chuvoso. Já na área de transição, sob influência de maré mínima e na estiagem foram observadas as leituras elevadas de turbidez (acima de 700 UNT), material particulado em suspensão (máxima registrada de 1.272 mg.L⁻¹) e matéria orgânica (máxima de 12,93 mg.L⁻¹). Por outro lado, os valores mais elevados de pH (máximos de 7,9), condutividade elétrica (máxima de 31.300 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) e clorofila-a (máxima de 49,3 mg.m⁻³) foram registrados na área estuarina em estiagem mais pronunciada, revelando claramente a entrada das águas oceânicas e a consequente ocorrência de fitoplâncton necessário à cadeia trófica. A

sazonalidade exerce notável influência na dinâmica socioambiental e de subsistência das populações tradicionais; exemplo disso é a captura de uma diversidade de pescado durante todo o ciclo anual. Dessa forma, as variáveis aqui discutidas são importantes para a elaboração de um planejamento estratégico visando à sustentabilidade local e regional da bacia.

Palavras-chave: Bacia hidrográfica. Rio Maracanã. Hidrogeoquímica. Sustentabilidade. Nordeste do Pará.

ABSTRACT

The investigated area has a dimension of approximately 3,500 km², included the River Maracanã watershed (northeast Pará, Brazil). For its environmental characteristics represent important regional sector, mainly by farming activities and harvesting of fishing. This area can be subdivided areas of riverheads, transition area and estuarine area, with larger flows of tides. The geochemical interpretation shows that in areas of riverheads it is found the lowest values of pH (4.8) and electrical conductivity (21.8 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), mainly in the rainy season. However, the high values of pH (7.9), electrical conductivity (31,300 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) and chlorophyll-a (49.3 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$) have been quantified in the estuarine area in dry season, showing the influence of ocean waters and phytoplankton. The seasonality local effectively affects the social dynamics and the sustainability of traditional people communities, for instance, a diversity of fish species that are caught throughout the annual cycle. Thus, the variables discussed are important to develop a strategic plan to achieve the local and regional sustainability of the studied watershed.

Keywords: Watershed. Maracanã river. Hydrogeochemical. Sustainability.

1. INTRODUÇÃO

Investigar uma bacia hidrográfica representa caracterizar adequadamente uma unidade física nos seus diferentes aspectos de integração, de diferenciação dos ambientes e de funcionalidade de seus componentes. Dessa maneira, os sistemas aquáticos mostram uma relação permanente e dinâmica com suas bacias, devido essas abrangerem todos os organismos que funcionam em conjunto numa determinada área. A qualidade da água em diferentes tipos de bacias pode ser alterada por diversos fatores e, dentre eles, estão os componentes do clima, da paisagem ou antrópicos. Essas modificações alterarão a quantidade, a qualidade e o tempo de residência da água nos ecossistemas e, assim, o fluxo da água e suas características no canal principal e áreas adjacentes. A composição química fluvial é um reflexo direto das interações água, rocha, solo e cobertura vegetal (FORTESCUE, 1980). Consequentemente, as propriedades desse recurso natural, assim como seu volume

disponível, surgem como pontos estratégicos ao desenvolvimento e à qualidade de vida das populações envolvidas.

A bacia hidrográfica do rio Maracanã contempla vários ecossistemas de características singulares, dos quais, os mais importantes são: as áreas interiores, com as nascentes e os fragmentos florestais - mata de galeria e campos inundáveis, localizadas no município de Santa Maria do Pará; a área de transição, sob efeito mínimo ou já perceptível de marés, que abrange os municípios de Nova Timboteua até Santarém Novo; e a área estuarina, à montante da baía e na baía de Maracanã. Esses três ecossistemas selecionados ocupam aproximadamente 3.500 km² da área total na bacia estudada.

O propósito desta pesquisa foi avaliar os parâmetros físico-químicos, químicos e hidrobiológicos segundo a geoquímica dos ecossistemas considerados, a sazonalidade e a exploração de recursos da biodiversidade. Assim, realizar um monitoramento da qualidade das águas superficiais na bacia hidrográfica constituiu uma ferramenta essencial para práticas de desenvolvimento sustentável, principalmente em setores como: a socioeconomia, o meio ambiente e a cultura da região. Essa sustentabilidade, considerando os recursos hídricos, tem sido apresentada pela comunidade científica, econômica e política, no âmbito nacional e internacional como um recurso estratégico para sociedade.

2. CARACTERÍSTICAS DA ÁREA FISIAGRÁFICA

Localização e acesso

O acesso rodoviário pode ser feito a partir de Belém pela BR-316 e, em seguida, pela rodovia PA-127, totalizando um percurso de 166 km até a sede de Maracanã, localizada na mesorregião Nordeste do Pará. A bacia hidrográfica do rio Maracanã é classificada como uma mesobacia, e dessa forma, foi dividida em três sub-regiões: as áreas interiores, localizadas em Santa Maria do Pará (BR-316); a área de transição, situada a partir de Nova Timboteua (PA-242) até Velha Timboteua (PA-324) e a área estuarina, que se estende de Santarém Novo (PA-438) até a sede de Maracanã (PA-127).

“As coordenadas geográficas da área fisiográfica limitam-se entre 47°15'00” e 47°35'00” WGr e 00°30'00” a 01°20'00”S (figura 1).

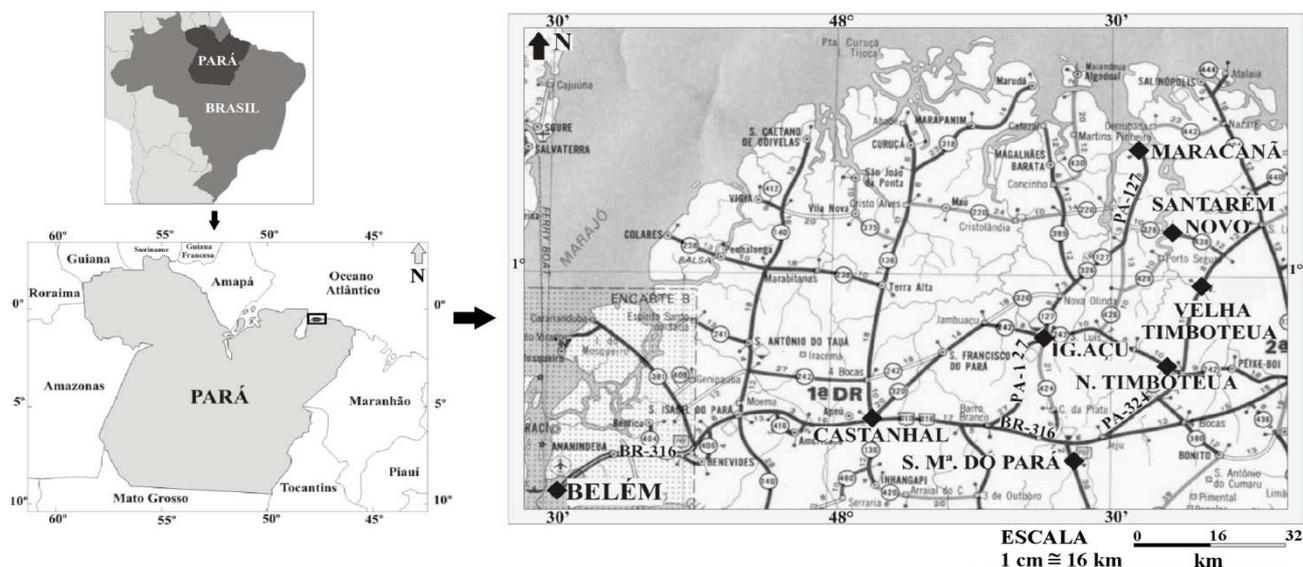


Figura 1. Localização e acesso rodoviário à área de estudo

Fonte: Modificado do mapa rodoviário do Pará - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, 2002.

Clima

O clima local é Am, caracterizado por ser quente e úmido na classificação de Köppen. Possui uma amplitude térmica mensal em torno de 3° C (oscilação de 25° a 28° C) respectivo à localização do município de Maracanã que é beneficiada pelos ventos oceânicos. Estiagem marcante de julho a novembro (precipitação inferior a 60 mm) e uma estação chuvosa bem acentuada, de janeiro a junho, que varia em média de 2.000 a 3.000 mm. A umidade relativa do ar apresenta valores médios mensais entre 77% a 91% (MARTORANO et al., 1993).

Vegetação

Nas áreas de nascentes, se destacam as remanescentes formações florestais, a capoeira derivada de desmatamentos para cultivos agrícolas e palmeiras. Na área de transição é possível identificar a floresta primária, a capoeira e o manguezal, além de campos alagados. Essa substituição gradual da vegetação se dá em resposta à dessalinização do meio, que é gradativa à medida que se direciona para o continente, e que dessa forma, define-se assim um limite entre as formações florestais e o ambiente estuarino. Nas áreas costeiras ocorre a influência marinha e a fluviomarinha (manguezal) localizada a partir de um trecho em Santarém Novo até a vila de Penha, nordeste da baía de Maracanã (COSTA e LIMA, 2004).

Solos

Às proximidades do município de Santa Maria do Pará, localização das nascentes, observou-se a ocorrência de podzóis e areias quartzosas. Na região de transição e estuarina (Velha Timboteua, Santarém Novo e parte da baía de Maracanã), a constituição edáfica varia entre areias, latossolo amarelo e solos indiscriminados de manguê (SOUZA et al., 1991; SILVA et al., 1994).

Geologia

A área fisiográfica em estudo é constituída pela Formação Pirabas, que aflora em toda faixa litorânea da região nordeste do Pará (COSTA et al., 1977; BEZERRA, 1991); pelo Grupo Barreiras e Pós-Barreiras, formado por sedimentos argilo-arenosos, areno-argilosos e seixos de quartzo (ROSSETTI et al., 1989; GÓES et al., 1990; BEZERRA, 1991) e pelos sedimentos recentes, que são depósitos fluviais com acúmulos de seixos, areias finas e argilas escuras, caracterizando as baixadas atuais dos rios, manguezais e praias (ACKERMANN, 1964).

Hidrografia

Quanto a seu perfil é um rio tipicamente meandrante, de baixa declividade que permite o escoamento superficial, possibilitando assim, uma drenagem com ampla quantidade de cursos d'água em diferentes direções (SOARES, 1991).

O regime do rio é condicionado ao fluxo pluvial da região. Na estação chuvosa, de janeiro a junho, observaram-se o surgimento de afluentes não-perenes que deságuam em geral para o rio Maracanã, e que conseqüentemente, eleva o nível da bacia. Já na estiagem, de julho a novembro, o nível do rio se estabiliza permanecendo assim até meados de dezembro.

Os padrões de drenagem identificados na bacia do rio Maracanã ratificam a sua disponibilidade hídrica (vazão de 10^3 a 10^4 $m^3 \cdot s^{-1}$), e dessa forma, as similaridades com outros rios da mesorregião Nordeste (rio Marapanim, rio Caripi, dentre outros).

As áreas interiores apresentam notável desproporção entre suas larguras e extensões em relação às rias marinhas (COSTA e LIMA, 2004). Deste modo, foram selecionados o igarapé do Tubo, o rio Jeju, o rio Taciateua e o próprio rio Maracanã (porto Caju), com profundidade média em torno de 4m no período chuvoso e larguras que variam de 30 a 60 m. As águas são de coloração castanho-avermelhada que, segundo Sioli (1967), são rios de "águas pretas". Nessa área predominam drenagens típicas de córregos pequenos, vazões de $30 m^3 \cdot h^{-1}$ (estiagem) e $40 m^3 \cdot h^{-1}$ (chuvoso).

Na zona de transição são formados importantes sistemas de trocas entre as águas interiores e os sistemas marinhos. Nessa área, em porto Livramento, situado entre os municípios de Nova Timboteua e Igarapé-Açu, o rio Maracanã é classificado como um rio de águas pretas e apresenta uma profundidade de 6 m no período chuvoso e largura de 200 m.

Na área estuarina, à montante da baía, em Santarém Novo, o rio Maracanã tem uma coloração turva amarelada, de profundidade em torno de 17 m na maré alta e largura de 600 m. As vazões nessa região ficaram em torno de $60 m^3 \cdot h^{-1}$ (estiagem) e $70 m^3 \cdot h^{-1}$ (chuvoso). Na baía de Maracanã, as águas também são turvas, ora amareladas ora esverdeadas, com profundidades médias de 20 m e largura de 650 m, que deságua por fim na porção nordeste da baía, em Penha. Nessa área da bacia, o pescado corresponde importante sustentação econômica do município e das localidades adjacentes. As práticas de pesca usadas pelas comunidades são a

tradicional (caniço, tarrafas, malhadeiras, curral) e a captura de mariscos (caranguejo, mexilhão, sarnambi e siri).

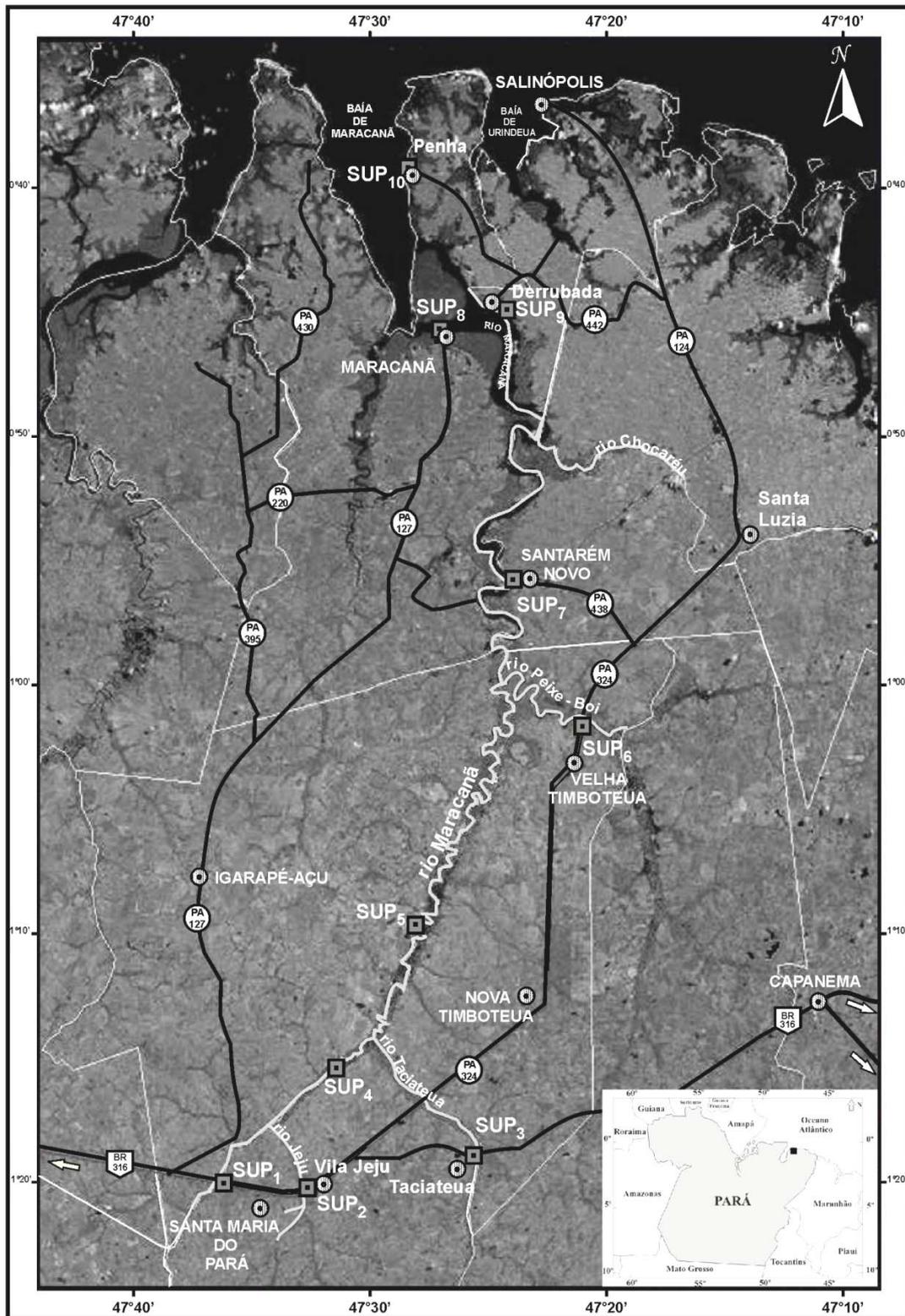
3. MATERIAL E MÉTODOS

Seleção de áreas para amostragem

Os pontos de coleta foram selecionados a partir de excursões preliminares em toda bacia, de conversas informais com as comunidades e de relatórios socioeconômicos sobre a região. A amostragem foi realizada na estiagem de 2002 (outubro a dezembro) e na estação chuvosa de 2003 (março a junho). Na Tabela 1 foram descritas características dos pontos selecionados ao longo do curso da bacia do rio Maracanã (Figura 2) e sua utilização segundo abastecimento doméstico, recreação e atividades de pesca.

Tabela 1 - Características gerais dos pontos de coleta para as águas superficiais da bacia do rio Maracanã.

Referência	Ponto de coleta	Local	Aspecto/coloração/profundidade	Vegetação dominante	Material geológico	Utilidade
	SUP ₁	igarapé do Tubo	límpida / castanho / 1 m	florestas e capoeiras	areno-argiloso	consumo
área de nascentes	SUP ₂	rio Jeju	límpida / castanho / < 4 m	florestas e capoeiras	arenoso	lazer
	SUP ₃	rio Taciategua	límpida / castanho / < 4 m	florestas e capoeiras	argila do Pós-Barreiras	lazer
	SUP ₄	rio Maracanã (porto Caju)	límpida / castanho / < 4 m	capoeiras	arenito do Pós-Barreiras	lazer pesca
área de transição	SUP ₅	rio Maracanã (porto Livramento)	límpida / castanho / < 4 m	capoeiras	arenito do Pós-Barreiras	lazer pesca
	SUP ₆	rio Peixe-Boi	turva / castanho / < 6 m	capoeiras manguezal	sedimentos de mangue	lazer pesca
	SUP ₇	rio Maracanã (Santarém Novo)	turva / amarelada / > 15 m	manguezal	sedimentos de mangue	lazer pesca
área estuarina	SUP ₈	rio Maracanã (próximo à falésia)	turva / amarelada / > 15 m	manguezal	terreno firme do Pós-Barreiras	lazer pesca
	SUP ₉	baía de Maracanã (Derrubada)	turva / esverdeada / > 15 m	manguezal	arenoso na margem	pesca
	SUP ₁₀	baía de Maracanã (Penha)	turva / esverdeada / > 15 m	manguezal	terreno firme do Pós-Barreiras	lazer pesca



LEGENDA

- Municípios (sede), localidades e vilas ⊙
- Pontos de coleta □
- Estrada pavimentada —

Fonte: Mosaico de imagens de satélite LandsAT TM-5, composição colorida RGB, bandas 3,4 e 5. INPE-2000.

ESCALA 0 5 10 15
1 cm ≅ 5 km km

Figura 2. Localização de pontos de coleta das águas superficiais em áreas selecionadas na bacia do rio Maracanã.

Procedimentos de campo e laboratório

Nas atividades de campo foram utilizadas garrafas de polietileno de 1000 mL para as análises químicas e na determinação de pigmentos fotossintetizantes, garrafas de propileno de 5000 mL revestidas contra luminosidade. Os métodos de coleta, preservação, acondicionamento e análise foram baseados nos protocolos da (APHA, 1995), (SOUZA e DERISIO, 1987) e Norma Técnica - CETESB (1978).

Os parâmetros físico-químicos determinados *in situ* foram temperatura, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos (modelo ORION 115A) e pH (modelo WTW 91). Nos procedimentos de laboratório foram avaliados turbidez e cor (espectrofotômetro HACH 2100 P), material particulado em suspensão (Gravimetria - STRICKLAND e PARSONS, 1972), clorofila-a (APHA, 1995) e matéria orgânica (EMBRAPA, 1997).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Parâmetros físicos e físico-químicos

As temperaturas observadas foram concordantes para a região equatorial, em média 29° C. Nas áreas de nascentes, sob domínio de cobertura vegetal e no período chuvoso foi registrada a menor temperatura (27° C), no entanto, na área estuarina, com a maior incidência de radiação solar e menor cobertura vegetal registraram-se as temperaturas mais elevadas (30,7° C).

Para as áreas de nascentes, a interpretação dos resultados físico-químicos foi ratificada por condições da própria sazonalidade e da hidroquímica local, deste modo, o que se deduz é que na estiagem ocorre um aumento na concentração de eletrólitos, registrado pelos valores máximos obtidos de condutividade elétrica (59,5 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), STD (28,0 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) e pH (6,8), enquanto que no período chuvoso ocorre um efeito diluidor nas águas, registrado pelos valores mínimos de condutividade elétrica (21 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) e STD (10 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$), além de um aumento de coloração (165 UC) compatível com as concentrações de matéria orgânica (5,81 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$), turbidez (12,9 UNT) e acidez (pH 5,2).

As observações de campo mostraram notável ocorrência de podzóis e areias quartzosas em terrenos situados nessas áreas; dessa forma, tanto a lixiviação desses solos como as águas subterrâneas percoladas das nascentes para o fluxo fluvial carregam compostos húmicos capazes de produzir uma coloração típica castanho-avermelhada, que segundo a literatura, são classificadas como rios de “águas pretas” (SIOLI, 1967; AIKEN et al., 1985; KÜCHLER et al., 2000).

Na área de transição, a amostragem foi dividida em pontos onde a dinâmica de maré é mínima, portos Caju (SUP₄) e Livramento (SUP₅), e pontos com a dinâmica de maré bem mais pronunciada, rio Peixe-Boi (SUP₆) em Velha Timboteua. Neste contexto, a transição entre os resultados foi justificada pela característica do ambiente, no caso do porto Caju (SUP₄), sob influência mínima de maré e no período

chuvoso foram registrados a elevada acidez (pH 4,8) e os valores de condutividade elétrica e STD ($21,2 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ e $10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, respectivamente). Para o rio Peixe-Boi (SUP₆), no mesmo período, entretanto, os resultados de valores de pH (5,9), condutividade elétrica ($54,8 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) e STD ($26,0 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) foram associados à dinâmica dos fluxos de marés. Além disto, a coloração das águas nessa área atingiu valores máximos de 144 UC em pontos mais distantes dos manguezais (SUP₅), e valor de 166 UC em local mais próximo do manguezal (SUP₆), ambos no período chuvoso.

As áreas estuarinas são divididas em pontos à montante da baía e na própria baía de Maracanã; neste caso, deve-se levar em conta fatores como a sazonalidade, a hidrodinâmica dos componentes fluviais e oceânicos e o fluxo de marés. Para os pontos à montante da baía, observou-se que durante a estiagem e na máre enchente foram registrados os valores de condutividade elétrica ($15.270 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), pH (7,35), STD ($8.630 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) e turbidez (617 UNT). No período chuvoso, sob condições de maré vazante e com a maior penetração das águas fluviais foi observada diminuição nas concentrações de condutividade elétrica ($34,4 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), pH (5,4), STD ($16 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) e turbidez (183 UNT). Com efeito, as mesmas interpretações geoquímicas se refletem para o nordeste da baía de Maracanã (SUP₁₀), visto que, na estiagem, os valores máximos obtidos de condutividade elétrica ($31.300 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), pH (7,9) e STD ($17.693 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) se opõem aos resultados obtidos durante o período chuvoso, com $17.000 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, (7,9) e $9.500 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, respectivamente.

Parâmetros químicos e hidrobiológicos

É intuitivo esperar que a sazonalidade promova uma manutenção dos ciclos biogeoquímicos necessária a toda biodiversidade aquática e terrestre. Tal situação foi evidenciada pela quantificação de compostos orgânicos e do conteúdo eletrolítico, expressos diretamente pelas concentrações de matéria orgânica e de condutividade elétrica, respectivamente. Pesquisas em escala de meso e microbacias fornecem algumas das mais importantes informações sobre os sistemas hidrológicos e biogeoquímicos nos ecossistemas florestais, sobretudo na Amazônia (NEILL et al., 2006).

Estudos sobre a origem e natureza dos solutos orgânicos em águas tropicais na Amazônia, revelaram uma relação direta dos processos geoquímicos e da matéria orgânica dissolvida (ERTEL, et al., 1986; RICHEY et al., 1990; KÜCHLER et al., 2000; MCCLAIN e ELSENBEER, 2001). Segundo Leenheer (1980), a matéria orgânica (dissolvida e particulada) transportada pelos afluentes de águas pretas da bacia do rio Amazonas exibem concentrações bem apreciáveis. Para o rio Negro, as concentrações de carbono orgânico dissolvido foi de $12,0 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, pH (4,2) e condutividade de $12 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$.

Um estudo mais complexo realizado sobre a biogeoquímica da bacia Amazônica destacou a concentração de $12 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de carbono orgânico dissolvido no rio Negro, enquanto que no rio Amazonas diminuiu para em torno de $5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$

(RICHEY et al., 1990). Mais recentemente, todo o trabalho realizado por Richey e colaboradores sobre a natureza e o transporte da matéria orgânica pelo sistema fluvial da bacia foi reavaliado e sumarizado no texto de (MCCLAIN e ELSENBEER, 2001). Os autores enfatizam a relevância da biogeoquímica dos rios amazônicos para o desenvolvimento sustentável e conservação da biodiversidade em escala regional, refletindo de tal modo, para níveis globais.

Nas áreas de nascentes, durante a estiagem, as águas superficiais registraram valores de matéria orgânica dissolvida ($4,06 \text{ mg.L}^{-1}$) e material particulado em suspensão ($3,6 \text{ mg.L}^{-1}$); já no período de chuvas mais abundantes, com os processos de lixiviação dos solos e a maior mobilidade dos compostos húmicos ocorreu um acréscimo nessas concentrações, especificadas em máximos de $5,8 \text{ mg.L}^{-1}$ e $23,2 \text{ mg.L}^{-1}$, respectivamente.

Por sua vez, na zona estuarina, em pontos à montante da baía, observou-se que no período chuvoso ocorre uma maior contribuição da matéria orgânica de origem fluvial, levando a um resultado de $6,5 \text{ mg.L}^{-1}$; entretanto, no período mais seco, a origem da matéria orgânica está mais associada à influência dos sedimentos de mangue, que por essa circunstância, registrou-se um valor máximo de $7,4 \text{ mg.L}^{-1}$. Já em relação aos pontos localizados na baía de Maracanã (SUP₈), o que se deduz é que as condições fisiográficas (fluxo de águas oceânicas e manguezais) favoreçam a origem da matéria orgânica neste local; dessa forma, observaram-se duas situações distintas, durante a vazante e na forte estiagem foram apontados valores máximos de matéria orgânica ($7,36 \text{ mg.L}^{-1}$) e material particulado em suspensão (477 mg.L^{-1}); no entanto, durante o período chuvoso, essas concentrações diminuíram de forma considerável para $3,8 \text{ mg.L}^{-1}$ e $101,7 \text{ mg.L}^{-1}$, respectivamente.

Neste estudo foi realizada a determinação de parâmetros hidrobiológicos, em específico de pigmentos fotossintetizantes (clorofila-a). As principais características hidroquímicas identificadas nas áreas de nascentes foram às elevadas quantidades de material húmico e acidez, e por essas condições, não foram realizadas medidas de clorofilas. Nessas áreas, porém, a manutenção da biodiversidade aquática se faz mediante as atividades microbianas essenciais ao ciclo biogeoquímico, visto que, ora tornam-se alimento à cadeia trófica, ora são capazes de produzir matéria orgânica degradada.

Para o estuário, à montante da baía, observou-se tanto a influência da dinâmica dos fluxos de marés e dos manguezais, neste contexto, as concentrações de clorofila-a foram quantificados em $39,5 \text{ mg.m}^{-3}$, na estiagem e de $3,0 \text{ mg.m}^{-3}$, no chuvoso. Já na porção nordeste da baía, essas concentrações tiveram um acréscimo para $49,3 \text{ mg.m}^{-3}$, no período mais seco e de $26,6 \text{ mg.m}^{-3}$, na época das chuvas; tais resultados poderão ser justificados pela presença de matéria orgânica de origem estuarina e/ou marinha.

Na Tabela 2 estão descritos os parâmetros físico-químicos, químicos e hidrobiológicos a partir de valores em cada área respectiva da bacia.

Tabela 2. Parâmetros físico-químicos, químicos e hidrobiológicos das águas superficiais (SUP) da bacia hidrográfica do rio Maracanã.

Período	Referência	Pontos de Coleta	Parâmetros								
			Temp. (°C)	pH	CE ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	Cor (UC)	Turbidez (UNT)	STD (mg.L^{-1})	MPS (mg.L^{-1})	MOT (mg.L^{-1})	Clorofila-a (mg.m^{-3})
Estiagem	áreas de nascentes	SUP ₁	29,20	5,84	23,40	8	2,16	11,00	2,00	1,51	na
		SUP ₂	29,20	6,55	37,20	10	2,83	17,00	2,80	2,41	na
		SUP ₃	30,10	6,84	59,50	24	2,76	28,00	3,60	4,06	na
	área de transição	SUP ₄	29,40	6,40	32,40	21	4,95	15,00	3,60	2,61	na
		SUP ₅	29,40	5,94	42,40	19	3,87	20,00	2,80	3,16	na
		SUP ₆	29,40	6,62	136,00	29	700,00	64,00	1.272,00	12,93	na
	área estuarina	SUP ₇	30,00	7,35	15.270,00	14	617,00	8.630,00	736,10	7,43	39,50
		SUP ₈	30,00	7,78	2.920,00	14	150,00	1.640,00	477,00	7,36	44,03
		SUP ₁₀	30,70	7,88	31.300,00	10	213,00	17.693,00	277,00	6,90	49,32
Chuvoso	áreas de nascentes	SUP ₁	27,00	4,82	21,00	139	14,30	10,00	23,24	3,78	na
		SUP ₂	27,00	4,87	21,80	157	10,30	10,00	5,53	5,47	na
		SUP ₃	27,00	5,19	31,10	165	12,90	15,00	9,20	5,81	na
	área de transição	SUP ₄	26,90	4,79	21,20	173	12,20	10,00	8,00	5,69	na
		SUP ₅	27,30	4,90	25,20	144	6,47	12,00	7,00	5,66	na
		SUP ₆	27,15	5,98	54,80	166	18,68	26,00	21,63	4,36	na
	área estuarina	SUP ₇	27,40	5,42	34,40	> 250	183,00	16,00	334,00	6,50	3,0
		SUP ₈	26,90	6,27	4.650,00	> 250	115,00	2.400,00	101,72	3,78	10,14
		SUP ₉	27,10	6,10	4.780,00	378	60,30	2.480,00	48,28	3,14	na
		SUP ₁₀	29,20	7,94	17.000,00	163	31,70	9.500,00	55,25	5,50	26,57

Observações:

- Parâmetros - Condutividade elétrica (CE), sólidos totais dissolvidos (STD), material particulado em suspensão (MPS), matéria orgânica total (MOT).
- não analisado (na).

Análise estatística

A eficiência dos resultados hidrogeoquímicos foi avaliada a partir de correlações entre as variáveis químicas das águas superficiais, as diferentes estações e as peculiaridades geoquímicas de cada área da bacia do rio Maracanã - nascentes, transição e estuário.

Com os dados obtidos por cada parâmetro foram determinados coeficientes de correlação linear de Pearson entre essas variáveis selecionadas, originando deste modo, uma matriz de correlação com um nível de significância de $p < 0,05$. O software empregado foi Statistica[®] '99 Edition (Stat Soft).

Tabela 3 - Dados de correlação entre os parâmetros químicos selecionados na bacia do rio Maracanã.

Variável	Parâmetros						
	Temp. (°C)	pH	CE (µS.cm ⁻¹)	Cor (UC)	Turbidez (mg.L ⁻¹)	MPS (mg.L ⁻¹)	MOT (mg.L ⁻¹)
Temp. (°C)	<i>1</i> <i>p=---</i>	0,71* p=,001	0,38 <i>p=,113</i>	-0,45 <i>p=,055</i>	0,28 <i>p=,245</i>	0,31 <i>p=,194</i>	0,20 <i>p=,424</i>
pH	0,71* p=,001	<i>1</i> <i>p=---</i>	0,67* p=,002	-0,34 <i>p=,155</i>	0,33 <i>p=,163</i>	0,39 <i>p=,101</i>	0,23 <i>p=,337</i>
CE (µS.cm ⁻¹)	0,38 <i>p=,113</i>	0,67* p=,002	<i>1</i> <i>p=---</i>	-0,13 <i>p=,599</i>	0,21 <i>p=,384</i>	0,19 <i>p=,434</i>	0,22 <i>p=,356</i>
Cor (UC)	-0,45 <i>p=,055</i>	-0,34 <i>p=,155</i>	-0,13 <i>p=,599</i>	<i>1</i> <i>p=---</i>	-0,15 <i>p=,540</i>	-0,16 <i>p=,502</i>	-0,08 <i>p=,737</i>
Turbidez (mg.L ⁻¹)	0,28 <i>p=,245</i>	0,33 <i>p=,163</i>	0,21 <i>p=,384</i>	-0,15 <i>p=,540</i>	<i>1</i> <i>p=---</i>	0,98* p=,000	0,83* p=,000
MPS (mg.L ⁻¹)	0,31 <i>p=,194</i>	0,39 <i>p=,101</i>	0,19 <i>p=,434</i>	-0,16 <i>p=,502</i>	0,98* p=,000	<i>1</i> <i>p=---</i>	0,87* p=,000
MOT (mg.L ⁻¹)	0,20 <i>p=,424</i>	0,23 <i>p=,337</i>	0,22 <i>p=,356</i>	-0,08 <i>p=,737</i>	0,83* p=,000	0,87* p=,000	<i>1</i> <i>p=---</i>

(1) $p < 0,05$

(2) $N=19$

(3) * Correlações significativas (negrito)

(4) Parâmetros - Condutividade elétrica (CE), material particulado em suspensão (MPS), matéria orgânica total (MOT).

As medidas dos parâmetros físico-químicos nas áreas da bacia do rio Maracanã, caracterizada em parte por igarapés de águas pretas e o rio principal por águas turvas, estão diretamente associadas à composição química da precipitação, a lixiviação de terrenos intemperizados, sob vegetação diversificada em fragmentos florestais, capoeiras, áreas alagadas e o manguezal; a particularidade da área de transição, em que se observa os efeitos de maré, além do próprio estuário. Todas estas interpretações sugerem correlações positivas de valores r 0,67-0,71 entre temperatura, pH e condutividade elétrica para as três áreas da bacia, mostrando uma relação significativa destas variáveis nos dois períodos sazonais.

Em referência aos parâmetros geoquímicos da bacia, a mobilidade de compostos orgânicos e inorgânicos, oriundos da geologia dominante em sedimentos argilosos e arenosos, da interação vegetação-solo-água e dos canais de marés com entradas de eletrólitos para o continente; se faz coerente, sobretudo para os resultados de matéria orgânica, turbidez e MPS em toda bacia, já que os compostos presentes nesses ambientes podem estar relacionados a MO dissolvida, a MO particulada e a

MO do próprio estuário. Estas explicações são ratificadas pelos valores significativos de r 0,83-0,98 para os parâmetros químicos citados.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo colaborou para a formação de conhecimento relacionado à fertilidade de das águas na bacia do rio Maracanã. Dessa forma, os diferentes ecossistemas e suas respectivas sustentabilidades foram avaliados de acordo com o ambiente natural - o ciclo hidrológico, as variações de estação, as trocas entre o fluxo continental e oceânico, o manguezal e a ciclagem dos constituintes geoquímicos. Portanto, essa avaliação mostrou pontos interessantes relacionados com o desenvolvimento sustentável da região e o conseqüente benefício socioambiental que aqui são exemplificadas por atividades de pesca nas diferentes épocas do ano.

Nas nascentes do rio Maracanã, o que se deduz é que a ciclagem dos constituintes químicos ocorra por atividades 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. Considerou-se que todo esse material orgânico seja predominantemente dissolvido, em contraposição à matéria orgânica particulada da área estuarina. Os resultados analíticos apresentados (1,5 a 5,8 mg.L⁻¹) estão em concordância com outros estudos desenvolvidos na Amazônia.

Na área da bacia em que ocorre a transição dos ecossistemas, observou-se que no ponto (SUP₄) mais próximo as nascentes e com baixo fluxo de marés, os valores de matéria orgânica dissolvida ficaram em torno de 2,61 mg.L⁻¹; já no ponto mais próximo ao estuário (SUP₆), a dinâmica de marés é bem mais pronunciada, isto é, acompanhando as variações da salinidade registrou-se que a distribuição das espécies botânicas delinea uma faixa de transição definida entre a água doce e salgada, com isso, a matéria orgânica quantificada (12,93 mg.L⁻¹) tem origens no próprio manguezal e no material em suspensão das águas continentais.

Por sua vez, as áreas estuarinas são caracterizadas pela interseção entre ambientes aquáticos bem diferenciados e essa particularidade faz com que esta área seja mais produtiva do que as nascentes. Conseqüentemente, o que se conclui é que as propriedades químicas estão relacionadas com os efeitos da mistura e dinâmica das águas fluviais com as águas oceânicas. Essa interpretação está associada com as concentrações de matéria orgânica (mínimo de 3,1 mg.L⁻¹ e máximo de 7,40 mg.L⁻¹).

Deste modo, as três áreas selecionadas na bacia do rio Maracanã apresentaram uma energia suficiente para manutenção aquática. Fatores como a mobilidade química e o ciclo biogeoquímico possibilitaram visualizar e avaliar alguns constituintes necessários para compreender o funcionamento de todo ecossistema local, e assim, traçar uma perspectiva sobre a sustentabilidade da bacia que pode ser exemplificada por uma diversidade de pescados, sobretudo na baía de Maracanã; com

isso se faz relevante o desenvolvimento de políticas públicas voltadas às cooperativas de pesca, comercialização e criação de mariscos, dentre outras práticas.

6. AGRADECIMENTOS

A CAPES pela bolsa de mestrado e ao PIBIC (convênio CNPq-UFPA) pela bolsa de iniciação científica. Ao Dr. Francisco de Assis Costa (UFPA) pelas diversas informações construtivas. Ao Dr. Ricardo de O. Figueiredo (Embrapa Amazônia Oriental) pela contribuição pessoal; e de modo particular, ao Dr. Jeffrey Richey (University of Washington) pelo incentivo a Fabíola F. Costa, por ocasião de sua visita a Embrapa Amazônia Oriental (Belém-PA) em 2006.

7. REFERÊNCIAS

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

AIKEN, G. R.; McKNIGHT, D. M.; WERSHAW, R. L.; MACCARTHY, P. **Humic substances in soil, sediments and water: Geochemistry, isolation and characterization**. New York: Wiley, 1985. p.363-385.

APHA-AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 19 ed. Washington: American Public Health Association, AWWA, WPCF, 1995. 1268p.

SOUZA, H B. de; DERISIO, J.C. **Guia Técnico de Coleta de Amostras de Água**. São Paulo: COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB, 1987. 266p.

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

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **NORMALIZAÇÃO TÉCNICA SANEAMENTO AMBIENTAL, Norma Técnica - 07: Análises Físico-Químicas de Águas**. São Paulo: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental -, 1978, 128p.

COSTA, F. F.; LIMA, W. N. **Avaliação geoquímica ambiental de área selecionada da bacia hidrográfica do rio Maracanã (Nordeste do Pará)**. 2004. 145p.

Dissertação (Mestrado em Geoquímica Ambiental e de Superfície) - Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará, Belém, 2004.

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: Ministério das Minas e Energia (MME). Departamento Nacional da Produção Mineral (Convênio DNPM/CPRM), 1977. v. 2, 258p.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solos**. 2^a ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos (CNPq), Documentos-1, 1997. 212p.

ERTEL, J.; HEDGES, J. I; RICHEY, J. E.; DEVOL, A. H.; dos SANTOS, U. Dissolved humic substances of the Amazon River system. **Limnology and Oceanography**, Canadá, v. 31, p. 739-754, 1986.

FORTESCUE, J. A. C. **Environmental Geochemistry: a holistic approach**. New York: Springer-Verlag (Ecological Studies), v. 35, 1980. 347p.

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

KÜCHLER, I. L.; MIEKELEY, N.; FORSBERG, B. R. A contribution to the chemical characterization of rivers in the Rio Negro Basin, Brazil. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, São Paulo, v. 11, n. 3, p. 286-292, 2000.

LEENHEER, J.A. Origin and nature of humic substances in the waters of the Amazon River Basin. **Acta Amazonica**, Manaus, v.10, n. 3, p. 513-526, 1980.

MARTORANO, L.G.; PEREIRA, L.C.; CESAR, E.G.M.; PEREIRA, J.C.B. **Estudos climáticos do Estado do Para, classificação climática (Koppen) e deficiência hídrica (Thornthwaite, Mather)**. Belém: SUDAM / Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 1993. 53p.

McCLAIN, M. E.; ELSENBEER, H. Terrestrial inputs to Amazon streams and internal biogeochemical processing. *In*: McCLAIN, M.E., VICTORIA, R.L., RICHEY, J. (Eds.) **The Biogeochemistry of the Amazon Basin**. United Kingdom: Oxford University Press, 2001. p.185-208.

NEILL, C.; ELSENBEER, H.; KRUSCHE, A. V.; LEHMANN, J.; MARKEWITZ, D.; RICHEY, J.E.; VICTORIA, R.L.; SALATI, E.; FORSBERG, B.R. The biogeochemistry of a major river system: the Amazon case study. *In*: DEGENS, E.T; KEMPE, S. & RICHEY, J.E. (Eds.) **Biogeochemistry of major world rivers**. New York: John Wiley & Sons, 1990, p. 57-74.

RICHEY, J. E.; HEDGES, J. I.; DEVOL, A. H.; QUAY, P. D. Biogeochemistry of carbon in the Amazon River. **Limnology and Oceanography**, Canadá, v. 35, n. 2, p. 352-371, 1990.

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

SIOLI, H. Studies in Amazonian waters. **Atas do Simpósio sobre a Biota Amazônica**, Belém, v. 3, p. 9-50, 1967.

SILVA, J. M. L da; OLIVEIRA JÚNIOR, R. C de; RODRIGUES, T. E. Levantamento de reconhecimento de alta intensidade dos solos da folha Salinópolis. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi (série Ciências da Terra)**, Belém, n. 6, p. 61-90, 1994.

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

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

STRICKLAND, J. D. H.; PARSONS, T. R. **A Practical handbook of seawater analysis**. Canadá: Bulletin of Fishery Research Board, 1972, 310p.