

AVALIAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE METAIS PESADOS EM SEDIMENTOS DO ESTUÁRIO DO RIO TIMBÓ, PERNAMBUCO-BRASIL

Assessment of trace metals concentrations in Timbó River Estuary sediments, Pernambuco-Brazil

Tibério Jorge Melo de Noronha¹, Héliida Karla Philippini da Silva¹, Marta Maria Menezes Bezerra Duarte²

RESUMO

O Estuário do Rio Timbó localiza-se na Região Metropolitana do Recife, entre os municípios de Abreu e Lima, Paulista e Igarassu. Possui uma área aproximada de 1397 hectares e é afetado pela ação humana, principalmente aquela relacionada à pressão urbana e atividades industriais. Neste trabalho foram avaliados os parâmetros hidrológicos e as concentrações de metais pesados (Zn, Mn, Cr, Cu, Ni, Cd e Fe), nos períodos chuvoso e seco. Os parâmetros hidrológicos foram medidos em quatro pontos do canal principal do rio, conforme o Standard Methods for Examinations of Water and Wastewater. As amostras de sedimento foram submetidas a abertura ácida em um digestor de amostras por microondas e, para quantificação dos metais, foi utilizado um Espectrômetro de Emissão Ótica em Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES). Os resultados indicaram que a água do Timbó esteve comprometida em relação aos valores de oxigênio dissolvido e à taxa de saturação de oxigênio dissolvido que indicou supersaturação na maioria das estações amostradas. Foram obtidas concentrações máximas de zinco (723 mg.kg⁻¹), manganês (438 mg.kg⁻¹), cromo (338 mg.kg⁻¹) e ferro (62840 mg.kg⁻¹) superiores aos valores de referência, inclusive apresentando teores que ultrapassaram os valores-guias adotados pelo Conselho Canadense do Ministério do Meio Ambiente, acima dos quais a ocorrência de efeitos negativos à biota é provável. Entretanto, os valores obtidos para o pH (condições redutoras) e a carga orgânica tendem a imobilizar os metais no sedimento por mecanismos de adsorção e precipitação, tornando-os menos disponíveis para outros compartimentos aquáticos.

Palavras-chave: metais pesados. estuários. Sedimentos.

ABSTRACT

Timbó River Estuary is located in the Metropolitan Region of Recife, among the cities Paulista, Abreu e Lima and Igarassu. It has an approximate area of 1397 hectares, and is affected by human action, especially that related to urban pressure and industrial activities. This work aims to determine the hydrological parameters and heavy metals concentrations (Zn, Mn, Cr, Cu, Ni, Cd and Fe), in rainy and dry periods. Hydrological parameters were measured at four points in the main channel of the river, according to Standard Methods for Examinations of Water and Wastewater. Sediment samples were submitted to acid process in a sample digester using the microwave and, for the quantification of metals, using the Optical Emission Spectrometer with Inductively Accolade Plasma (ICP-OES). Results indicated that Timbó water is compromised concerning dissolved oxygen values (DO); and concerning dissolved oxygen saturation which indicated oversaturation in the most stations sampled. The maximum values of zinc (723 mg.kg⁻¹), manganese (438 mg.kg⁻¹), chrome (338 mg.kg⁻¹) and iron (62840 mg.kg⁻¹) were above those of reference, also presenting concentrations higher than the guide-values adopted by the Canadian Counselor of Environmental Minister. However, pH values (reduced conditions) and the organic load tend to immobilize metals in the sediment by adsorption and precipitation mechanisms making them less available to the other aquatic compartments.

Key words: trace metals. estuaries. sediments.

¹ Associação Instituto de Tecnologia de Pernambuco - ITEP

² Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

INTRODUÇÃO

As áreas estuarinas estão entre as mais afetadas ambientalmente devido à exploração pesqueira, derrubada de mangues, poluição por detritos industriais e/ou domésticos, aterros, turismo ou simples especulação imobiliária (Macêdo *et. al.*, 2000). Apesar de, em sua maioria, estarem acentuadamente degradadas, as áreas alagadas podem efetivamente remover ou converter grandes quantidades de poluentes, incluindo material orgânico, sólidos suspensos, metais e excesso de nutrientes. Alguns são imobilizados por processos físicos ou químicos e permanecem assim por um longo período, a menos que ocorram alterações ambientais (Hammer, 1992). Os metais pesados destacam-se como contaminantes das áreas alagadas, tendo como fontes mais comuns os efluentes de mineração, águas residuárias industriais, escoamento superficial de águas pluviais, resíduos sólidos, efluentes de áreas urbanas, resíduos agrícolas, fertilizantes e combustíveis fósseis (Domenico & Schwartz, 1997).

Quando ocorre contaminação por metais pesados, normalmente são geradas concentrações potencialmente tóxicas, expondo populações e causando acumulação nos organismos (Azevedo & Chasin, 2003). Essa acumulação pode levar a reações adversas em diferentes ambientes chegando a causar danos aos seres humanos, notadamente relacionados aos metais carcinogênicos como cádmio, cromo, arsênio, selênio e chumbo, encontrados em alimentos e água de abastecimento (Pascalichio, 2002).

Nos estuários e deltas dos rios encontra-se uma estreita faixa de florestas, o manguezal, que é um ecossistema costeiro, característico de regiões tropicais e subtropicais que determinam um importante papel na ciclagem de energia e nutrientes (Salomons, 1998). Os manguezais podem atuar como barreiras biogeoquímicas no transporte de metais pesados, acumulando-os e imobilizando-os no sedimento. Daí a importância do estudo desse sítio que reflete as diversas interações que ocorrem nos ambientes aquáticos e onde os metais permanecem por mais tempo do que na água ou no material em suspensão. Os sedimentos podem ser, além disso, fontes secundárias de contaminantes para os ambientes aquáticos, quando parte dos metais temporariamente imobilizados são disponibilizados em virtude de mudanças físico-químicas, tais como o pH, aumento da salinidade e alterações no potencial redox (Salomons & Förstner, 1984).

O tamanho das partículas e a composição dos sedimentos estão relacionados com a capacidade de ligação dos contaminantes: teores elevados de silte/

argilas e matéria orgânica aumentam a capacidade dos sedimentos em reter íons metálicos via adsorção, quelação e mecanismos de troca iônica. A adsorção de metais pesados em minerais de argila, material orgânico ou óxidos e hidróxidos de ferro e manganês é reconhecida como um importante controle no processo de deposição de metais pesados com o ambiente estuarino (French, 1997).

Outra função importante na ciclagem de metais é aquela creditada às árvores de mangue que podem ser consideradas como “reatores químicos” não só por causa de seus processos bioquímicos e fisiológicos, mas também devido ao papel ativo nas reações nos sedimentos, que exercem grande influência na mobilidade dos metais pesados (Machado *et. al.*, 2002; Defew *et. al.*, 2005; Ramos e Silva *et. al.*, 2006). O fato dos sedimentos de manguezais serem anaeróbios e redutores, além de ricos em sulfetos e matéria orgânica, favorece a retenção dos metais pesados trazidos com a água, e a subsequente oxidação dos sulfetos entre as marés, permitindo a sua mobilização e biodisponibilidade (Borges *et. al.*, 2007).

O presente trabalho teve como objetivo determinar a concentração dos metais pesados zinco (Zn), manganês (Mn), cromo (Cr), cobre (Cu), níquel (Ni), cádmio (Cd) e ferro (Fe) em sedimentos superficiais do estuário do rio Timbó, nas estações chuvosa e seca, relacionando essas concentrações com os parâmetros hidrológicos e com o teor de matéria orgânica, para avaliar o grau de impactação da área estudada em relação a esses contaminantes.

Área do estudo

O rio Timbó está localizado na Região Metropolitana do Recife, Estado de Pernambuco, Brasil, entre as cidades de Paulista, Igarassu e Abreu e Lima. O seu estuário mede cerca de 1397 hectares, abriga expressiva vegetação de mangue e é considerado um dos mais férteis da região devido aos altos índices de produtividade primária. Desta forma, constitui uma representativa área estuarina do litoral norte de Pernambuco. (Figura 1).

O lançamento de efluentes industriais e a ausência de rede de esgoto tem como resultado a poluição de rios e estuários e a degradação desses ecossistemas, o que ocorre no rio Timbó. Na porção final, entre Maria Farinha (Paulista) e Nova Cruz (Igarassu), existem casas de veraneio, marinas e restaurantes que utilizam o canal para passeios e desportos aquáticos, além de uma balsa que faz a travessia de pedestres e veículos entre os dois lados do canal.

Os tipos e intensidades de impactos antrópicos são diversificados, sendo mais comuns na



Figura 1 - Visão geral do estuário do rio Timbó. Fonte: ITEP - Labgeo (imagem do satélite SPOT 5).

margem direita, no sentido da nascente para a foz, com a urbanização desordenada e a instalação de equipamentos industriais. Nas proximidades da foz predominam as tensões provocadas pelas obras de engenharia voltadas para o atendimento ao turismo e atividades de recreação (atracadouros, marinas e hotéis). Na Bacia do Rio Timbó, especificamente no tocante às atividades industriais, destacam-se as indústrias têxtil, metalúrgica, minerais não-metálicos, produtos alimentares, matéria plástica, perfumes/sabões/velas e editora gráfica (CPRH, 2007).

MATERIAIS E MÉTODOS

As amostragens foram realizadas através de coletas em 4 (quatro) pontos, sempre na maré-baixa, compreendendo 8 (oito) estações nas margens esquerda e direita do estuário, sendo duas coletas durante o período chuvoso (julho-agosto/2007) e duas no período seco (dezembro/2007 e janeiro/2008), totalizando 32 coletas de sedimentos superficiais. As

estações de coleta foram escolhidas tomando como critério a deposição de sedimentos segundo a geomorfologia do rio, nomeadas de 01 a 08, no sentido da foz para a nascente e localizadas utilizando-se um GPS (Sistema de Posicionamento Global), em coordenadas geográficas, modelo Etrex Sumnit Garmin (Tabela I).

Os parâmetros hidrológicos (transparência da água, temperatura, salinidade, potencial hidrogeniônico e oxigênio dissolvido) foram medidos *in loco*, conforme o Standard Methods for Examinations of Water and Wastewater (APHA, 2005), em quatro pontos do canal principal do rio (área de maior circulação estuarina).

As amostras de sedimentos superficiais foram coletadas numa profundidade de 0-10 cm, sempre na baixa-mar, nas margens do estuário do rio Timbó, sendo preparadas para a determinação de metais através da secagem em temperatura ambiente, destorroadas e peneiradas com malha de 0,062 mm para separação da fração fina. Para a determinação do

teor de matéria orgânica no sedimento, as amostras em cadinhos foram secas na estufa, a 105°C, por 24 horas, pesadas e depois levadas à mufla em cadinhos de porcelana, calcinadas a 550°C, e pesadas até peso constante. A diferença entre o peso final e o peso inicial constituiu a quantidade de matéria orgânica.

Para determinação do teor de metais no sedimento as amostras foram submetidas a abertura ácida em forno microondas, adaptado a partir do método da Environmental Protection Agency (EPA, 2001) e os metais quantificados utilizando-se o Espectrômetro de Emissão Ótica com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES), da SPECTRO, modelo Spectroflame.

Tabela I - Distribuição das estações de coleta (da foz para a nascente).

ESTAÇÕES	REFERÊNCIA	LOCALIZAÇÃO GPS
01	Margem direita, antes da curva da fábrica	S 07° 52' 5,1" W 34° 51' 15,1"
02	Margem esquerda, antes da curva da fábrica	S 07° 52' 7,8" W 34° 51' 6,2"
03	Margem esquerda, após a fábrica	S 07° 52' 55" W 34° 51' 23,6"
04	Margem direita, após a fábrica	S 07° 53' 48,9" W 34° 51' 34,1"
05	Margem esquerda, braço morto (Porto Arthur)	S 07° 54' 11,4" W 34° 51' 11"
06	Margem direita, braço morto (Porto Arthur)	S 07° 54' 14,6" W 34° 51' 12,3"
07	Margem direita, lateral da ilha central de mangue	S 07° 53' 18" W 34° 51' 43,5"
08	Margem esquerda, lateral da ilha central de mangue	S 07° 53' 19,1" W 34° 51' 37"

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A transparência da água durante o período do estudo apresentou valor médio de 68 cm. O mínimo registrado foi de 15 cm no ponto 04 em agosto/2007 e o máximo de 140 cm no ponto 01 em julho/2007.

O ponto 01 destacou-se com os maiores valores de transparência da água devido à proximidade com o ambiente oceânico, apresentando, também, o maior valor médio; o ponto 03 apresentou o menor valor médio e a menor variação da transparência, relacionados, possivelmente, com a quantidade de matéria orgânica e de sólidos em suspensão, em virtude deste ponto de coleta estar localizado em um "braço morto" do rio que recebe o lançamento de efluentes de esgoto sanitário.

Para a estação chuvosa foi obtido um valor médio de transparência de 67 cm, mínimo de 15 cm (ponto 04 em agosto/2007) e máximo de 140 cm (ponto 01 em julho/2007); na estação seca a média foi de 69 cm, com mínimo de 40 cm (ponto 03 em janeiro/2008) e máximo de 100 cm (ponto 01 em dezembro/2007).

A variação sazonal da transparência em águas estuarinas, no sentido da menor transparência no período das chuvas devido ao carreamento de material em suspensão, foi observada por diversos autores, entre eles Macêdo & Costa, em 1990, no estuário do rio Igarassu; Greco, em 2004, em estudo de correlação da biomassa fitoplanctônica com a hidrologia do estuário do rio Timbó; Silva *et. al.*, em 2004, no estuário do rio Formoso e Lira, em 2008, na Lagoa do Araçá. Neste estudo, este aspecto não ficou evidenciado, obtendo-se, inclusive, valores médios aproximados para as estações seca e chuvosa (Figura 2).

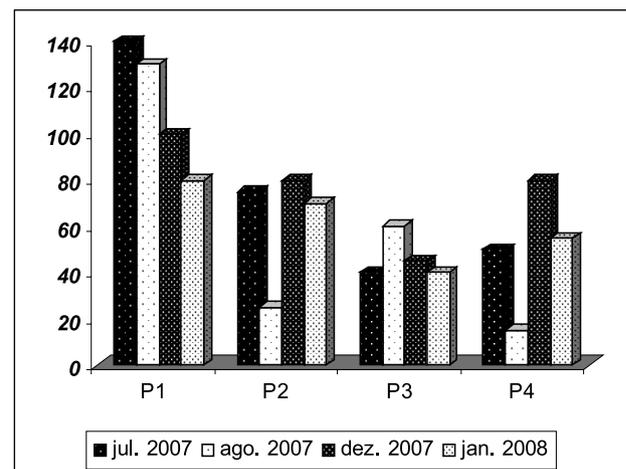


Figura 2 - Variação da transparência da água (cm) nas estações chuvosa (julho e agosto de 2007) e seca (dezembro de 2007 e janeiro de 2008).

No tocante à variação espacial verificou-se um decréscimo dos valores médios de transparência no sentido da foz para a nascente devido à influência marinha. Esse padrão espacial também foi observado por Branco, em 2001, no complexo estuarino de Barra de Jangadas; Silva, em 2004, no estuário do rio Capibaribe e Greco, em 2004.

A temperatura da água no estuário do rio Timbó, durante o período do estudo apresentou valor médio de 28,9°C. A mínima registrada foi de 26°C no ponto 01 em julho/2007 e a máxima de 32°C nos pontos 03 e 04 em janeiro/2008, registrando uma amplitude de 6°C.

Para a estação chuvosa foi obtida uma média de 27,8°C, mínima de 26°C (ponto 01 em julho/2007) e máxima de 29°C (pontos 03 e 04 em julho e

agosto/2007); na estação seca a média foi de 30°C, com mínima de 29°C (pontos 02, 03 e 04 em dezembro/2007) e máxima de 32°C (pontos 03 e 04 em janeiro/2008).

Verificou-se, portanto, a variação sazonal da temperatura da água, com valores mais baixos no período chuvoso (julho e agosto/2007), e mais elevados no período seco (dezembro/2007 e janeiro/2008), tal como foi constatado por Calado, em 2004, no estuário de Barra de Jangadas e em Itamaracá; Greco, em 2004; Silva, em 2004; Silva *et. al.*, em 2004 e Lira, em 2008 (Figura 3).

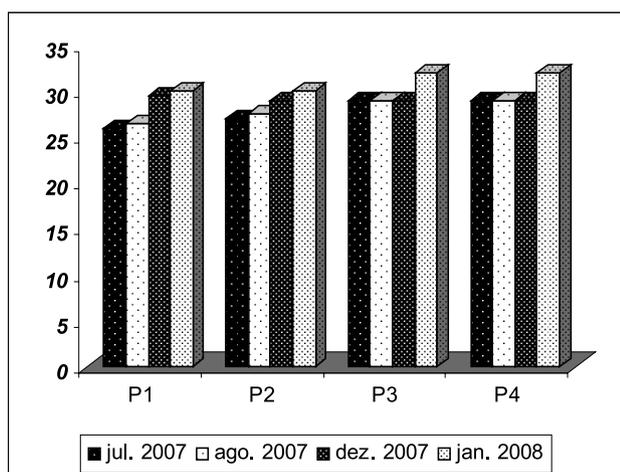


Figura 3 - Variação da temperatura da água (°C) nas estações chuvosa (julho e agosto de 2007) e seca (dezembro de 2007 e janeiro de 2008).

Constatou-se, também, a variação espacial com um gradiente crescente no sentido do ponto 01 para o ponto 04, ou seja, da foz para a nascente, como observado por Greco, em 2004.

A salinidade da água apresentou valor médio de 27,9. O mínimo registrado foi de 17,5 no ponto 03 em agosto/2007 e o máximo de 34,7 no ponto 01 em janeiro/2008. A Resolução CONAMA n.º 357, de 17 de março de 2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos d'água para o seu enquadramento, estabelece, como salobras as águas com salinidade superior a 0,5 e inferior a 30.

Para a estação chuvosa foi obtida uma média de 23,7, mínimo de 17,5 (ponto 03 em agosto/2007) e máximo de 33,3 (ponto 01 em agosto de 2007); na estação seca a média foi de 32,3, com mínimo de 28,5 (ponto 03 em janeiro/2008) e máximo de 34,7 (ponto 01 em janeiro/2008). Observa-se que valores mínimos de salinidade foram obtidos na estação chuvosa e máximos na estação seca (Figura 4).

A salinidade aumentou no sentido da nascente até a foz, apresentando resultados de ambi-

entes polialinos e eualinos, evidenciando a variação sazonal e espacial, também verificada por Calado, em 2004; Greco, em 2004; Silva, em 2004; Silva *et. al.*, em 2004 e Lira, em 2008.

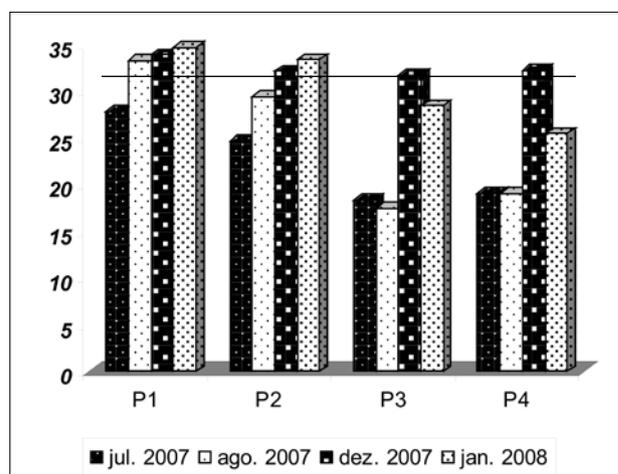


Figura 4 - Variação da salinidade da água nas estações chuvosa (julho e agosto de 2007) e seca (dezembro de 2007 e janeiro de 2008). _____ Valor limite para águas salobras (Resolução CONAMA n.º 357/2005).

Os resultados da salinidade nos pontos 01 e 02 apresentaram valores próximos, que aumentaram da estação chuvosa para a estação seca, como é característico das regiões estuarinas, e as maiores médias em virtude de estarem mais próximos da foz do rio. No entanto, os pontos 03 e 04 apesar de apresentarem valores próximos aos dos pontos 01 e 02 na estação seca, apresentaram, também, uma diferença nas medições da estação chuvosa, que pode ser explicada pelo fato de estarem localizados a maior distância da foz e receberem menor influência das águas oceânicas, amplificando a contribuição das águas das chuvas.

O oxigênio dissolvido na água no estuário do rio Timbó apresentou valor médio de 7,8 mL.L⁻¹. O mínimo registrado foi de 3,4 mL.L⁻¹ no ponto 01 em julho/2007 e o máximo de 13,3 mL.L⁻¹ no ponto 04 em julho/2007.

Para a estação chuvosa foi obtida uma média de 7,6 mL.L⁻¹, mínimo de 3,4 mL.L⁻¹ (ponto 01 em julho/2007) e máximo de 13,3 mL.L⁻¹ (ponto 04 em julho/2007); na estação seca a média foi de 8,1 mL.L⁻¹, com mínimo de 5,6 mL.L⁻¹ (ponto 01 em janeiro/2008) e máximo de 10,9 mL.L⁻¹, no ponto 02, em dezembro/2007 (Figura 5).

Apesar da diferença nas médias de oxigênio dissolvido para as estações chuvosa e seca, os valores oscilaram muito no período do estudo, não havendo um padrão sazonal e espacial definido.

Essa variação do oxigênio dissolvido também foi encontrada por Greco, em 2004. O valor de 13,3 mL.L⁻¹

indica intensa atividade fotossintética nas águas do estuário, associada ao lançamento de efluente de esgoto doméstico.

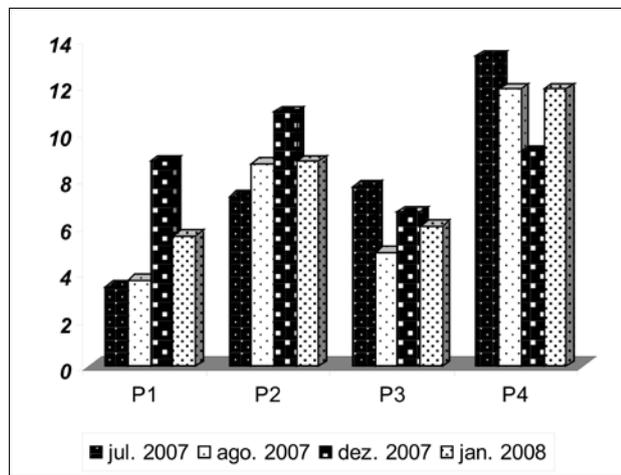


Figura 5 - Variação do oxigênio dissolvido da água (ml.L-1) nas estações chuvosa (julho e agosto de 2007) e seca (dezembro de 2007 e janeiro de 2008).

O percentual da taxa de saturação de oxigênio dissolvido durante o período do estudo apresentou valor médio de 170,8%. O mínimo registrado foi de 70,4% no ponto 01 em julho/2007 e o máximo de 275,4% no ponto 04 em julho/2007.

Para a estação chuvosa foi obtida uma média de 158,5%, mínimo de 70,4% (ponto 01) e máximo de 275,4% (ponto 04), ambas em julho/2007; na estação seca a média foi de 183,2%, com mínimo de 128,1% (ponto 01, em janeiro/2008) e máximo de 242,2%, no ponto 02, em dezembro/2007 (Figura 6).

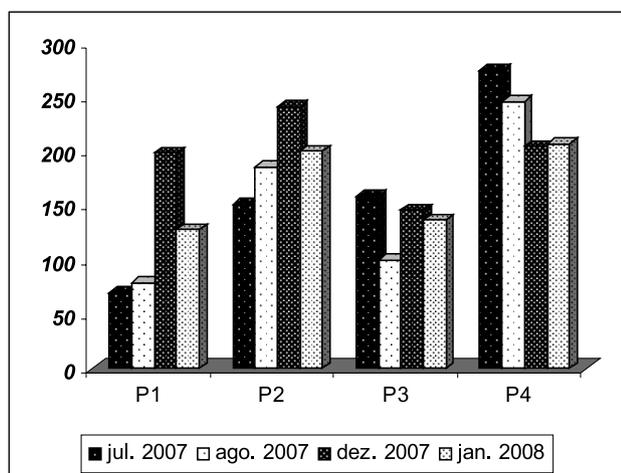


Figura 6 - Variação da taxa de saturação do oxigênio dissolvido da água (%) nas estações chuvosa (julho e agosto de 2007) e seca (dezembro de 2007 e janeiro de 2008).

Assim como para o oxigênio dissolvido, a taxa de saturação variou bastante durante o período do

estudo, não sendo possível estabelecer um padrão sazonal e espacial, apesar da maior média de saturação de OD no período chuvoso.

Macêdo & Costa (1978) estabeleceram um sistema de classificação da qualidade da água para os estuários nordestinos baseado na taxa de saturação de oxigênio dissolvido e compreendendo 4 zonas: saturada (valores acima de 100%); baixa saturação (50%-100%); semipoluída (25%-50%) e poluída (valores abaixo de 25%). De acordo com esta classificação e segundo os valores encontrados para este estudo, o estuário do rio Timbó situa-se entre as zonas de baixa saturação e de saturação (supersaturação), o que está relacionado às contribuições antrópicas, notadamente ao lançamento de efluentes de esgoto doméstico. Classificação semelhante foi atribuída ao estuário do Timbó por Costa & Macêdo (1987/89).

O pH da água durante o período do estudo apresentou valor médio de 8,1. O mínimo registrado foi de 7,4 no ponto 01 em janeiro/2008 e o máximo de 9 no ponto 03 em dezembro/2007.

A Resolução CONAMA 357/2005 estabelece para águas salobras Classe 2 (aquelas que podem ser destinadas à pesca amadora e recreação de contato secundário), valores de pH de 6,5 a 8,5; para as águas salobras de Classe 3 (aquelas que podem ser destinadas à navegação e harmonia paisagística), valores de pH entre 5 e 9. No estuário estudado, observou-se os quatro tipos de uso da água definidos para as duas classes (2 e 3), ficando os valores de pH enquadrados na classificação menos restritiva (classe 3).

Para a estação chuvosa foi obtida uma média de 8,1, mínimo de 7,5 (ponto 01 em julho/2007) e máximo de 8,9 (ponto 04 em agosto/2007); na estação seca a média também foi de 8,1, com mínimo de 7,4 (ponto 01 em janeiro/2008) e máximo de 9, no ponto 03, em dezembro/2007 (Figura 7).

Portanto, não ocorreram variações sazonais significativas para os valores de pH nos meses das coletas, inclusive com médias geral, da estação chuvosa e da estação seca, iguais (8,1) e dentro dos valores para as águas salobras, no tocante ao potencial hidrogeniônico, que se apresentou, no período estudado, sempre com valores alcalinos, o que contribui para a retenção dos metais nos sedimentos.

As médias obtidas para valores de pH aumentaram discretamente no sentido da foz para a nascente, evidenciando uma pequena variação espacial, predominando um ambiente levemente alcalino (reduzidor), como encontrado por Greco, em 2004; Silva, em 2004; Silva *et. al.*, em 2004 e Lira, em 2008.

Esses valores indicam a eficiência do mecanismo ácido/básico (ação tamponante das águas sa-

linas), condicionada principalmente pelas correntes de marés, responsáveis pela rápida reciclagem dos recursos químicos e biológicos no ecossistema.

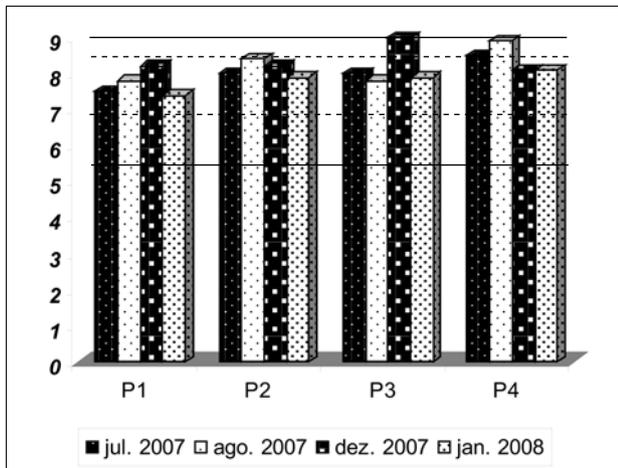


Figura 7 - Variação do pH da água nas estações chuvosa (julho e agosto de 2007) e seca (dezembro de 2007 e janeiro de 2008).
 ----- Valores limites para águas salobras Classe 2 (Res. CONAMA 357/2005).
 ----- Valores limites para águas salobras Classe 3 (Res. CONAMA 357/2005).

O teor de matéria orgânica nos sedimentos superficiais do estuário do rio Timbó, durante o período do estudo apresentou valor médio de 15,2%. O mínimo registrado foi de 7,1% na estação 05 em dezembro/2007 e o máximo de 25,6% também na estação 05, mas em julho/2007.

Para a estação chuvosa foi obtida uma média de 16,2%, mínimo de 7,4% (estação 04 em agosto/2007) e máximo de 25,6% (estação 05 em julho/2007); na estação seca a média foi de 14,2%, com mínimo de 7,1% (estação 05 em dezembro/2007) e máximo de 23,6% (estação 04 em dezembro/2007). Foi observada a variação sazonal, com maiores teores de matéria orgânica na estação chuvosa (Figura 8).

Quanto à variação espacial, ocorreu um acréscimo no sentido da foz para a nascente. As estações 05, 06, 07 e 08, apresentaram as maiores médias de matéria orgânica, o que pode ser explicado pelo fato de, no canal das estações 05 e 06, ocorrer o despejo de efluente de esgoto da companhia de saneamento do Estado, e as estações 07 e 08 estarem diretamente sobre a influência da contribuição do Arroio Desterro que recebe efluente de esgoto doméstico não tratado de comunidades do município de Abreu e Lima.

Rocha, em 2000, no Complexo Estuarino de Itamaracá, Coimbra, em 2003, na Baía de Sepetiba, e Lira, em 2008, encontraram intervalos de valores próximos aos obtidos para a matéria orgânica no estuário do rio Timbó. Se comparado com os resultados obtidos por Silva, em 2004, a área do estudo

apresentou uma maior variação dos teores de matéria orgânica do que o estuário do rio Capibaribe, inclusive com menores valores mínimos e maiores valores máximos. Os maiores valores obtidos para este parâmetro indicam a elevação da carga orgânica, durante o ciclo de marés e/ou por ação antrópica, tornando o ambiente mais poluído e contribuindo para a retenção dos metais nos sedimentos.

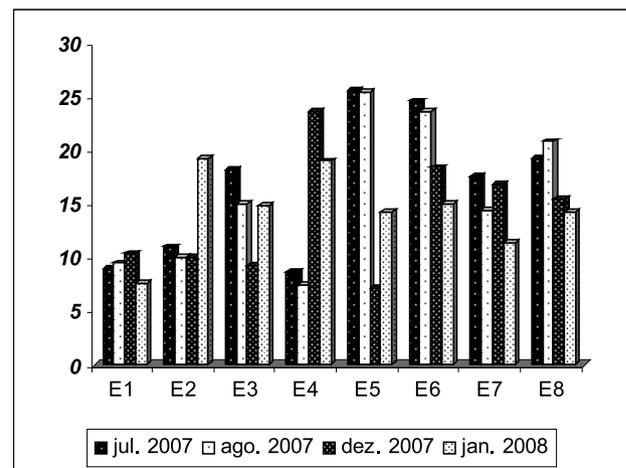


Figura 8 - Variação do teor de matéria orgânica no sedimento (%) nas estações chuvosa (julho e agosto de 2007) e seca (dezembro de 2007 e janeiro de 2008).

Para a avaliação das concentrações de metais pesados foram utilizados como valores de referência os obtidos por Brayner (1998) no manguezal da Estação Rádio Pina, no Recife, e Rocha (2000) no Complexo Estuarino de Itamaracá-PE, por terem sido mensurados em manguezais preservados e considerados pouco poluídos. Utilizou-se, também, a classificação de valores guias do Conselho Canadense do Ministério do Meio Ambiente (CCME, 1999) (Tabela II). Na ausência de valores norteadores para o ferro (Fe), tomou-se como referência o limite estabelecido pela Environmental Protection Agency - EPA (Thomas, 1987): Fe = 17000 mg.kg⁻¹.

Tabela II - Valores de referência e valores guias para concentração de metais (mg.kg⁻¹).

REFERÊNCIA	Zn	Mn	Cr
Complexo Estuarino de Itamaracá (Rocha, 2000)	73,2	158,7	-
Rádio Pina (Brayner, 1998)	111,8	177,8	18,2
TEL* (CCME, 1999)	123	-	37,3
PEL** (CCME, 1999)	315	-	90

* TEL (Threshold Effects Level) = Concentração abaixo da qual a frequência de efeitos biológicos adversos é rara.

** PEL (Probable Effects Level) = Concentração acima da qual a frequência de efeitos biológicos adversos é provável.

A partir dos sete metais analisados (Zn, Mn, Cr, Cu, Ni, Cd e Fe), zinco, manganês, cromo e ferro apresentaram valores maiores que os de referência, enquanto que os níveis de níquel, cádmio e cobre estiveram abaixo dos limites de detecção do método ($< 40 \text{ mg.kg}^{-1}$).

As concentrações médias de zinco (Zn) no sedimento variaram de 33 mg.kg^{-1} , na estação 01, em janeiro/2008, a 723 mg.kg^{-1} , na estação 03, em julho/2007, com média de 205 mg.kg^{-1} no período chuvoso, 106 mg.kg^{-1} no período seco e valor médio geral de 155 mg.kg^{-1} .

Todos os meses das estações 05, 06, 07 e 08; julho, agosto e dezembro/2007 das estações 01 e 03; julho e agosto/2007 da estação 02 e julho/2007 da estação 04, apresentaram valores acima do de referência obtido no Complexo Estuarino de Itamaracá por Rocha (2000). Entretanto, em dezembro/2007 das estações 07 e 08; julho, agosto e dezembro/2007 da estação 01; agosto/2007 da estação 02; dezembro/2007 da estação 03 e julho/2007 da estação 04 não superaram o valor de TEL do CCME (1999), abaixo do qual a frequência de efeitos biológicos adversos é rara (Figura 9).

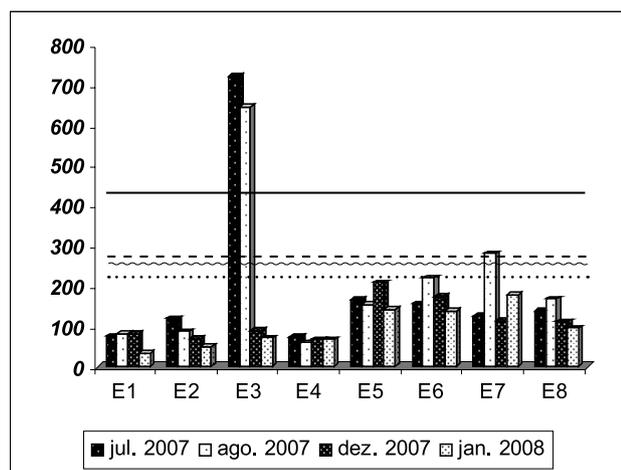


Figura 9- Variação da concentração de zinco (mg.kg^{-1}) no sedimento nas estações chuvosa (julho e agosto de 2007) e seca (dezembro de 2007 e janeiro de 2008).

..... Valor de referência obtido no Complexo Estuarino de Itamaracá.

~~~~~ Valor de referência obtido na Estação Rádio Pina.

----- Valor guia para o TEL (CCME, 1999).

\_\_\_\_\_ Valor guia para o PEL (CCME, 1999).

O valor de referência obtido por Brayner (1998) na Estação Rádio Pina foi superado em todos os meses nas estações 05, 06 e 07; em julho, agosto e dezembro/2007 na estação 08; julho e agosto/2007 na estação 03 e em julho/2007 na estação 02. Destes pontos, ficaram abaixo do valor de TEL do CCME

(1999) o mês de dezembro/2007 das estações 07 e 08 e julho/2007 na estação 02. Ressalta-se que, em julho e agosto/2007 na estação 03, além de superarem o valor de referência da Estação Rádio Pina, os valores obtidos para o zinco também ficaram acima do PEL do CCME (1999), ou seja, da concentração acima da qual a frequência de efeitos biológicos adversos é provável, o que indica a contaminação da área (Figura 9).

Resultados acima dos valores de referência deste estudo para o zinco também foram encontrados por Rocha (2000), variando de  $31,6 \mu\text{g.g}^{-1}$  a  $204,6 \mu\text{g.g}^{-1}$  no Complexo Estuarino de Itamaracá, Silva (2004), de  $144 \text{ mg.kg}^{-1}$  a  $406 \text{ mg.kg}^{-1}$  no estuário do rio Capibaribe, e Lira (2008), entre  $146 \text{ mg.kg}^{-1}$  e  $530 \text{ mg.kg}^{-1}$  em sedimentos de fundo da Lagoa do Araçá. As concentrações de zinco encontradas no estuário do rio Timbó foram superiores àquelas obtidas por Chagas (2003), de  $1,9 \text{ mg.kg}^{-1}$  a  $36,5 \text{ mg.kg}^{-1}$  no Complexo Industrial Portuário de Suape e por Teódulo (2003), entre  $16 \text{ mg.kg}^{-1}$  e  $88 \text{ mg.kg}^{-1}$  também na região de Suape e em sedimentos de correntes dos rios Massangana, Tatuoca e Ipojuca.

Quanto à variação sazonal, foram verificadas maiores concentrações no período chuvoso e menores no período seco, notadamente influenciadas pelos valores obtidos nos meses de julho e agosto/2007, na estação 03, o que pode ter ocorrido em virtude da remobilização do sedimento por ocasião das chuvas, já que maio, junho, julho e agosto/2007 foram os meses com maiores índices pluviométricos do ano, inclusive com chuvas nos dias anteriores e nos dias das coletas e pela degradação da vegetação de mangue na estação 03.

Com exceção dos já citados meses de julho e agosto/2007 na estação 03, onde ocorreram às maiores concentrações de zinco, ficou evidenciada uma variação espacial no sentido da foz para a nascente, com valores mais significativos nas estações 05, 06, 07 e 08, ou seja, em sedimentos mais distantes da foz do rio e com maiores concentrações de matéria orgânica, devido ao descarte de efluentes de esgoto na região.

A adsorção sobre ferro e óxidos de manganês, argila mineral e materiais orgânicos são os principais mecanismos de distribuição de zinco da água para os sedimentos, sendo a eficiência desses processos variável com as concentrações no meio, pH, potencial redox, salinidade, natureza e concentração dos complexos ligantes, capacidade de troca de cátions e a concentração do próprio zinco. Em águas poluídas, precipitações significantes de compostos solúveis de zinco ocorrem, apenas, em condições redutoras; em valores baixos de pH, o zinco permanece como um

ion livre, que tende a ser adsorvido e transportado por sólidos suspensos em águas não contaminadas (Silva, 2003).

Calado (2004) relata a diminuição da concentração de espécies móveis e trocáveis do zinco em ambientes com despejo de efluentes de esgoto, pela precipitação do metal através de fatores físicos e químicos. No estuário do rio Timbó foi constatada a contaminação dos sedimentos pelo zinco em virtude do lançamento de efluentes industriais, notadamente na estação 03 e nos períodos de maior ocorrência de chuvas.

As concentrações médias de manganês (Mn) no sedimento variaram de 94 mg.kg<sup>-1</sup>, na estação 06, em julho/2007, a 438 mg.kg<sup>-1</sup>, na estação 05, em janeiro/2008, com média de 127 mg.kg<sup>-1</sup> no período chuvoso, 148 mg.kg<sup>-1</sup> no período seco e valor médio geral de 138 mg.kg<sup>-1</sup>.

Os meses de julho e agosto/2007 da estação 03; janeiro/2008 das estações 05 e 06 e agosto/2007 da estação 07 apresentaram-se acima do valor de referência do Complexo Estuarino de Itamaracá. Todos estes, com exceção de julho/2007 da estação 03, também superaram o valor de referência da Estação Rádio Pina (Figura 10).

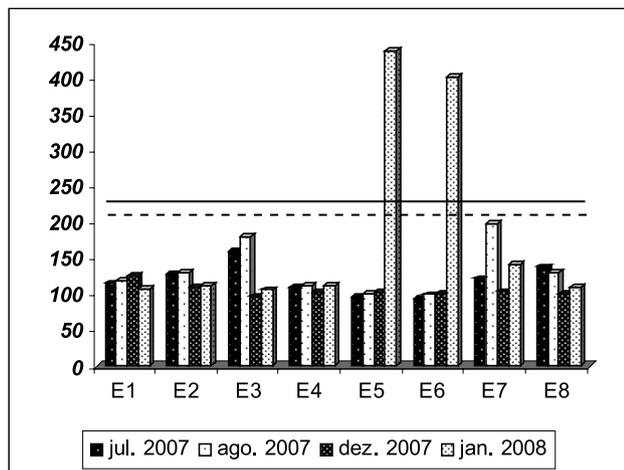


Figura 10 - Variação da concentração de manganês (mg.kg<sup>-1</sup>) no sedimento nas estações chuvosa (julho e agosto de 2007) e seca (dezembro de 2007 e janeiro de 2008).

----- Valor de referência obtido no Complexo Estuarino de Itamaracá.

\_\_\_\_\_ Valor de referência obtido na Estação Rádio Pina.

Resultados acima dos valores de referência deste estudo para o manganês também foram encontrados por Rocha (2000), variando de 113,9 µg.g<sup>-1</sup> a 247,7 µg.g<sup>-1</sup>; Teódulo (2003), de 100 mg.kg<sup>-1</sup> a 1800 mg.kg<sup>-1</sup>; Silva (2004), entre 173 mg.kg<sup>-1</sup> e 465 mg.kg<sup>-1</sup> e Lira (2008), de 90,2 mg.kg<sup>-1</sup> a 326,4 mg.kg<sup>-1</sup>. Chagas (2003) encontrou valores para o manganês da ordem de 8,6 mg.kg<sup>-1</sup> a 74,4 mg.kg<sup>-1</sup>, que são inferiores aos

encontrados nos sedimentos do estuário do rio Timbó. Contaminação por manganês em sistemas de manguezais também foi encontrada por Luiz-Silva *et. al.* (2006), no estuário de Santos-Cubatão, entre 160 mg.kg<sup>-1</sup> (rio Casqueiro) e 5699 mg.kg<sup>-1</sup> (rio Morrão).

Foi verificada uma acentuada variação sazonal, com maiores concentrações no período seco, e espacial, no sentido da foz para a nascente com destaque para o mês de janeiro/2008 nas estações E5 e E6, em virtude de algum lançamento pontual de efluente industrial e maior presença de matéria orgânica no sedimento, devido aos efluentes de esgoto doméstico que são despejados nas proximidades destas duas estações.

Em meio aquoso o manganês sofre oxidação dependendo do pH, do potencial redox e da atividade microbiana que, por sua vez, é função do pH e da temperatura, entre outros fatores; com o pH na faixa 4-7 predomina o Mn II, associado a carbonato e com baixa solubilidade; em águas extremamente reduzidas a degradação do manganês é controlada pela formação de sulfitos (Martins, 2003). As formas oxidadas ocorrem em pH com valores mais altos (WHO, 1981, *apud* Lira, 2008).

Lira (2008) reforça que a adsorção de compostos solúveis de manganês nos sedimentos depende da capacidade de troca iônica do cátion e da composição orgânica do sedimento, sendo o estado de oxidação do metal e a sua mobilidade alterada pela atividade microbiana que é função do pH e da temperatura, entre outros.

Através da oxidação biológica a forma divalente é transformada na forma trivalente que é, posteriormente, reduzida a Mn<sup>2+</sup>, em solos muito ácidos. Por outro lado, em solos alcalinos a oxidação bacteriana é baixa e a forma divalente praticamente desaparece. Nos rios é frequentemente transportado adsorvido a sedimentos suspensos, sendo essa tendência de adsorção altamente variável em função da capacidade de troca iônica do cátion e da composição orgânica do solo (Martins, 2003).

Na área do estudo, a variação do pH (7,4-9,0) indica a predominância da forma menos solúvel do manganês, que acumula-se no sedimento por precipitação, tornando-se menos disponível para a biota.

As concentrações médias de cromo (Cr) no sedimento variaram de 24 mg.kg<sup>-1</sup>, na estação 01, a 338 mg.kg<sup>-1</sup>, na estação 05, ambas em janeiro/2008, com média de 62 mg.kg<sup>-1</sup> no período chuvoso, 71 mg.kg<sup>-1</sup> no período seco e valor médio geral de 66 mg.kg<sup>-1</sup>.

A totalidade dos valores obtidos para as concentrações de cromo foi superior ao valor de referência da Estação Rádio Pina. Ficaram abaixo do valor de TEL do CCME (1999) todos os meses da estação 01;

agosto e dezembro/2007 e janeiro/2008 da estação 02 e julho e agosto/2007 da estação 04. Superaram o valor de PEL do CCME (1999) os meses de julho/2007 na estação 03 e janeiro/2008 nas estações 05 e 06, indicando a contaminação da área (Figura 11).

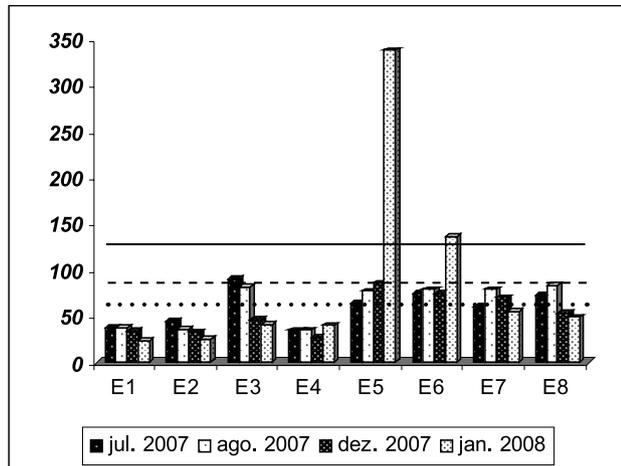


Figura 11 - Variação da concentração de cromo ( $\text{mg.kg}^{-1}$ ) no sedimento nas estações chuvosa (julho e agosto de 2007) e seca (dezembro de 2007 e janeiro de 2008).

..... Valor de referência obtido na Estação Rádio Pina.  
 ----- Valor guia para o TEL (CCME, 1999).  
 \_\_\_\_\_ Valor guia para o PEL (CCME, 1999).

Concentrações acima dos valores de referência deste estudo para o cromo também foram encontradas por Chagas (2003), variando de  $1,1 \text{ mg.kg}^{-1}$  a  $44,1 \text{ mg.kg}^{-1}$ ; Teódulo (2003), de  $10 \text{ mg.kg}^{-1}$  a  $181 \text{ mg.kg}^{-1}$ ; Silva (2004), de  $76 \text{ mg.kg}^{-1}$  a  $247 \text{ mg.kg}^{-1}$  e Lira (2008), entre  $58,9 \text{ mg.kg}^{-1}$  e  $157,3 \text{ mg.kg}^{-1}$ .

Luiz-Silva *et. al.* (2006) analisaram a variabilidade espacial e temporal da concentração de metais pesados em sedimentos do Sistema Estuarino de Santos-Cubatão encontrando valores para o cromo variando de  $23 \text{ mg.kg}^{-1}$  (rio Casqueiro) a  $138 \text{ mg.kg}^{-1}$  (rio Morrão), evidenciando concentrações anômalas devido à contaminação oriunda de várias fontes antrópicas.

Houve uma discreta variação sazonal, com maiores concentrações no período seco, e espacial, no sentido da foz para a nascente, com destaque para o mês de janeiro/2008 nas estações E5 e E6, que pode estar relacionada a algum lançamento pontual de efluente industrial e maior presença de matéria orgânica no sedimento, devido aos efluentes de esgoto doméstico que são despejados nas proximidades destas duas estações.

Os elevados valores de cromo encontrados para o estuário do rio Timbó, estão relacionados com a alta carga orgânica e o pH redutor, o que levou à contaminação dos sedimentos, inclusive com teores

que indicam a possibilidade de ocorrência de efeitos negativos para a biota e população humana.

As concentrações médias de ferro (Fe) no sedimento variaram de  $10091 \text{ mg.kg}^{-1}$ , na estação 01, em janeiro/2008, a  $62840 \text{ mg.kg}^{-1}$ , na estação 05, também em janeiro/2008, com média de  $24592 \text{ mg.kg}^{-1}$  no período chuvoso,  $24237 \text{ mg.kg}^{-1}$  no período seco e valor médio geral de  $24415 \text{ mg.kg}^{-1}$ .

Todos os pontos das estações 05, 06, 07 e 08; julho e agosto/2007 da estação 03 e janeiro/2008 da estação 04 apresentaram valores acima do limite estabelecido pela EPA, indicando a contaminação pelo metal nessas áreas (Figura 12).

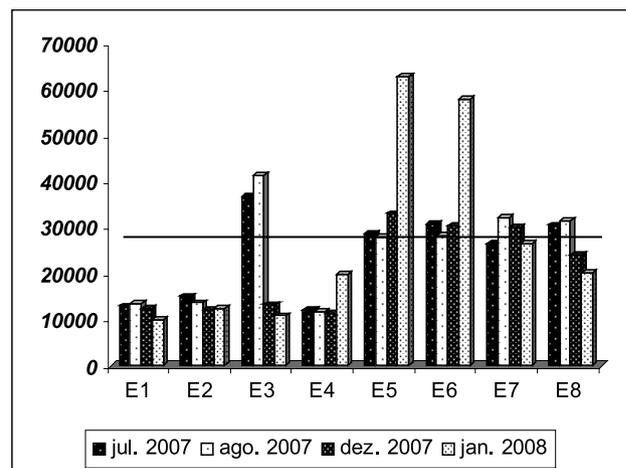


Figura 12 - Variação da concentração de ferro ( $\text{mg.kg}^{-1}$ ) no sedimento nas estações chuvosa (julho e agosto de 2007) e seca (dezembro de 2007 e janeiro de 2008).

\_\_\_\_\_ Valor limite estabelecido pela Environmental Protection Agency (EPA).

Valores de concentrações de ferro superiores à referência deste estudo também foram encontrados por Rocha (2000), variando de  $15011 \mu\text{g.g}^{-1}$  a  $58685 \mu\text{g.g}^{-1}$ ; Silva (2004) de  $31080 \text{ mg.kg}^{-1}$  a  $52013 \text{ mg.kg}^{-1}$  e por Lira (2008), entre  $20200 \text{ mg.kg}^{-1}$  e  $40760 \text{ mg.kg}^{-1}$ .

Foi verificada uma variação espacial no sentido da foz para a nascente, com destaque, assim como aconteceu com o manganês, para o mês de janeiro de 2008, nas estações 05 e 06, provavelmente em virtude de algum lançamento pontual de efluente industrial e maior presença de matéria orgânica no sedimento, devido aos efluentes de esgoto doméstico que são despejados nas proximidades destas duas estações.

Borges *et. al.* (2007) analisaram a distribuição espacial de ferro, cobre e chumbo em sedimentos de manguezal em um gradiente de degradação na Baía da Guanabara, em amostra com floresta de manguezal desmatada a cerca de 20 anos antes da coleta (MD), onde havia uma floresta morta a cerca de 2 anos da coleta (MP) e em local com remanescente de

floresta de *Laguncularia racemosa* (MV). Os maiores valores para o ferro foram obtidos nas amostras MD (18,3 mg.g<sup>-1</sup> a 23,4 mg.g<sup>-1</sup>), seguida da MP (5,88 mg.g<sup>-1</sup> a 8,83 mg.g<sup>-1</sup>) e das amostras MV (2,38 mg.g<sup>-1</sup> a 5,35 mg.g<sup>-1</sup>), evidenciando que a degradação da vegetação traz como consequência uma acumulação de matéria orgânica, que pode afetar significativamente a acumulação de metais.

Nos sistemas aquáticos a disponibilidade do ferro é influenciada pelo pH, potencial redox, captação pela biota e deposição no sedimento. No sedimento, o ferro encontra-se complexado, principalmente às substâncias húmicas com grupos funcionais carboxílicos e fenólicos, capazes de reduzir íons metálicos, disponibilizando-os por aumentar a solubilidade (Lima, 2003).

Em locais com deposições representativas de efluentes de esgoto pode ocorrer a redução de sulfatos a sulfetos, ocorrendo um forte odor de H<sub>2</sub>S e favorecendo a precipitação do metal na forma de sulfetos, nos sedimentos (Lira, 2008). No presente estudo, foram constatados os maiores percentuais de matéria orgânica e forte odor de H<sub>2</sub>S durante as coletas nas estações 05, 06, 07 e 08, onde ocorreram, também, as maiores concentrações de ferro, indicando a precipitação do metal no sedimento superficial e contaminação da área do estudo.

## CONCLUSÕES

Os sedimentos superficiais do estuário do rio Timbó apresentaram níveis superiores aos valores de referência para os metais zinco, manganês, cromo e ferro, indicando a contaminação da área do estudo. Para o zinco e o cromo, particularmente, foram ultrapassados, também, os valores-guias adotados pelo Conselho Canadense do Ministério do Meio Ambiente (TEL e PEL), relacionados à frequência de efeitos biológicos adversos. No entanto, os valores obtidos para o pH (condições redutoras) e a carga orgânica, tendem a imobilizar os metais no sedimento por mecanismos de adsorção e precipitação, tornando-os menos disponíveis para a biota.

As estações 05 e 06 (Porto Arthur) foram as mais impactadas, que concentraram e retiveram metais, considerando os teores de matéria orgânica, sua hidrodinâmica e morfologia. Isto se deve à falta de políticas públicas referentes ao efetivo controle da poluição aquática e do uso e ocupação do solo no Estado de Pernambuco, visto que os efluentes (industriais e de esgoto doméstico) são lançados na região do estudo com pouco ou nenhum tratamento.

Os sedimentos refletem, de forma geral, a qualidade dos ecossistemas aquáticos locais, bem como

as interferências antrópicas na área. A análise dos parâmetros hidrológicos e dos sedimentos pode, portanto, contribuir para ações de monitoramento ambiental, subsidiando a implantação e desenvolvimento de políticas públicas que visem controlar o uso racional e sustentável dos recursos naturais da área do estudo.

**Agradecimentos** - À Associação Instituto de Tecnologia de Pernambuco (ITEP) pelo acesso às instalações, materiais e equipamentos, fundamentais para a execução das pesquisas. À Companhia Independente de Policiamento do Meio Ambiente (CIPOMA-PMPE) pelo apoio na cessão da embarcação e do efetivo para as atividades de campo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APHA - American Public Health Association. *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*. 21. ed. New York: APHA, 2005.

Azevedo, F.A.; Chasin, A.A.M. *Metais: gerenciamento da toxicidade*. São Paulo: Atheneu, p. 263-298, 2003.

Borges, A.C.; Dias, J.C.; Machado, W.; Patchineelam, S.R. Distribuição espacial de ferro, cobre e chumbo em sedimentos de manguezal em um gradiente de degradação na Baía da Guanabara (Estado do Rio de Janeiro). *Química Nova*, v. 30, n. 1, p. 66-69, 2007.

Branco, E.S. *Aspectos ecológicos da comunidade fitoplânctônica no sistema estuarino de Barra de Jangadas (Jaboatão dos Guararapes-Pernambuco-Brasil)*. Recife, 2001, 125 f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Biológica) - Universidade Federal de Pernambuco, 2001.

Brasil. Ministério do Meio Ambiente. *Resolução nº 357, de 17 de março de 2005*. Conselho Nacional do Meio Ambiente: Brasília-DF, 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi+459>> Acesso em: 08 dez. 2007.

Brayner, F.M.M. *Determinação de taxas de retenção de metais-traço por sedimentos orgânicos em um viveiro de psicicultura em área estuarina e urbana*. São Carlos, 1998, 103 f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, 1998.

Calado, S.C.S. *Níveis de concentrações de metais pesados em macroalgas e em sedimentos marinhos do Estado de Pernambuco - Brasil*. Recife: 2004, 141 f. Tese (Doutorado em Oceanografia) - Universidade Federal de Pernambuco, 2004.

CCME. *Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life - Protocol for the derivation of Cana-*

- dian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life. Canadian Council of Ministers of the Environment, p. 35, 1999.
- Chagas, A.C.O. *Níveis de metais pesados e hidrocarbonetos em sedimentos do Complexo Industrial Portuário de Suape-PE - Brasil*. Recife, 2003, 80 f. Dissertação (Mestrado em Ciências – Oceanografia Abiótica). Universidade Federal de Pernambuco, 2003.
- Coimbra, A.G. *Distribuição de metais pesados em sedimentos e moluscos nos manguezais de Coroa Grande e Enseada das Garças, Baía de Sepetiba – RJ*. Niterói: 2003, 72 f. Dissertação (Mestrado em Geoquímica Ambiental) – Universidade Federal Fluminense, 2003.
- Costa, K.M.P.; Macêdo, S.J. Estudo hidrológico do rio Timbó. *Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco*, v. 20, p. 7-34, 1987/89.
- CPRH – Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. *Relatório das bacias hidrográficas*. Recife, 2005. Disponível em: <<http://www.cprh.pe.gov.br/frme-index-secao.asp?idsecao=55>>. Acesso em: 25 jun. 2007.
- Defew, L.H.; Mair, J.M.; Guzman, H.M. An assessment of metal contamination in mangrove sediments and leaves from Punta Mala Bay, Pacific Panama. *Marine Pollution Bulletin*, v. 50, nº 50, p. 547-552, 2005.
- Domenico, P.A.; Schwartz, F.W. *Physical and chemical hydrogeology*. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 1997.
- French, P.W. *Coastal and estuarine management (Routledge environmental management)*. New Fetter Lane, London: Routledge, 1997.
- Greco, C.K.S. *Distribuição espacial e sazonal da composição e biomassa fitoplancônica correlacionadas com a hidrologia do estuário do rio Timbó (Paulista, Pernambuco)*. Recife, 2004, 117 f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) – Universidade Federal de Pernambuco, 2004.
- Hammer, D.A. *Creating freshwater wetlands*. Florida: Lewis, 1992.
- LIMA, I.V. *Ferro*. In: Azevedo, F.A.; Chasin, A.A.M. metais: gerenciamento da toxicidade. São Paulo: Atheneu, p. 99-125, 2003.
- Lira, J.B.M. *Avaliação preliminar das concentrações de metais pesados nos sedimentos da Lagoa do Araçá, Recife-Pernambuco, Brasil*. Recife, 2008, 77 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) – Associação Instituto de Tecnologia de Pernambuco, 2008.
- Luiz-Silva, W.; Matos, R.H.R.; Kristosch, G.C.; Machado, W. Variabilidade espacial e sazonal da concentração de elementos-traço em sedimentos do sistema estuarino de Santos-Cubatão (SP). *Química Nova*, v. 29, n. 2, p. 256-263, 2006.
- Macêdo, S.J.; Costa, K.M.P. Estudo ecológico da região de Itamaracá, Pernambuco-Brasil, condições hidrológicas do estuário do rio Botafogo. *Ciência e Cultura*, v. 30, n. 7, 1978.
- Macêdo, S.J.; Costa, K.M.P. Condições hidrológicas do estuário do rio Igarassu, Itamaracá-PE. *Trabalhos Oceanográficos*, v.21, p. 7-32, 1990.
- Macêdo, S.J.; Montes, M.J.F.; Lins, I.C. *Características abióticas da área*. In: Barros, H.M.; Eskinazi-Leça, E.; Macêdo, S.J., Lima, T. Gerenciamento participativo de estuários e manguezais. Recife: Ed. Universitária da UFPE, p. 7-25, 2000.
- Machado, W.; Moscatelli, M.; Rezende, L.G.; Lacerda, L.D. Mercury, zinc, and copper accumulation in mangrove sediments surrounding a large landfill in southeast Brazil. *Environmental Pollution*, v. 120, n. 2, p. 455-461, 2002.
- Martins, I. *Manganês*. In: Azevedo, F.A.; Chasin, A.A.M. metais: gerenciamento da toxicidade. São Paulo: Atheneu, p. 67-97, 2003.
- Pascalichio, E.A. *Contaminação por metais pesados*. São Paulo: Annablume, 2002. 132 p.
- Ramos e Silva, C.A.; Silva, A.P.; Oliveira, S.R. Concentration, stock and transport rate of heavy metals in a tropical red mangrove, Natal, Brazil. *Marine Chemistry*, v. 99, n. 1-4, p. 2-11, 2006.
- Rocha, M.F. *Variação espacial e sazonal dos níveis de metais nos sedimentos superficiais e ostra de mangue (Crasostrea rhizophorae Guilding, 1828) do Complexo Estuarino de Itamaracá (PE)*. Recife, 2000, 75 f. Dissertação (Mestrado em Ciências – Oceanografia Biológica) – Universidade Federal de Pernambuco, 2000.
- Salomons, W. *Behavior and impact assessment of heavy metals in estuarine and coastal zones*. In: Seeliger, U.; Lacerda, L.D.; Patchineelan, S.R. Metals in coastal Environment of Latin America. Berlin: Springer-Verlag, 1998.
- Salomons, W.; Förstner, U. *Metals in hydrocycle*. Berlin: Springer-Verlag, 1984.
- Silva, E.S. *Zinco*. In: Azevedo, F.A.; Chasin, A.A.M. metais: gerenciamento da toxicidade. São Paulo: Atheneu, p. 187-201, 2003.
- Silva, H.K.P. *Concentrações de metais pesados nos sedimentos do estuário do rio Capibaribe, Região Metropolitana do Recife (RMR), Pernambuco, Brasil*. Recife, 2004,

101 f. Dissertação (Mestrado em Ciências – Oceanografia Química) – Universidade Federal de Pernambuco, 2004.

Silva, M.H.; Passavante, J.Z.O.; Silva-Cunha, M.G.G.; Vieira, D.A.N.; Greco, C.K.S.; Muniz, K. Distribuição espacial e sazonal da biomassa fitoplanctônica e dos parâmetros hidrológicos no estuário do rio Formoso (Rio Formoso, Pernambuco, Brasil). *Tropical Oceanography*, v. 32, n. 1, p. 89-106, 2004.

Teódulo, M.J.R. *Avaliação das concentrações de metais pesados em solos do Complexo Industrial e Portuário de Suape (CIPS) e sedimentos de correntes dos rios Massan-*

*ana, Tatuoca e Ipojuca-PE*. Recife, 2003, 72 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade Federal de Pernambuco, 2003.

Thomas, R.L. A protocol for the selection of process-oriented remedial option to control “in situ” sediments contaminants – Ecological effects of “in situ” sediments contaminants. *Hidrobiologia*, v. 149, p. 247-258, 1987.

U.S. EPA. *Methods for collection, storage and manipulation of sediment for chemical and toxicological analyses: technical manual*. EPA 823-B-01-002.v.1. Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, DC, 2001.