

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

AVALIAÇÃO AMBIENTAL DAS VIAS DE DRENAGEM DA REGIÃO METROPOLITANA
DE BELÉM (PA) QUANTO À DISTRIBUIÇÃO DOS ELEMENTOS Ca, Cd, Cr,
Cu, Fe, Hg, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb E Zn.

Tese Apresentada por

TEREZA ELIZABETE MAZZEO

como requisito parcial à obtenção do grau em

MESTRE EM CIÊNCIAS

Na área de

GEOQUÍMICA E PETROLOGIA

Conferido pelo Curso de Pós-Graduação em

Geociências da

Universidade Federal do Pará

Aprovado: 07.01.91

Comitê de Tese

JOSE FRANCISCO DA FONSECA RAMOS (ORIENTADOR)

WATERLOO NAPOLEÃO DE LIMA

SAMBASIVA RAO PATCHINEELAM

RESUMO

A investigação das concentrações dos metais pesados nas sete principais vias de drenagem da cidade de Belém, com vistas à questão ambiental, é o conteúdo central deste trabalho.

Nos capítulos introdutórios enfoca-se a geologia, geomorfologia, solos, clima, vegetação e hidrologia da cidade de Belém, caracterizando as condições naturais do meio ambiente nas drenagens estudadas.

Sob o aspecto metodológico, o trabalho apresenta duas fases: a primeira consiste no reconhecimento, localização e determinação dos metais (Ca, Na, K, Mg, Fe, Cr, Zn, Cu, Cd, Pb, Ni e Mn) e suas principais fontes, naturais ou antropogênicas, ou ambas; a segunda, no detalhamento da distribuição e do comportamento químico de cada metal no igarapé Tucunduba, que apresenta maior concentração destes elementos.

O igarapé Tucunduba apresenta, além das fontes de metais comuns a todas outras drenagens, como o esgoto doméstico, descarga pluvial e a influência das marés estuarinas, o efluente de uma indústria do tratamento do couro, manifestando por isso valores anômalos para o elemento cromo.

A investigação dos parâmetros físico-químicos das águas das vias de drenagens estudadas, tem por objetivo caracterizar e identificar o comportamento dos compostos metálicos formados,

ressaltando-se a variação sazonal -- função da intensidade pluviométrica -- e a ação das marés lançantes.

O igarapé Tucunduba é o único a ser considerado poluído por metais -- devido a alta concentração de cromo encontrado em suas águas e sedimentos -- se comparado com rios e lagos poluídos do Brasil, Europa e Estados Unidos.

Apesar do pequeno número de amostras de cada drenagem e da grande variação dos resultados, foram observadas algumas correlações lineares entre as concentrações de metais, entre si e com os parâmetros físico-químicos, que caracterizam a intensa influência das marés da baía do Guajará e do rio Guamá nas drenagens. Estas correlações evidenciam também a existência de grandes quantidades de agentes surfactantes derivados dos sabões e detergentes sintéticos.

ABSTRACT

This work regards the investigation of the metal concentrations in the seven principal drainage channels of the city of Belem, with respect to the environmental question.

The inicial chapters were dedicated to the geology, geomorphology, soils, climate, vegetation and hydrology of the areas.

The investigation was carried out in two fases: the first fase -- recognition -- was the determination of the metals Ca, Na, K, Mg, Fe, Cr, Zn, Cu, Cd, Ni and Mn and their principal natural or anthropogenics sources; the second fase was detailed study of the distribution and chemical behaviour of these metals in the Tucunduba creek, which presented high concentraions of these metals.

The Tucunduba creek like all other dranage channels of the city, is submetted to domestic sewage, rainfall discharges and tidal influences and unconditionally recieves two effluents from a tanning with chromium.

The physico-chemical parameters of the drainage waters here determined support the understanding of the behaviour of these metals and the seazonal variations.

The Tucunduba creek shows anomalous chromium concentrations

and this creek has been polluted with this metal, if compered with polluted rivers and lakes of the United State, Europa and Brazil.

Despite the small number of samples of drainage channels and the high variations in the results, it is possible observe some correlations between the metal concentration, the physico-chemical parameters (depending on the tide) and the "surfactants agents" (components of soaps and sintheties detergents).

A mamãe Thereza e papai Geraldo,
por compreender, incentivar e
superar todos os sacrifícios.

A Têla,
pelo otimismo, estímulo, colaboração
e compreensão sempre presentes.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Dr. José Francisco da Fonseca Ramos em retribuição ao seu dedicado e eficiente trabalho como orientador e amigo, e principalmente, pela paciência e empenho dispensados durante a realização desta dissertação.

Ao Professor Dr. Norbert Fenzl, pelo apoio científico concedido, como Co-orientador, durante a efetivação deste trabalho.

Ao Professor Dr. Waterloo Napoleão de Lima, componente do Comitê de Tese, pelo interesse que sempre demonstrou e pelas valiosas sugestões feitas à primeira versão.

Ao Professor Dr. Sambasiva Rao Patchineelam, componente do Comitê de Tese, pela avaliação feita à primeira versão.

Aos amigos Terezinha Mazzeo, José Francisco Berredo, Pedro Evaristo V. Coqueiro, Edilson da Silva Brabo, Milton Trarbach, Ediléia Dutra Pereira, Kennedy Dantas Duarte e Rosária de Fátima S. Miranda, pela inestimável colaboração, incentivo e apoio durante todo o transcorrer deste trabalho.

Ao Dr. Vitor Hugo Serra, Hidrólogo do Instituto de Desenvolvimento do Pará - IDESP - pela colaboração e informações prestadas.

Ao Centro de Geociências da Universidade Federal de Pará - UFPa -
pela oportunidade e apoio concedidos na execução do presente
trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico - CNPq - pelo
suporte financeiro para a realização desta Tese.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram na feitura deste
trabalho.

SUMÁRIO

PÁGINA

AGRADECIMENTOS

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

RESUMO..... i

ABSTRACT..... iii

1 - INTRODUÇÃO..... 1

2 - CONSIDERAÇÕES SOBRE O MEIO AMBIENTE..... 3

2.1 - LOCALIZAÇÃO..... 3

2.1.1 - LOCALIZAÇÃO DA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM. 3

2.1.2 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO..... 3

2.2 - GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA DA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM..... 5

2.3 - SOLOS DA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM..... 10

2.4 - VEGETAÇÃO DA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM.... 12

2.5 - CLIMA DA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM..... 13

2.6 - HIDROLOGIA..... 17

2.6.1 - BACIA HIDROGRÁFICA AMAZÔNICA..... 17

2.6.2 - BAÍA DO GUAJARÁ..... 18

2.6.3 - RIO GUAMÁ..... 18

2.6.4 - VIAS DE DRENAGEM DA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM..... 19

2.6.4.1- VIAS DE DRENAGEM DA ÁREA DE ESTUDO..... 20

3 - METODOLOGIA.....	26
3.1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	26
3.2 - PROCEDIMENTOS DE CAMPO.....	27
3.2.1 - PONTOS DE AMOSTRAGEM.....	29
3.3 - PROCEDIMENTOS DE LABORATÓRIO.....	29
3.3.1 - ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA DA ÁGUA.....	29
3.3.2 - ANÁLISE DO SEDIMENTO DE FUNDO.....	37
3.3.3 - ANÁLISE DO SEDIMENTO EM SUSPENSÃO.....	39
3.3.4 - QUANTIFICAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA EM SEDIMEN- TO DE FUNDO.....	40
4 - APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	41
4.1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	41
4.2 - INTERPRETAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS E DE CONSTITUINTES QUÍMICOS SELECIONADOS.....	41
4.2.1 - CONDUTIVIDADE ELÉTRICA.....	58
4.2.2 - SALINIDADE.....	63
4.2.3 - PH.....	64
4.2.4 - TEMPERATURA.....	66
4.2.5 - TEOR DE OXIGÊNIO LIVRE DISSOLVIDO.....	66
4.2.6 - MATÉRIA ORGÂNICA EM SEDIMENTO.....	68
4.2.7 - FOSFATO.....	68
4.2.8 - SULFATO.....	70
4.2.9 - CLORETO.....	72
4.3 - INVESTIGAÇÃO SOBRE A POLUIÇÃO POR METAIS NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM.....	73

4.3.1	- CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA.....	73
4.3.2	- COMPOSIÇÃO DE ÍONS METÁLICOS NAS ÁGUAS DE RIOS E VALORES DE BACKGROUND.....	74
4.3.3	- CRITÉRIOS PARA A QUALIDADE DE ÁGUA E SEDIMEN- TO, ÍNDICES LIMITES.....	77
4.3.4	- AVALIAÇÃO GEOQUÍMICA DOS METAIS NAS ÁGUAS E SEDIMENTO, DAS VIAS DE DRENAGEM DA REGIÃO ME- TROPOLITANA DE BELÉM.....	81
4.3.4.1	- CANAL BERNARDO SAIÃO.....	81
4.3.4.2	- CANAL QUINTINO BOCAIUVA.....	86
4.3.4.3	- CANAL DO REDUTO, CANAL ALMIRANTE TWMANDARÉ E CANAL DAS ARMAS.....	89
4.3.4.4	- CANAL DO UNA.....	93
4.3.4.5	- IGARAPÉ TUCUNDUBA.....	94
4.3.4.5.1-	DISTRIBUIÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DOS METAIS EM ÁGUA E SEDIMENTO DE CORRENTE.....	94
4.3.4.5.2-	ANÁLISE GEOQUÍMICA - FORMAÇÃO DE COMPOSTOS.	114
4.3.4.5.3-	MOBILIZAÇÃO DOS METAIS CROMO, ZINCO E MANGA- NÊS NO SEDIMENTO DE FUNDO DO IGARAPÉ TUCUN- DUBA.....	122
5	- CONCLUSÕES.....	126
	BIBLIOGRAFIA.....	133

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS	PÁGINA
1 Localização da área de estudo.....	4
2 Localização das vias de drenagens de Belém.....	6
3 Esboço geológico e geomorfológico do espaço imediato de Belém.....	7
4 Variações médias mensais da precipitações pluvio- métrica da cidade de Belém.....	16
5 Cotas Altimétricas da cidade de Belém.....	21
6 Localização do sistema de drenagem da cidade de Belém (PA) e os diversos pontos de amostragem...	30
7 Comparação das variações da condutividade em função das concentrações iônicas do canal Bernar do Saião.....	50
8 Comparação das variações da condutividade em função das concentrações iônicas do canal Quinti no Bocaiúva.....	51

9	Comparação das variações da condutividade em função das concentrações iônicas do canal do Reduto.....	52
10	Comparação das variações da condutividade em função das concentrações iônicas do canal Almirante Tamandaré.....	53
11	Comparação das variações da condutividade em função das concentrações iônicas do canal das Armas.....	54
12	Comparação das variações da condutividade em função das concentrações iônicas do canal do Una.....	55
13	Comparação das variações da condutividade em função das concentrações iônicas do igarapé Tucunduba na estação seca.....	56
14	Comparação das variações da condutividade em função das concentrações iônicas do igarapé Tucunduba na estação chuvosa.....	57
15	Variação sazonal do pH na água do igarapé Tucunduba em função da soma das concentrações dos íons Ca, Na, K e Mg. Belém.....	65

16	Distribuição do ferro em amostras de água e sedimento no canal Bernardo Saião.....	85
17	Distribuição do cálcio em amostras de água e sedimento no igarapé Tucunduba nas estações seca e chuvosa.....	99
18	Distribuição do sódio em amostras de água e sedimento no igarapé Tucunduba nas estações seca e chuvosa.....	101
19	Distribuição do potássio em amostras de água e sedimento no igarapé Tucunduba nas estações seca e chuvosa.....	103
20	Distribuição do magnésio em amostras de água e sedimento no igarapé Tucunduba nas estações seca e chuvosa.....	105
21	Distribuição do ferro em amostras de água e sedimento no igarapé Tucunduba nas estações seca e chuvosa.....	106
22	Distribuição do manganês em amostras de água e sedimento no igarapé Tucunduba nas estações seca e chuvosa.....	107

23	Distribuição do cromo em amostras de água e sedimento no igarapé Tucunduba nas estações seca e chuvosa.....	111
24	Distribuição do zinco em amostras de água e sedimento no igarapé Tucunduba nas estações seca e chuvosa.....	113
25	Distribuição do níquel em amostras de água e sedimento no igarapé Tucunduba nas estações seca e chuvosa.....	115
26	Mobilidade dos metais Cr, Zn e Mn no sedimento de fundo do igarapé Tucunduba.....	123

QUADRO

1	Caracterização dos pontos de amostragem nas vias de drenagem da região metropolitana de Belém.....	31
---	--	----

TABELAS

1	Parâmetros físicos da hidrologia das vias de drenagem da região metropolitana de Belém.....	24
2	Dados físico-químicos da água e matéria orgânica em amostras de sedimento do canal Bernardo Saião na estação seca. Belém.....	42

3	Dados físico-químicos da água e matéria orgânica em amostras de sedimento do canal Quintino Bocaiúva na estação seca. Belém.....	43
4	Dados físico-químicos da água e matéria orgânica em amostras de sedimento do canal do Reduto na estação seca. Belém.....	44
5	Dados físico-químicos da água e matéria orgânica em amostras de sedimento do canal Almirante Tamandaré na estação seca. Belém.....	54
6	Dados físico-químicos da água e matéria orgânica em amostras de sedimento do canal das Armas na estação seca. Belém.....	46
7	Dados físico-químicos da água do canal do Una na estação seca. Belém.....	47
8a	Dados físico-químicos da água e matéria orgânica em amostras de sedimento do igarapé Tucunduba na estação seca. Belém.....	48
8b	Dados físico-químicos da água e matéria orgânica e fosfato em amostras de sedimento do igarapé Tucunduba na estação chuvosa. Belém.....	49

9	Concentração (em ppb) dos metais e semi-metais em águas continentais naturais e os valores de back-ground.....	76
10	Concentração limite (em ppb) para metais em águas potáveis que podem afetar à saúde pública.....	78
11	Comparação das concentrações de Cr e Hg (em ppb) nas águas do igarapé Tucunduba e do canal do Reduto com aquelas dos rios da Europa e América do Norte.....	80
12a	Comparação das concentrações de Cr e Hg (em ppm) nos sedimentos do igarapé Tucunduba e do canal do Reduto com os rios e lagos da Europa América do Norte.....	80
12b	Comparação das concentrações dos metais Cu, Ni, Cr, Zn, Fe e Mn (em ppm) no sedimento do igarapé Tucunduba com os rios e lagos do Brasil.....	80
13	Concentração dos metais Ca, Mg, Na, K, Fe, Zn e Cu (em ppm) nas amostras de água do canal Bernardo Saião na estação seca. Belém.....	82
14	Concentração dos metais Ca, Mg, Na, K, Fe, Zn, Cu e Cr (em ppm) nas amostras de sedimento do canal Bernardo Saião na estação seca. Belém.....	82

15	Concentração dos metais Ca, Mg, Na, K, Fe, Zn e Cu (em ppm) nas amostras de água do canal Quintino Bocaiúva na estação seca. Belém.....	87
16	Concentração dos metais Ca, Mg, Na, K, Fe, Zn e Cu (em ppm) nas amostras de sedimento do canal Quintino Bocaiúva na estação seca. Belém.....	87
17	Concentração dos metais Ca, Mg, Na, K, Fe, Zn, Cu e Hg (em ppm) nas amostras de água do canal do Reduto na estação seca. Belém.....	90
18	Concentração dos metais Ca, Mg, Na, K, Fe, Zn, Cu e Hg (em ppm) nas amostras de sedimentos do canal do Reduto na estação seca. Belém.....	90
19	Concentração dos metais Ca, Mg, Na, K, Fe e Zn (em ppm) nas amostras de água do canal Almirante Tamandaré na estação seca. Belém.....	91
20	Concentração dos metais Ca, Mg, Na, K, Fe e Zn (em ppm) nas amostras de sedimento do canal Almirante Tamandaré na estação seca. Belém.....	91
21	Concentração dos metais Ca, Mg, Na, K, Fe e Zn (em ppm) nas amostras de água do canal das Armas na estação seca. Belém.....	92

22	Concentração dos metais Ca, Mg, Na, K, Fe e Zn (em ppm) nas amostras de sedimento do canal das Armas na estação seca. Belém.....	92
23	Concentração dos metais Ca, Mg, Na, K, Fe e Zn (em ppm) nas amostras de água do canal do Una na estação seca. Belém	92
24	Concentração dos metais Ca, Mg, Na, K, Fe, Zn, Mn, Ni e Cr (em ppm) nas amostras de água do igarapé Tucunduba na estação seca. Belém.....	95
25	Concentração dos metais Ca, Mg, Na, K, Fe, Zn, Mn, Ni e Cr (em ppm) nas amostras de sedimento do igarapé Tucunduba na estação seca. Belém.....	95
26	Concentração dos metais Ca, Mg, Na, K, Fe, Zn, Mn e Cr (em ppm) nas amostras de água do igarapé Tucunduba na estação chuvosa. Belém.....	96
27	Concentração total dos metais Ca, Mg, Na, K, Fe, Zn, Mn, Ni e Cr (em ppm) nas amostras de sedimento de fundo do igarapé Tucunduba na estação chuvosa. Belém	96
28	Concentração dos metais adsorvidos Ca, Mg, Na, K, Fe, Cr, Zn e Mn (em ppm) nas amostras de sedi	

	mento de fundo do igarapé Tucunduba na estação chuvosa. Belém.....	97
29	Concentração dos metais adsorvidos Ca, Mg, Na, K, Fe, Zn, Mn, Ni e Cr (em ppm) nas amostras de sedimento em suspensão no igarapé Tucunduba na estação chuvosa. Belém.....	97
30	Matriz das correlações entre as concentrações iônicas na água do igarapé Tucunduba na estação seca.....	118
31	Matriz das correlações entre as concentrações iô- nicas na água do igarapé Tucunduba na estação chuvosa.....	119
32	Matriz das correlações entre as concentrações iônicas no sedimento de fundo do igarapé Tucundu- ba na estação seca.....	120
33	Matriz das correlações entre as concentrações iônicas no sedimento de fundo do igarapé Tucundu- ba na estação chuvosa.....	120
34	Matriz das correlações entre as concentrações iônicas adsorvidas do sedimento em suspensão do igarapé Tucunduba na estação chuvosa.....	121

35	Matriz das correlações entre as concentrações iônicas adsorvidas do sedimento de fundo do igarapé Tucunduba na estação chuvosa.....	121
36	Concentração dos metais Zn, Cr e Mn (em ppm) nas amostras do sedimento de fundo do igarapé Tucunduba na estação chuvosa. Belém.....	124

1 - INTRODUÇÃO

Nos últimos anos as atividades humanas têm influenciado, em nível local, nas características físico-químicas das águas, dos organismos e dos sedimentos em ambientes aquáticos situados em regiões industrializadas e com alta densidade populacional. Estas atividades perturbam os processos naturais que levam milhões de anos para atingir o estágio natural. A forma com que a natureza reage a isto é, na maioria das vezes, imprevisível e danosa ao ecossistema.

O presente estudo visa, sobretudo, realizar um levantamento geoquímico ambiental dos metais Ca, Na, K, Mg, Fe, Cr, Zn, Ni, Mn, Cd, Cu, e Pb na águas e sedimentos de seis canais e um igarapé de drenagem da região metropolitana de Belém, quais sejam canal Bernardo Saião, canal Quintino Bocaiúva, canal do Reduto, canal Almirante Tamandaré, canal do Una, canal das Armas e igarapé Tucunduba.

A cidade de Belém foi escolhida por ser um polo de grande importância sócio-econômico para o desenvolvimento da Amazônia. Apresenta, em geral, uma industrialização de pequeno porte que se limita ao pescado, madeira, sabão, metalurgia, alimentícia e curtumes e outros.

Este trabalho aborda inicialmente a geologia, geomorfologia, solo, clima e hidrologia da região retro citada e ainda os fatores físico-químicos ligados as águas das vias de drenagens.

Logo em seguida, faz-se uma investigação sobre a poluição na cidade de Belém, reconhecendo e localizando as fontes de metais poluentes, com o objetivo de se realizar um estudo mais detalhado, sobre a dispersão, interação e forma dos íons metálicos no ambiente supostamente poluído.

Este trabalho tem, ainda, por objetivo suprir as necessidades de conhecimentos científicos da região metropolitana de Belém, que devido ao seu crescimento acelerado tem sido exposta a diversas formas de modificações ambientais, que devem ser acompanhadas, como o assoreamento do leito dos igarapés devido a ocupação populacional indevida de suas margens, a falta quase que total de saneamento básico e tratamento do lixo e esgoto urbano, etc.

2 - CONSIDERAÇÕES SOBRE O MEIO AMBIENTE

2.1 - LOCALIZAÇÃO

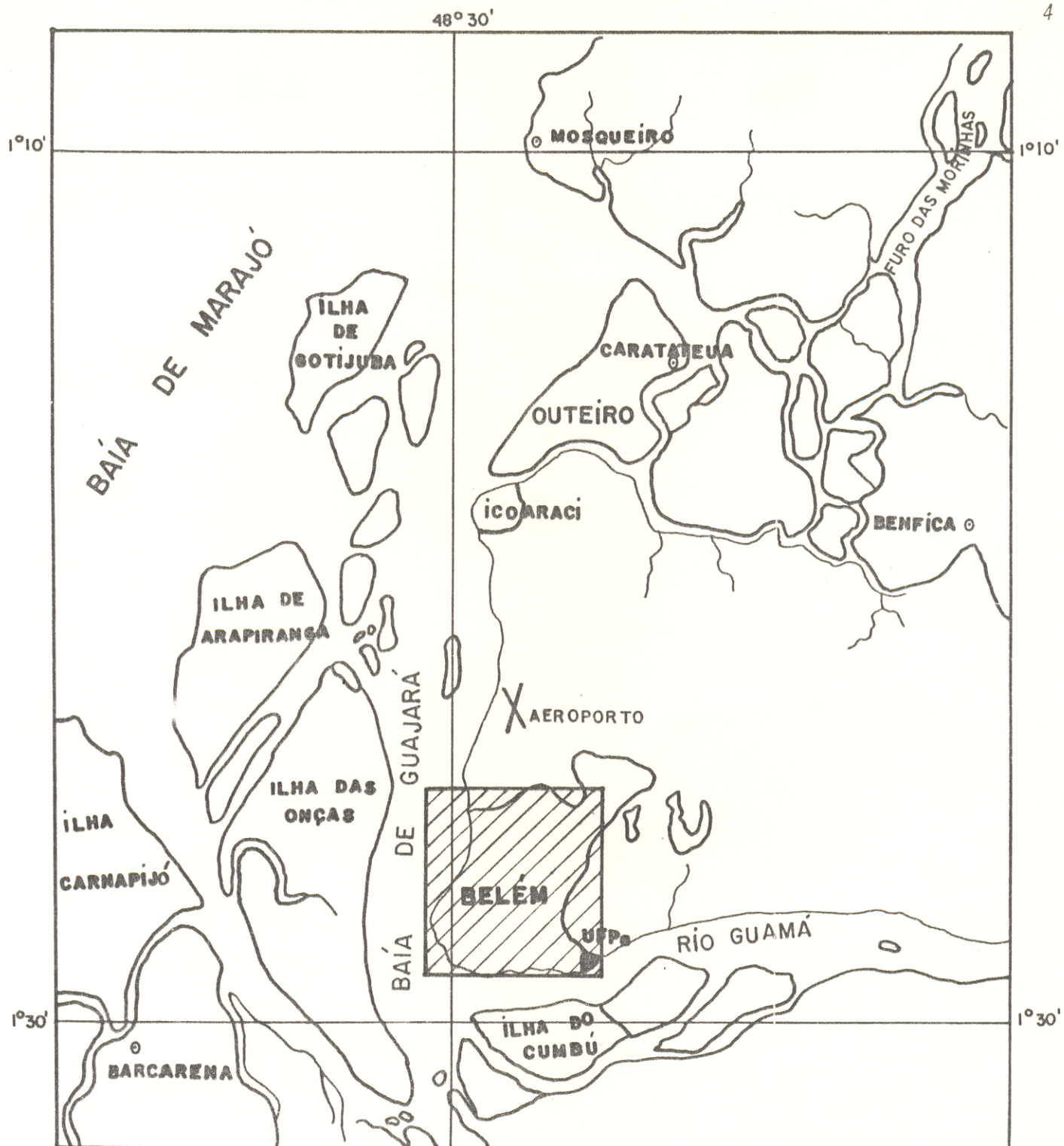
2.1.1 - Localização da região metropolitana de Belém

A região metropolitana de Belém, no Estado do Pará, localiza-se no quadrante entre os paralelos $1^{\circ}10'S$ e $1^{\circ}30'S$ e os meridianos $48^{\circ}25'W$ e $48^{\circ}35'W$, a uma altitude média de 15m em relação ao nível do mar. Faz limites ao sul com o rio Guamã, ao norte com a baía do Marajó até o extremo oriental da ilha do Mosqueiro e a oeste com as baías do Marajó, Guajará e Santo Antônio (Fig.1).

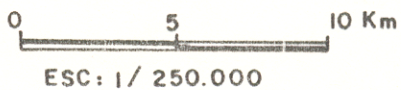
A região metropolitana de Belém é formada por dois municípios: Belém com 736Km² e Ananindeua com 485Km², totalizando 1221Km² de área, sendo 355Km² de terrenos continentais e 866Km² de terrenos insulares. O município de Belém abrange os distritos de Mosqueiro, Icoaraci, Val de Cães e Belém (CODEM, 1975).

1.1.2 - Localização da Área de estudo

A área de estudo está localizada no quadrante entre $1^{\circ}25'32''S$ e $1^{\circ}31'S$ e dos quadrantes $48^{\circ}30'24''W$ e $48^{\circ}27'W$ e é aquela coberta pelo sistema de drenagem do distrito de Belém, que engloba os canais do Una, das Armas, do Reduto, da Quintino Bocaiúva, da Almirante Tamandaré, da Bernardo Saião e o igarapé



FONTE PROJETO RADAM (1973)



ESC: 1 / 250.000



ÁREA ESTUDADA

Fig.1- LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Tucunduba, totalizando uma área de aproximadamente 45Km² e 15Km de drenagem (Fig.2).

2.2 - GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA DA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM

A cidade de Belém está assentada sobre coberturas sedimentares Cenozóicas, que se estendem das margens do rio Amazonas e depositam-se sobre a borda NE do cráton Amazônico e SE do cráton Guianês.

Belém tem uma superfície distribuída em "interflúvios tabulares", elaborada sobre sedimentos terciários, e somente às margens do rio Guamá e baía do Guajará são formadas de planícies fluviais "holocênico - pleistocênica". O embasamento cristalino está a cerca de 4000 metros de profundidade (Schobbenhaus e Branco, 1981).

Esta superfície se divide em três formações litológicas importantes, que são: (a) terrenos sedimentares do Terciário; (b) terrenos sedimentares do Quaternário (Sedimentos do Pleistoceno e sedimentos inconsolidados Holocênicos das baixadas inundáveis) e (c) sedimentos recentes das planícies fluviais e marinhas (Fig.3) (CODEM, 1975).

(a) Terrenos sedimentares do Terciário (Formação Barreiras)

Estes terrenos são denominados como "Tabuleiros" ou "Baixos Platôs" e estão situados nas regiões mais altas da cidade de

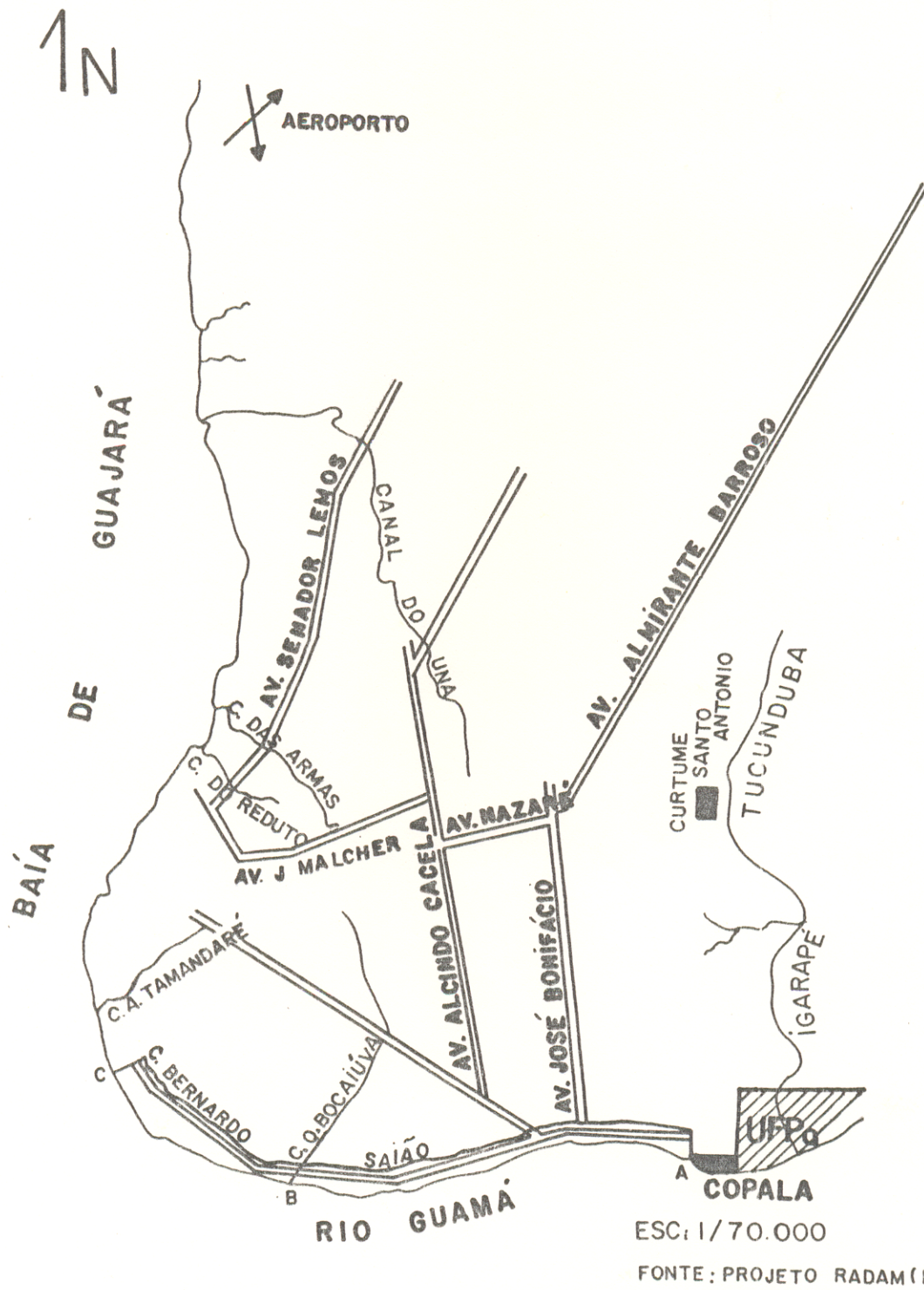
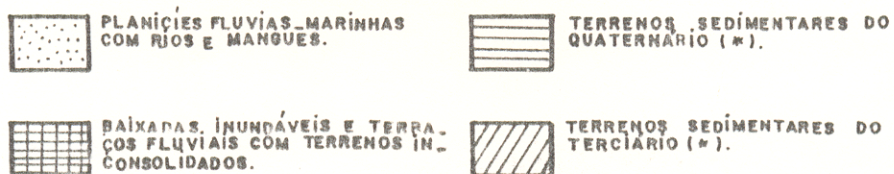


FIG. 2 - LOCALIZAÇÃO DAS VIAS DE DRENAGEM DE BELÉM.



(*) SUPERFÍCIES PEDÍPLANADAS/APLAINAMENTOS POR RETOMADA DE EROÇÃO EM TERRENOS SEDIMENTARES.
FONTE: RADAM/LEV. AEROFOTOGRAFÉTRICO (BELÉM, 1973).

Fig.3 - ESBOÇO GEOLÓGICO E GEOMORFOLÓGICO DO ESPAÇO ÍMEDI-
TO DE BELÉM.

Belém. Eles pertencem ao platô Terciário e desenvolvem o modelo morfológico da área na forma de pequenas ondulações, ou formando falésias de até 15m acima do nível do mar. Embora estando bastante rebaixados na região metropolitana de Belém é fácil distinguir um nível ligeiramente mais elevado, entre 15 e 25m, que corresponde aos Topos Tabulares dos principais divisores de águas.

Eles pertencem a Formação Barreiras, que é constituída de sedimentos argilo-arenosos de origem continental. A granulometria é de fina a grosseira com seixos subarredondados de quartzo leitoso, e com coloração do alaranjado para o avermelhado contendo arenito ferruginoso denominado por Ketzer (1933) como Grês do Pará.

O Grês do Pará, é um arenito ferruginoso de formação recente a partir dos sedimentos do Grupo Barreiras, é mal classificado e algumas vezes apresenta uma incipiente estratificação. Ocorre nas partes mais elevadas e nas proximidades dos igarapés, onde a erosão o descobre. É abundante em todo o município de Belém, aflorante ou a pouca profundidade (IDESP, 1979).

(b) Terrenos sedimentares do Quaternário (sedimentos do Pleistoceno e sedimentos inconsolidados holocênicos das baixadas inundáveis)

Os sedimentos Pleistocênicos são areno-argilosos e

denominados "Terrços". Apresentam uma altimetria de no mínimo 4,3m e no máximo 20m, representando o nível mais alto das várzeas ou os mais baixos da "Terra Firme". Onde estão as partes altas e não inundadas da área metropolitana de Belém, constituindo a maior área de expansão.

Os sedimentos inconsolidados holocênicos das baixadas inundáveis consistem principalmente em argilas aluvionares de coloração branca acinzentada à cinza avermelhada, plásticas e com restos de matéria orgânica. São denominadas como "Níveis de Várzeas" e estão sujeitos a enchentes. São caracterizados como áreas inundadas, porque são modeladas desordenadamente pelas drenagens atuais dos rios que possuem problemas de escoamento -- provocado pelo espraçamento do leito aliando-se à baixa declividade -- e pela existência de pequenos canais sinuosos. Representando assim, as áreas margeantes do rio Guamá, baía do Guajará, e igarapés que deságuam nos acidentes hidrográficos citados. Abrangendo também as áreas inundáveis, afastadas dos rios e igarapés, decorrentes das oscilações dos lençóis freáticos por ocasião das grandes chuvas e da topografia do solo.

A faixa de argila aluvionar tem 18 a 20m de espessura, e são cobertos em grande parte por aterros. É muito estreita e quase ausente na parte antiga da cidade, mas alarga-se ao longo das margens do rio Guamá e da baía do Guajará. Estas áreas de sedimentação recente e de frequente inundação recebem a denominação de "Baixadas de Belém" (Brasil, 1979).

(c) Sedimentos recentes de planícies fluviais-marinhas, com rios e mangues.

Os sedimentos recentes de planícies fluviais-marinhas, com rios e mangues, ocorrem principalmente nas ilhas de Mosqueiro e Outeiro, fora da área objetivo deste estudo.

2.3 - SOLOS DA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM

A região metropolitana de Belém tem sete unidades taxonômicas de solo que são: (a) Latossolo Amarelo; (b) Laterita Hidromórfica; (c) Concrecionário Laterítico; (d) Podzol Hidromórfico; (e) Hidromórfico Gleizado; f- Areia quartzosa; e (g) Áreas Aterradas (IDESP, 1979).

O Latossolo Amarelo (Latosol Amarelo) é composto pela mistura de óxidos hidratados de ferro e alumínio. A evidência de uma acumulação de alumínio nas camadas superficiais deste solo, torna a fração argila com baixa capacidade de troca iônica. O teor de ferro, por ser menor, determina as cores, ocasionando variações intermediárias entre o amarelo e o vermelho. São solos com profundidade de 200cm e representa 48,99% da área do município de Belém (Vieira et al 1967).

A Laterita Hidromórfica é um solo muito desgastado e fortemente ácido, rico em sesquióxidos e pobre em humus. Ainda segundo Vieira tem profundidade variável de 17 a 52cm e uma coloração vermelha, cinza ou branca devido a um material mosqueado

é um material argiloso altamente intemperizado. O Concrecionário Laterítico (Latosol Concrecionário) é um solo formado por partículas finas com um avançado grau de intemperização. Pode estar em vários estágios de evolução, sendo a laterita o final do processo de formação. As concreções lateríticas podem aparecer nos perfis como arenito ferruginoso, onde o teor de ferro é maior que o de alumínio, juntamente com quartzo e argila, ocluídos ou interligados com os depósitos de ferro mais ou menos hidratados.

O solo Podzol Hidromórfico caracteriza-se por possuir uma textura arenosa, firme, não plástica, não pegajosa em todo o perfil. É ácido e tem um acúmulo de humus e de sesquióxidos. Tem uma coloração branca ou cinza claro e uma profundidade média em torno de 150cm.

No solo Hidromórfico Gleizado as cores oscilam de amarelo a vermelho, devido a variação do lençol freático, que determina os processos de oxidação e redução principalmente dos compostos de ferro (mosqueamento). Tem um alto teor de matéria orgânica silte e argila. A saturação e o conteúdo de bases dependem da natureza e idade dos sedimentos sobre os quais se desenvolvem e da qualidade da água que os satura, rica ou pobre em ions. Sendo assim, pobre nos solos distróficos e ricos nos solos eutróficos. Ocorre em planícies inundadas das regiões costeiras baixas e margeantes aos rios e igarapés, sendo um solo com alta capacidade de troca iônica.

A Areia Quartzosa é um solo de fácil lixiviação, formada

pela alta precipitação pluviométrica da região de Belém. Tem uma baixa atividade de argila e saturação e é bastante ácido. Tem textura arenosa de estrutura fraca, granular ou maciça porosa que se desfaz em grãos simples.

As áreas Aterradas tem um intenso hidroformismo, que sofreu deposição de aterro -- argila e lixo urbano -- sendo dessa forma recuperada e utilizada dentro do perímetro urbano.

2.4 - VEGETAÇÃO DA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM

A cobertura vegetal da região metropolitana de Belém esteve representada por dois tipos de florestas: a de "Terra Firme" e a de Várzea. Hoje em virtude das interferências antrópicas, a sua fitofisionomia está muito modificada. Dentro do perímetro urbano da cidade de Belém, em praças e quintais restam, ainda que poucas, evidências da antiga floresta tropical, que pode ainda ser encontrada nas ilhas formadas pelo macro sistema de drenagem da região (CODEM, 1975).

Os canais estudados, situados no perímetro urbano da cidade, não apresentam algum tipo de vegetação, devido a intensa ocupação populacional em suas margens.

A vegetação atual da cidade de Belém está representada pelos seguintes tipos: (a) Floresta Tropical; (b) Capoeira de "Terra Firme" e de Várzeas e (c) Floresta de Igapó.

(a) A Floresta Tropical ou "Terra Firme" Densa, está assentada sobre o solo Latossolo Amarelo e possui árvores de grande valor econômico.

(b) As Capoeiras "Terra Firme" e de Várzeas são muito semelhantes e representam as vegetações que se encontram sobre solos cujas condições físicas e químicas não permitem um desenvolvimento de uma vegetação exuberante. E ocorrem ao longo dos rios e igarapés, próximo de áreas povoadas. Por exemplo o igarapé Tucunduba.

(c) A Floresta de Igapó é encontrada nos alagados e níveis topográficos mais baixos da região, possuindo raízes aéreas, adaptadas ao seu desenvolvimento nos solos permanentemente alagados.

2.5 - CLIMA DA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM

A cidade de Belém, assim como todo o Estado do Pará em geral, apresenta um clima equatorial quente e úmido. Sua posição geográfica próxima ao Oceano Atlântico, sua baixa altitude, relevo plano e vegetação arbórea densa, conferem-lhe características diferentes daquelas comuns à região Amazônica como um todo.

A região metropolitana de Belém possui características climáticas próximas aquelas idealizadas por Koppen em 1948, identificadas pelas categorias Af, Aw e conseqüentemente Am (Braz, 1985).

- Categoria Af de Koppen: as temperaturas médias mensais podem apresentar amplitudes variando até 5°C, não ocorrendo variações sazonais sensíveis;

- Categoria Aw de Koppen: tem um mínimo de pluviosidade de 60mm, ocorrendo chuvas durante o ano todo, surgindo uma vegetação chamada de "selva tropical";

- Categoria Am de Koppen: combina as características das categorias Af e Aw, o que resulta no clima equatorial chuvoso, onde a temperatura média do mês mais frio é 18°C.

Belém possui uma notável isoterмия, com amplitudes menores que 2°C, calculada com base nas temperaturas médias do mês mais quente e mais frios (Penteado, 1968).

Segundo Penteado (1967), Belém apresenta maior amplitude térmica diária que anual, o que está de acordo com a baixa latitude. Esta latitude faz com que os raios solares incidam verticalmente em todas as épocas do ano, resultando temperaturas médias anuais de 25,9°C, com valores máximos e mínimos de 38,4°C e 22,4°C respectivamente. Devido a essas condições, não há a ocorrência de variações sazonais térmicas sensíveis que determinem um período quente "verão" e um período frio "inverno", já que a diferença entre as temperaturas média do mês mais quente, 26,5°C (novembro), e do mês mais frio, 25,4°C (março) é de 1,1°C (CODEM, 1975).

Desta forma o que determina a existência das estações regionalmente chamadas de "inverno" e "verão", é a precipitação pluviométrica, causada pela alternância de atuação da "área de convergência inter-tropical" (CIT). O "verão" (junho a novembro) apresenta-se com menor pluviosidade, menor nebulosidade, maior insolação, melhor ventilação, maior evaporação e menor umidade relativa do ar. E o "inverno", período mais chuvoso, (dezembro a maio) se apresenta com características contrárias a do "verão" (Fig.4).

Em um estudo realizado pelo INEMET (Instituto Estadual de Meteorologia) para um período operacional de 30 anos --1931 a 1961-- o balanço hídrico médio anual observado para a região metropolitana de Belém é o seguinte (Brandão e Gavino, 1981):

Temperatura-----	25,9°C
Precipitação pluviométrica-----	2762mm
Excesso-----	1250mm (Janeiro a julho)
Déficit-----	38mm (agosto a novembro)
Evapotranspiração potencial-----	1550mm
Evapotranspiração efetiva-----	1212mm
Evapotranspiração atual-----	1512mm

Com os dados deste estudo e os dados obtido no ano de 1987 (Fig.4), foi possível determinar os períodos de amostragem ideais, para que se representasse as estações no decorrer das

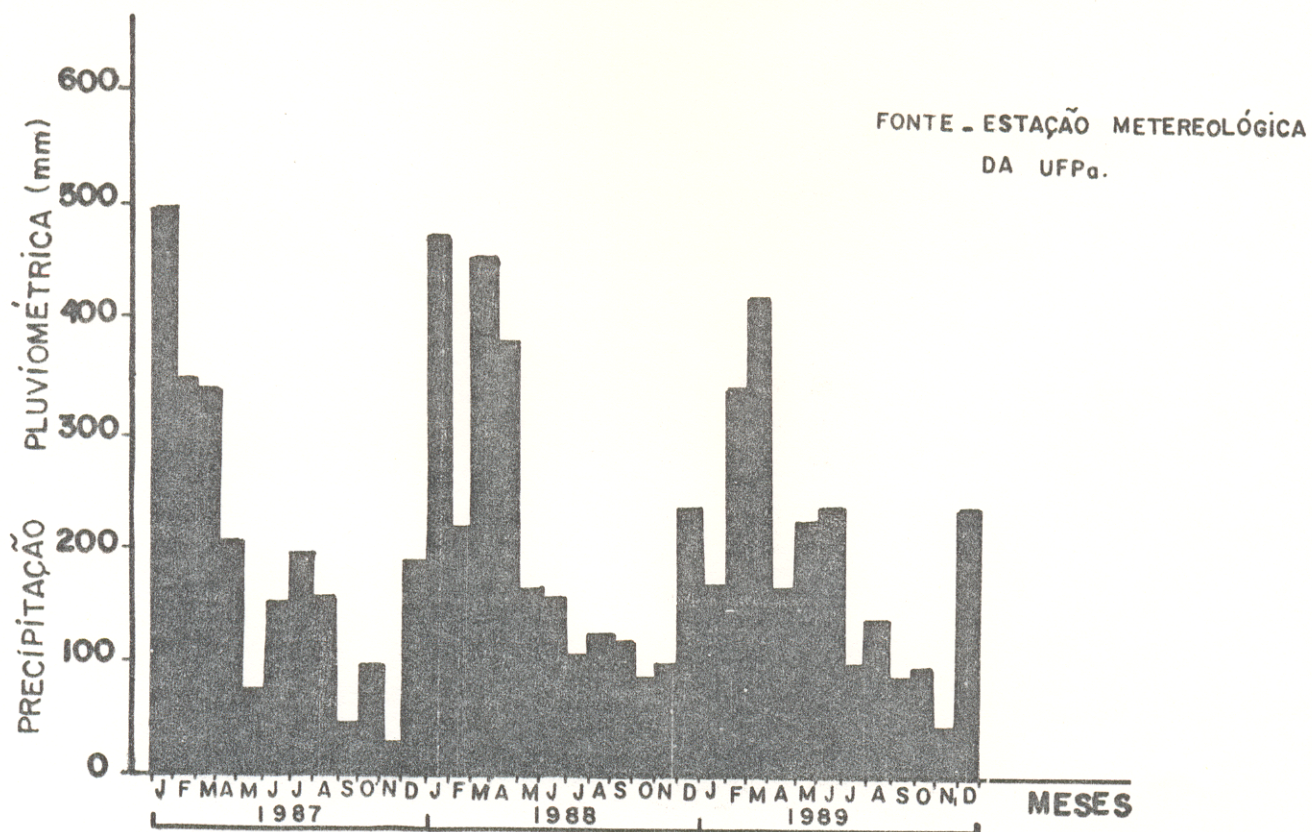
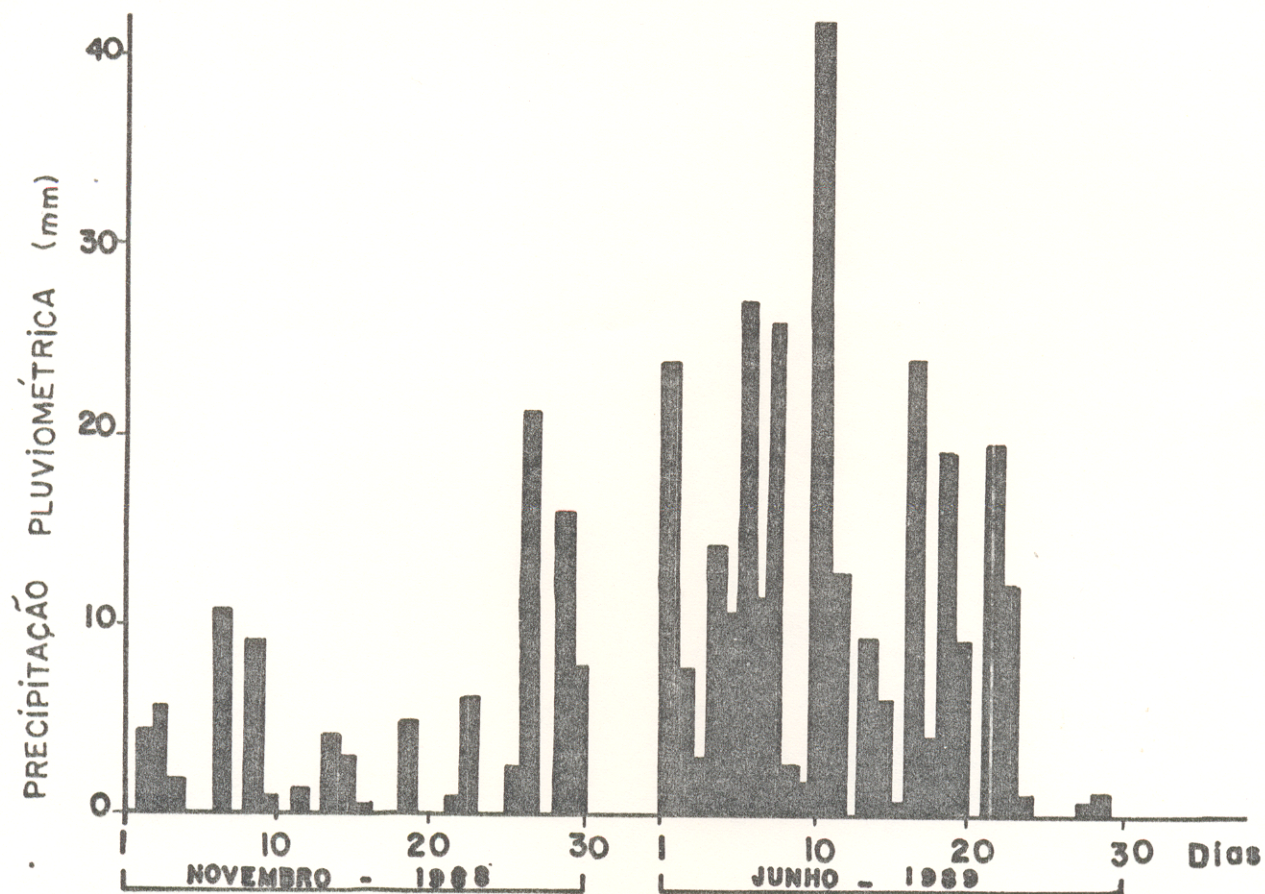


Fig. 4 - VARIAÇÕES MÉDIAS MENSÁIS DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA DA CIDADE DE BELÉM.

análises. No período de novembro/88 (estação seca) e junho/89 (estação chuvosa).

2.6 - HIDROLOGIA

2.6.1 - Bacia hidrográfica Amazônica

A bacia hidrográfica Amazônica, com 6,5 milhões de Km² de área total, excluindo a bacia do Tocantins-Araguaia, tem como calha receptora de suas águas o rio Amazonas. Seu clima equatorial -- quente e úmido -- com abundante precipitação fluvial, controla decisivamente a descarga deste rio.

Os rios da bacia Amazônica foram classificados por Sioli (1968), quanto a quantidade de material em suspensão, em: (a) rios de "águas claras"; (b) rios de "águas brancas"; (c) rios de "águas pretas".

(a) Rios de "águas claras" são rios de águas transparentes, com uma coloração levemente esverdeada e pouco ou nenhum material em suspensão. Constituem exemplos os rios Tapajós e Xingu.

(b) Rios de "águas brancas" são rios com muito material em suspensão e coloração marrom amarelada. São exemplos os rios Solimões ou Amazonas, Purus e Madeira.

(c) Rios de "águas pretas" são rios de águas transparentes,

com uma coloração marrom a preta e não possuem material sólido em suspensão. São exemplos os rios Negro, Unini, Tefé e Tapauá.

2.6.2 - Baía do Guajará

A baía do Guajará é parte do estuário do rio Amazonas e apresenta águas barrentas e temporariamente salobras, quando na estação seca. Situa-se a oeste da cidade de Belém e recebe as águas dos rios Guamá e Acará. Tem uma forma alongada e estreita e está comprimida entre terras continentais e as ilhas fluviais da Onça, Arapiranga, Cotijuba, Jararaca, Mirim, Paquetá-Açu e Jutuba. Comunica-se com a baía do Marajó e sofre diretamente a influência das marés oceânicas.

2.6.3 - Rio Guamá

O rio Guamá banha a cidade de Belém pelo sul, e deságua na baía do Guajará. Este é denominado como rio de "águas brancas", por ser pouco transparente, e com grande quantidade de material em suspensão, proporcionado por movimentos de sedimentação e fortes atividades de erosão das margens do rio.

A forte turvação do rio Guamá, na sua foz, se explica pelo fato de que devido ao seu curso baixo, as águas turvas e barrentas da baía do Guajará, são empurradas ritmicamente para dentro de seu curso. Esses sedimentos são provenientes de regiões geológicas e mineralógicas diferentes do curso superior do Amazonas e do sistema fluvial do Rio Tocantins.

2.6.4 - Vias de drenagem da região metropolitana de Belém.

A região metropolitana de Belém tem uma rede de drenagem bem distribuída -- do tipo dentrítico nas regiões sedimentares -- que deságua tanto na baía do Guajará a oeste e norte, e no rio Guamá ao sul (Arantes et al, 1972).

Tem 20 micro-bacias hidrográficas na região continental e 30 na região insular, 15 na ilha de Mosqueiro e 15 na ilha de Outeiro citadas na tabela 1, onde apresenta somente as micro-bacias mais importantes da região insular (IDESP, 1979).

De acordo com a tabela 1, as micro-bacias hidrográficas da região continental contém uma média de 1/3 de suas áreas abaixo da cota 5m e baixa densidade de drenagem que varia de 0,57 a 4,34 Km/Km². Somente uma delas apresenta esse índice do limite superior -- a micro-bacia dos canais da área EMBRAPA/FCAP -- mostrando-se assim ser a única excepcionalmente bem drenada, já que depois dela temos o rio Catu, que drena o lago Bolonha, com 1,97Km/Km².

Dentre as micro-bacias citadas na tabela 1, a que apresenta, de um modo geral, condições privilegiadas é a micro-bacia do igarapé Val-de-Cães, com apenas 24% de sua área abaixo da cota de 5m, boa drenagem e índices de enchente razoavelmente diferentes da unidade.

2.6.4.1 - Vias de Drenagem da área de estudo.

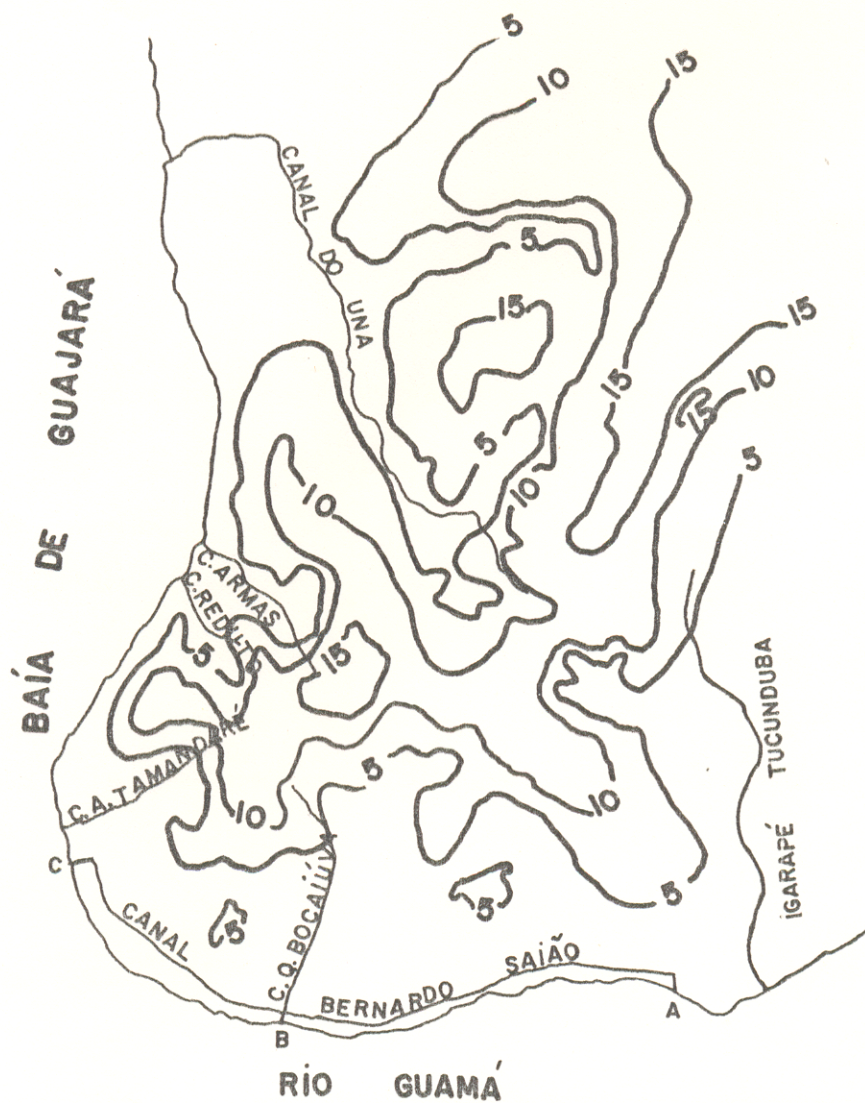
Dentro dos limites da área demarcada neste estudo, somente sete micro-bacias hidrográficas foram estudadas: o canal Quintino Bocaiúva, o Almirante Tamandaré, do Reduto, das Armas, do Una, o Bernardo Saião e o igarapé Tucunduba (Fig.5).

O estudo, destas micro-bacias, mostra que a maioria possui problemas de drenagem, tendo a característica de apresentar cheias rápidas e danosas. Para chegar a esta conclusão foi enumerada quatro características físicas que são: (a) cota altimétrica; (b) fator de forma (K_f) e coeficiente de compacidade (K_c) e (c) densidade de drenagem (D_d) (IDESP, 1979).

(a) Cota altimétrica - como citado anteriormente a cidade de Belém é plana, tendo uma altitude máxima de 15m acima do nível do mar. Na figura 5 está caracterizado que a maior parte de sua área tem altitude inferior a 5m de cota -- que é alagada ou passível de ser alagada por marés lançantes -- incluindo as áreas drenadas pelos igarapés e canais em estudo.

Segundo Charone (1989), a ocupação desordenada destas áreas causa três tipos de fenômenos nas vias de drenagem que são:

(a) o estreitamento das vias principais, por ocupação das margens;



ESC : 1 / 70.000

FONTE: PREFEITURA MUNICIPAL DE BELÉM,
1975. PLANO DE DESENVOLVIMENTO
DA GRANDE BELÉM, (adaptado).

Fig.5 - COTAS ALTIMÉTRICAS DA CIDADE DE BELÉM

(b) o assoreamento do leito, tornando-o menos profundo;

(c) o aprisionamento, sem limites definidos, do lençol líquido -- consequência da saturação do aterro -- em áreas que eram anteriormente alagadas.

Em consequência deste aterro, a água aprisionada em sedimentos do tipo argila orgânica e silte, permanecerá em estado de tixotropia (fenômeno físico-químico próprio de líquidos que tem sua viscosidade diminuída quando são agitados). Provoca também a dificuldade de escoamento da água da chuva que dantes o fazia para as bacias por gravidade. Este alteamento do terreno, provoca verdadeiros lagos temporários chamados popularmente de "Lagueiros", ocorrendo até em áreas nunca antes alagadas. E como essas áreas são naturalmente alagadiças, sofrem a ação dos movimentos da maré, que por sua vez, represará águas em áreas sem alteações simultâneas, condicionando as pessoas a viverem em palafitas nas áreas centrais da cidade.

(b) Fator de forma (K_f) e coeficiente de compacidade (K_c) ou índice de Gravelius - São índices indicadores de enchentes.

O fator de forma é a razão entre a largura média e o comprimento axial da bacia.

O coeficiente de compacidade ou índice de Gravelius é a

relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo com área igual a da bacia.

Estes índices determinam a forma da bacia, variando diretamente com a irregularidade. Estes para uma bacia circular é igual a unidade. Por exemplo: se uma bacia for estreita e longa, a possibilidade de chover em toda sua extensão é menor e os afluentes estarão distribuídos ao longo da bacia, o que não ocorre com uma bacia circular.

Tendo em vista estes conceitos podemos dizer que o canal Quintino Bacaiúva e o igarapé Tucunduba apresentam condições críticas de enchentes. Os camais do Reduto, Almirante Tamandaré e Armas foram canalizados e cimentados (Tab. 1).

(c) Densidade de drenagem (D_d) - Indica o grau de desenvolvimento de um sistema de drenagem (rio principal e seus afluentes). É expresso pela relação entre o comprimento total do maior curso d'água da bacia, pela sua área total. Esta varia inversamente com a extensão do escoamento superficial e portanto, fornece uma indicação da eficiência da drenagem através dos seguintes parâmetros:

$< 0,50 \text{ Km/Km}^2$ - "drenagem pobre"

$0,50 \text{ a } 3,50 \text{ Km/Km}^2$ - "drenagem boa"

$> 3,50 \text{ Km/Km}^2$ - "drenagem excepcional"

Sendo assim, os canais e igarapés estudados estão na faixa

Tabela 1 - Parâmetros físicos da hidrologia das vias de drenagem da região metropolitana de Belém.

Bacias	% da área com cota < 5m	Fator de com- pacidade (K_c)	Fator de formal (K_f)	Densidade de drenagem (D_d)	observações
Canal B. Saião	100	1.50	0.38	0.50 Km/Km ²	
Canal Q. Bacaiúva	70	1.14	1.32	0.92 Km/Km ²	
Canal do Reduto	50	1.44	1.16	0.82 Km/Km ²	
Canal A. Tamandaré	68	1.01	1.17	0.82 Km/Km ²	
Canal das Armas	50	1.44	1.16	0.82 Km/Km ²	
Canal do Una	25	1.27	0.32	0.88 Km/Km ²	
Igarapé Tucunduba	59	1.19	0.53	0.99 Km/Km ²	
Canais EMBRAPA/FCAP	82	0.99	1.24	4.34 Km/Km ²	
Rio Catu	49	0.20	1.52	1.97 Km/Km ²	
Igarapé Água Preta	46	0.26	1.35	0.95 Km/Km ²	
Igarapé do Tapanã	29	1.42	1.30	0.88 Km/Km ²	
Ig. EIDAI/CORBEL	29	0.57	1.29	0.57 Km/Km ²	
Ig. Icuí - Guajará	29	0.46	1.14	0.94 Km/Km ²	
Igarapé Aurá	26	0.47	1.03	0.65 Km/Km ²	
Igarapé Val-de-Cães	24	0.26	1.35	1.24 Km/Km ²	
Igarapé da Fome	23	0.51	1.34	1.01 Km/Km ²	
Igarapé do Outeiro	22	0.51	1.17	0.90 Km/Km ²	
Igarapé Livramento	18	0.30	1.21	1.20 Km/Km ²	
Igarapé Maguari-Açu	12	0.28	1.65	0.65 Km/Km ²	
Igarapé "40 Horas"	11	0.33	1.18	0.95 Km/Km ²	
REGIÃO CONTINENTAL					
Rio Pratiçara	30	0.33	1.37	1.05 Km/Km ²	REGIÃO
Igarapé Cajueiro	33	0.31	1.25	1.56 Km/Km ²	
Ig. Sucuriçuquara	13	0.44	1.26	0.92 Km/Km ²	INSULAR
Rio da Baía do Sol	21	0.33	1.19	1.10 Km/Km ²	
Rio Pirajussara	20	0.30	1.10	1.44 Km/Km ²	MOSQUEIRO
Rio Mari-Mari	27	0.23	1.52	1.06 Km/Km ²	
REGIÃO INSULAR					
Ig. Tucumacira	38	0.70	1.10	0.60 Km/Km ²	REGIÃO
Ig. São Gonçalo	21	0.50	1.13	0.60 Km/Km ²	INSULAR
Ig. 1 da Praia	10	0.30	1.20	0.60 Km/Km ²	
Ig. do Limão	15	1.70	1.20	0.50 Km/Km ²	OUTEIRO

Fonte: IDESP, 1979

daqueles com "drenagem boa", apesar de estarem mais próximos à condição mínima desta categoria, sendo que o mais bem drenado de todos é o igarapé Tucunduba com $0,99\text{Km/Km}^2$.

3 - METODOLOGIA

3.1 - Considerações Gerais

A coleta dos dados e amostras de água e sedimento em seis canais e um igarapé da drenagem da região metropolitana de Belém, com fins de identificar as concentrações anômalas de metais, realizou-se em duas fases distintas: (a) a de levantamento e (b) a de detalhamento.

A fase de levantamento foi realizada no término da estação seca (novembro de 1988), tendo-se a expectativa de maiores concentrações de metais nas águas e nos sedimentos devido a uma menor diluição. A movimentação da maré foi observada, de modo que as amostras fossem coletadas na fase intermediária da "baixa maré", quando ocorre o fluxo natural das vias de drenagem, evitando-se com isso a diluição causada pela mesma. Durante esta fase objetivou-se reconhecer e localizar as fontes de metais poluentes.

Durante a fase de detalhamento foi amostrado somente o igarapé Tucunduba por ter sido identificada, na fase de levantamento, uma fonte de poluição de cromo (Cr^{3+}), Curtume "Santo Antônio". Este utiliza no tratamento do couro as soluções de cromato e de dicromato com a finalidade de curtir o couro após uma lavagem com uma solução alcalina contendo sulfato de sódio, óxido de cálcio, e detergente industrial, que serve para reidratar e limpar a matéria prima (couro salgado).

Devido a esta informação, realizaram-se duas etapas de amostragem: na primeira visou-se reproduzir os dados obtidos na fase de levantamento, utilizando os mesmos pontos de amostragem e também o de observar o efeito da variação sazonal neste igarapé. Na segunda etapa, observou-se a dispersão do metal poluidor no igarapé Tucunduba, através da análise dos sedimentos de fundo. A amostragem de água foi descartada nesta etapa devido a diversos fatores que interferem na análise da dispersão na mesma como: o efeito de diluição da maré periodicamente; a precipitação pluviométrica diária e irregular; as variações diárias e sazonais no fluxo d'água; a temperatura, e ainda as variações nos valores de pH da descarga do efluente do curtume e da descarga de esgotos domésticos.

3.2 - Procedimentos de Campo

O acesso aos canais situados no perímetro urbano da cidade de Belém é fácil e por terra. Em algumas partes do igarapé Tucunduba foi feito com um barco de alumínio a motor de poupa, na preamar, e com um bote, o popular "casquinho", bastante raso, na baixa-mar.

As amostras de sedimento de fundo foram coletadas com o auxílio de um amostrador de PVC, adequado ao arraste no leito dos canais cimentados e com um amostrador de profundidade, para a coleta no leito de canais e igarapés não cimentados. Elas foram embaladas em sacos plásticos limpos quimicamente e, posteriormente, secas em estufa a 50°C.

As amostras de água para a análise de metais foram coletadas a uma profundidade de 10cm da superfície em recipientes de PVC de um litro, que foram previamente limpos com ácido nítrico (HNO_3 p.a., 20%) e enxaguados com água deionizada. No momento da amostragem foi feita uma ambientação no frasco, que é enxaguado três vezes com a água a ser coletada. A amostra foi filtrada em papel de filtragem lenta na primeira fase -- Levantamento -- e em membrana milipore de $0,45\mu\text{m}$ na segunda fase -- Detalhamento -- e logo em seguida acidificada com ácido nítrico concentrado (HNO_3 p.a.) até atingir um $\text{pH} < 2$, evitando-se com isso a perda de metais por adsorção nas paredes do frasco.

Os parâmetros físico-químicos (temperatura, pH, condutividade, salinidade e teor de oxigênio dissolvido) foram obtidos "in locu", utilizando-se para as medidas de condutividade e salinidade um aparelho da marca YSI (Yellow Springs Instruments Co. Inc.), modelo 33, com precisão de até $2,5\mu\text{mhos/cm}$ para a condutividade e $0,05\%$ para a salinidade; para a medida de pH utilizou-se um aparelho marca WTW (Wissenschaftliche Technische Werkstätten), modelo pH 91, com precisão de $0,01$; a temperatura e oxigênio dissolvido foram determinados com o aparelho da marca YSI, modelo 57 com precisão de $0,05\text{mg/l}$ para oxigênio dissolvido e de zero a $0,1^\circ\text{C}$ para a temperatura. Estes parâmetros foram medidos a 10cm da superfície, visto que os igarapés e canais não possuem mais que 50cm de profundidade, quando da maré vazante.

Para as chamadas análises de rotina (cloreto, fosfato e sulfato) foi coletado um litro de água de cada ponto, e

conservadas em refrigerador a 4°C, sem a necessidade do uso de qualquer substância química, já que as análises foram realizadas poucas horas após a coleta.

3.2.1 - Pontos de amostragem

Na fase de levantamento foram amostrados 58 pontos em uma extensão de aproximadamente 15Km de drenagem, em uma área de 45Km² da região metropolitana de Belém.

Na primeira etapa da fase de detalhamento foram coletadas em 15 pontos de amostragem no igarapé Tucunduba, uma amostra de água e uma de sedimento, o que ocorreu no final da estação das chuvas (junho de 1989). Na segunda etapa foram coletadas cinco amostras de sedimento em cada ponto de amostragem, com um espaçamento de 300m, totalizando 35 amostras em 8 pontos.

Para a identificação das amostras foram utilizadas as letras iniciais do nome de cada via de drenagem objeto deste estudo, exceto o canal Bernardo Saião. Após as letras seguem os numerais de 1 a 15. Os pontos de coleta estão identificados na figura 6 e no quadro 1 e foram conservados nas duas etapas.

3.3 - Procedimentos de Laboratório

3.3.1 - Análise físico-química da Água

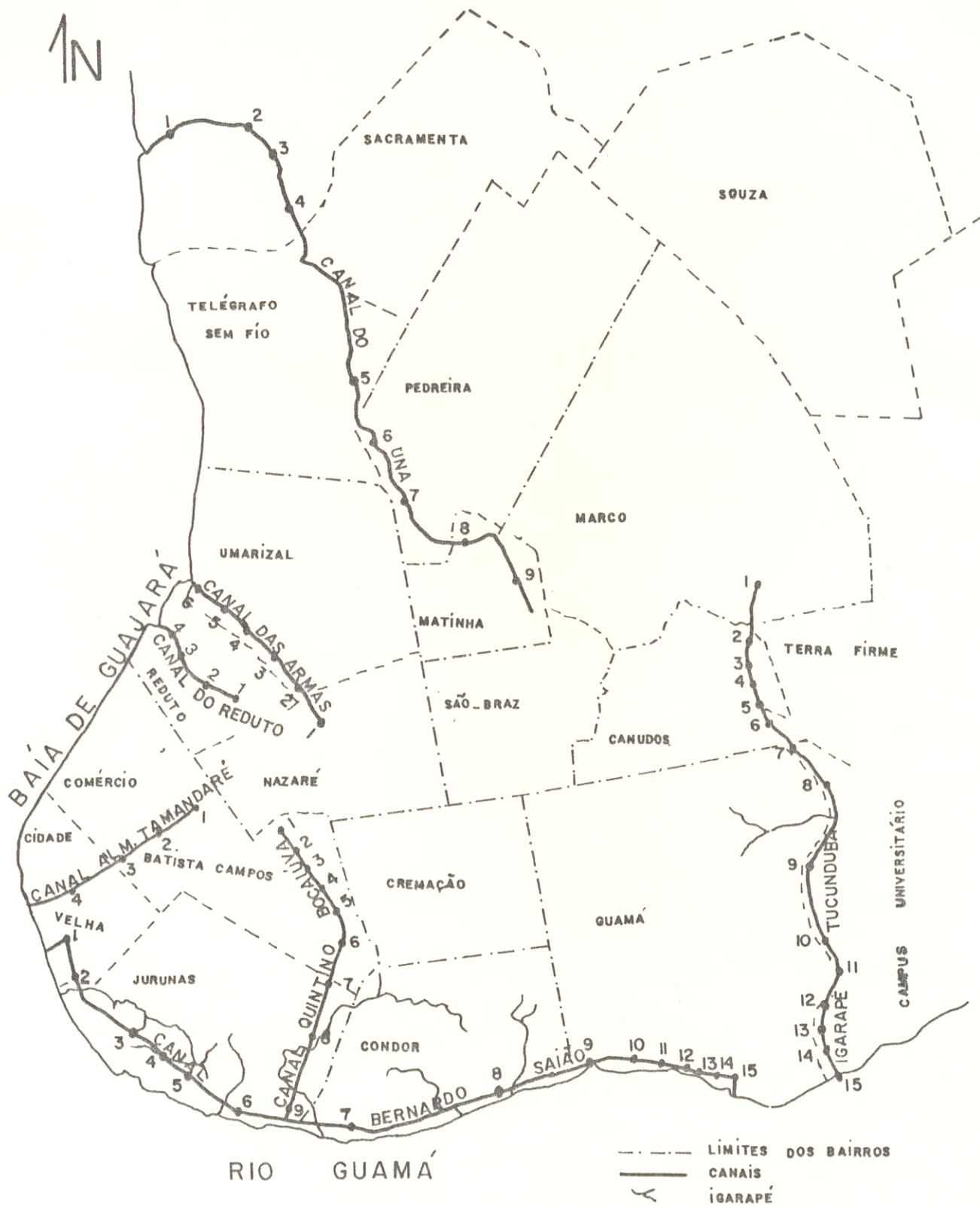


Fig.6 - LOCALIZAÇÃO DO SISTEMA DE DRENAGEM DA CIDADE DE BELÉM E OS DIVERSOS PONTOS DE AMOSTRAGEM.

Quadro 1 - Caracterização dos pontos de amostragem nas vias de drenagem da região metropolitana de Belém.
Bernardo Saião (Saião); Quintino Bocaiúva (Qui); Tamandaré (Tam); Reduto (Red); Das Armas (Armas); Do Una (Una) e Tucunduba (Tuc).

Pontos	Localização	Características
Saião 1	Av. Bernardo Saião com a Rua Veiga Cabral	Ponto de entrada da maré e próximo a uma madeireira
Saião 2	Av. Bernardo Saião	Em frente à indústria têxtil CATA
Saião 3	Av. Bernardo Saião	Área residencial
Saião 4	Av. Bernardo Saião com a Rua Pariquis	Sob uma estância madeireira
Saião 5	Av. Bernardo Saião com a Rua Timbiras	Área residencial
Saião 6	Av. Bernardo Saião com a Passagem do Limoeiro	Ponto de entrada da maré e deságua do canal Q. Bocaiúva
Saião 7	Av. Bernardo Saião	Em frente a fábrica de embalagem de palmito (MAIAUTÁ)
Saião 8	Av. Bernardo Saião com a Av. Alcindo Cacela	Área residencial
Saião 9	Av. Bernardo Saião com a Rua Padre Eutíquio	Área residencial
Saião 10	Av. Bernardo Saião	Área residencial
Saião 11	Av. Bernardo Saião com a Av. José Bonifácio	Garagem de ônibus (CREMAÇÃO)
Saião 12	Av. Bernardo Saião com a Rua São Lázaro	CIA. de Madeira
Saião 13	Av. Bernardo Saião	Em frente ao hotel (NOVOTEL)
Saião 14	Av. Bernardo Saião	Área residencial
Saião 15	Av. Bernardo Saião	Área residencial
Saião 16	Av. Bernardo Saião	Campus Universitário e a Siderúrgica COPALA

Continuação do Quadro 1

Qui 1	Rua Quintino Bocaiúva com a Rua Conselheiro Furtado	Área residencial
Qui 2	Rua Quintino Bocaiúva	Área residencial
Qui 3	Rua 14 de Março com a Rua Mundurucus	Área residencial
Qui 4	Rua Caripunas com a Rua Generalíssimo	Área residencial
Qui 5	Rua 14 de Março com a Rua Conceição	Área residencial
Qui 6	Rua 14 de Março	Área residencial
Qui 7	Rua Caripunas com a Rua Padre Eutíquio	Área residencial
Qui 8	Rua Caripunas com a Rua Roberto Cameliet	Área residencial
Qui 9	Rua Quintino Bocaiúva com a Av. Bernardo Saião	Deságua no rio Guamá e canal Bernardo Saião
Tam 1	Rua Almirante Tamandaré com a Rua Padre Eutíquio	Área residencial e comercial
Tam 2	Rua Almirante Tamandaré com a Rua 16 de Novembro	Área residencial e comercial
Tam 3	Rua Almirante Tamandaré com Rua Carlos Carvalho	Área residencial e comercial
Tam 4	Rua Almirante Tamandaré com a Rua Breves	Área residencial e comercial
Red 1	Rua P. Magalhães com a Rua 28 de Setembro	Área comercial
Red 2	Rua P. Magalhães com a Rua Gaspar Viana	Área comercial
Red 3	Rua P. Magalhães com a Rua da Municipalidade	Área comercial
Red 4	Rua P. Magalhães com a Av. Marechal Hermes	Área comercial

Continuação do Quadro 1

Armas 1	Av. Doca de Sousa Franco com Av. Dr. Silva	Área comercial
Armas 2	Av. Doca de Sousa Franco com Rua Tiradentes	Área comercial
Armas 3	Av. Doca de Sousa Franco com Rua Aristides Lobo	Área comercial
Armas 4	Av. Doca de Sousa Franco com Rua Magalhães Barata	Área comercial
Armas 5	Av. Doca de Sousa Franco com a Rua 28 de Setembro	Área comercial
Armas 6	Av. Doca de Sousa Franco com a Rua das Municipalidade	Área comercial
Una 1	Confluência com a Rodovia Artur Bernardo	Área comercial
Una 2	Confluência com a Avenida Pedro Álvares Cabral	Área comercial
Una 3	Confluência com a Avenida Senador Lemos	Área residencial
Una 4	Confluência com a Travessa da Vilheta	Área residencial
Una 5	Confluência com a Travessa Humaitá	Área residencial
Una 6	Sob uma ponte sem denomina- ção específica	Área residencial
Una 7	Passagem	Área residencial
Una 8	Sob uma ponte sem denomina- ção específica	Área residencial
Una 9	Confluência com a Rua Domingos Marreiros	Área residencial

Continuação do Quadro 1

Tuc 1	Casa de moradia	Área residencial
Tuc 2	Casa de moradia	Área residencial
Tuc 3	Sob uma ponte sem denominação específica	Área residencial
Tuc 4	Confluência com a Avenida N. S. das Grassas	Entrada do efluente do Curtume "Santo António"
Tuc 5	Sob uma ponte sem denominação específica	Área residencial
Tuc 6	Confluência com a Passagem Mundurucus	Serralheria
Tuc 7	Confluência com a Passagem Vilhena	Área residencial
Tuc 8	Confluência com a Rua Igarapé Miri	Serralheria
Tuc 9	Casa de moradia	Área residencial
Tuc 10	Ponto de mata	Ilha sem denominação específica
Tuc 11	Confluência com a Avenida Perimetral	Campus Universitário
Tuc 12	Sob uma ponte sem denominação específica	Campus Universitário
Tuc 13	Ponto aleatório (descampado)	Campus Universitário
Tuc 14	Reitoria	Campus Universitário
Tuc 15	Encontro com o rio Guamá	Campus Universitário

(a) Fosfato

A concentração de fosfato, foi determinada pelo método colorimétrico "ácido vanadomolibdofosfórico" e dosado em seguida por espectrofotometria (PM6), usando cubeta de 2cm e comprimento de onda de 430nm.

Método colorimétrico "ácido vanadomolibdofosfórico"

Em uma solução ácida de ortofosfato e de molibdato de amônio, forma-se o ácido molibdofosfórico, que na presença do vanádio torna-se um composto de coloração amarelada chamado de ácido vanadomolibdofosfórico. A absorbância obtida pela cor amarela é proporcional à concentração de fosfato em solução, que por sua vez foi medida através de uma curva padrão (STANDARD, METHODS, 1976).

(b) Sulfato

A concentração de sulfato, foi determinada pelo método Turbidimétrico e dosado em seguida por espectrofotometria (PM6), usando cubeta de 5cm e comprimento de onda de 420nm.

Método turbidimétrico

O íon sulfato foi determinado por precipitação em uma solução composta por ácido clorídrico médio, glicerol e cloreto de bário, de maneira a formar cristais de sulfato de bário. A

absorbância do sulfato de bário em suspensão. A concentração do íon sulfato foi determinada por comparação com uma curva padrão (STANDARD METHODS, 1976).

(c) Cloreto

Método argentométrico

A concentração de cloreto foi obtida pela precipitação do cloreto de prata através de uma titulação volumétrica com nitrato de prata, tendo uma solução neutra ou levemente alcalina de cromato de potássio como indicador (STANDARD METHODS, 1976).

(d) Metais

Para a determinação das concentrações dos metais na água, exceto o mercúrio, primeiramente pegou-se uma alíquota de água previamente filtrada. Em seguida realizou-se uma digestão, à quente, com ácido nítrico concentrado (HNO_3 p.a.), para eliminar a interferência da matéria orgânica. A dosagem foi determinada através da espectrometria de absorção atômica (aparelho marca Zeiss, modelo FMD4), usando chama de ar-acetileno, em comprimento de ondas de 324,8(Cu), 357,9(Cr), 566(Pb), 559(Mn), 457,6(Cd), 427,7(Zn), 464(Ni), 372(Fe), 330,2(Na), 422,7(Ca), 405(Mg), 769,9(K) e usando uma solução de 5000 ppm de cloreto de estrôncio para o Na, Ca, Mg e K a fim de eliminar possíveis interferências.

(e) Mercúrio

Técnica do vapor frio e absorção atômica

Uma amostra de água foi concentrada em 5%v/v em ácido nítrico e 0,01% m/v em dicromato de potássio. Uma alíquota de 10ml foi transferida para um frasco de redução com uma pequena quantidade de cloreto estanhoso. Com a agitação o vapor de mercúrio é gerado e transportado por um gás de arraste -- nitrogênio -- até uma célula de absorção posicionada no caminho ótico do aparelho de absorção atômica (Costa, 1988).

3.3.2 - Análise do Sedimento de Fundo

Na primeira fase de amostragem (levantamento) foram determinadas as quantidades totais dos metais nos sedimentos de fundo em todas as vias de drenagem e na segunda fase (detalhamento) foram determinadas as quantidades totais e adsorvidas dos metais no sedimento de fundo do igarapé Tucunduba.

(a) Preparação da amostra

Após a secagem ao ar livre, peneirou-se aproximadamente 100g de sedimento em um crivo sintético com malha de 80mesh. Logo em seguida fez-se uma secagem em uma estufa à 50°C, sendo resfriada em dissecador por alguns minutos.

(b) Abertura total

A concentração iônica total contida nos sedimentos de fundo das vias de drenagem foram extraídas através de um ataque com ácido fluorídrico concentrado e ácido perclórico concentrado, na razão de 10:1 respectivamente, e quantizadas pelo método de absorção atômica, usando chama de ar-acetileno.

(c) Abertura parcial

A concentração dos metais adsorvidos pelo sedimento de fundo do igarapé Tucunduba foram extraídos através do aquecimento em uma mistura de ácido nítrico concentrado (HNO_3 p.a.) e ácido clorídrico concentrado (HCl p.a.) -- na razão 3:1 respectivamente -- em tubo de ensaio por um período de 15 minutos, sendo resfriado e centrifugado. O líquido resultante foi analisado pelo método de absorção atômica.

(d) Extração do mercúrio

Uma quantidade da amostra de sedimento é decomposta com uma mistura de ácido nítrico concentrado, ácido sulfúrico concentrado e pentóxido de vanádio em um tubo de ensaio a uma temperatura de 160°C , em ambiente aberto. Logo em seguida, uma alíquota da amostra é transferida para um frasco de redução e, após a redução com uma solução de cloreto estanhoso, o vapor de mercúrio gerado é medido por absorção atômica pela técnica do vapor frio (Costa e Coqueiro, 1988).

(e) Fosfato

Após uma abertura total a amostra é analisada pelo método "ácido vanadomolibdofosfórico".

3.3.3 - Análise de Sedimento em Suspensão

O sedimento em suspensão foi somente analisado na fase de detalhamento do igarapé Tucunduba, o qual contou com a determinação da quantidade de metais pesados, através do método de absorção atômica, usando chama de ar-acetileno, após uma abertura parcial com ácido clorídrico diluído (HCl 0,5M), durante um período de 16 horas sob agitação contínua, na razão sólido/líquido do equivalente a 0,1:20g/ml. Para a obtenção desse material, utilizou-se a filtração de um litro de água, com material em suspensão, em membrana de milipore (0,45µm), sendo logo após secado em estufa a 50°C de temperatura.

A determinação da quantidade de material retido no filtro foi feita empregando-se a fórmula fornecida pela CETESB (1978):

$$C = [(P_+ - P_-) \cdot 1000] / V_m \quad (1)$$

onde: P_- - é o peso do filtro milipore em grama;

P_+ - é o peso do filtro com a amostra após a secagem;

V_m - é o volume da amostra em mililitros;

C - é a concentração em miligrama por litro.

3.3.4 - Quantificação da Matéria Orgânica em Sedimento de Fundo

Primeiramente foram pesados 20 gramas de cada amostra, já secas ao ar livre, denominado como peso inicial (P_i). Estas amostras foram colocadas para secar em uma estufa a 50°C de temperatura e novamente pesadas, com o objetivo de remover toda umidade existente na amostra - denominado como peso seco a 50°C (P_{50}). Logo após, foram atacadas com 200ml de água oxigenada (H_2O_2 - 30 volumes), por um período de 48 horas, para a remoção da matéria orgânica, sendo em seguida secadas em estufa a 110°C de temperatura e novamente pesadas, denominado como peso seco a 110°C (P_{110}) (CETESB, 1978).

A determinação da quantidade do material orgânico foi obtida em Z%, utilizando-se as seguintes equações:

$$P_i - X = P_{50} \quad (2)$$

$$P_{50} - P_{110} = Y \quad (3)$$

$$Z\% = Y \cdot 100 / P_{50} \quad (4)$$

onde: X - é a quantidade de umidade da amostra;

Y - é a quantidade de matéria orgânica em gramas;

P_{50} - peso seco a 50°C ;

P_{110} - peso seco a 110°C ;

P_i - peso inicial.

4 - APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - Considerações gerais

Nesta etapa do estudo foi feita uma análise comparativa e de correlação dos dados finais (parâmetros físico-químicos e concentrações de cátions e ânions), para se ter uma retratação clara e conclusiva da interação dos mesmos com o meio ambiente em que se encontram, se poluído ou normal, dentro das condições pré-estabelecidas de normalidade.

Para isto se utilizou de métodos gráficos, estatísticos, computacionais e trigonométricos para uma definição, interpretação e conclusão dos resultados obtidos em análise.

4.2 - Interpretação dos parâmetros físico-químicos e de constituintes químicos selecionados.

As propriedades físico-químicas das águas das principais vias de drenagem da região metropolitana de Belém foram determinadas através de medidas de condutividade, salinidade, pH, temperatura, teor de oxigênio livre dissolvido, conteúdo de material orgânico em sedimentos de fundo e material sólido em suspensão, assim como a concentração total de sulfato, cloreto e fosfato (Tab.2 a 8 e nas figuras 8 a 15).

Tabela 2 - Dados físico-químicos da água e matéria orgânica em amostras de sedimento do canal Bernardo Saião na estação seca, Belém.

Amostra	Matéria		Cond.	Salin.		Cloreto		Temp.		Fosfato		Sulfato	
	Dist. metros	Org. (%) sed.	pH água	(umhos) água	(%) água	(ppm) água	(ppm) água	(°C) água	(°C) água	(ppm) água	(ppm) água	(ppm) água	(ppm) água
Saião 01	000	8.1	7.00	220	0.165	91.7	0.05	30	30	0.05	0.05	18.00	18.00
Saião 02	100	-	7.38	225	0.170	94.4	0.05	30	30	0.05	0.05	15.70	15.70
Saião 03	230	5.9	6.20	215	0.160	88.9	0.05	30	30	0.05	0.05	15.00	15.00
Saião 04	780	8.9	5.78	200	0.100	55.6	0.30	30	30	0.30	0.30	13.00	13.00
Saião 05	950	5.3	6.38	205	0.150	83.3	0.85	30	30	0.85	0.85	10.00	10.00
Saião 06	1250	-	6.64	260	0.190	105.5	1.65	30	30	1.65	1.65	13.00	13.00
Saião 07	1870	5.5	5.98	230	0.170	94.4	2.85	30	30	2.85	2.85	15.00	15.00
Saião 08	2840	5.1	5.97	240	0.180	100.0	0.25	30	30	0.25	0.25	11.00	11.00
Saião 09	3540	-	6.54	295	0.228	126.6	0.25	30	30	0.25	0.25	9.00	9.00
Saião 10	3940	5.4	6.77	310	0.235	130.5	0.10	30	30	0.10	0.10	12.00	12.00
Saião 11	4290	5.6	7.14	295	0.226	125.5	3.18	30	30	3.18	3.18	19.00	19.00
Saião 12	4510	7.2	7.24	345	0.265	147.2	4.08	30	30	4.08	4.08	24.00	24.00
Saião 13	4780	9.7	7.20	330	0.258	143.3	4.48	30	30	4.48	4.48	28.00	28.00
Saião 14	4900	7.2	7.45	370	0.290	161.0	3.68	30	30	3.68	3.68	23.00	23.00
Saião 15	5168	-	7.64	450	0.368	204.4	3.68	30	30	3.68	3.68	23.00	23.00
Saião 16	5270	5.8	7.54	420	0.328	182.2	5.05	30	30	5.05	5.05	30.00	30.00
MÉDIA	-	6.64	6.80	288.13	0.23	121.00	1.87	30	30	1.87	1.87	18.58	18.58
DES.PADRÃO	-	1.55	0.61	79.57	0.07	39.40	1.78	0	0	1.78	1.78	7.81	7.81

Obs. A denominação (000 metros) indica o início da pontuação, localizado na Av. Bernardo Saião com a Rua Veiga Cabral.

Tabela 3 - Dados físico-químicos da água e matéria orgânica em amostras de sedimento do canal Quintino Bocaiúva na estação seca. Belém.

Amostra	Dist. (metros)	Matéria Org. (%)		pH	Cond. (umhos)		Salin. (‰)		Cloro. (ppm)		Temp. (°C)		Fosfato (ppm)		Sulfato (ppm)	
		sed.	água		água	água	água	água	água	água	água	água	água	água		
Quin 01	000	5.2	6.90	210	0.22	122.2	30	4.80	17.0							
Quin 02	50	6.0	7.12	225	0.17	94.4	30	4.70	7.0							
Quin 03	150	5.1	7.15	270	0.20	111.0	30	2.70	5.5							
Quin 04	300	6.0	7.33	275	0.16	86.1	30	2.48	6.8							
Quin 05	450	5.1	7.30	275	0.22	119.4	30	0.65	23.0							
Quin 06	800	6.2	7.06	290	0.21	116.7	30	2.10	10.0							
Quin 07	1180	2.4	7.07	310	0.24	130.5	30	0.48	28.0							
Quin 08	1700	2.4	7.05	260	0.19	105.5	30	1.10	8.0							
Quin 09	2400	5.1	6.58	45	0.03	18.3	30	0.13	39.0							
MÉDIA	-	5.00	7.06	241.11	0.18	100.45	30	2.12	16.03							
DES.PADRÃO	-	1.25	0.22	58.40	0.06	23.37	0	1.47	11.72							

Obs. A denominação (000 metros) indica o início da pontuação, localizado na Rua Quintino Bocaiúva com a Rua Conselheiro Furtado.

Tabela 4 - Dados físico-químicos da água e matéria orgânica em amostras de sedimento do Canal do Reduto na estação seca. Belém.

Amostra	Dist. metros	Matéria Org. (%)		pH água	Cond. (umhos) água	Salin. (‰) água	Cloro (ppm) água		Temp. (°C) água	Fosfato (ppm) água	
		sed.	água				sed.	água		sed.	água
Red 01	000	0.10	7.38	260	0.19	105.5	30	3.18			
Red 02	100	0.50	7.45	320	0.24	133.3	30	5.54			
Red 03	300	0.20	7.88	420	0.24	133.3	30	5.54			
Red 04	400	0.30	7.30	305	0.23	127.8	30	3.25			
MÉDIA	-	0.28	7.50	326.25	0.23	125.00	30	4.38			
DES.PADRÃO	-	0.17	0.26	64.44	0.03	13.24	0	1.34			

Obs. A denominação (000 metros) indica o início da pontuação, localizado na Rua P. Magalhães com a Rua 28 de Setembro.

Tabela 5 - Dados físico-químicos da água e matéria orgânica em amostras de sedimento do Canal Almirante Tamandaré na estação seca. Belém.

Amostra	Dist. metros	Matéria		pH	Cond.		Salin.	Cloreto		Temp. (°C)	Fosfato	
		Org. (%)	sed.		água	(umhos)		água	(ppm)		água	(ppm)
Tam 01	000	1.1		7.35		250	0.185		102.8	29		4.63
Tam 02	450	0.7		6.25		260	0.190		105.5	29		2.00
Tam 03	670	0.4		7.48		290	0.220		122.2	29		4.78
Tam 04	1020	0.6		7.12		390	0.250		138.9	29		3.95
MÉDIA	-	0.70		7.05		297.50	0.21		117.30	29		3.84
DES.PADRÃO	-	0.29		0.55		63.97	0.03		16.73	0		1.28

Obs. A denominação (000 metros) indica o início da pontuação, localizado na Rua Almirante Tamandaré com a Rua Padre Eutíquio.

Tabela 6 - Dados físico-químicos da água e matéria orgânica em amostras de sedimento do canal das Armas na estação seca, Belém.

Amostra	Dist. metros	Matéria		pH	Cond. (umhos)		Salin. (‰)		Cloro		Temp. (°C)		Fosfato	
		Org. (%)	sed.		água	água	água	água	água	água	água	água	água	água
Armas 01	000	0.06		6.90	235		0.175		97.2		29		1.23	
Armas 02	140	0.05		7.30	290		0.220		122.2		29		1.75	
Armas 03	400	0.10		7.22	300		0.230		127.8		29		1.70	
Armas 04	600	0.02		7.27	310		0.235		130.5		29		1.73	
Armas 05	800	0.04		7.26	340		0.238		132.2		29		1.40	
Armas 06	1100	0.25		7.60	350		0.240		133.3		29		1.53	
MÉDIA	-	0.09		7.30	304.16		0.22		124.00		29		1.56	
DES.PADRÃO	-	0.08		0.23	41.04		0.03		13.65		0		0.21	

Obs. A denominação (000 metros) indica o início da pontuação, localizado na Av. Doca de Sousa Franco com a Av. Dr. Silva.

Tabela 7 - Dados físico-químicos da água do canal do Una na estação seca. Belém.

Amostra	Dist. metros	pH água	Cond. (umhos) água	Salin. (‰) água	Cloreto (ppm) água	Temp. (°C) água	Fosfato (ppm) água	Sulfato (ppm) água
Una 01	000	7.60	150	0.114	63.3	31	0.08	5.5
Una 02	100	7.30	145	0.110	61.0	31	0.15	5.4
Una 03	1000	6.90	180	0.139	77.2	25	0.05	8.0
Una 04	1010	6.60	170	0.130	72.2	25	0.10	2.0
Una 05	1250	6.45	190	0.149	82.8	25	0.08	12.0
Una 06	1260	6.20	185	0.140	77.8	25	0.10	10.0
Una 07	1650	6.59	175	0.134	74.4	25	0.08	7.5
Una 08	2550	6.60	290	0.155	86.1	25	0.10	15.5
Una 09	2880	7.90	300	0.230	127.8	30	0.20	20.0
MÉDIA	-	6.90	198.33	0.14	80.20	26.88	0.10	9.54
DES.PADRÃO	-	0.57	56.24	0.04	18.58	2.85	0.04	5.57

Obs. A denominação (000 metros) indica o início da pontuação, localizado na confluência do canal do Una com a Rua Artur Bernardo.

Tabela 8a - Dados físico-químicos da água e matéria orgânica em amostras de sedimento do Igarapé Tucunduba na estação seca. Belém.

Amostra	Dist. metros	Matéria Org. (%)		pH	Cond. (umhos)		Salin. (‰)		Cloreto (ppm)		Temp. (°C)		Fosfato (ppm)		Sulfato (ppm)	
		sed.	água		água	água	água	água	água	água	água	água	água	água	água	água
Tuc 01	000	-		6.60		300	0.230		127.8		31		0.83		5.7	
Tuc 02	140	5.8		6.48		200	0.152		84.4		30		0.80		7.5	
Tuc 03	240	4.4		6.47		220	0.160		88.9		28		0.13		5.0	
Tuc 04	294	9.0		11.80		500	0.379		210.5		33		0.50		240.0	
Tuc 05	390	4.5		8.80		400	0.360		200.0		33		0.60		36.0	
Tuc 06	420	5.2		7.58		380	0.215		119.4		33		1.15		35.0	
Tuc 07	560	-		6.70		370	0.280		155.5		30		0.13		20.0	
Tuc 08	720	-		6.63		240	0.184		102.2		33		0.15		15.9	
Tuc 09	1550	2.4		7.00		350	0.269		49.4		32		0.10		17.8	
Tuc 10	1975	-		6.57		330	0.250		138.9		30		0.50		18.2	
MÉDIA		4.85		7.50		319.00	0.25		137.70		31.10		0.49		40.01	
DES. PADRÃO		1.90		1.69		91.34	0.08		43.01		1.70		0.39		70.51	

Obs. A denominação (000 metros) indica o início da pontuação, localizado no Bairro da Terra Firme -- residência sobre o Igarapé Tucunduba.

Tabela 8b - Dados físico-químicos da água e matéria orgânica e fosfato Tucunduba na estação chuvosa. Belém.

Amostral	Dist. metros	Fosfato		Matéria Org. (%)		pH	Cond. (umhos)		Salin. (%)	Cloreto (ppm)		Temperatura (°C)
		Sed.	água	sed.	água		água	água		água	água	
Tuc 01	140	177.5		2.5		6.16	130		0.095	52.77		22.0
Tuc 02	240	162.5		3.5		6.02	182		0.140	77.77		22.0
Tuc 03	294	207.5		2.5		6.23	170		0.120	69.44		24.0
Tuc 04	294	105.0		5.8		3.87	6000		4.000	2222.00		24.0
Tuc 05	390	144.5		3.4		6.29	300		0.230	127.78		24.0
Tuc 06	420	90.0		2.1		6.64	285		0.215	116.60		23.0
Tuc 07	560	45.0		1.7		5.89	300		0.225	122.20		24.0
Tuc 08	720	125.0		1.8		6.15	230		0.170	94.40		24.0
Tuc 09	1015	27.5		4.1		6.26	200		0.150	83.30		23.0
Tuc 10	1345	77.5		1.5		6.03	130		0.095	52.77		23.0
Tuc 11	1550	100.0		1.9		6.55	155		0.100	52.77		23.0
Tuc 12	1670	87.5		3.3		5.56	130		0.095	52.77		23.0
Tuc 13	1820	62.5		1.8		5.62	130		0.095	52.77		23.0
Tuc 14	1975	87.5		2.2		5.60	130		0.095	52.77		24.0
Tuc 15	2115	95.0		1.6		5.56	130		0.095	52.77		23.0
MÉDIA	-	106.30		2.64		5.90	573.47		0.40	219.10		23.0
DES.PADRÃO	-	49.38		1.18		0.66	1502.52		0.99	556.78		0.0

(a) maré alta (b) maré baixa

Obs. A denominação (000 metros) indica o início da pontuação, localizada sobre o igarapé Tucunduba.

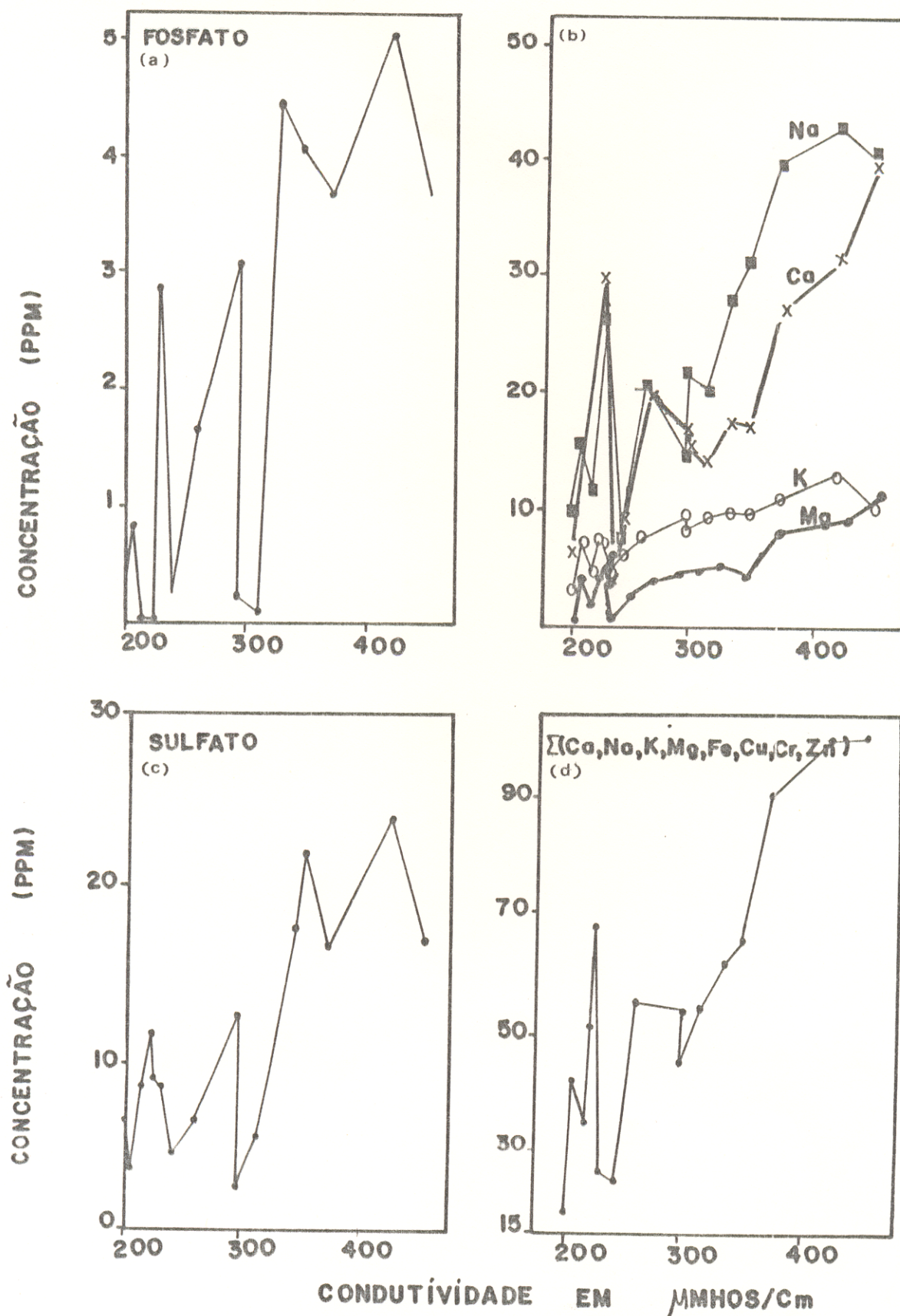


Fig.7 - COMPARAÇÃO DAS VARIAÇÕES DA CONDUTIVIDADE EM FUNÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES IÔNICAS DO CANAL BERNARDO SAÍÃO.

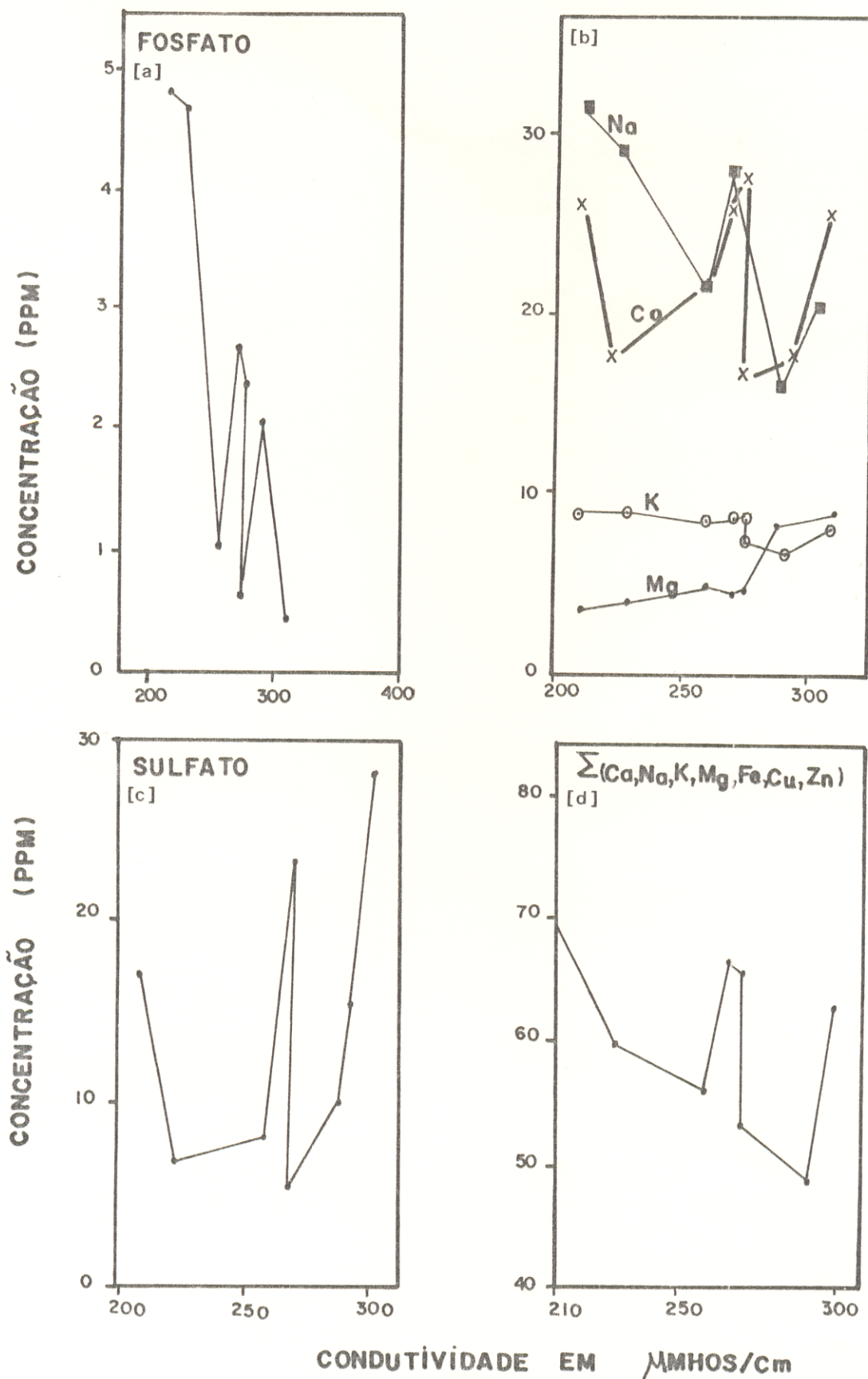


Fig. 8 - COMPARAÇÃO DAS VARIAÇÕES DA CONDUTIVIDADE EM FUNÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES IÔNICAS DO CANAL QUINTINO BO. CAIÚVA.

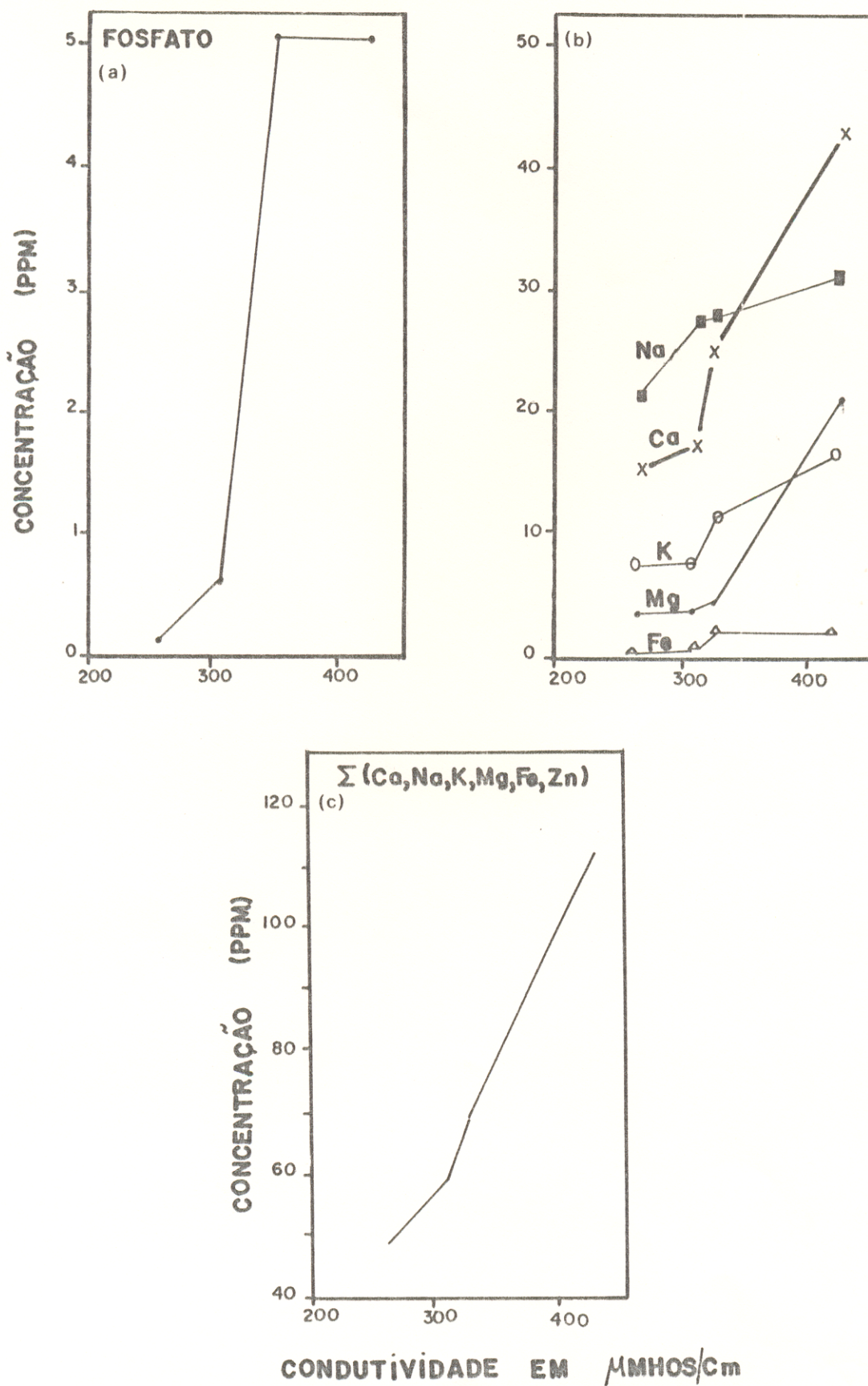


Fig.9 - COMPARAÇÃO DAS VARIAÇÕES DA CONDUTIVIDADE EM FUNÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES IÔNICAS DO CANAL DO REDUTO.

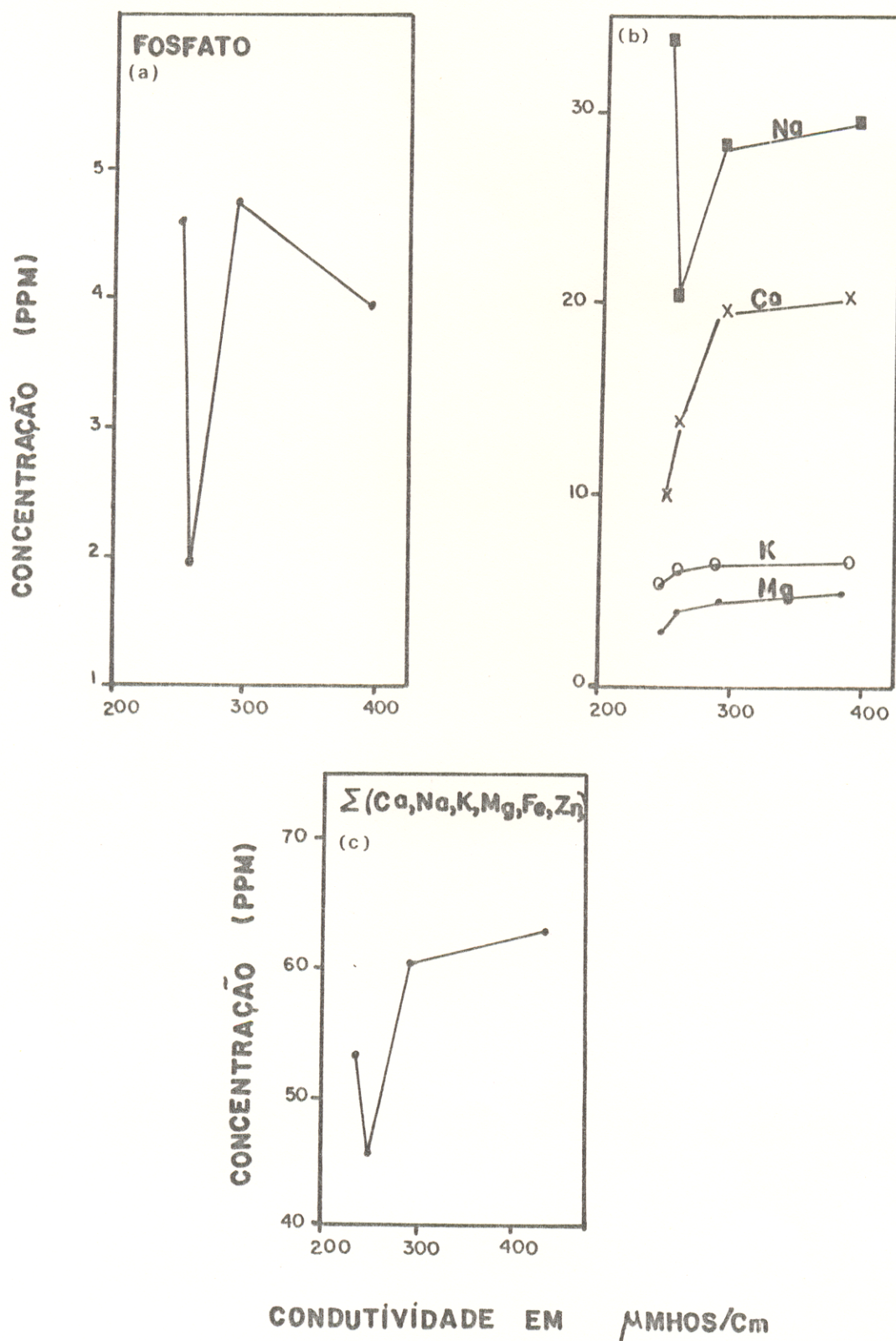


Fig.10. COMPARAÇÃO DAS VARIAÇÕES DA CONDUTIVIDADE EM FUNÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES IÔNICAS DO CANAL ALMIRANTE TAMANDARÉ.

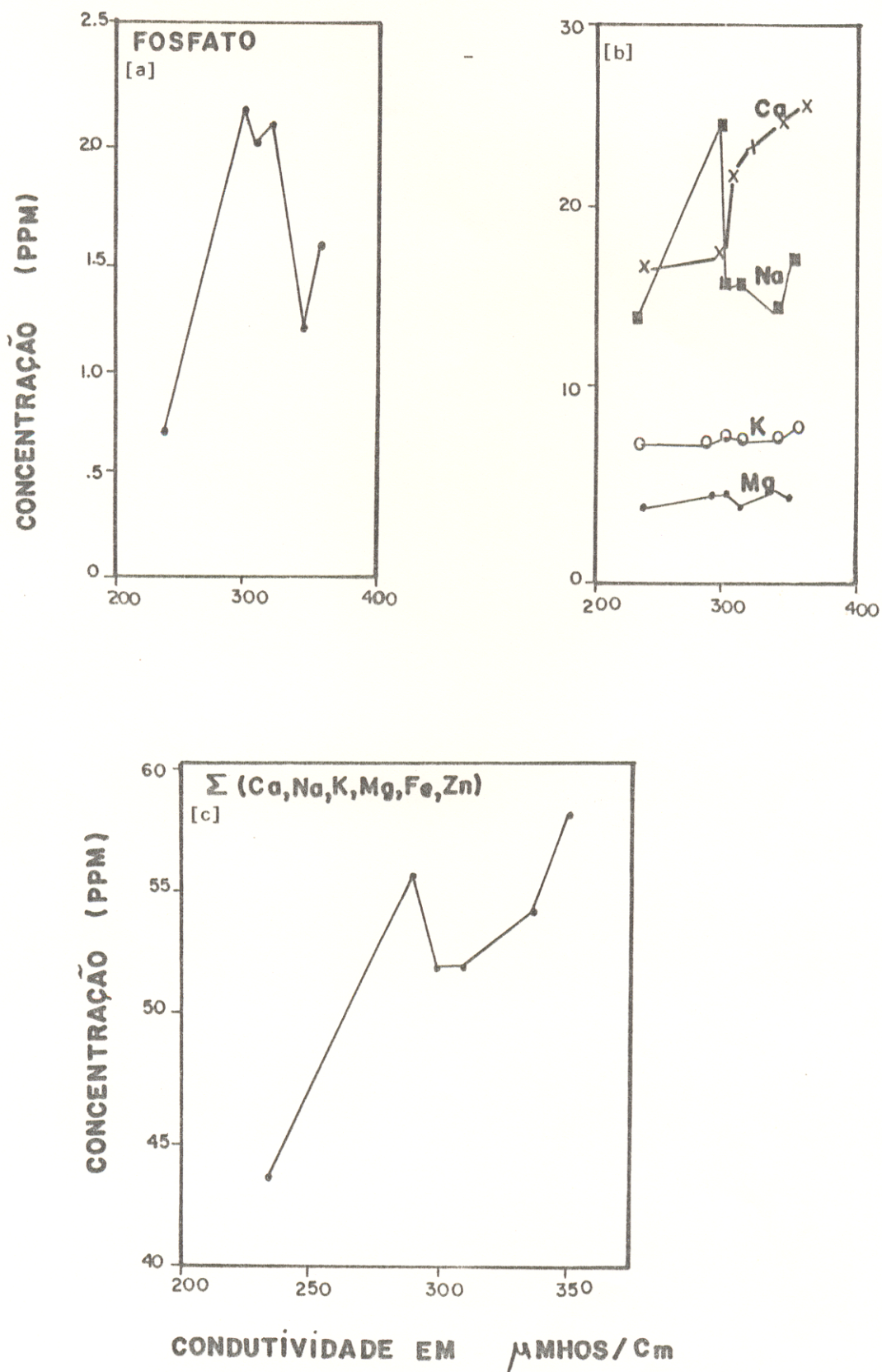


Fig. II - COMPARAÇÃO DAS VARIAÇÕES DA CONDUTIVIDADE EM FUNÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES IÔNICAS DO CANAL DAS ARMAS.

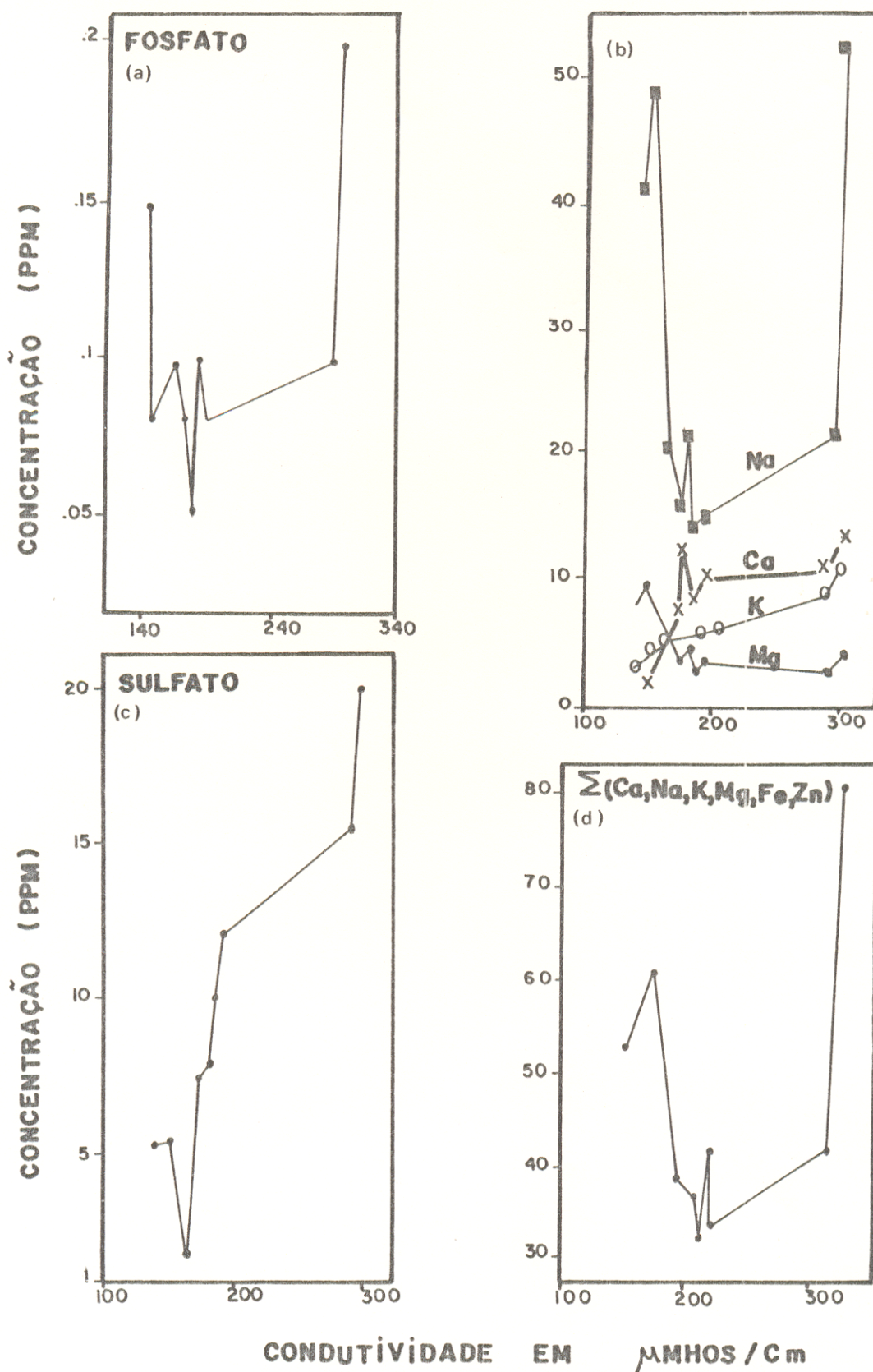


Fig.12 - COMPARAÇÃO DAS VARIAÇÕES DA CONDUTIVIDADE EM FUNÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES IÔNICAS DO CANAL DO UNA.

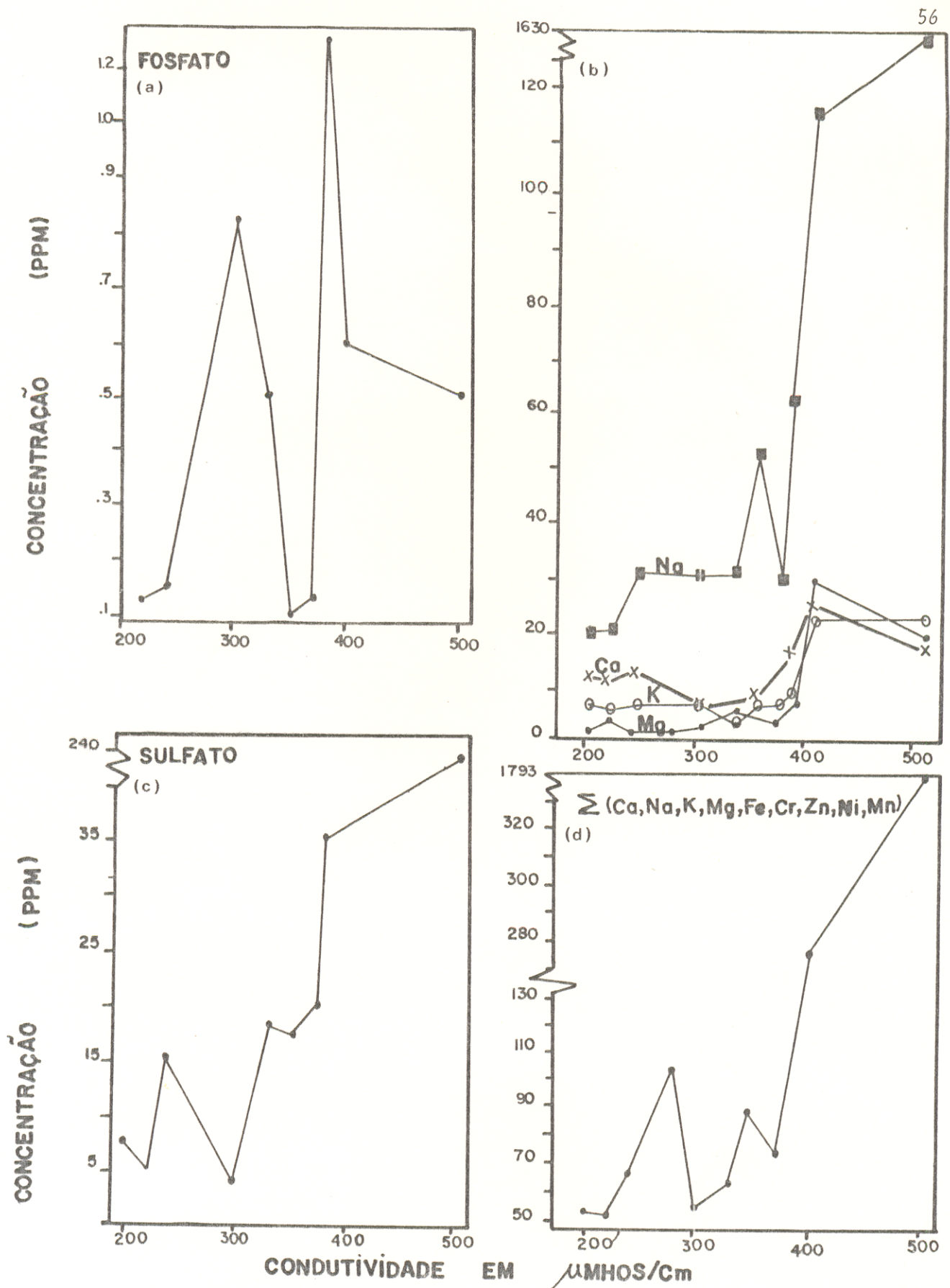


Fig.13 - COMPARAÇÃO DAS VARIAÇÕES DA CONDUTIVIDADE EM FUNÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES IÔNICAS DO IGARAPÉ TUCUNDUBA - EST. TAÇÃO SECA.

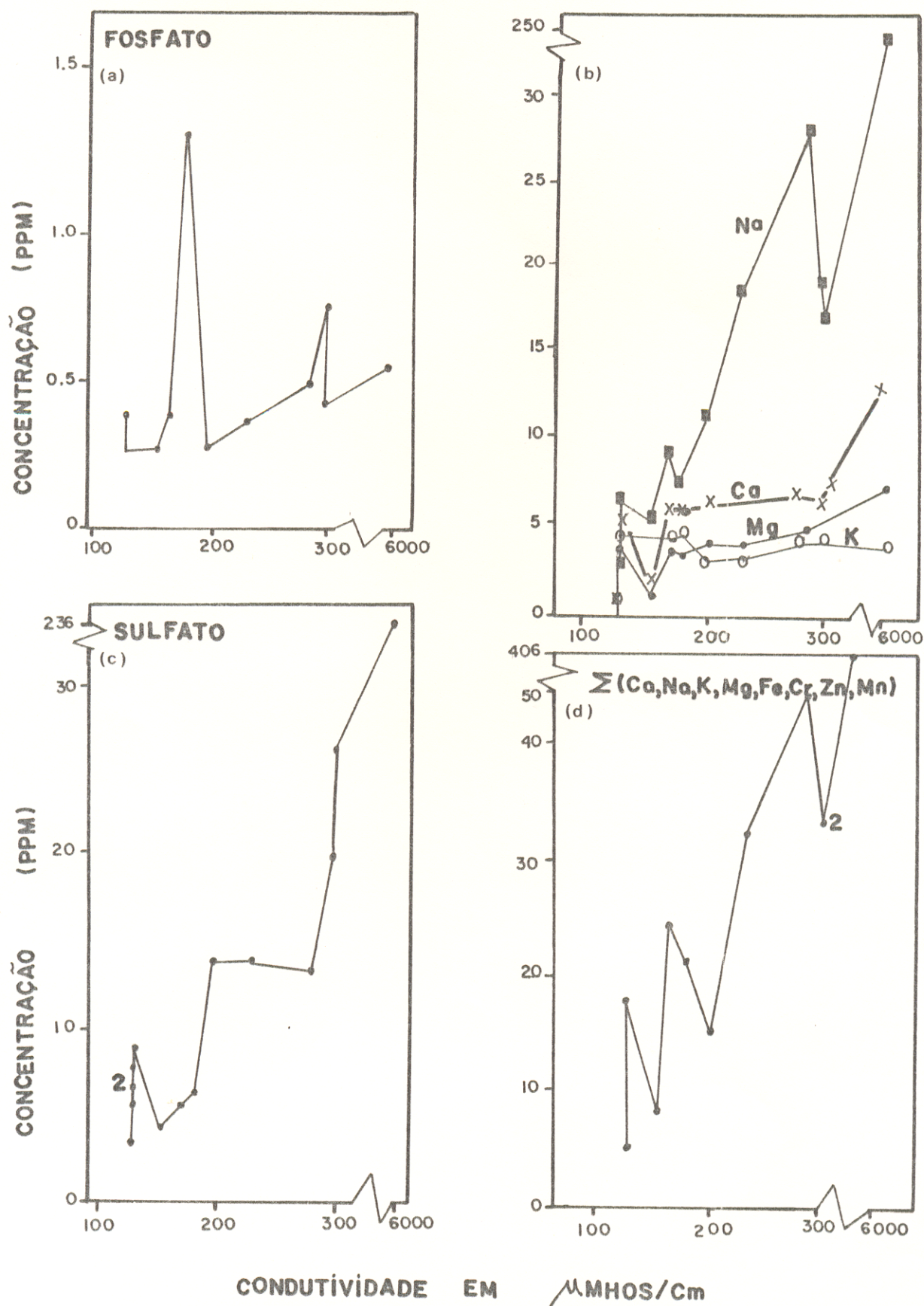


Fig. 14 - COMPARAÇÃO DAS VARIAÇÕES DA CONDUTIVIDADE EM FUNÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES IÔNICAS DO IGARAPÉ TUCUNDUBA - ESTAÇÃO CHUVOSA.

4.2.1 - Condutividade elétrica

A condutividade elétrica reflete a quantidade de eletrólitos da água e, em condições normais, é controlada sobretudo pelo tipo de rocha onde está implantada a bacia fluvial.

No caso particular das vias de drenagem da cidade de Belém, as marés vindas da baía do Guajará e rio Guamá desempenham um papel importante, assim como a descarga dos efluentes domésticos e industriais.

Segundo Pinheiro (1987), no estuário da baía do Guajará a condutividade tem um valor médio de 22,06 μmhos/cm, com máximos de 26 a 28 μmhos/cm na estação chuvosa, e na estação seca a condutividade sofre profundas alterações alcançando a média de 306,4 μg/lmhos/cm (setembro de 1986) e 595 μmhos/cm (novembro de 1986), podendo também ocorrer oscilações extremas da condutividade dentro de poucas horas, sendo que em momentos próximos à estufa os valores variam de 200 até 2000 μmhos/cm. As águas provenientes do rio Guamá, no final da vazante e início da enchente, apresentam uma condutividade de 100 a 300 μmhos/cm na estação seca.

Analisando as informações sobre a baía do Guajará e rio Guamá com as das vias de drenagem de Belém denota-se que estas não apresentam uma variação sazonal muito expressiva, devido a grande quantidade de excrementos humanos, e dos agentes surfactantes dos sabões e detergentes, provenientes de esgotos

domésticos e também dos efluentes industriais, introduzidos constantemente nos canais, que contribuem para aumentar a quantidade de íons metálicos como Na^+ , Ca^{2+} , K^+ e Mg^{2+} .

A condutividade é normalmente determinada pelas concentrações destes íons em ordem decrescente, e a regularidade na distribuição relativa, mostrada nas figuras 7 a 14 comprovam que as drenagens de Belém têm um poluente comum de origem doméstica.

Dos canais e igarapés em estudo, somente o igarapé Tucunduba recebe esgotos industriais além dos domésticos. Muitos deles constituem-se em canais artificiais de concreto, o que elimina a influência da geologia local, de tal modo, que a condutividade passa a depender apenas das marés e dos esgotos domésticos.

No canal Bernardo Saião a condutividade varia de 200 a 450 $\mu\text{mhos/cm}$, e é influenciada diretamente pela ação das marés salinas, na época seca, do rio Guamá e pela ação da descarga do efluente doméstico, através das concentrações dos íons Na^+ , Ca^{2+} , K^+ e Mg^{2+} (Fig.7).

Os valores anômalos mostrados na figura 7b, com alta concentração iônica e baixa condutividade e vice e versa, são atribuídos a ação dos agentes surfactantes e reforçadores dos sabões e detergentes sintéticos, a base de sais de sulfato, e fosfato utilizados pela população das margens do canal. Estes

compostos ficam adsorvidos no material orgânico em suspensão ou livres na água como sabão não dissociado, ou ambos. Esta suposição é fundamentada nas fortes correlações positivas existentes entre as concentrações dos íons Na^+ e K^+ com os íons de fosfato (0,83 e 0,70) e de sulfato (0,80 e 0,65) respectivamente.

No canal Quintino Bocaiúva a condutividade varia de 210 a 310 $\mu\text{mhos/cm}$. Se analisarmos a figura 8b, podemos supor que esta ocorre somente em função da concentração do íon magnésio, procedente das marés do rio Guamá. Os elementos sódio e cálcio, apesar de estarem em quantidades superiores às demais, não determinam o comportamento da condutividade, pois estando diretamente associados às concentrações de fosfato e sulfato respectivamente (Fig.8a,b,c), podem estar na forma de sabão não dissociado. Isto se deve a ocupação populacional na margens do canal.

Os canais do Reduto, Almirante Tamandaré e Armas apresentam uma condutividade variando proporcionalmente com o aumento das concentrações dos íons Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} e Fe^{2+} de 260 a 390 $\mu\text{mhos/cm}$, de 250 a 390 $\mu\text{mhos/cm}$ e 235 a 350 $\mu\text{mhos/cm}$ respectivamente, aumentando à medida que se aproxima da desembocadura dos canais confirmando a interferência direta das marés no comportamento da condutividade (Fig.9 a 11).

Esta vias de drenagem são cimentadas e localizadas em áreas estritamente comerciais e em função disto as concentrações dos

íons são controladas pelas marés da baía do Guajará e pelas descargas de efluentes domésticos.

No canal Almirante Tamandaré os íons sódio e potássio apresentam uma correlação positiva com o íon fosfato de 0,87 e 0,99 respectivamente e no canal das Armas aparece a correlação com o sódio de 0,83, isso evidencia a presença dos sabões sintéticos. O aparecimento do sabão nestes canais, pode estar associado com possíveis efluentes das canalizações de esgoto subterrâneas (Fig.10).

O canal do Una se localiza em uma área basicamente residencial e de baixada. Apresenta uma condutividade variando de 145 a 300 μ mhos/cm, aumentando à medida que ocorre o estreitamento do canal em decorrência da ocupação populacional em suas margens. Os íons Ca^{2+} , K^+ e SO_4^{2-} determinam o comportamento dos valores de condutividade (Fig.12a,b).

A concentração de íons sódio está presente em maior quantidade, e está associada a concentração do íon fosfato, provenientes dos detergentes e sabões sintéticos.

Nas águas do canal do Una a concentração do cálcio é duas vezes menor do que nos demais canais de drenagem, devido ao aumento da concentração de sulfato, acelerando assim a deposição do sulfato de cálcio, que é parcialmente solúvel.

O igarapé Tucunduba, como citado anteriormente, apresenta

quatro fontes de íons que interferem diretamente e indiscriminadamente nos valores da condutividade que são: as marés do rio Guamá, os efluentes domésticos, as enchurradas erosivas do solo na ocasião das chuvas e as duas soluções distintas do efluente do curtume, de lavagem do couro e de cromatização.

A descarga da solução de lavagem do couro ocorre com mais frequência na estação seca, em virtude da atividade do curtume. É composta por soda cáustica, detergente industrial, cal virgem e sulfatos de sódio e potássio, além do sal bruto que acompanha a matéria prima, o couro salgado e apresenta um pH de 11,8, uma salinidade de 0,38% e uma condutividade de 500 μ mhos/cm.

A descarga da solução de cromatização do couro ocorre diariamente e em maior quantidade na estação chuvosa. É composta por soluções de cromato e dicromato de sódio. E apresenta um pH de 3,8, uma salinidade de 4% e uma condutividade de 6000 μ mhos/cm.

Na estação chuvosa (junho de 1989) a condutividade no igarapé varia de 130 a 300 μ mhos e se dá em função dos íons metálicos, principalmente o sódio, liberados pelo efluente do curtume que tem uma condutividade de 6000 μ mhos, pelas enchurradas que levam e carregam o solo e também pelas marés com uma condutividade máxima de 28 μ mhos. Esta diferença de condutividade entre a maré e o efluente provoca uma diluição na água do

igarapé, que se reflete nos valores de condutividade encontrados ao longo deste (Tab. 8a e 8b).

Na estação seca (novembro de 1988) a condutividade no igarapé variou de 200 a 400 μ mhos/cm e foi determinada pelos íons metálicos provenientes da maré do rio Guamá, que apresenta uma condutividade variando de 100 a 595 μ mhos/cm, e pelo efluente do curtume com 500 μ mhos/cm. Isto se deve ao fato de que a água do igarapé se apresenta ligeiramente básica, propiciando a deposição e adsorção dos metais no sedimento de fundo, apesar da ação erosiva das marés no leito do igarapé.

A concentração do sódio na água do igarapé na estação seca é três vezes maior, porque ocorre uma constante liberação da solução de lavagem, rica em sulfato de sódio, e também devido a alta salinidade das marés, ricas em cloreto de sódio (Fig.13 e 14).

4.2.2 - Salinidade

A salinidade ou conteúdo total de sais, controla as propriedades físicas e químicas da água, provocando um grande efeito de distribuição e crescimento de organismos.

Assim como a condutividade, os valores de salinidade encontrados nas vias de drenagem em estudo, exceto o igarapé Tucunduba, não mostram uma variação sazonal marcante, devido à influência dos efluentes de esgoto e escrementos humanos.

O canal Bernardo Saião apresenta uma salinidade de 0,1 - 0,37%, os canais Quintino Bocaiúva, Reduto, Almirante Tamandaré e Armas de 0,17 - 0,24%, o canal do Una de 0,11 - 0,23%. O igarapé Tucunduba possui em média 0,14% de salinidade na estação chuvosa e 0,23% na estação seca.

Na estação chuvosa a solução de cromatização com 4% de salinidade é quem determina os valores da salinidade do igarapé e na estação seca, além da solução da lavagem com 0,38% de salinidade, as marés salinas com 0,42% desempenham um papel importante.

4.2.3 - pH

O pH é um dos agentes ecológicos controladores das atividades respiratórias das plantas e animais e regulador dos principais processos metabólicos nos seres vivos, sendo também um fator importante na coagulação química e desinfecção das águas (Pinheiro, 1987).

Os valores médios numéricos de pH encontrados nos diversos canais estudados variaram de 5,8 a 7,5, não apresentando uma mudança significativa de uma estação climática para outra, exceto no igarapé Tucunduba, principalmente por depender das condições de acidez ou alcalinidade no efluente do curtume, pois a indústria não realiza o tratamento químico do resíduo. A figura 15 mostra que a soma dos íons Ca^{2+} , Na^+ , K^+ e Mg^{2+} influenciam nos valores de pH, variando de forma proporcional, e também

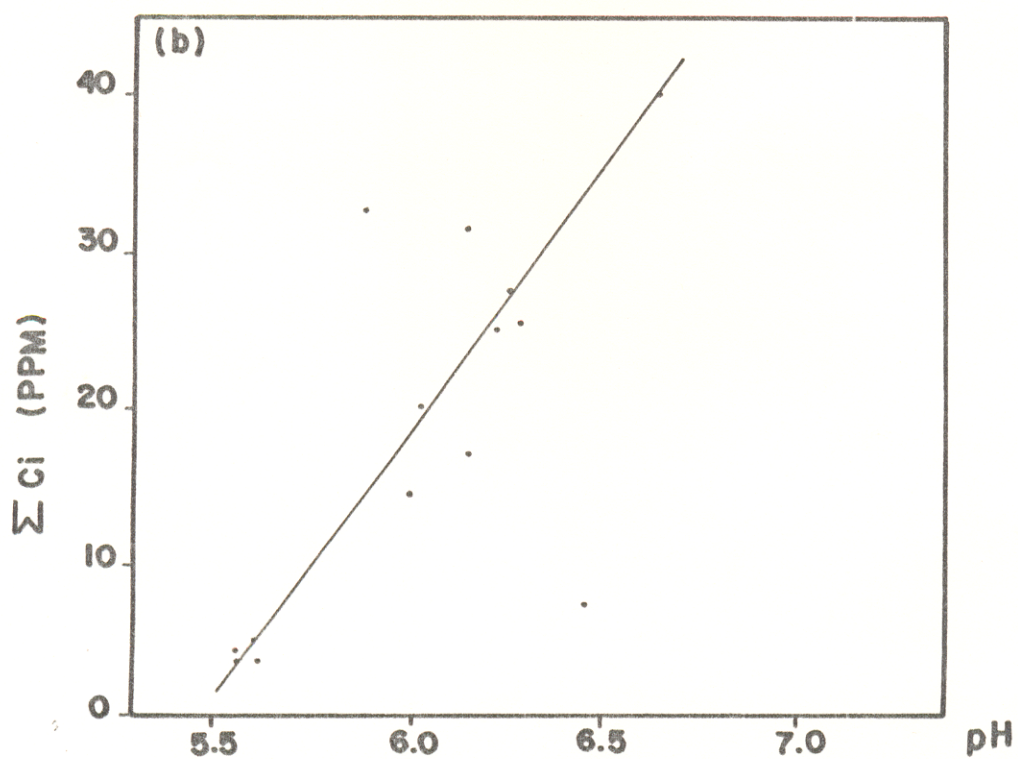
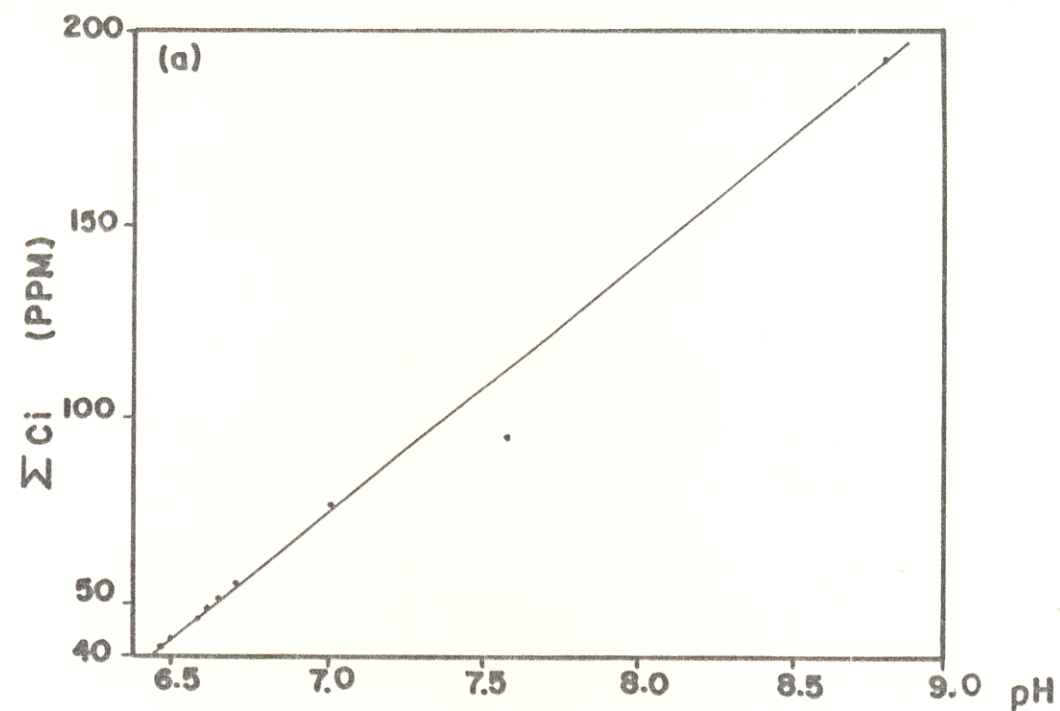


Fig. 15 - Variação Sazonal do pH na água do igarapé Tucunduba em função da soma das concentrações dos íons Ca, Na, K e Mg. Belém (Pa).
(a) Estação Seca (b) Estação Chuvosa

mostram que a água do igarapé Tucunduba tem uma maior regularidade -- quanto ao estado físico-químico -- na estação seca.

O pH dos efluentes do curtume na estação seca (novembro de 1988) foi de 11,8, o que elevava o pH médio do igarapé Tucunduba para 7,5, com uma variação de 6,5 a 8,8. No período chuvoso (junho de 1989) o pH do efluente foi de 3,8, e o pH médio de 6,0 com uma variação de 5,6 a 6,6.

4.2.4 - Temperatura

A temperatura e o vento atuam como agentes controladores da vida e dos processos químicos aquáticos como a velocidade das reações químicas, a solubilidade de sais e a disponibilidade de gases no corpo d'água, que se tornam menos solúveis com o aumento da temperatura.

A temperatura da água, nas vias de drenagem, é influenciada pela temperatura do ar e durante a estação seca, foi de 25,0°C a 31,1°C com uma média de 29,4°C. No período chuvoso, entre 22,0°C e 24,0°C, com uma média de 23,6°C, o que mostra não ocorrer uma variação sazonal acentuada, mas tão somente um leve aumento na estação seca, regionalmente denominada de "verão".

4.2.5 - Teor de oxigênio livre dissolvido

O oxigênio livre dissolvido, é um parâmetro ambiental de

muita importância. Determina nos sistemas aquáticos as transformações biológicas sofridas por organismos aeróbicos e anaeróbicos, além de ser um excelente indicador da velocidade de processos físico-químicos como a oxidação da matéria orgânica, do ferro e do manganês (Golwer, 1973).

Nos processos aeróbicos, a presença de oxigênio livre é um fator indispensável. É necessário que haja uma constante realimentação de oxigênio proveniente da atmosfera e da reação de fotossíntese.

O valor numérico do oxigênio é um importante indicador da qualidade sanitária da água. O baixo conteúdo do oxigênio livre na água pode indicar a eliminação da reação de fotossíntese -- que é dependente da luz e diminuída sempre que a água estiver escura -- pode indicar uma produção descontrolada de microorganismos, que consomem oxigênio livre e são favorecidos pela alta quantidade de nutrientes presentes na água e pode indicar também a presença de poluentes em estado de oxidação reduzido que são consumidores de oxigênio.

Nas medidas efetivadas no igarapé Tucunduba constatou-se que as marés provenientes do rio Guamá contribuem com a oxigenação das águas do igarapé, pois nas medidas realizadas com a baixa-mar -- onde somente as águas do igarapé fluíam -- a média de oxigênio livre dissolvido era de 0,7mg/l, com uma variação de 0,3 a 1,0mg/l e com a preamar a média era de 3,5mg/l, variando de 1,0 a 5,7mg/l.

4.2.6 - Matéria orgânica em sedimento

Como citado acima, a diminuição do oxigênio livre dissolvido na água, em um ambiente poluído, implica no aumento de microorganismos, sendo os sedimentos do fundo do igarapé um dos parâmetros mais estáveis para obter esta informação. Assim, a análise dos sedimentos dos canais cimentados como o canal das Armas, o canal Almirante Tamandaré e o canal do Reduto, onde os sedimentos de fundo são originários da própria baía do Guajará, trazidos pela maré, o conteúdo de matéria orgânica variou em torno de 0,02% a 1,1% do total de sedimento. Mas nos canais não cimentados, que acumulam e concentram despejos doméstico e industriais o conteúdo de matéria orgânica foi bastante significativa. O canal Bernado Saião variou de 5,1% a 9,7%, O canal Quintino Bocaiúva variou de 2,4% a 6,2% e o igarapé Tucunduba variou de 1,4% a 5,8%, não havendo uma variação sazonal significativa, apesar do efluente do curtume apresentar um teor de 9,0% na estação seca (ponto 4).

4.2.7 - Fosfato

Nas águas naturais, o fosfato existente é originário da formação rochosa dos terrenos percorridos e da decomposição da matéria orgânica em meio ácido. É um nutriente muito importante no desenvolvimento de algas, assim como o nitrogênio e, em menor escala, o potássio, o magnésio e o sulfato (Rodier, 1981; Hem, 1970, entre outros).

Em sistemas fechados como depósitos, adutoras e lagos, onde o meio se enriquece em nutrientes de modo excessivo, o desenvolvimento das algas contribui para a ocorrência do fenômeno de eutrofização. A concentração de fosfato necessário para a ocorrência deste fenômeno não se conhece, mas sabe-se que em águas de rios naturais o teor de fosfato total não deve ser superior a 0,1ppm e em lagos e depósitos naturais 0,05ppm.

O estudo da distribuição de fosfato foi feito com a cooperação do estudante Edilsom Brabo da Silva, que desenvolveu um trabalho de conclusão de curso no Centro de Geociências da Universidade Federal do Pará (UFPA) (Brabo, 1989).

Brabo observou que a concentração média de fósforo, na forma de fosfato, encontrada nos canais Bernardo Saião, Reduto e Almirante Tamandaré, excede em alguns trechos em até três vezes o valor máximo de fosfato visto na literatura (em ambientes já poluídos) que é de 1,5ppm. Em outros, como o igarapé Tucunduba e canal do Una, as quantidades de fosfato são extremamente pequenas, enquanto que no canal das Armas os valores apresentam uma variação regular com um máximo de 1,75ppm, e no da Quintino Bocaiúva os valores variam muito de ponto a ponto (Tab. de 2 a 8).

Ainda segundo Brabo, estas variações na concentração de fosfato devem-se a taxa populacional destas áreas, que implica numa maior ou menor liberação de fosfato através das excreções humanas (ortofosfatos) e o uso de produtos de limpeza

(tripolifosfato ou pirofosfatos). Segundo Fenzl (1988) o pirofosfato em contato com a água sofre um processo de hidrólise e se transforma igualmente em ortofosfato.

Apesar dos canais e igarapés estudados apresentarem um alto nível de fosfato em suas águas, isso não favorece a ocorrência do fenômeno da eutrofização, uma vez que estes canais estão submetidos à influência de um sistema aberto que é a baía do estuário do Guajará e rio Guamá, ambientes de desembocadura destes.

4.2.8 - Sulfato

O enxofre não é um constituinte principal da crosta externa da Terra, mas é amplamente distribuído nas rochas ígneas e sedimentares na forma de sulfetos metálicos. Os sulfetos, quando em contato com águas aeradas são oxidados, produzindo os íons sulfato e hidrogênio (Hem, 1970). Deste modo as concentrações de sulfato nas águas superficiais variam com a composição das rochas do meio percolado pela água ou em decorrência da existência de efluentes industriais, na forma de sais de sulfato.

Segundo Bráz (1985), em terrenos pobres em sulfatos minerais a concentração de sulfato situa-se entre de 30 a 50ppm, enquanto que em zonas onde ocorre a gipsita os valores podem ser de até 300 ppm.

As concentrações de sulfato determinadas nos canais e

igarapé estudados são menores que 39ppm. Acredita-se que estas concentrações são originadas no esgoto doméstico através dos detergentes sintéticos e no material orgânico das águas e sedimentos da baía do Guajará e rio Guamá, introduzidas nos canais por intermédio das marés lançantes. O igarapé Tucunduba é uma excessão, pois além de possuir um alto teor de matéria orgânica nos sedimentos recebe a contribuição de efluente industrial com 240ppm de sulfato (Tab. 8).

Segundo Lima et al. (1988), no estudo orientativo sobre a utilização de sensores bioquímicos na avaliação da poluição hídrica na bacia do Una, no espaço de tempo entre a preamar e a baixa-mar as concentrações de sulfato do canal do Una apresentam alterações apreciáveis, com um perfil bastante homogêneo, decrescendo de 28,7ppm na preamar até 5,6ppm na baixa-mar. Nos dados deste trabalho, as concentrações de sulfato no canal do Una, de amostras obtidas na baixa-mar, em um período seco de julho a dezembro/1988, variaram de 5,4ppm a 20,0ppm, diminuindo a medida que os pontos de amostragem se aproximam da desembocadura do canal (Tab. 6).

O canal Bernardo Saião, possui várias conexões (A, B e C) com o rio Guamá ao longo de seu percurso (Fig.2). Ele recebe do rio diferentes cargas d'água introduzidas pelas marés, além do volume d'água que é parte das águas do canal Quintino Bocaiúva. Essas diferentes fontes contribuem para que haja uma variação nas concentrações de sulfato nos dois canais citados (Tab. 2 e 3).

Os canais Reduto, Armas e Almirante Tamandaré não apresentam concentrações detectáveis de sulfato.

4.2.9 - Cloreto

O cloro é o mais importante e amplamente distribuído dos halogênios nas águas naturais. Geralmente, apresenta-se na forma de cloreto (Cl^-), podendo formar complexos com outras espécies iônicas da água, mas somente possuindo significância quando a concentração de cloro é muito alta.

Segundo Hem (1970), a concentração de cloreto nos cursos d'água de superfície são menores que as concentrações de sulfato (3,8ppm) e bicarbonato (11,0ppm), ocorrendo exceções quando as correntes recebem efluentes de águas subterrâneas ou industriais, com alto conteúdo de íons cloreto e/ou quando são afetados por correntes oceânicas e quando percolam rochas sedimentares evaporíticas com alto conteúdo de íons cloreto.

A ação química do íon cloreto nas águas naturais é muito pequena se comparada a dos íons maiores, pois ele não participa substancialmente das reações de oxidação - redução, não forma complexos solúveis importantes com outros íons, não forma sais de baixa solubilidade, é irrisoriamente adsorvido em superfícies minerais e possui um papel pouco ativo no ciclo bioquímico, não sofrendo, portanto, modificações.

Quanto aos teores de cloreto encontrados nos canais e

igarapé de drenagem da cidade de Belém, observa-se uma variação uniforme da ordem de 55ppm a 210ppm na estação seca (Tab. 2 a 8). Em um estudo mais detalhado no igarapé Tucunduba, neste mesmo período, foram obtidas concentrações de 84ppm a 140ppm de cloreto, enquanto que na estação chuvosa ocorreu uma ligeira diminuição de 52ppm a 130ppm. Isto se deve ao aumento do nível das águas do estuário como consequência do alto índice pluviométrico da época. A alta concentração de cloretos existente nas vias de drenagem é devida à influência e acesso de águas salgadas vindas do estuário Guajará, por intermédio das marés lançantes.

4.3 - Investigação sobre a poluição por metais na região metropolitana de Belém.

Os esforços do homem para proteger o meio ambiente dos poluentes não alcançam a velocidade do crescimento populacional e industrial. Em consequência disto, aumenta cada vez mais a quantidade de rejeitos industriais e domésticos, o que faz com que rios, lagos e águas costeiras se transformem em depósitos de esgoto, nos quais o balanço biológico natural é total ou parcialmente rompido.

4.3.1 - Caracterização do problema

A cidade de Belém possui duas atividades econômicas dominantes: a de comércio e de serviços. Possui também uma atividade industrial de pequeno porte, que se limita a indústria

do pescado, da madeira, pequenas metalúrgicas, do sabão, alimentícia e curtumes. Belém não apresenta indícios claros de poluição, exceto aqueles relacionados com a quase falta de saneamento municipal, com a aplicação indiscriminada do lixo urbano como aterro "sanitário" e curtumes.

Na falta de um indicativo de poluição para metais foram determinadas nas vias de drenagem de Belém as concentrações de cálcio, magnésio, sódio, potássio, ferro, zinco, manganês, níquel, cromo, cobre, mercúrio, cádmio e chumbo em águas e sedimentos. Foram detectadas concentrações relevantes de cálcio, magnésio, sódio, potássio, ferro, zinco, manganês, níquel, cromo, cobre e mercúrio (Tab.13 e 29).

Para se ter uma base comparativa do grau de poluição por metais pesados, utiliza-se as concentrações naturais e os valores de background para águas e sedimentos de fundo de rios e também os valores máximos considerados ainda inofensivos à saúde ou ao meio ambiente.

4.3.2 - Composição de íons metálicos nas águas de rios e valores de background.

As águas de rios e lagos continentais, devido à influência de fatores como a temperatura, a precipitação pluviométrica, a geologia local (composição de rochas e solo, comportamento químico e solubilidade), a morfologia, a fauna e a flora, a variação sazonal e as influências antropogênicas, possuem uma

grande diversidade em sua composição química. Por exemplo: nos rios das regiões temperadas, as espécies químicas presentes em maior quantidade são os íons cálcio e bicarbonato; nas partes úmidas dos trópicos os rios são mais diluídos e contém mais alumínio, ferro, silício e matéria orgânica e nas regiões áridas encontram-se os íons de sódio, cloro e sulfato.

Apesar disso existem vários parâmetros composicionais médios para as águas naturais, como se vê em Bowen (1979) e Forstner e Wittmann (1983) (Tab.9).

Segundo Hinkle e Grenshaw (1975, in Bowen, 1979), os metais alcalinos, alcalinos terrosos e os halogênios existem predominantemente como simples íons na águas naturais, enquanto os metais de transição e os semi-metais estão complexados ou adsorvidos por materiais coloidais, exceto o mercúrio que é o único que pode existir como elemento metálico, ânion ou complexo orgânico.

Os complexos orgânicos de alumínio, cobre, ferro, mercúrio, manganês, molibdênio, níquel, chumbo, tálio, vanádio e zinco foram estudados por Jenne (1977, in Bowen, 1979), que constatou que processos como as reações de hidrólise e formação de quelatos destes complexos são muito lentos. Exemplo: o complexo iônico $Al(H_2O)_6^{3+}$ pode levar um período de dez dias a um ano para polimerizar suficientemente e formar uma solução turva com partículas de $0,1\mu m$ de diâmetro (Hem, 1970).

Tabela 9 - Concentração (em ppb) dos metais e semi-metals em águas continentais naturais e valores de background.

Metais	Média (a)	Variação (a)	Espécie (a)	Background (b)	Metais	Média (a)	Variação (a)	Espécie (a)	Background (b)
Ca	15k	2k - 120k	Ca	-	Cd	0.1	0.01 - 3	Org.	0.07
Mg	4k	0.4k - 6k	Mg	-	Mn	8	0.02 - 27	-	<5
K	2.2k	0.5k - 10k	K	-	Ni	0.5	0.02 - 27	-	0.3
Na	6k	0.7k - 25k	Na	-	Pb	3	0.06 - 120	-	0.2
Cu	3	0.2 - 30	Org.	1.8	Zn	15	0.2 - 100	Zn e org.	0.5
Cr	1	0.1 - 6	Cr	0.5	P	20	1 - 0.3k	HPO	-
Fe	0.5k	10 - 1.4k	colóide	<30	S	3.7k	0.2k - 10k	SO	-
Hg	0.1	0.0001 - 2.8	Org.	0.01					

k = x 1000 Fonte: (a) Bowen, 1979 e (b) Forstner e Wittmann, 1983.

Segundo Forstner e Wittmann (1983), o conteúdo de sais nas águas dos rios variam entre 10mg/l a 2000mg/l aproximadamente.

4.3.3 - Critérios para a qualidade de água e sedimento - índices limites.

Os índices limites para água, alimento e ar são entendidos como o limite da concentração de compostos químicos que produzem efeitos prejudiciais à saúde humana. Além disso, é importante também estabelecer a forma de suas espécies solubilizadas e não somente a abundância e a ocorrência destes compostos.

Segundo Tardiff (1972, in Forstner e Wittmann, 1983), os fatores importantes para o estabelecimento de padrões para substâncias químicas em água potável são: a exposição da população em geral a diversas fontes do poluente, a exposição da população com a água, o estado físico dos componentes químicos e a toxidez no homem e em animais experimentais.

Levando em consideração os parâmetros acima, muitos países têm estabelecido limites para a concentração de metais em águas de consumo (Tab.10).

Para se obter os valores de background das concentrações dos metais em sedimento é necessário analisar muitas amostras levando em consideração alguns critérios como a distribuição do tamanho do grão, a composição do material, as condições de origem e a não contaminação pela civilização. Na prática todos esses

Tabela 10 - Concentração limite (em ppb) para metais em águas potáveis que podem afetar à saúde pública.

USPHS		Japão	USSR	OMS-Europ.	OMS-intern	SABS	NAS	Austrália	USEPA	FRA
Metals		(1962)	(1970)	(1970)	(1971)	(1971)	(1972)	(1973)	(1975)	(1975)
Ag	50	-	-	-	-	-	-	50	50	-
As	10	50	50	50	50	50	100	50	50	50
Ba	1000	-	4	1000	-	-	1000	1000	1000	-
Cd	10	-	10	10	10	50	10	10	10	6
Cr	50	50	100	50	-	50	50	50	50	50
Cu	1000	10000	100	50	50	1000	1000	10000	-	-
Hg	-	1	5	-	1	-	2	-	2	4
Mn	65	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pb	50	100	100	100	100	50	50	50	50	40
Se	10	-	1	10	10	-	10	10	10	8
Zn	15000	100	1000	5000	5000	5000	5000	5000	-	2000

OMS- Organização Mundial da Saúde; USPHS- Serviço de Saúde Pública Soviética); USSR- Rússia;
SABS- Padrões de Boreau (África do Sul); NAS- Academia Nacional de Ciências (U.S.A.); RFA- Alemanha;
USEPA- Agência de Proteção Ambiental (U.S.A.).
Fonte: Forstner e Wittmann, 1983.

critérios não podem ser considerados simultaneamente, daí ser complexo o conhecimento de valores de background. Há também fatores como a quantidade de efluentes, as estações do ano, a temperatura, as interações hidrológicas que afetam os dados a serem usados em estudos comparativos sobre o ambiente.

Se compararmos os valores das concentrações de metais nas drenagens de Belém (Tab.13 a 29) com aqueles de água doce (Tab.9) e com as concentrações limites prejudiciais à saúde (Tab.10) constata-se a ocorrência de poluição de cromo no igarapé Tucunduba de mercúrio no canal do Reduto.

A comparação dos dados obtidos em águas de rios reconhecidamente poluídos com aqueles do igarapé Tucunduba e do canal do Reduto vêm confirmar esta poluição. O igarapé Tucunduba apresenta uma contaminação de até 620 vezes maior que o já poluído rio São Lourenço (N.York), se considerarmos o ponto mais poluído localizado próximo a entrada dos efluentes da indústria do couro na drenagem. Mas, se considerarmos a média das concentrações, este índice será de 128 vezes (Tab. 11).

As tabelas 12a e 12b com dados para sedimentos são similares a anterior e confirmam a situação do igarapé Tucunduba como poluído por cromo, apresentando uma contaminação com valores de até 5200 ppm na estação seca e 9800 ppm na estação chuvosa.

O canal do Reduto contém uma baixa concentração de mercúrio em seus sedimentos de fundo, o que se explica, em parte, pela

Tabela 11 - Comparação das concentrações de Cr e Hg (em ppb) nas águas do do Reduto (Belém - PA) com aquelas de rios da Europa e América do norte.

	RIOS	Danúbio	Lago Michigan	Neckar	Igarapé	Canal	St. Lawrence
METAIS		(Áustria)	E.E.U.U.	R.F.A.	Tucunduba	Reduto	N. York
		Não poluído	Não poluído	Não poluído	Poluído	Poluído	Poluído
Cr		0.4-1	1.7	1-5	5-70.1k	-	112a
Hg		0.1-1	0.027	-	-	3-4	-

K=x1000 a, Kopp and Kroner (1968)

b, Durum et al (1971)

Fonte: Forstner e Wittmann (1983)

Tabela 12a - Comparação das concentrações de Cr e Hg (em ppm) nos sedimentos e do canal do Reduto com rios e lagos da Europa e América do Norte.

	RIOS	Lago	Rio	Lago	Igarapé	Canal do	L
METAIS		Constance	Weschnitz	Michigan	Tucunduba	Reduto	Wis
		R.F.A.	R.F.A.	E.E.U.U.	Belém/PA	Belém/PA	E.E
		Não poluído	Poluído	Não poluído	Poluído	Não poluído	Não
Cr		50	493	85	1070	-	
Hg		0.2	9	0.2	-	0.226	

Fonte: Forstner e Wittmann (1983)

Tabela 12b - Comparação das concentrações dos metais Cu, Ni, Cr, Zn, Fe e no sedimento do igarapé Tucunduba com rios e lagos do Brasil

RIOS	METAIS	Cu	Ni	Cr	Zn	Fe
Arroio do Pavuna(a)		68-2190	12-356	3.4-69	849-1775	9370-24451
Rios Guandu e (b)						
São Francisco		26-166	-	-	153-921	-
lagoa dos Patos (c)		29	68	54	120	104
Igarapé Tucunduba		-	10 -90	5-9800	49-670	9300-75000

(a) Fernandes, 1987; (b) Lacerda (1983, in Fernandes, 1987); (c) Baish et

igarapé Tucunduba e do canal

Schuykill | James
Pensilvânia | Missouri

Poluído	Poluído
17b	---
-	4.3a

do igarapé Tucunduba

Lago	Lago
Washington	Erie
E.E.U.U.	E.E.U.U.
Não poluído	Não poluído
1	42
1.12	4.48

(em ppm)

Mn

00-533

32

1-1000

1989.

Comparação
do igarapé Tucunduba e do canal

Rios: Danubio
(Áustria)

Não poluído	Não poluído
0.4-1	0.4-1
0.1-1	0.1-1

(x1000)
a. Kopp and
b. Durum et

Comparação
do igarapé Tucunduba e do canal

Rios: Danubio
(Áustria)

Não poluído	Não poluído
0.4-1	0.4-1
0.1-1	0.1-1

Forces: Kopp and
Durum et

Comparação
do sedimento do igarapé

Rios: Danubio
(Áustria)

Não poluído	Não poluído
0.4-1	0.4-1
0.1-1	0.1-1

Lagoa dos Patos (0.1)

Igarapé Tucunduba

(L. Fernandes, 1987, op)

Tabela 13 - Concentração dos metais Ca, Mg, Na, K, Fe, Zn e Cu (em ppm) nas amostras de água do canal Bernardo Saião na estação seca. Belém.

Amostra	Ca	Mg	Na	K	Fe	Zn	Cu
Saião 01	20.25	4.50	16.30	7.90	2.20	0.024	0.010
Saião 02	29.89	5.00	24.90	7.40	0.50	0.023	0.009
Saião 03	16.00	1.80	11.50	4.50	1.00	0.017	0.010
Saião 04	6.50	0.50	7.50	3.30	0.60	0.022	0.012
Saião 05	12.75	4.00	16.30	7.10	2.20	0.025	0.011
Saião 06	15.50	3.80	20.50	7.80	8.00	0.025	0.015
Saião 07	5.00	0.50	14.40	4.90	0.90	0.042	0.017
Saião 08	9.25	1.80	7.50	6.10	0.00	0.039	0.015
Saião 09	16.75	4.50	14.40	8.40	0.90	0.025	0.030
Saião 10	14.13	5.00	20.50	9.30	5.20	0.021	0.020
Saião 11	15.90	5.00	21.90	9.50	2.20	0.022	0.016
Saião 12	17.00	4.50	31.30	9.60	3.10	0.022	0.020
Saião 13	17.50	5.00	28.00	10.00	1.20	0.017	0.030
Saião 14	27.31	8.30	40.00	11.00	4.00	0.028	0.020
Saião 15	39.67	11.00	40.00	10.40	0.00	0.029	0.010
Saião 16	30.15	9.00	43.00	13.30	5.20	0.045	0.030
MÉDIA	15.98	4.16	21.52	8.04	2.32	0.027	0.018
DES.PADRÃO	7.51	2.71	11.83	2.95	1.74	0.008	0.008

Tabela 14 - Concentração dos metais Ca, Mg, Na, K, Fe, Zn, Cu e Cr (em ppm) nas amostra de sedimento do canal Bernardo Saião na estação seca. Belém.

Amostra	Ca	Mg	Na	K	Fe	Zn	Cu	Cr
Saião 01	950	1125	3125	481	4750	16	8	25
Saião 02	-	-	-	-	-	-	-	-
Saião 03	688	325	1563	413	3475	24	8	30
Saião 04	956	588	1888	394	4175	43	45	18
Saião 05	451	225	1563	225	1900	17	21	10
Saião 06	450	312	1680	230	4800	15	63	10
Saião 07	388	144	1893	240	1175	13	8	10
Saião 08	206	176	1265	600	875	12	8	10
Saião 09	-	-	-	-	-	-	-	-
Saião 10	344	138	1250	981	850	10	8	10
Saião 11	1050	313	1562	337	3675	26	30	40
Saião 12	702	313	1468	581	4375	8	8	25
Saião 13	759	313	1563	294	1040	15	8	10
Saião 14	400	188	2000	222	4000	11	62	30
Saião 15	-	-	-	-	-	-	-	-
Saião 16	393	225	2494	300	1075	16	21	10
MÉDIA	595	322	1793	408	2541	17	25	18
DES.PADRÃO	272	268	519	216	1746	9	21	11

uma grande carga de água, pela ação das marés provenientes do rio Guamá, através das três vias de comunicação (A, B e C). A água da maré é a principal fonte de metais do canal (Fig.5).

Há três razões que sustentam essa suposição:

(a) a existência das fortes correlações positivas entre os elementos Ca, Na, K, Mg e Fe e o íon cloreto na água do canal (observa-se que o rio Guamá é fortemente influenciado pelas águas estuarinas, as vezes salobras, da baía do Guajará). Isto é observado também nas outras drenagens estudadas, que sofrem igualmente a ação de águas de maré, da baía do Guajará.

(b) o aparecimento dos metais cromo e zinco, trazidos pelas marés no material em suspensão, procedentes da descarga do igarapé Tucunduba no rio Guamá, e posteriormente sedimentados com a matéria orgânica no fundo do canal.

(c) a ocorrência de elevadas concentrações de ferro, em água e sedimento, nos pontos próximos às vias de comunicação do canal Bernardo Saião com o rio Guamá, apresenta-se contraditório à expectativa teórica, se considerarmos os valores de pH do canal. Segundo Hem (1970), o íon Fe é instável termodinamicamente em pHs maiores que 4,8. Isto se explica pela ação antropogênica da descarga dos efluentes da indústria siderúrgica "COPALA- Indústrias Reunidas S/A", localizada às proximidades de uma das vias de comunicação (A) do canal (ponto 16) (Fig.16).

Na figura 16 observa-se que os pontos de número 1, 6 e 16 são referentes as vias de comunicação (C, B e A) do canal com o rio Guamá. Nestes pontos a concentração de ferro aumenta tanto na água como no sedimento, por causa da alimentação diária da maré. O aumento na concentração de ferro nos pontos 10, 11 e 12 tem explicação na descarga dos efluentes da oficina mecânica da empresa de ônibus "CREMAÇÃO". Lá ocorre uma retenção dos metais por parte do óleo queimado ocorrente no canal.

Outra fonte de metais para o canal Bernardo Saião é a descarga do canal Quintino Bocaiúva, que apesar de ter uma abertura direta para o rio Guamá (ponto 6), escoar parte de suas águas no canal Bernardo Saião. Isto é demonstrado pelo aparecimento do metal cobre, com concentrações de 9ppb à 30ppb na água e de 7,5ppm à 62ppm no sedimento de fundo do canal Bernardo Saião. O canal Quintino Bocaiúva apresenta valores de 80ppb à 210 ppb na água e de 7ppm à 95ppm nos sedimentos de fundo.

O cobre apresenta um comportamento inerte no canal Bernardo Saião, mostrando que este, apesar de ter sido carregado dinamicamente pela maré, possui a tendência de ser depositado e adsorvido pelo material orgânico dos sedimentos de fundo e em suspensão.

Outra fonte de metais neste canal é a descarga de efluentes domésticos, que é caracterizada pelas fortes correlações positivas entre os íons fosfato e sódio (0,83), fosfato e potássio (0,79), sulfato e sódio (0,70) e sulfato e potássio

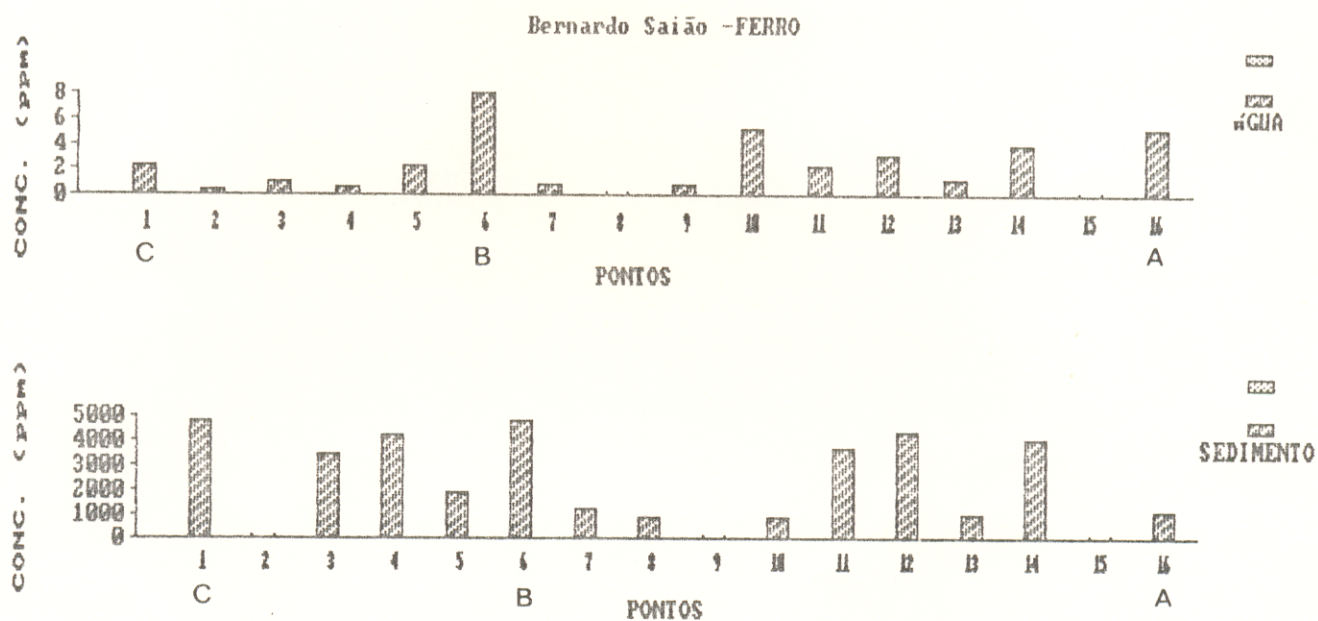


Figura 16 - Distribuição do ferro em amostras de água e sedimento no canal Bernardo Saião.

Obs. A, B, C: pontos de entrada da maré; ponto 6: deságua do canal Quintino Bocaiúva; ponto 11: localização da garagem e mecânica de ônibus CREMAÇÃO; ponto 16: localização da Siderúrgica COPALA S/A.

(0,89) determinadas na água do canal. Isto pode ser explicado pela presença de substâncias constituintes dos sabões e detergentes, que segundo Shreve e Brink (1977) são: as surfactantes (sulfonato de alquil benzeno linear "LAS-sigla inglesa", sulfatos de ácidos graxos e os sais de sódio e potássio); os agentes reforçadores (tripolifosfato de sódio, pirofosfato de tetrasódio e o sulfato de sódio); a barrilha; o aditivo silicato de sódio; os corantes e os chamados inibidores de manchas. Confirma-se assim, a hipótese levantada por Brabo (1989), que o excesso do íon fosfato em alguns pontos do canal Bernardo Saião é consequência da intensa ocupação populacional nas margens deste.

O íon sulfato é procedente do material orgânico e dos insumos domésticos como sabões e detergentes e está presente em quase todos os canais estudados, exceto nos canais cimentados, que se localizam na área comercial da cidade e são diariamente lavados pelas marés lançantes do rio Guamá.

4.3.4.2 - Canal Quintino Bocaiúva

Os metais encontrados na água e sedimento do canal Quintino Bocaiúva foram cálcio, magnésio, sódio, potássio, ferro, zinco e cobre (Tab.15 e 16) e os semi-metais fósforo e enxofre (Tab.3).

Este canal é afluente do canal Bernardo Saião e tem uma comunicação direta com o rio Guamá, por isso sofre diretamente a ação da maré lançante.

Tabela 15 - Concentração dos metais Ca, Mg, Na, K, Fe, Zn, Cu (em ppm) nas amostras de água do canal Quintino Bocaiúva na estação seca. Belém.

Amostral	Ca	Mg	Na	K	Fe	Zn	Cu
Quin 01	26.07	3.80	31.30	9.00	1.00	0.026	0.300
Quin 02	17.50	4.00	29.40	9.00	1.50	0.031	0.200
Quin 03	25.82	4.50	28.00	8.80	2.20	0.032	0.150
Quin 04	16.75	4.70	24.90	7.40	2.20	0.041	0.140
Quin 05	27.45	4.70	24.90	8.70	3.60	0.047	0.130
Quin 06	17.50	8.20	16.30	6.90	4.00	0.072	0.100
Quin 07	25.54	9.00	20.50	8.10	5.20	0.075	0.100
Quin 08	21.50	4.70	21.90	8.20	6.50	0.177	0.090
Quin 09	0.50	0.20	0.00	1.50	6.80	0.185	0.080
MÉDIA	22.66	6.06	23.58	8.02	3.85	0.076	0.130
DES.PADÃO	5.11	2.35	5.60	0.88	2.20	0.063	0.005

Tabela 16 - Concentração dos metais Ca, Mg, Na, K, Fe, Zn e Cu (em ppm) em amostras de sedimento do canal Quintino Bocaiúva na estação seca. Belém.

Amostra	Ca	Mg	Na	K	Fe	Zn	Cu
Quin 01	306	138	1257	178	750	44	7
Quin 02	-	-	-	-	-	-	-
Quin 03	-	-	-	-	-	-	-
Quin 04	2406	175	2969	631	950	41	20
Quin 05	263	150	1250	156	2225	8	40
Quin 06	394	188	1265	194	3650	7	60
Quin 07	656	850	1688	806	4375	3	95
Quin 08	-	-	-	-	-	-	-
Quin 09	-	-	-	-	-	-	-
MÉDIA	805	300	1686	393	1990	22	44
DES.PADÃO	908	308	741	304	1883	18	35

As quantidades de ferro e zinco presentes no canal são trazidas pela maré. O ferro, devido às condições de neutralidade da água e o excesso de matéria orgânica, encontra-se depositado no sedimento de fundo e apresenta uma distribuição regular possivelmente em consequência do dinamismo da maré. O zinco é estável em ambientes redutores, e possui uma estabilidade maior que a do ferro em ambientes neutros, desta forma, permanece mais tempo na água, mas finalmente é também depositado.

A procedência do cobre no canal Quintino Bocaiúva é desconhecida, mas pode ser caracterizada como sendo de origem antropogênica. A hipótese mais provável é que o cobre esteja presente na água e no material orgânico em suspensão dos efluentes de esgoto doméstico, pois aparece também no canal do Reduto.

O diagrama Eh-pH do cobre, obtido por Garrels e Christ (1964, p.239-240) sugere que -- nas condições de pH neutro e ambiente aerado -- a solubilidade deste na forma de óxido cúprico é de 6×10^{-6} moles/l ou 64 ppb. No canal a concentração encontrada na água é em média duas vezes maior que aquela sugerida por Garrels e Christ (1964).

O cobre é menos solúvel em ambientes redutores do que em ambientes oxidantes, com isso uma pequena variação no pH e a presença do sulfato faz com que este seja depositado no sedimento de fundo.

4.3.4.3 - Canal do Reduto, canal Almirante Tamandaré e canal das Armas.

Estes canais mostram várias características em comum. São as seguintes:

- estão localizados próximo uns dos outros e em áreas comerciais;
- são canalizados e cimentados;
- o sedimento de fundo é, em grande parte, arenoso e procedente da baía do Guajará;
- a água e o sedimento trazidos pela maré da baía do Guajará são fontes importantes de metais;
- recebem efluentes de esgoto doméstico;
- não recebem efluentes industriais;
- contém muito pouca matéria orgânica, e a variação na ocorrência e quantidade dos metais na água e sedimento destes canais tem origem nos efluentes de esgoto doméstico (Tab.4, 5 e 7);
- a ocorrência dos metais cálcio, magnésio, sódio, potássio, ferro e zinco, trazidos pelas marés (Tab.17 a 22);
- não apresentam correlações lineares entre os metais nos sedimentos de fundo.

No canal Almirante Tamandaré a concentração de ferro, tanto em água como sedimento, é um pouco mais elevada que nos demais, em consequência da proximidade deste canal com a descarga do afluente rio Guamá e de uma das entradas ou saídas de maré do

Tabela 17 - Concentração dos metais Ca, Mg, Na, K, Fe, Zn, Cu e Hg (em ppm) nas amostras de água no canal do Reduto na estação seca, Belém.

Amostra	Ca	Mg	Na	K	Fe	Zn	Cu	Hg
Red 01	15.75	3.80	21.90	7.50	0.60	0.085	0.008	0.003
Red 02	25.14	4.70	28.00	11.50	2.40	0.026	0.005	0.003
Red 03	43.55	21.50	31.30	16.80	2.50	0.062	0.009	0.003
Red 04	17.50	4.00	28.00	7.60	0.60	0.060	0.007	0.003
MÉDIA	25.48	8.50	27.30	10.85	1.52	0.058	0.007	0.003
DES.PADÃO	12.72	8.68	3.92	4.38	1.07	0.024	0.001	0

Tabela 18 - Concentração dos metais Ca, Mg, Na, K, Fe, Zn, Cu e Hg (em ppm) nas amostras de sedimento do canal do Reduto na estação seca, Belém.

Amostra	Ca	Mg	Na	K	Fe	Zn	Cu	Hg
Red 01	331	156	1250	178	1150	15	35	0.35
Red 02	290	300	1380	100	1000	9	30	0.30
Red 03	530	100	1690	98	860	18	35	0.35
Red 04	360	130	1260	250	990	11	25	0.35
MÉDIA	378	172	1395	157	741	13	31	0.34
DES.PADÃO	105	89	205	72	422	4	5	0.03

Tabela 19 - Concentração dos metais Ca, Mg, Na, K, Fe, e Zn (em ppm) nas amostras de água do canal Almirante Tamandaré na estação seca. Belém.

Amostrai	Ca	Mg	Na	K	Fe	Zn
Tam 01	10.00	3.00	33.80	5.35	0.50	0.087
Tam 02	13.75	3.70	20.50	6.00	2.30	0.195
Tam 03	19.75	4.30	28.00	6.10	2.20	0.049
Tam 04	20.25	5.00	29.30	6.25	2.50	0.059
MÉDIA	15.94	4.00	27.90	5.93	1.86	0.075
DES.PADÃO	4.94	0.85	5.54	0.40	0.93	0.067

Tabela 20 - Concentração dos metais Ca, Mg, Na, K, Fe e Zn (em ppm) nas amostras de sedimento do canal Almirante Tamandaré na estação seca. Belém.

Amostrai	Ca	Na	K	Mg	Fe	Zn
Tam 01	325	1250	200	213	1075	13
Tam 02	338	1250	213	188	1150	15
Tam 03	331	1265	500	175	2500	14
Tam 04	500	1250	303	380	1825	22
MÉDIA	373	1254	304	239	1638	16
DES.PADÃO	85	8	139	95	667	4

Tabela 21 - Concentração dos metais Ca, Mg, Na, K, Fe e Zn (em ppm) nas amostras de água do canal das Armas na estação seca. Belém.

Amostra	Ca	Mg	Na	K	Fe	Zn
Armas 01	26.00	4.50	17.50	7.20	1.60	0.026
Armas 02	23.25	4.30	16.30	7.40	0.00	0.034
Armas 03	16.80	3.90	14.40	7.40	1.50	0.048
Armas 04	22.00	4.70	16.30	7.40	1.60	0.040
Armas 05	25.00	5.00	14.40	8.10	2.40	0.060
Armas 06	17.50	4.70	24.90	7.40	1.20	0.027
MÉDIA	21.76	4.47	17.30	7.65	1.25	0.039
DES.PADRÃO	3.83	0.32	3.92	0.48	0.63	0.013

Tabela 22 - Concentração dos metais Ca, Mg, Na, K, Fe e Zn (em ppm) nas amostras de sedimento do canal das Armas na estação seca. Belém.

Amostra	Ca	Mg	Na	K	Fe	Zn
Armas 01	594	225	1894	294	1750	17
Armas 02	338	100	1256	175	750	12
Armas 03	319	200	1250	178	775	16
Armas 04	316	312	1688	500	1575	17
Armas 05	328	225	1688	313	1050	13
Armas 06	353	156	1894	175	1100	15
MÉDIA	378	203	1612	272	1167	14
DES.PADRÃO	109	72	293	128	413	2

Tabela 23 - Concentração dos metais Ca, Mg, Na, K, Fe e Zn (em ppm) nas amostras de água do canal do Una na estação seca. Belém.

Amostra	Ca	Na	K	Mg	Fe	Zn
Una 01	2.00	48.80	3.90	9.50	0.50	0.048
Una 02	2.00	41.90	3.30	8.50	0.50	0.049
Una 03	8.75	21.90	5.10	4.50	0.50	0.036
Una 04	8.00	20.50	5.10	5.00	0.50	0.047
Una 05	10.00	15.00	5.60	3.90	0.50	0.038
Una 06	9.23	14.40	5.10	3.00	0.50	0.048
Una 07	12.38	16.30	4.50	4.00	0.50	0.070
Una 08	11.00	21.90	5.90	3.20	0.50	0.058
Una 09	12.30	53.80	10.8	4.50	0.50	0.100
MÉDIA	8.40	28.27	5.48	5.12	0.50	0.055
DES.PADRÃO	3.92	15.46	2.15	2.30	0	0.020

canal Bernardo Saião. O aparecimento da forte correlação entre o íon fosfato com os íons sódio e potássio (0,87 e 0,99) respectivamente confirma a existência, em menor quantidade, dos componentes dos produtos de limpeza (sabão e detergente).

No canal do Reduto apareceu ocasionalmente o elemento mercúrio -- proveniente talvez do esgoto de alguma clinica odontológica localizada nas proximidades do canal -- e o elemento cobre, com fonte desconhecida, em pequenas quantidades.

4.3.4.4 - Canal do Una

O canal do Una, o maior canal em estudo, que atravessa uma área de "baixada" basicamente residencial; recebe somente efluentes de esgoto doméstico, ainda que em grande quantidade, o que lhe dá um aspecto desagradável.

Apresenta dentre os metais cálcio, Magnésio, sódio, potássio e zinco, o sódio em maior quantidade (Tab.23). O ferro em virtude do canal apresentar condições neutras de pH, encontra-se normalmente depositados nos sedimentos de fundo, já que sua concentrações na água é muito baixa e constante.

A forte correlações positiva entre os íons sódio e fosfato (0,91) denuncia a presença dos agentes surfactantes e reforçadores dos detergentes. O aparecimento do íon sulfato em quantidades elevadas e sua correlação positiva com o íon potássio (0,82), sugerem a existência de sabões caseiros à base de sais de

sódio ou potássio dos diversos ácidos graxos (oleico, esteárico, palmítico, láurico e mirístico), substâncias estas contidas no sebo bovino e na banha do porco.

4.3.4.5 - Igarapé Tucunduba

O igarapé Tucunduba drena uma área de baixada, alagadiça e desordenadamente ocupada pela população. Os terrenos dessa área foram e são ainda aterrados com lixo urbano, que muitas vezes alcança as margens do igarapé. Há, portanto, fontes evidentes de contaminação da drenagem da área que compõe o igarapé Tucunduba, com destaque a um curtume que despeja efluentes contaminados com cromo, além de manganês, níquel e zinco.

O igarapé Tucunduba, por sofrer contaminação diferenciada sazonalmente e por estar fortemente submetido a ação da maré, foi estudado com mais detalhe do que as outras drenagens de Belém. Foram feitas análises químicas da água, do material em suspensão e do sedimento de fundo, sendo que nos últimos através de duas aberturas, visando as concentrações totais e também a parte adsorvida (Tab.24 a 29).

4.3.4.5.1 - Distribuição da concentração dos metais em água e sedimento de corrente.

(a) Cálcio

O cálcio, nas águas naturais, está predominantemente

Tabela 24 - Concentração dos metais Ca, Mg, Na, K, Fe, Zn, Mn, Ni e Cr (em ppm) nas amostras de água do Igarapé Tucunduba na estação seca. Belém.

Amostra	Ca	Mg	Na	K	Fe	Zn	Mn	Ni	Cr
Tuc 01	7.30	4.00	31.30	7.50	2.10	0.050	4.00	0.030	0.00
Tuc 02	12.25	3.80	20.00	7.50	2.40	0.080	3.80	0.041	2.00
Tuc 03	11.58	4.70	20.50	6.60	1.20	0.074	4.70	0.038	2.00
Tuc 04	25.50	29.50	1630.00	23.30	10.00	0.038	29.00	0.058	70.09
Tuc 05	17.48	20.00	115.50	23.30	3.50	0.033	20.00	0.070	43.60
Tuc 06	15.75	7.00	63.80	9.30	0.00	0.050	7.00	0.060	5.00
Tuc 07	15.30	5.00	29.40	7.50	6.30	0.064	5.00	0.060	5.00
Tuc 08	13.30	3.00	31.30	7.40	4.40	0.073	3.00	0.060	5.00
Tuc 09	9.25	6.60	53.80	7.40	0.00	0.030	6.60	0.065	5.00
Tuc 10	7.50	5.00	31.30	4.60	4.50	0.057	5.00	0.060	5.00
MÉDIA	115.30	11.93	317.27	12.90	2.85	0.051	11.93	0.054	14.36
DES.PADRÃO	5.81	10.44	644.10	8.10	3.76	0.022	10.44	0.031	20.30

Tabela 25 - Concentração dos metais Ca, Mg, Na, K, Fe, Zn, Mn, Ni e Cr (em ppm) nas amostras de sedimento do Igarapé Tucunduba na estação seca. Belém.

Amostra	Ca	Mg	Na	K	Fe	Zn	Mn	Ni	Cr
Tuc 01	230	2500	1800	500	10000	5	40	10	10
Tuc 02	406	2000	2494	281	11250	13	40	20	10
Tuc 03	244	2020	1250	175	19500	8	35	10	10
Tuc 04	813	3870	1775	338	30750	213	160	70	5200
Tuc 05	806	2750	1265	191	8750	6	52	90	1070
Tuc 06	725	8000	1687	681	38750	33	545	10	50
Tuc 07	600	2500	1500	2500	20000	35	530	40	50
Tuc 08	100	7000	1490	1800	5000	10	735	20	50
Tuc 09	3428	13875	3428	3266	28750	16	532	10	50
Tuc 10	2500	10000	2000	3000	30000	30	400	20	50
MÉDIA	985	545	1869	886	20275	37	307	35	655
DES.PADRÃO	1094	410	659	1196	11408	63	269	36	1630

Tabela 26 - Concentração dos metais Ca, Mg, Na, K, Fe, Zn, Mn, e Cr (em ppm) nas amostras de água do igarapé Tucunduba na estação chuvosa. Belém.

Amostra		Ca	Mg	Na	K	Fe	Zn	Mn	Cr
Tuc	01	5.00	3.13	6.00	3.30	0.26	0.020	0.008	0.20
Tuc	02	5.50	3.25	7.00	4.40	0.63	0.028	0.010	0.40
Tuc	03	5.80	3.70	9.00	4.30	0.48	0.061	0.010	0.80
Tuc	04	13.10	7.00	250.00	3.65	2.30	0.150	0.125	130.00
Tuc	05	6.50	4.88	7.50	4.20	0.18	0.022	0.038	1.00
Tuc	06	6.50	3.88	28.80	4.00	1.02	0.027	0.057	0.40
Tuc	07	6.25	3.68	19.37	3.20	0.10	0.017	0.010	0.20
Tuc	08	6.20	3.65	18.50	3.45	0.16	0.021	0.020	0.20
Tuc	09	6.10	3.75	11.00	4.20	0.02	0.013	0.010	0.20
Tuc	10	2.90	2.70	7.50	1.60	0.29	0.019	0.010	0.20
Tuc	11	0.80	0.98	5.00	0.90	0.24	0.023	0.020	0.20
Tuc	12	0.38	0.73	2.20	0.95	0.22	0.047	0.067	0.20
Tuc	13	0.35	0.72	2.20	0.71	0.21	0.018	0.072	0.20
Tuc	14	1.30	0.80	2.20	0.59	0.18	0.035	0.085	0.20
Tuc	15	0.30	0.80	2.20	0.63	0.29	0.026	0.065	0.20
MÉDIA		4.46	2.91	25.23	2.67	0.44	0.036	0.042	8.87
DES.PADRÃO		3.50	1.82	62.64	1.56	0.57	0.034	0.038	33.48

Tabela 27 - Concentração total dos metais Ca, Mg, Na, K, Fe, Zn, Mn, Ni e Cr (em ppm) nas amostras de sedimento de fundo do igarapé Tucunduba na estação chuvosa. Belém.

Amostra		Ca	Mg	Na	K	Fe	Zn	Mn	Ni	Cr
Tuc	01	2600	1950	10000	1500	9300	76	30	10	5
Tuc	02	2700	2000	10000	1825	26400	69	25	20	11
Tuc	03	5900	3000	10000	2250	26000	83	50	80	670
Tuc	04	9000	3500	9800	1720	75000	670	150	50	9800
Tuc	05	2300	2410	10000	2600	22000	49	49	70	110
Tuc	06	1600	10100	4400	9500	46500	200	458	88	460
Tuc	07	3300	14000	9000	19000	48000	150	500	20	140
Tuc	08	3800	14100	12100	17750	47500	147	700	40	225
Tuc	09	3900	13900	9100	17000	44500	149	500	60	270
Tuc	10	1000	12000	4600	9500	40000	141	420	30	45
Tuc	11	2600	13700	10500	19000	58500	135	305	10	75
Tuc	12	1200	12700	7600	17000	52500	151	800	15	46
Tuc	13	2700	13700	10500	15500	46500	145	1000	25	50
Tuc	14	1800	5900	8900	19000	56000	94	155	10	55
Tuc	15	2500	12000	11000	10000	37100	96	900	30	15
MÉDIA		3127	8404	9167	10876	42687	157	403	37	814
DES.PADRÃO		2028	5454	2152	7284	16415	148	332	26	2493

Tabela 28 - Concentração dos metais adsorvidos Ca, Mg, Na, K, Fe, Zn, Mn, Ni e Cr (em ppm) nas amostras de sedimento de fundo do igarapé Tucunduba na estação chuvosa. Belém.

Amostra		Ca	Mg	Na	K	Fe	Zn	Mn	Ni	Cr
Tuc 01		704	300	400	70	6250	54	16	9	2
Tuc 02		720	375	480	90	22000	52	15	15	9
Tuc 03		336	375	490	1000	21500	40	30	69	90
Tuc 04		6900	3250	387	88	72000	625	80	45	9625
Tuc 05		3136	700	505	95	24700	80	30	78	625
Tuc 06		864	3968	500	1000	43350	155	425	85	360
Tuc 07		944	4656	500	1063	44500	140	500	10	88
Tuc 08		1184	4813	500	1025	46000	135	690	30	200
Tuc 09		992	5188	505	1188	42000	140	500	55	210
Tuc 10		416	4063	495	782	38000	72	415	25	10
Tuc 11		288	3906	480	1000	55000	65	275	5	50
Tuc 12		432	3906	480	1200	52000	140	800	10	10
Tuc 13		528	4219	480	1200	40000	120	950	20	30
Tuc 14		176	3406	480	1313	52000	62	123	9	30
Tuc 15		224	4375	480	813	34500	75	875	28	5
MÉDIA		11190	3166	478	808	39587	130	382	33	756
DES. PADRÃO		1736	1774	36	458	16212	142	333	27	2460

Tabela 29 - Concentração dos metais adsorvidos Ca, Mg, Na, K, Fe, Zn, Mn, Ni e Cr (em ppm) nas amostras de sedimento em suspensão do igarapé Tucunduba na estação chuvosa. Belém.

Amostra		Ca	Mg	Na	K	Fe	Zn	Mn	Ni	Cr
Tuc 01		1423	417	3967	51	7239	59	96	30	15
Tuc 02		1061	128	3063	27	17679	55	210	15	11
Tuc 03		1211	315	3753	33	3390	53	126	10	15
Tuc 04		437	452	4288	59	3337	2063	9	160	9632
Tuc 05		1603	448	4105	146	21139	120	60	150	380
Tuc 06		1080	239	4504	34	8466	102	95	50	5714
Tuc 07		1040	128	3891	42	12020	390	220	100	890
Tuc 08		1418	588	4266	83	15433	65	209	110	62
Tuc 09		1388	537	4076	57	20676	97	348	155	99
Tuc 10		2097	749	3512	157	18727	142	501	90	70
Tuc 11		1872	851	3517	144	14131	156	495	120	22
Tuc 12		1103	905	3698	55	10266	48	209	85	11
Tuc 13		1598	1145	3328	163	10295	140	245	86	11
Tuc 14		1181	1305	2980	103	16328	79	480	130	11
Tuc 15		875	779	2636	36	14748	46	190	115	11
MÉDIA		1293	599	3705	79	12925	708	239	94	1130
DES. PADRÃO		409	353	504	50	5709	555	158	49	2767

associado aos íons carbonato e bicarbonato, podendo precipitar-se ou dissolver-se com facilidade ao variar a pressão parcial do dióxido de carbono e o pH da solução. Em soluções fortemente alcalinas, o cálcio pode complexar-se com sulfetos, hidróxidos e carbonatos. Apresenta-se nos sedimentos argilosos e arenosos na forma de sulfatos (gipsita ou anidrita) e nas formas de carbonatos e bicarbonatos.

No igarapé Tucunduba a concentração de cálcio varia sazonalmente, sendo que na estação seca as concentrações na água são altas nos pontos próximos à descarga do efluente (pontos 4 e 5). Ocorre o inverso no sedimento (Fig.17). Isto é consequência da alta alcalinidade da solução de lavagem (pH de 11,8), que mantém o íon cálcio complexado na forma de pares iônicos como CaSO_4 (aq), $\text{Ca}(\text{OH})^+$ e CaHCO_3^+ , que são carregados e logo em seguida depositados.

Na estação chuvosa a concentração de cálcio na água é duas vezes menor do que na estação seca, por causa da alta diluição provocada pelas intensas precipitações e pela diminuição da descarga da solução de lavagem do curtume. Quanto aos sedimentos, a concentração na estação chuvosa é três vezes maior que na estação seca, pela intensa deposição do material em suspensão -- rico em íons como Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} e Fe^{2+} -- trazido pelas enchurradas, que percolam grandes extensões do solo (Tab.27).

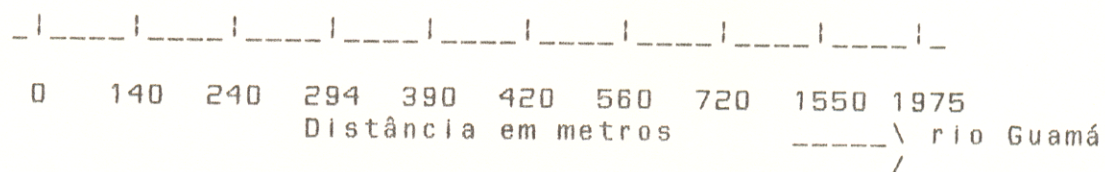
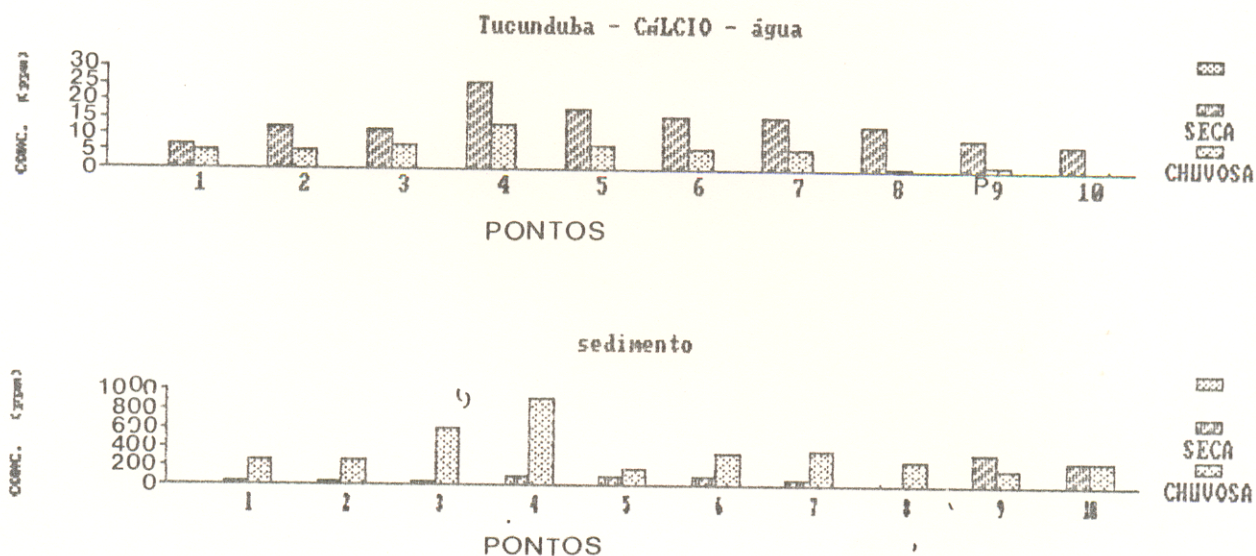


Figura 17 - Distribuição do cálcio em amostras de água e sedimento no Igarapé Tucunduba nas estações seca e chuvosa.

Obs. Ponto 4: localização do Curtume "Santo António"

(b) Sódio

O sódio é um elemento que sempre ocorre em águas e, independentemente da lixiviação de formações geológicas que contém halita (NaCl), pode provir de numerosas fontes, tais como: a decomposição de sais minerais (silicato de sódio e alumínio), os depósitos de origem marinhas, a penetração de água salgada e os numerosos usos industriais, como na utilização de sabões, soda etc.

Segundo Hem (1970), os elementos sódio e potássio são essenciais no balanço eletroquímico das águas e as suas concentrações variam sazonalmente em função da pluviosidade durante o ano hidrológico, ou seja, nos períodos mais chuvosos as concentrações de sódio e potássio são menores.

Na estação seca, a concentração de sódio na água do igarapé Tucunduba é três vezes maior que na estação chuvosa, devido a intensa atividade do curtume, o que implica uma maior troca da solução de lavagem e também das marés salobras do rio Guamá. A concentração no sedimento de fundo é quatro vezes menor na estação seca.

O comportamento inverso das concentrações de sódio na relação água/sedimento do igarapé Tucunduba, tanto na estação chuvosa como seca, está diretamente relacionado com a grande capacidade de mobilização do íon Na^+ (Fig.18).

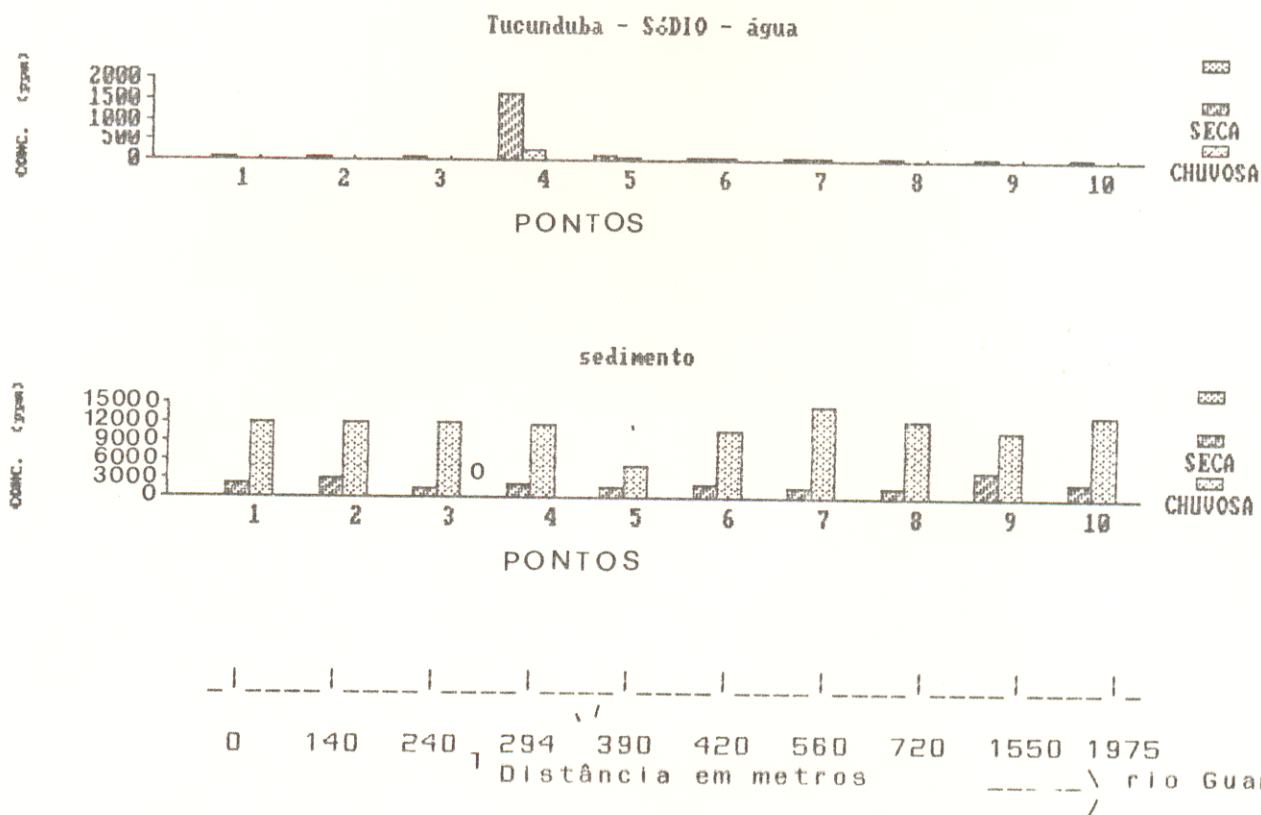


Figura 18 - Distribuição do sódio em amostras de água e sedimento no igarapé Tucunduba nas estações seca e chuvosa.

Obs. Ponto 4: localização do Curtume "Santo António"

Segundo Machado (1986), o sedimento de fundo do rio Guamá sofre um processo de erosão devido principalmente às correntes de maré e secundariamente ao regime hidrológico (cheias e estiagens), sendo mais intensa na estação seca. Desta forma pode-se supor que o sedimento de fundo do igarapé Tucunduba sofre também este tipo de erosão. Na estação seca devido as marés salinas do rio Guamá, grande parte do sódio adsorvido na superfície dos argilo minerais são lixiviados e na estação chuvosa ocorre uma intensa sedimentação do material suspenso na água do igarapé, enriquecida pela ação de lixiviação do solo.

(c) Potássio

Segundo Hem (1970), o potássio é um elemento liberado com grande dificuldade dos minerais silicatados e exibe uma forte tendência para ser reincorporado nos produtos de intemperismo, especialmente certos argilo minerais.

O comportamento do potássio no sedimento do igarapé Tucunduba confirma esta constatação, nas amostras de 1 a 5 o sedimento é arenoso e o potássio é pouco adsorvido e em sedimentos argilosos, amostras de 6 a 10, é muito adsorvido (Fig.19).

A concentração de potássio nas águas do igarapé Tucunduba na estação seca é duas vezes maior que na estação chuvosa. Isto é um reflexo da diluição e também da inexpressiva contribuição de potássio vindo da solução de cromatização do efluente do curtume

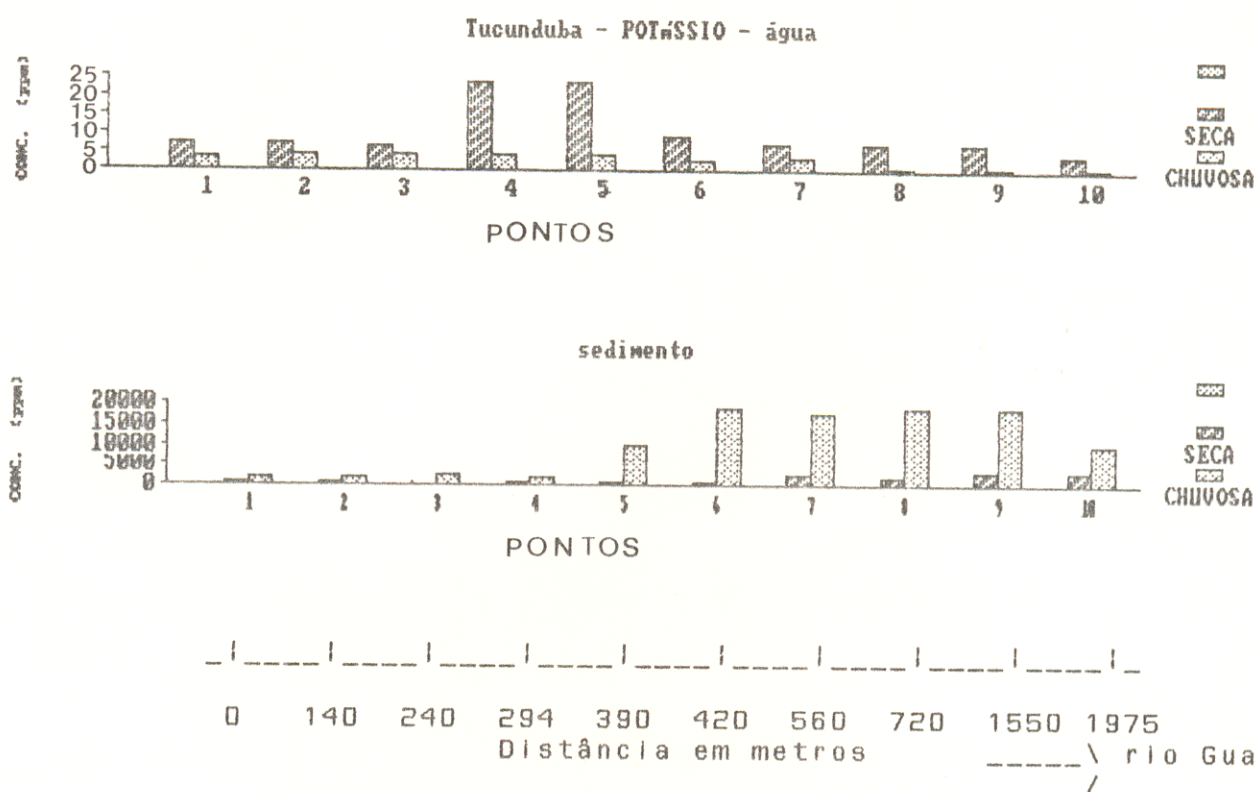


Figura 19 - Distribuição do potássio em amostras de água e sedimento no igarapé Tucunduba nas estações seca e chuvosa.

Obs. Ponto 4: localização do Curtume "Santo António"

na estação chuvosa, quando comparado com a contribuição vindo das marés solabras e da solução de lavagem do efluente na estação seca.

No sedimento de fundo a concentração de potássio na estação chuvosa é seis vezes maior que na estação seca. Pois, é enriquecido pela intensa lixiviação do solo na estação chuvosa e empobrecido na estação seca pela ação da erosão do fundo do igarapé provocado pelo movimento da maré.

(d) Magnésio

A concentração de magnésio na água do igarapé Tucunduba permanece praticamente inalterada de uma estação para a outra, mesmo havendo uma contribuição expressiva por parte do efluente do curtume na estação seca. Isto se deve a intensa sedimentação do magnésio nas formas de hidróxido, óxidos e sulfatos (Fig.20).

O comportamento do magnésio no sedimento de fundo do igarapé Tucunduba é bastante similar ao do potássio e do ferro, por serem esses elementos provenientes das mesmas fontes e por estar pouco adsorvidos no material arenoso do fundo do igarapé (Fig.20, 21 e 22).

(e) Ferro

Os íons de ferro podem ser encontrados em soluções ácidas como Fe^{3+} , $\text{Fe}(\text{OH})^+$, Fe^{2+} e formas poliméricas, em condições

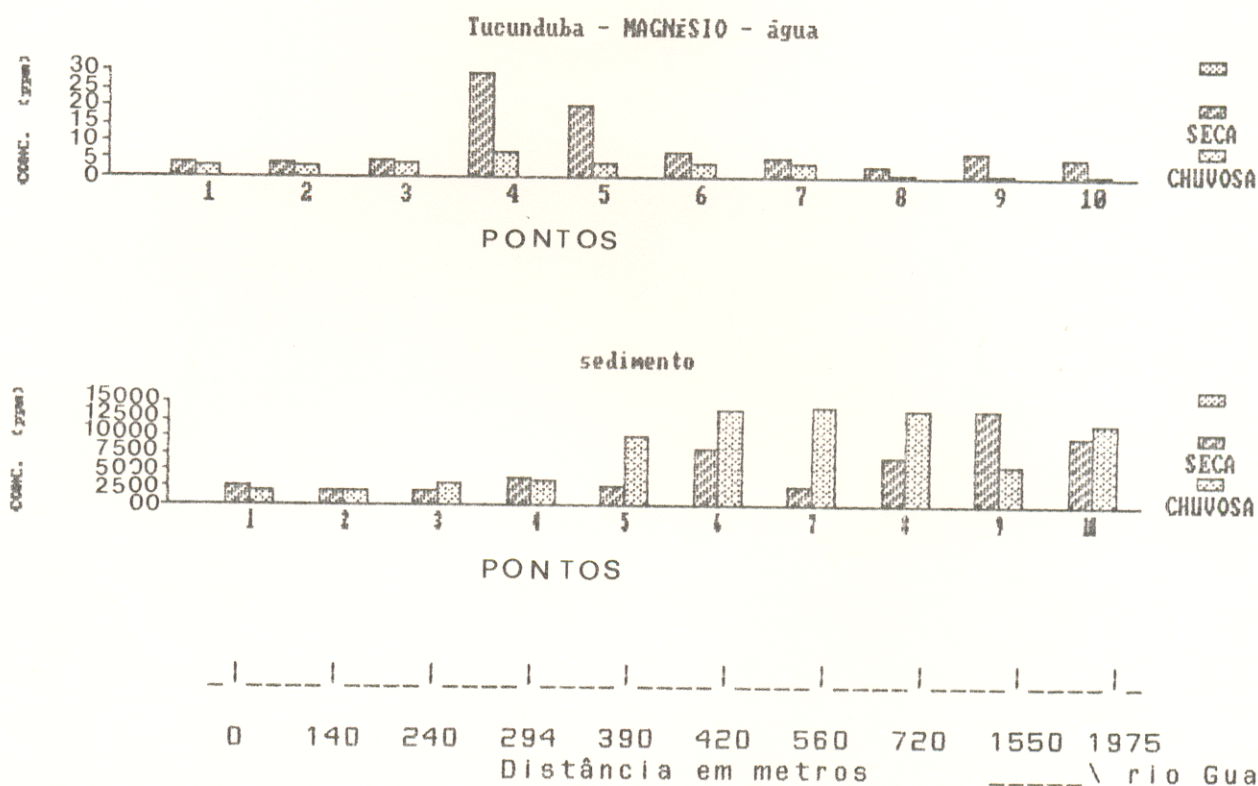


Figura 20 - Distribuição do magnésio em amostras de água e sedimento no Igarapé Tucunduba nas estações seca e chuvosa.

Obs. Ponto 4: localização do Curtume "Santo António"

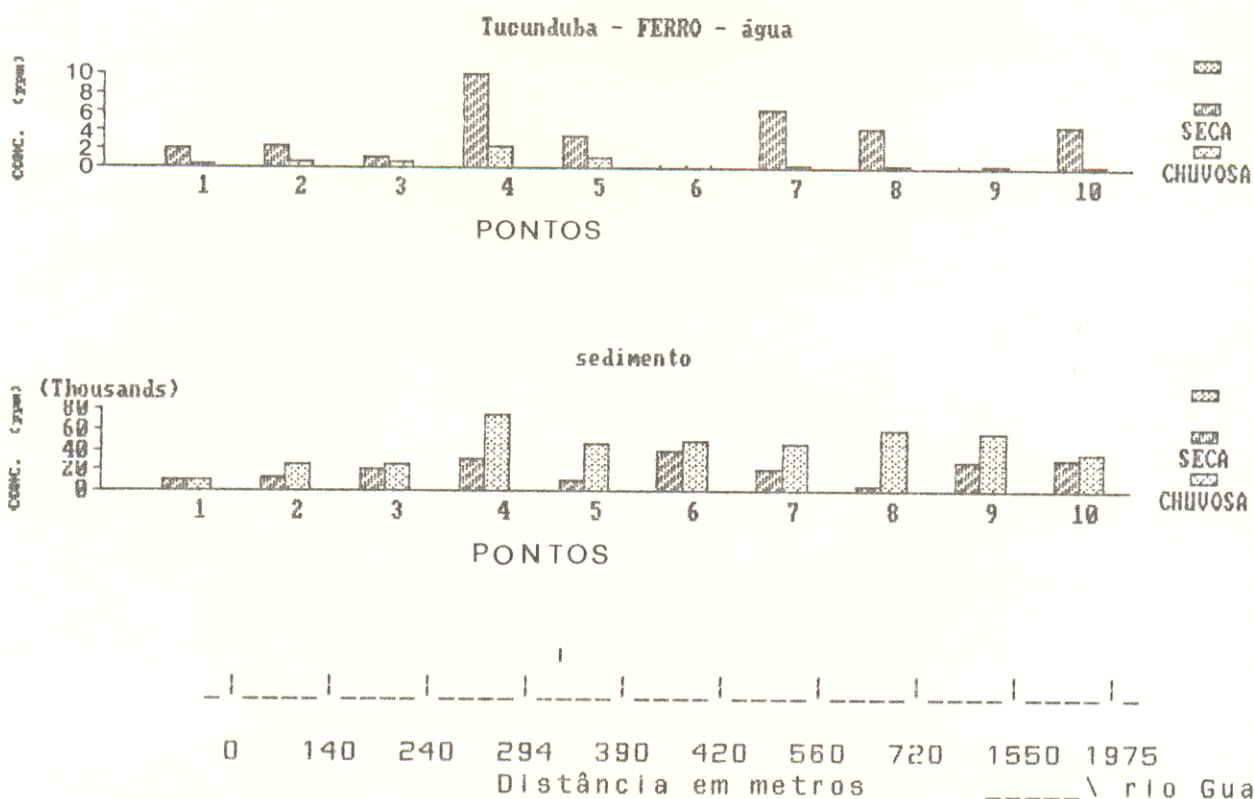


Figura 21 - Distribuição do ferro em amostras de água e sedimento no Igarapé Tucunduba nas estações seca e chuvosa.

Obs. Ponto 4: localização do Curtume "Santo Antônio"

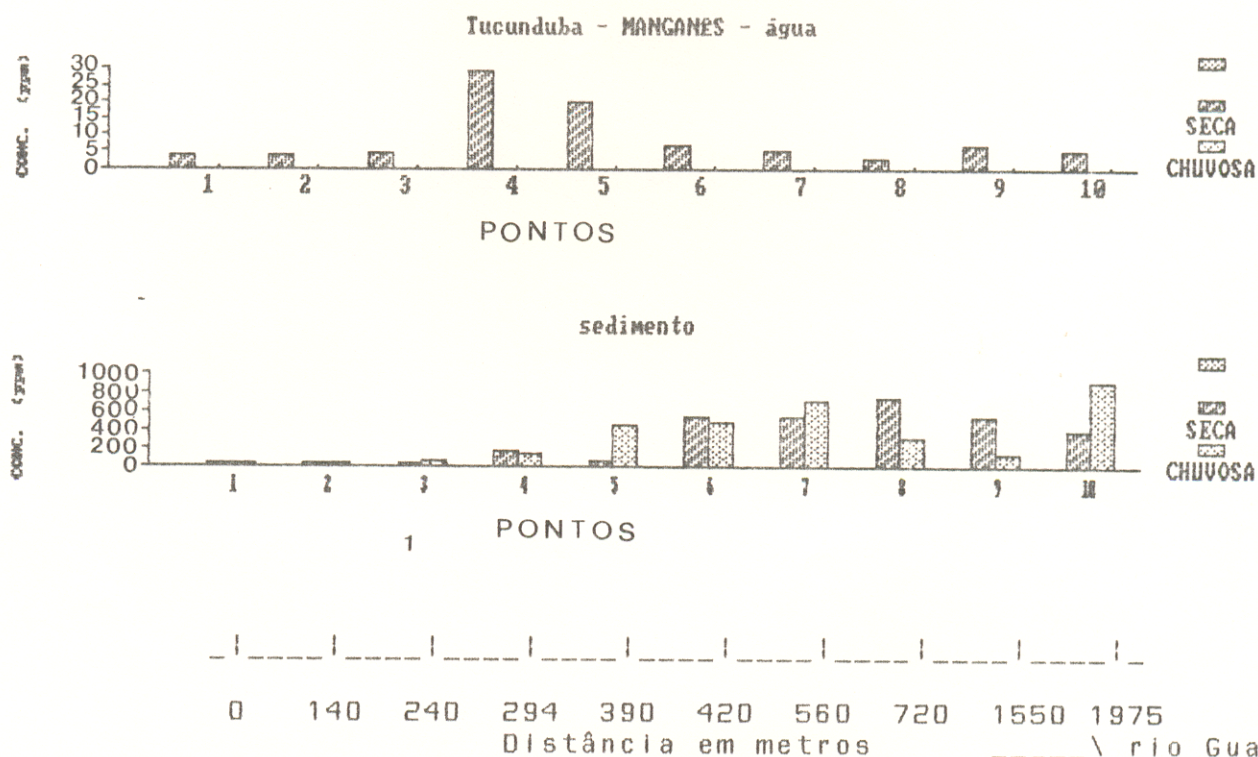


Figura 22 - Distribuição do manganês em amostras de água e sedimento no Igarapé Tucunduba nas estações seca e chuvosa.

Obs. Ponto 4: localização do Curtume "Santo António"

específicas de pH. Em soluções com pH acima de 4,8 é encontrado em maior quantidade nas formas de hidróxido e óxido, e também na forma do par iônico FeSO_4 (aq), quando a quantidade de sulfato na água é maior que 100 mg/l. O íon HFeO_2^- dificilmente será encontrado em sistemas naturais, pois sua ocorrência necessita de condições altamente redutoras ($\text{pH} > 11$).

No igarapé Tucunduba a contribuição do curtume, apesar de significativa, não é a maior fonte de ferro do igarapé. Supõe-se que este seja alimentado pela maré na estação seca e pelas águas de lixiviação do solo por ocasião das grandes chuvas. Isto pode inclusive responder pela grande quantidade de ferro encontrado no sedimento de fundo do igarapé no período chuvoso.

Apesar do pH estar levemente alcalino, a concentração de ferro na água do igarapé Tucunduba, no período seco, é dez vezes maior que no período chuvoso. Isto é decorrência da grande quantidade de material orgânico gorduroso que propicia a formação de complexos ferrosos, impedindo uma maior sedimentação (Fig. 21).

(f) Manganês

Os estudos de Morgan (1967) e Hem (1970) mostram, que a oxidação do Manganês metálico e precipitação da forma oxidada (MnO_2) cresce com o aumento do pH, e que a reação é mais rápida em superfície, chamado de "efeito catálise de superfície", ainda pouco conhecido e muito estudado. Nas condições neutras de

pH o manganês se apresenta na forma de íon Mn^{4+} dissolvido, mesmo em condições altamente oxidantes.

A concentração do manganês na água do igarapé Tucunduba, na estação seca, é cem vezes maior que na estação chuvosa, devido à contribuição industrial do efluente de lavagem do curtume, altamente reduzida na estação chuvosa (Fig.22).

No sedimento de fundo, a concentração do manganês na forma oxidada (MnO_2) é ligeiramente maior na estação seca, em consequência das condições levemente básicas da água do igarapé determinada pela solução de lavagem do efluente do curtume, ficando praticamente inalterado no sedimento de fundo na estação chuvosa.

(g) Cromo

Segundo Hem (1970), os íons Cr^{3+} e Cr^{6+} , são estáveis em soluções com pH no intervalo de 8,0 a 9,5 e um baixíssimo Eh. Com pH menor que 8,0 e maior que 7,0 o cromo se oxida formando o íon $CrOH_2^+$ e em pHs menores que sete o cromo permanece na forma de sulfato, cloreto e hidróxido complexado como: hidroxissulfato hidratado de cromo ($Cr(OH)SO_4 \cdot nH_2O$); cloreto de cromo hidratado ($CrCl_3 \cdot nH_2O$); cloreto de cromo anidro ($CrCl_3$). Os íons cromato (CrO_4^{2-}) e dicromato ($Cr_2O_7^{2-}$), em solução ácida, são reduzidos para Cr^{3+} , que automaticamente adquirem as formas complexadas (Hem, 1970). Sendo utilizados os sulfatos de sódio e potássio para este fim.

A distribuição homogênea do cromo no igarapé Tucunduba é explicada pela sua baixa mobilidade, motivo porque encontram-se, quase que totalmente, depositado nos sedimentos próximos à fonte do efluente. O transporte do cromo é realizado somente pelos movimentos de fluxo e refluxo das marés lançantes do rio Guamá (Fig.23).

A concentração de cromo na água do igarapé Tucunduba na estação seca é dez vezes maior que na estação chuvosa. Isto é decorrência da alta alcalinidade do efluente do curtume (pH de 11,8) liberado na estação seca (solução de lavagem), que apesar de estar menos concentrado (70,09ppm) mantém a água do igarapé levemente básica e o cromo existente na forma livre e ionizada de Cr^{3+} e CrOH_2^+ . Na estação chuvosa, com a diminuição do fluxo da solução de lavagem, a concentração na água do efluente aumentou para 130ppm, mas por apresentar um pH de 3,8 manteve a água do igarapé levemente ácida e o cromo na forma complexada.

(h) Zinco

A presença do zinco na água e sedimento do igarapé Tucunduba está diretamente correlacionada às condições de pH do efluente industrial.

A descarga diária da solução de cromatização é a principal fonte do metal, e a permanência deste na água varia diretamente com as condições de pH impostas ao meio, ou seja, na estação seca, com o pH levemente básico, o zinco permaneceu mais tempo em

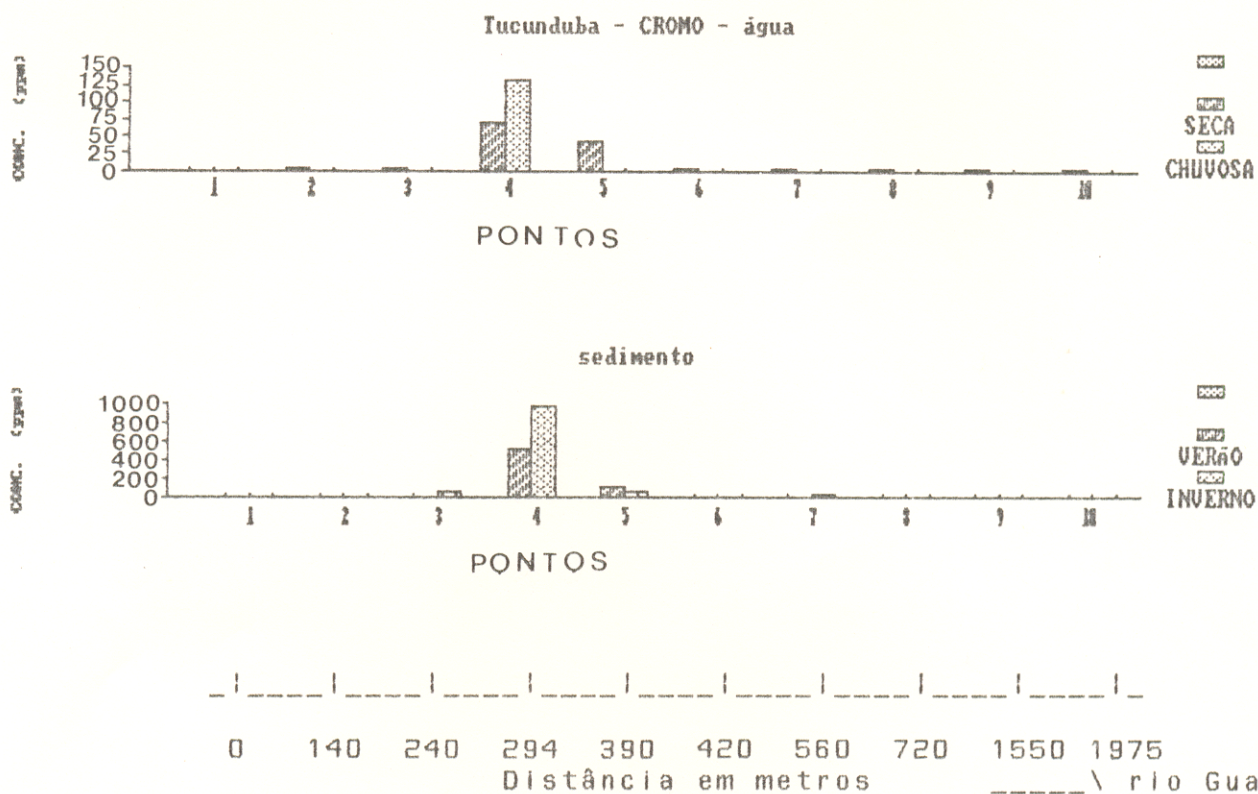


Figura 23 - Distribuição do cromo em amostras de água e sedimento no Igarapé Tucunduba nas estações seca e chuvosa.

Obs. Ponto 4: localização do Curtume "Santo António"

solução do que no período chuvoso, onde o pH era levemente ácido, propiciando uma maior deposição no sedimento de fundo (Fig.24).

Os dados e conclusões obtidas para o igarapé Tucunduba, vêm confirmar as considerações abordadas por Hem (1970) de que a concentração do zinco a um pH de 8,0 na presença do hidróxido de zinco (a 25°C) seria em torno de 650 µg/l, disse ainda, que as concentrações de zinco em um excesso de 1mg/l pode ser quimicamente estável para um pH neutro.

(i) Níquel

O níquel na forma elementar é branco-prateado, dificilmente se funde na natureza e é insolúvel na água. Porém os sais de níquel incluindo cloretos, sulfatos e nitratos são altamente solúveis na água.

Este pode entrar num ambiente aquoso através das descargas industriais, pois segundo Hem (1970) o níquel é fortemente adsorvido pelos óxidos e hidróxidos de ferro e manganês.

Em se tratando do igarapé Tucunduba os traços de níquel possuem uma forte tendência de estarem associados aos óxidos de ferro e manganês, provenientes diretamente da solução de lavagem do curtume.

Desta forma, sua presença e quantidade na água está

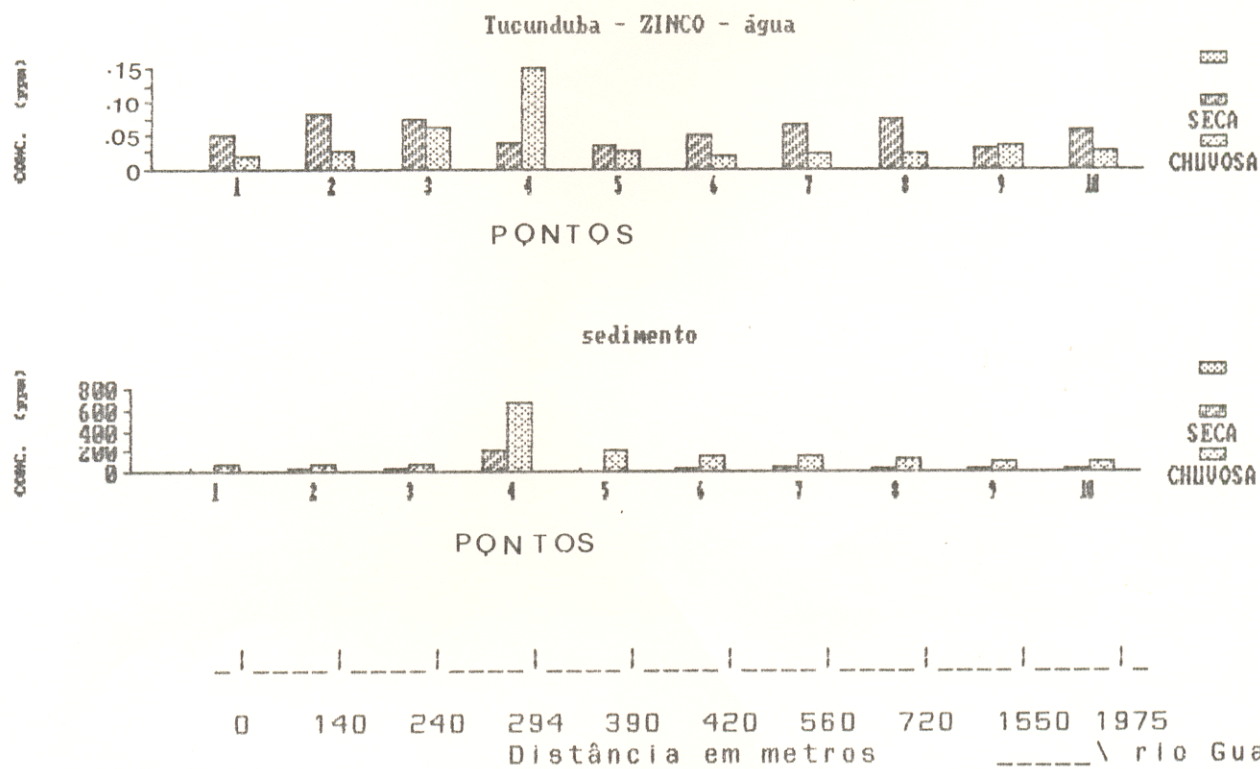


Figura 24 - Distribuição do zinco em amostras de água e sedimento no Igarapé Tucunduba nas estações seca e chuvosa.

Obs. Ponto 4: localização do Curtume "Santo Antônio"

diretamente ligada com a fluência da descarga desta solução, não apresentando concentrações apreciáveis na estação chuvosa, mostrado na figura 25.

A concentração no sedimento de fundo não variou, sazonalmente, mantendo-se em torno de 10 a 90ppm.

4.3.4.5.2 - Análise Geoquímica - Formação de compostos

As fortes correlações observadas entre as concentrações dos metais no igarapé Tucunduba sugerem a existência da predominância do fator fonte, o efluente industrial, sobre a físico-química do meio, muito embora não se deva perder de vista a contribuição da ação das marés, a erosão do solo pelas enchurradas por ocasião das chuvas -- contaminada ou não pelo lixo aterrado -- e os esgotos domésticos, citados anteriormente ainda neste capítulo.

(a) Água

Na análise dos dados obtidos nas tabelas 30 e 31, que correspondem às matrizes de correlações entre as concentrações de metais e semi-metais na água do igarapé Tucunduba, nas estações chuvosa e seca, chegou-se à conclusão de que as correlações positivas entre os íons como Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} e Fe^{2+} , entre si e com a concentração do íon cloreto não variaram significativamente de uma estação para a outra. Isto é consequência da pouca variação na salinidade do igarapé, que é compensada, na estação chuvosa através da descarga da solução de

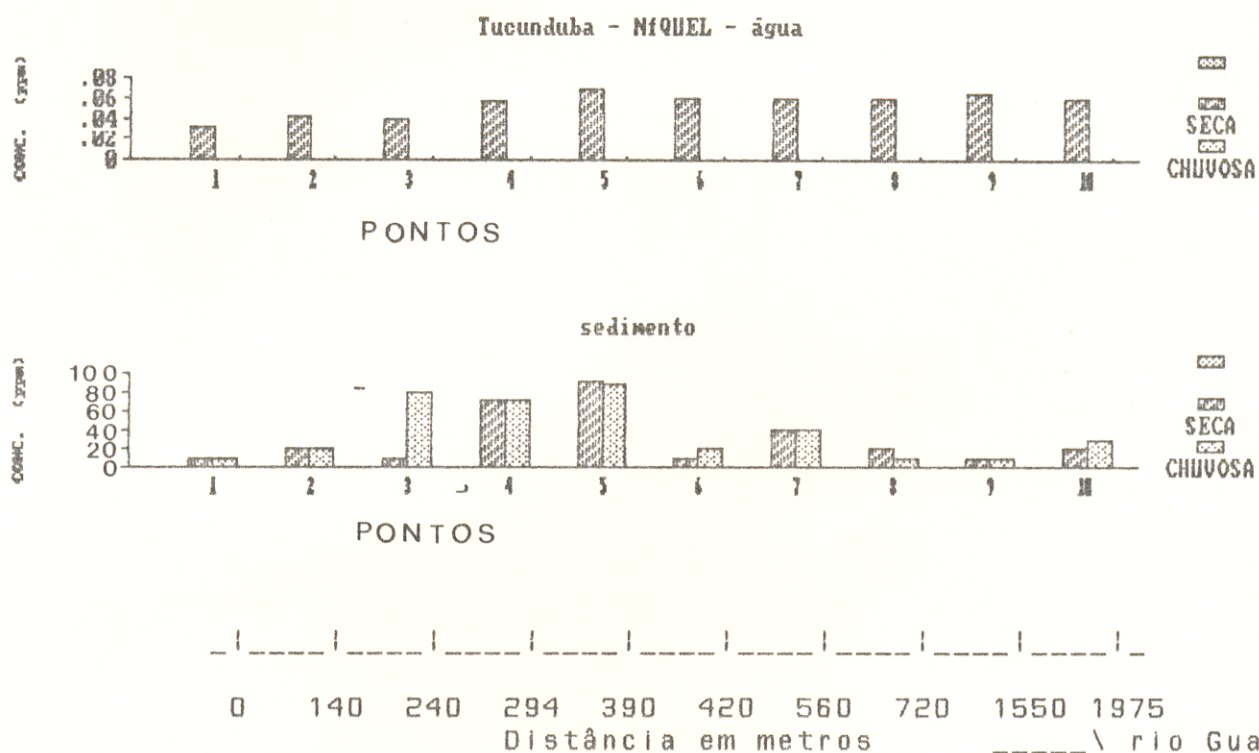


Figura 25 - Distribuição do níquel em amostras de água e sedimento no Igarapé Tucunduba nas estações seca e chuvosa.

Obs. Ponto 4: localização do Curtume "Santo António"

cromatização e lixiviação do solo provocada pela enchurrada erosiva.

O íon Na^+ na estação chuvosa se correlaciona positivamente com todos os íons citados acima exceto o íon K^+ . Porém, na estação seca denota um comportamento paradoxal correlacionando-se somente com o íon K^+ . Este fato pode estar relacionado com a grande mobilidade do íon Na^+ , na estação seca, envolvendo diversos fatores como: as ações mecânica e concentradora das marés salobras; as condições alcalinas de pH; a descarga das duas soluções do efluente, com uma grande quantidade de detergente industrial e a diminuição da descarga pluviométrica ocorrida na ocasião. Ocorre exatamente o inverso na estação chuvosa.

O íon cloreto também se correlaciona positivamente com os íons de Cr^{3+} , Zn^{2+} na água, por estar presente na forma de sais solúveis de sódio, potássio, níquel e manganês na solução de cromatização do efluente provenientes da matéria prima (couro salgado).

As correlações entre os metais traços Cr, Ni, Mn e Zn são fortes e não apresentaram uma variação sazonal marcante na água, exceto o níquel, por não se encontrar presente nesta na estação chuvosa.

A correlação positiva entre Zn e Ni, na estação seca, confirma a hipótese do níquel ser proveniente do efluente; e por apresentar uma fraca e positiva correlação com o ferro e o

manganês (0,49 e 0,44) respectivamente, pode indicar uma possível adsorção do níquel por estes óxidos.

As correlações positivas do zinco e do cromo com os íons X (Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , e Mg^{2+}) na água, são mais intensas na estação seca, sendo as correlações Cr e X mais forte que as correlações Zn e X. Na estação chuvosa os íons de cromo e zinco não se relacionam com o íon potássio, por estar em quantidades bem reduzidas na água neste período (Tab.30 e 31).

(b) Sedimento de fundo (total e adsorvido) e em suspensão

No sedimento de fundo, percebe-se algumas correlações entre os íons Ca^{2+} , Na^+ , K^+ e Mg^{2+} na estação seca em consequência da intensa reação de adsorção por parte dos argilo minerais, e também por estarem em quantidades excessivas no meio, apesar da ação erosiva da maré no leito do igarapé (Tab.32 e 33).

Na estação seca são encontradas também correlações fortes e positivas entre "Cr e Zn" e "Cr e Ni". O níquel, sendo menos solúvel em soluções básicas, deposita-se com mais frequência no sedimento de fundo ou são facilmente adsorvidos pelo sedimento em suspensão. Na estação chuvosa aparece uma correlação negativa Cr e Ni, no sedimento em suspensão e desaparece no sedimento de fundo. O níquel presente em solução neste período é imediatamente adsorvido pelo óxido de ferro. Isto é evidenciado pela forte correlação "Fe e Ni" no sedimento em suspensão (Tab.34).

Tabela 30 - Matriz das correlações entre as concentrações iônicas na água do Igarapé Tucunduba na estação seca.

V.C. = 0.5524

	Ca	Na	K	Mg	Fe	Cr	Zn	Ni	Mn	Cl	P ₂ O ₄	SO ₄ ²⁻
Ca	1.00											
Na	-	1.00										
K	0.82	0.70	1.00									
Mg	0.84	-	0.95	1.00								
Fe	0.65	-	-	0.62	1.00							
Cr	0.67	0.87	0.95	0.85	-	1.00						
Zn	0.64	0.55	0.64	0.60	0.62	0.70	1.00					
Ni	-	-	-	-	-	-	0.80	1.00				
Mn	0.84	-	0.95	1.00	0.62	0.86	0.60	-	1.00			
Cl	0.57	0.63	0.80	0.82	-	0.83	0.70	0.58	0.82	1.00		
P ₂ O ₄	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	
SO ₄ ²⁻	-	0.99	0.62	-	-	0.81	-	-	-	-	-	1.00

Tabela 31 - Matriz das correlações entre as concentrações iônicas na água do Igarapé Tucunduba na estação da chuvosa.

V.C. = 0.5524

	Ca	Na	K	Mg	Fe	Cr	Zn	Ni	Mn	Cl	PO ₄	SO ₄ ²⁻
Ca	1.00											
Na	0.74	1.00										
K	0.81	-	1.00									
Mg	0.98	0.68	0.83	1.00								
Fe	0.69	0.92	-	0.62	1.00							
Cr	0.68	0.99	-	0.63	0.90	1.00						
Zn	0.57	0.90	-	0.50	0.88	0.92	1.00					
Ni	-	-	-	-	-	-	-	1.00				
Mn	-	0.62	-	-	0.61	0.65	0.68	-	1.00			
Cl	0.71	0.99	-	0.65	0.91	0.99	0.92	-	0.64	1.00		
PO ₄	-	-	0.49	-	-	-	-	-	-	-	1.00	
SO ₄ ²⁻	0.73	0.99	-	0.67	0.89	0.99	0.91	-	0.64	0.99	-	1.00

Tabela 32 - Matriz das correlações entre as concentrações iônicas no sedimento de fundo do igarapé Tucunduba na estação seca

V.C. = 0.5524

	Ca	Na	K	Mg	Fe	Cr	Zn	Mn	Ni	P ₂ O ₄
Ca	1.00									
Na	0.71	1.00								
K	0.96	0.72	1.00							
Mg	0.84	0.64	0.87	1.00						
Fe	0.52	-	-	0.52	1.00					
Cr	-	-	-	-	-	1.00				
Zn	-	-	-	-	-	0.95	1.00			
Mn	-	-	-	0.56	-	-	-	1.00		
Ni	-	-	-	-	-	0.65	-	-	1.00	
P ₂ O ₄	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00

Tabela 33 - Matriz das correlações entre as concentrações iônicas no sedimento de fundo do igarapé Tucunduba na estação chuvosa.

V.C. = 0.44218

	Ca	Na	K	Mg	Fe	Cr	Zn	Mn	P ₂ O ₄
Ca	1.00								
Na	-	1.00							
K	-	-	1.00						
Mg	-	-	0.67	1.00					
Fe	-	-	0.52	-	1.00				
Cr	0.82	-	-	-	0.54	1.00			
Zn	0.73	-	-	-	0.69	0.96	1.00		
Mn	-	-	0.61	0.81	-	-	-	1.00	
P ₂ O ₄	-	-	-0.73	-0.68	-0.61	-	-	-0.61	1.00

Tabela 34 - Matriz das correlações entre as concentrações iônicas adsorvidas no sedimento em suspensão do igarapé Tucunduba na estação chuvosa.

V.C. = 0.44218

	Ca	Na	K	Mg	Fe	Cr	Zn	Ni	Mn
Ca	1.00								
Na	-	1.00							
K	0.74	-	1.00						
Mg	-	-0.49	0.59	1.00					
Fe	0.49	-	-	-	1.00				
Cr	-0.60	0.51	-	-	-0.51	1.00			
Zn	-0.57	0.49	-	-	-0.51	0.99	1.00		
Ni	-	-	-	-	0.94	-0.54	-0.53	1.00	
Mn	0.60	-0.47	0.49	0.57	0.52	-0.49	0.46	0.45	1.00

Tabela 35 - Matriz das correlações entre as concentrações iônicas adsorvidas no sedimento de fundo do igarapé Tucunduba na estação chuvosa.

V.C. = 0.44218

	Ca	Na	K	Mg	Fe	Cr	Zn	Mn	Fe ₂ O ₄
Ca	1.00								
Na	-0.56	1.00							
K	-0.56	0.62	1.00						
Mg	-	-	0.69	1.00					
Fe	-	-	-	0.69	1.00				
Cr	0.93	-0.68	-0.45	-	0.56	1.00			
Zn	0.89	-0.59	-	-	0.66	0.96	1.00		
Mn	-	-	0.62	0.76	-	-	-	1.00	
Fe ₂ O ₄	-	-	-0.71	-0.86	-0.58	-	-	-0.61	1.00

A matriz de correlação das concentrações adsorvidas do sedimento de fundo, na estação chuvosa, mostra que há uma troca de posição dos íons Na^+ e K^+ com os íons Ca^{2+} , Cr^{3+} e Zn^{2+} , no sedimento de fundo, delineada em função das correlações negativas existentes entre eles (Tab.35).

O íon fosfato apresenta-se em concentrações muito reduzidas no igarapé, porque é proveniente dos produtos de limpeza e das excreções humanas, não apresentando nenhuma correlação significativa.

4.3.4.5.3 - Mobilização dos metais cromo, zinco e manganês no sedimento de fundo do igarapé Tucunduba.

Se compararmos as quantidades de cromo, zinco e manganês da tabela 27 (concentração total no sedimento de fundo) com as tabelas 28 (concentração adsorvida no sedimento de fundo) e 29 (concentração adsorvida no sedimento em suspensão), concluiremos que estes metais foram intensamente depositados no sedimento de fundo do igarapé Tucunduba na estação chuvosa, permanecendo quase que totalmente adsorvido no material argiloso e na matéria orgânica. Este comportamento foi observado com mais detalhe usando-se o sedimento de fundo como parâmetro (Tab.36).

Na figura 26 (destacando-se em negrito, os pontos de maior concentração destes elementos) percebe-se uma pequena variação na direção entre o sedimento total e o adsorvido. O comportamento é esperado pela diferença da capacidade de adsorção e troca iônica

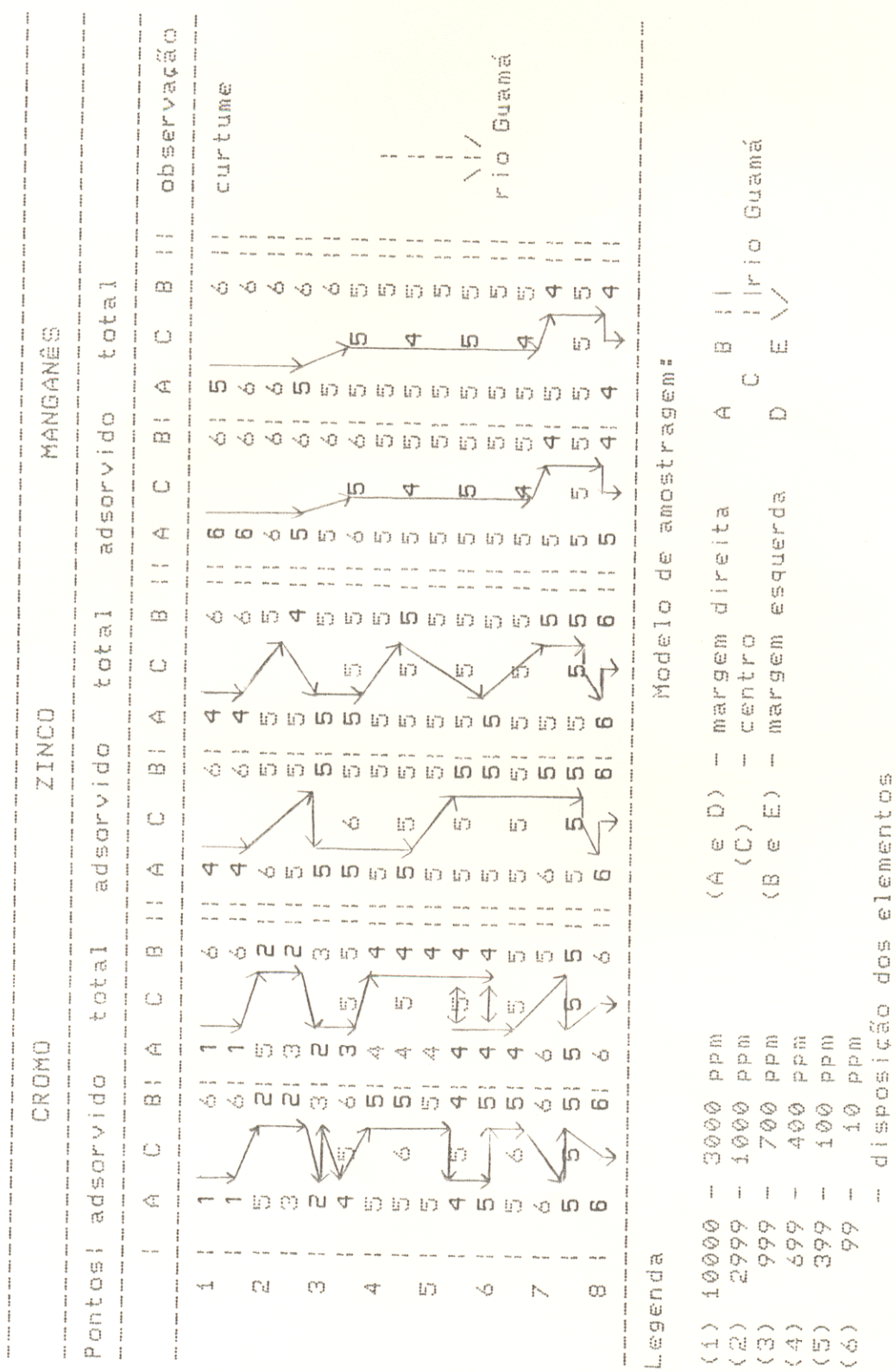


Figura 26 - Mobilidade dos metais Cr, Zn e Mn nos sedimentos de fundo do igarapé Tucunduba

Tabela 36 - Concen
de fundo do igarap

		Zn	
Amostrai		ads.to	
Tuc 1			
A		625	67
B		53	4
C		nd	
D		425	43
E		70	6
MÉDIA			
			293
DES.PADRÃO			
			280
Tuc 2			
A		80	1
B		258	
C		nd	
D		247	2
E		313	4
MÉDIA			
			224
DES.PADRÃO			
			100
Tuc 3			
A		266	3
B		200	2
C		90	1
D		145	2
E		85	1
MÉDIA			
			157
DES.PADRÃO			
			77
Tuc 4			
A		111	2
B		146	3
C		108	1
D		215	1
E		129	2
MÉDIA			
			142
DES.PADRAO			
			44

do material argiloso e da quantidade de material orgânico dos sedimentos.

O cromo pelo fato de formar complexo insolúveis, em baixo pH, possui muito pouca mobilidade, ficando depositado em maior número próximo à fonte de efluente, sendo transportado através do movimento de fluxo e refluxo da maré e do aumento gradativo do pH, ficando homogeneamente distribuído ao longo do igarapé nos pontos de inversão da correnteza.

O zinco apresenta uma distribuição parecida com a do cromo, e por ser mais móvel permanece mais tempo na água, apresentando um leve aumento na concentração próximo à fonte do efluente e mantendo-se praticamente estável no sedimento ao longo do igarapé.

O manganês encontrado na água do igarapé na estação chuvosa é originado da reação de oxidação deste no sedimento de fundo, que o libera na forma solúvel de Mn^{4+} . A medida que o pH da água do igarapé aumenta, diminui a intensidade da reação de oxidação. Por isso o manganês apresenta uma concentração menor no sedimento de fundo nas imediações do curtume aumentando gradativamente ao longo do igarapé.

5 - CONCLUSÕES

Da análise dos dados e informações oriundas deste estudo, nos foi possível obter as seguintes conclusões:

(a) os metais Ca, Na, K, Mg, Fe, Zn, Mn, Ni, Cr e Cu foram encontrados nas vias de drenagens de Belém em concentrações detectáveis pela metodologia empregada neste estudo, enquanto o Pb e o Cd não;

(b) todas as vias de drenagem são influenciadas igualmente pelas marés salobras e não salobras e diferenciadamente pelos efluentes de esgoto doméstico. Elas apresentam quantidades elevadas de sais solúveis de cálcio, sódio, potássio, magnésio, ferro e zinco -- principalmente cloretos na estação seca -- e sais de sulfato e fosfato, originados dos sabões e detergentes, além da ocorrência ocasional de alguns metais como Cu, Cr e Hg;

(c) a regularidade na distribuição relativa dos cátions $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$ indica que as vias de drenagem de Belém têm um poluente comum -- o efluente de esgoto doméstico -- responsável pelo surgimento dos ânions fosfato e sulfato, provenientes de excrementos humanos e de agentes reforçadores e surfactantes dos sabões e detergentes sintéticos;

(d) a temperatura das águas das vias de drenagem apresenta um leve aumento na estação seca de $5,8^\circ\text{C}$ em relação à estação chuvosa, mas é sempre menor que a temperatura do ar;

(e) o canal Bernardo Saião sofre a influência indireta da descarga do efluente da indústria siderúrgica "COPALA" por intermédio das marés do rio Guamá, razão porque apresenta quantidades anômalas de óxido e hidróxido de ferro na água -- para os valores de pH encontrados -- e no sedimento. Isto pode, em menor escala, ocorrer no igarapé Tucunduba na ocasião da enchente da maré. Também recebe diretamente a descarga de óleo usado proveniente da oficina mecânica da empresa de Ônibus "CREMAÇÃO";

(f) neste estudo foi constatada a ocorrência de duas fontes de poluição: uma de cromo no igarapé Tucunduba, o Curtume "Santo Antônio", principal responsável pela variação nas condições físico-químicas do meio, pois lança na água e sedimento do igarapé grandes quantidades de metais na forma de cloretos e sulfatos, óxidos e hidróxidos, tanto na estação seca como chuvosa e outra de mercúrio no canal do Reduto, as Clínicas odontológicas, ainda que relativamente poluído quando se considera a tabela 10;

(g) a alta correlação positiva da concentração dos íons Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} e Na^{+} e a condutividade deve-se à influência das marés salinas provenientes do rio Guamá e dos efluentes de esgoto doméstico. Em alguns pontos, apesar da concentração elevada de íons Ca^{2+} e Na^{+} , a condutividade é baixa. Isto deve-se explicar pela não dissociação de compostos de Na e Ca que vem complexados dos sabões e detergentes e também pela ação de adsorção da matéria orgânica. No canal Quintino Bociúva observou-se que

somente o íon magnésio determina os valores de condutividade da água, já que os elementos Na e Ca, ocorrentes em concentrações maiores, estão complexados a fosfato e sulfato respectivamente. Os canais do Reduto, Almirante Tamandaré e das Armas, apresentam uma condutividade variando regularmente com o aumento das concentrações dos cátions Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} e Fe^{2+} provenientes das marés da baía do Guajará. Os valores de condutividade na água do canal do Una são determinados pelo crescimento das concentrações dos íons Ca^{2+} , K^+ e SO_4^{2-} , provocada pelo estreitamento do canal com a ocupação populacional;

(h) das vias de drenagem em estudo, somente o igarapé Tucunduba apresenta uma variação sazonal quanto aos valores dos parâmetros físico-químicos da água como: a condutividade, salinidade e pH. Na estação seca, os valores de condutividade são determinados principalmente pelas marés salobras do rio Guamá e pelas duas soluções do efluente do curtume, além dos efluentes de esgoto doméstico. Na estação chuvosa a condutividade é determinada principalmente pela solução de cromatização do efluente do curtume além das enchurradas erosivas do solo. A salinidade, na estação seca, é determinada pelas marés salobras vindas do rio Guamá e pelas duas soluções do efluente do curtume e na estação chuvosa somente pela solução de cromatização do efluente. A variação sazonal do pH na água do igarapé Tucunduba é em função da alcalinidade do efluente na estação seca -- solução de lavagem em excesso -- e da acidez na estação chuvosa, solução de cromatização em excesso;

(i) o canal Bernardo Saião tem três diferentes fontes de elementos metálicos que são: as marés salobras provenientes do rio Guamá com os metais Ca, Na, K, Mg, Fe, Zn e Cr, a descarga do afluyente do canal Quintino Bocaiúva com o metal Cu e os efluentes do esgoto doméstico com os metais Na e K e os semi-metais P e S. O ferro apresenta-se com concentrações elevadas tanto na água como no sedimento -- independente dos valores de pH -- devido sua origem antropogênica. O cromo, proveniente do igarapé Tucunduba através das marés do rio Guamá, encontra-se totalmente depositado no sedimento de fundo do canal. O cobre apresenta um comportamento inerte no canal Bernardo Saião, tendo sido carregado dinamicamente pela maré, pois se encontra quase que totalmente depositado no sedimento de fundo;

(j) o canal Quintino Bocaiúva apresenta duas fontes de elementos metálicos que são: as marés do rio Guamá com os metais Ca, Mg, Na, K, Fe e Zn e os efluentes do esgoto doméstico com os metais Na, K e Cu e semi-metais P e S. O ferro permanece quase que totalmente depositado no sedimento de fundo, devido as condições de neutralidade da água e o excesso de matéria orgânica do canal. O zinco, por ser estável em ambientes redutores, possui uma maior estabilidade permanecendo na água por mais tempo. O cobre encontra-se, na sua maioria, depositado no sedimento de fundo, por ser mais estável em ambientes oxidantes;

(k) os canais Reduto, Almirante Tamandaré e das Armas são geoquimicamente idênticos, cimentados, situam-se próximos uns dos outros em áreas comerciais e apresentam as mesmas fontes

metálicas: as marés da baía do Guajará com os metais Ca, Mg, Na, K, Fe e Zn e os efluentes do esgoto doméstico com os metais Na e K e o semi-metal P. No canal do Reduto aparece ocasionalmente os metais Cu procedente do efluente doméstico e Hg procedente de clínicas odontológicas.

(l) o canal do Una apresenta duas fontes de elementos metálicos que são as marés da baía do Guajará com os metais Ca, Mg, Na, K, Fe e Zn e os efluentes do esgoto doméstico com os metais Na, K e semi-metais P e S. O ferro encontra-se supostamente depositado no sedimento de fundo do canal, devido as condições de neutralidade da água. O surgimento das fortes correlações entre as concentrações de Na^+ , K^+ e SO_4^{2-} sugerem a existência de sabões caseiros à base de sais de diversos ácidos graxos;

(m) o conteúdo de metais e semi- metais do igarapé Tucunduba, assim como seus parâmetros físico-químicos, variam sazonalmente como resposta às diferentes influências produzidas pelas quatro fontes seguintes das suas águas:

- as marés salobras provenientes do rio Guamá são mais intensas na estação seca contribuindo com os metais Ca, Na, K, Mg, Fe e Zn;
- o efluente de esgoto doméstico contribui com os metais Na e K e os semi-metais P e S;
- as enchurradas erosivas que varrem grandes extensões do solo são mais intensas na estação chuvosa e contribuem com os metais Ca, Na, K, Mg e Fe;

- as duas soluções do efluente do curtume: a solução de lavagem, mais intensa na estação seca do que na chuvosa, contribui diariamente com os metais Na, Ca, K, Mg, Fe, Mn e Ni; a solução de cromatização, contribui diariamente, com os metais Cr e Zn;

(n) as concentrações de Na e Ca na água e sedimento do igarapé Tucunduba são provenientes, principalmente, da solução de lavagem do efluente do curtume na estação seca e das marés salobras na estação chuvosa. As concentrações de Fe, K e Mg são provenientes, em maior quantidade, das marés salobras na estação seca e das enchurradas erosivas do solo na estação chuvosa. A pequena concentração de Mn na água do igarapé é proveniente da solução de lavagem do efluente do curtume na estação seca e da ação da erosão do leito do canal provocada pela maré salobra do rio Guamá;

(o) as concentrações de sódio, na água do igarapé Tucunduba, correlacionam-se com as concentrações dos metais Ca, Mg e Fe na estação seca. Na estação chuvosa, ao contrário, correlaciona-se somente com o K. Este fato e o comportamento inverso das concentrações de sódio na relação água/sedimento do igarapé, tanto na estação seca como chuvosa, estão relacionados com a capacidade de mobilização deste elemento;

(p) a concentração de ferro, na água do igarapé Tucunduba, é maior na estação seca que na chuvosa -- apesar do pH levemente alcalino -- em função da complexação deste com o material

gorduroso da solução de lavagem do efluente do curtume mantendo-o em suspensão;

(q) o cromo se distribui homogeneamente no igarapé Tucunduba devido a sua baixa capacidade de mobilização, por este motivo, encontra-se quase todo depositado na forma complexada de sais de sulfato e cloreto próximo a fonte do efluente (curtume), sendo transportado pelos movimentos de fluxo e refluxo da maré;

(r) a permanência do zinco, na água do igarapé Tucunduba, foi maior na estação seca do que na chuvosa, devido as condições de pH impostas ao meio por intermédio das duas soluções do efluente do curtume.

BIBLIOGRAFIA

- ACKERMANN, F.L. - 1969 - Esboço para geologia da cidade de Belém - rio Gurupi e Atlântico - rio Guamá. Belém, Imprensa Universitária, 79p.
- ARANTES, J.L.G.; DAMASCENO, B.C.; KREBS, A.S. - 1972 - Projeto Argila Belém. Belém, CPRM/DNPM, 39p. (Relatório).
- BAISCH, P.R.M.; JOUNNEAU, J.M.; ASMUS, H. E. - 1989 - Chemical Composition of Sediments from the Patos Lagoon, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUIMICA, 2, Rio de Janeiro, 1989. Anais... Rio de Janeiro, SPGQ. p. 11 - 20.
- BARBOSA, G.V.; RENNO, C.V. e FRANCO, E.M.S. - 1974 - Geomorfologia da Folha SA. 22 - Belém. In: Brasil/MME, Projeto RADAM, Rio de Janeiro, DNPM. v. 5, p. II/3 - II/135.
- BOWEN, H.J.M. - 1979 - Environmental Chemistry of the Elements. New York, Academic Press, 333 p.
- BRABO, E.S. - 1989 - Estudo da Distribuição dos elementos Fósforo e Cromo em Drenagens selecionadas de Belém. Belém, CG/UFPa. 46p. (Trabalho de Conclusão de Curso).
- BRADLEY, D.J. - 1980a - The Health Implications of Irrigation Schemes and Man-made Lakes in Tropical Environments. In: FEACHEM, R., GARRY, M. G., and MARA D., eds. Water, Wastes

and Health in Hot Climates. Chichester, John Wiley & Sons.
p. 18-29.

BRADLEY, D.J. - 1980b - Health Aspects of Water Supplies in
Countries Tropical. In: FEACHEM, R., GARRY, M.G., and MARA D.
eds. Water, Wastes and Health in Hot Climates. Chichester,
John Wiley & Sons, p. 18-29.

BRANDÃO A.M.P.M. e GAVINO, I.- 1981 - Clima. In: Programa
Grande Carajás. Rio de Janeiro, Conselho Interministerial do
Programa Grande Carajás. n.p.

BRASIL. Ministério do Interior - 1979 - Proposições para inter-
venção governamental na recuperação das baixadas da bacia
Una - Promorar. Belém, p. 13 - 16.

BRAZ, V.M.N. - 1985 - Estudo da qualidade da água de abasteci-
mento da zona urbana de Belém (PA). Aplicação à problemática
existente no Bairro do Jurunas. Belém, 167p. (Tese de Mestra-
do. CG/UFPa).

CETESB - 1978 - Saneamento Ambiental, Análise Físico-química
das águas. Normatização Técnica NT - 07, São Paulo. 400 p.

CHARONE, N. - 1989 - O plano que enxuga Belém. "O Liberal",
Belém, 24 de setembro, caderno 1, página 8.

- CODEM - 1975 - Plano de Desenvolvimento da Grande Belém; metodologia, estudos básicos, prognósticos, desenvolvimento e sistemas. Belém, v.1, tomos 1 e 2.
- COSTA, M.Q. - 1988 - Otimização de uma montagem simples para determinação de mercúrio por absorção atômica com a técnica do vapor frio. In: ENCONTRO DE PROFISSIONAIS DE QUIMICA DA AMAZONIA, 6, Manaus, 1988. Anais... Manaus. p. 15-25.
- COSTA, M.Q. e COQUEIRO, P.E.V. - 1988 - Avaliação de um método de decomposição química para determinação de mercúrio por absorção atômica sem chama. I- amostras de sedimentos. In: ENCONTRO DE PROFISSIONAIS DE QUIMICA DA AMAZONIA, 6, Manaus, 1988. Anais...Manaus. p. 9 - 14.
- CRAIG, P.J. - 1986 - Chemical Species in Industrial Discharges and Effluents. In: BERNHARD, M.; BRINCKMAN, F.E., and SADLER, F.J. eds. The Importance of Chemical "Speciation" in Environmental Processes. Berlin, Springer-Verlag. p. 443-464.
- CUSTÓDIO, E.; LLAMAS, M. - 1976 - Hidrologia Subterrânea. Barcelona, Omega, v.1.
- EVISON, L.M.; JAMES, A. - 1980 - Microbiological criterio for tropical water quality. In: RICHARD, F.; MICHAEL, M.G., and DUCAN, M. eds. Water, Wastes and Health in Hot Climates. Chichester, John Wiley & Sons. p.30-49.

- FENZL, N. - 1988 - Introdução a Hidroquímica. Belém, Imprensa Universitária, 189p.
- FERNANDES, H.M.; AZEVEDDO, H.L.P. e NETO, B.C.C. - 1987 - Investigação da Poluição do Arroio Pavuna, Rio de Janeiro, por metais pesados, através do uso do sedimento como parâmetro geoquímico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 1, Porto Alegre, 1987. Anais... Porto Alegre, v. 2. p. 171-183.
- FORSTNER, U. - 1986 - Chemical Forms and Environmental Effects of Critical Elements in Solid-Waste Materials: Combustion Residues. In: BERNHARD, M.; BRINCKMAN, F.E., and SADLER, P. J. eds. The Importance of Chemical "Speciation" in Environmental Processes. Berlin, Springer-Verlag. p.465-491.
- FORSTNER, U. and WITTIMANN, G.T.W. - 1983 - Metal Pollution in the Aquatic Environment, 2nd ed. New York, Springer-Verlag, 450 p.
- GARRELS, R.M. and CHRIST, C.L. - 1964 - Solutions, Minerals, and Equilibria. 1st ed. New York, Harper & Row, 450 p.
- GOLWER, A. - 1973 - Biochemical process under anaerobic and aerobic conditions in groundwater contaminated by solid waste. Hydrogeochemistry and Biochemistry. Washington D.C., Clarke, V.2.

- HATTINGH, W.H.J. - 1977 - Reclaimed Water: a health hazard? Water S.A. 3: 104-112.
- HEM, J.D. - 1970 - Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. 2th ed. Washington D.C., U. S. Government Printing Office, 1473p.
- IDESP - 1979 - Projeto: Reconhecimento dos Recursos Naturais da Região Metropolitana de Belém. Belém, B1p.
- KATZER, F. - 1933 - Geologia do Estado do Pará. (Brasil). Bol. Mus. Par. Hist. Nat. Ethnogr, Belém. vol. 9, p. 1-270.
- LECKIE, J.O. - 1986 - Adsorption and Transformation of Trace Element Species at Sediment/Water Interfaces. In: BERNHARD, M.; BRINCKMAN, F.E., and SADLER, P.J. eds. The Importance of Chemical "Speciation" in Environmental Processes. Berlim, Springer-Verlag. p. 237-254.
- LIMA, W.N.; PEREIRA, S.F.P. e KOBAYASHI, C.N. - 1988 -Abordagem Preliminar sobre a Utilização de Sensores Bioquímicos na Avaliação da Poluição Hídrica (Bacias de Drenagem de Belém. PA). In: ENCONTRO DE PROFISSIONAIS DE QUÍMICA DA AMAZÔNIA.6, Manaus, 1988. Anais... Manaus. p. 208-225.
- MACHADO, I.H. - 1986 - Análise batimétrica do rio Guamá nas imediações do campus universitário. Belém (PA). Belém, CG/UFPa. 13 p. (Trabalho de Conclusão de Curso).

- MENEZES, L.B.C. - 1985 - Estudo das águas destinadas ao consumo da população das baixadas de Belém - PA (Bairro da Sacramento). Avaliação da qualidade sob os aspectos físico-químico, bioquímico e bacteriológico. Belém, 142 p. (Tese de Mestrado CG/UFPa).
- MORAN, J.M.; MORGAN, M.D.; WIERSMA, J.H. - 1980 - Introduction to Environmental Science. San Francisco, W.H. Freeman, 658p.
- MOREIRA, E. - 1966 - Belém e sua expressão geográfica. Belém, Imprensa Universitária, 212p.
- MORGAN, J.J.- 1967 - Chemical equilibria and kinetic properties of manganese in natural water. In: FAUST, S.J., and HUNTER, J.V., eds. Principles and Applications of Water Chemistry. New York, Springer-Verlag. p.270-285.
- NEVES, C.C.; LUCENA, F.N. e SCHWARZ, C.O.- 1981 - Vegetação. In: Programa Grande Carajás. Rio de Janeiro, Conselho Interministerial do Programa Grande Carajás. n.p.
- NEVES, C.C. e RAMALHO, F. A. - 1981 - Solo. In: Programa Grande Carajás. Rio de Janeiro, Conselho Interministerial do Programa Grande Carajás. n.p.
- OLIVEIRA, I. e LEONARDO, O.H. - 1943 - Geologia do Brasil. 2ª ed. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura/Serviço de informação agrícola, 210 p.

- OLSON, G.J. Microbial Intervention in Trace Element-containing Industrial Process Streams and Waste Products. In: BERNHARD, M.; BRINCKMAN, F.E., and SADLER, P.J. eds. The Importance of Chemical "Speciation" in Environmental Processes. Berlin, Springer-Verlag. p. 493-512.
- PENTEADO, A.R. - 1967 - Geografia urbana de Belém. Belém, Imprensa Universitária, 2v.
- PENTEADO, A.R. - 1968 - Belém do Pará, Estudo da Geografia Urbana. São Paulo, 183 p. (Tese de Livre Docência da USP) (Col. Amazônica. Série José Veríssimo, v.1).
- PINHEIRO, R.V.L. - 1987 - Estudo Hidrodinâmico e Sedimentológico do Estuário Guajará - Belém (PA). Belém, 164p. (Tese de Mestrado CG/UFPa).
- PURVES, D. - 1985 - Trace - Element Contamination of the environment. Amsterdam, Elsevier, 120 p.
- RAMALHO, R. - 1981 - Geomorfologia. In: Programa Grande Carajás. Rio de Janeiro, Conselho Interministerial do Programa Grande Carajás. n.p.
- RIBEIRO, R.F. - 1979 - Um estudo sobre metais pesados no sedimentos recentes da baía de Aratu (BA). Salvador, 150 p. (Tese de Mestrado UFBa).

- RODIER, J. - 1981 - Analisis de las aguas. Barcelona, Omega, 105p.
- SANTOS, A. - 1986 - As águas da região do Carajás. In: ALMEIDA, J.M.G.J. ed. Carajás Desafio Político, Ecologia e Desenvolvimento, Rio de Janeiro, Brasiliense/CNPq. p. 156-183.
- SCHOBENHAUS, C.; BRANCO, P.C.A. - 1981 - Geologia e recursos naturais. In: Programa Grande Carajás. Rio de Janeiro, Conselho Interministerial do Programa Grande Carajás. n.p.
- SCHOTTLE, V. - 1975 - Das Verhalten von Schwermetallen bei der Langsandsandfiltration. Z. Dtsch. Geol. Ges. 126: 373-384.
- SHREVE, R.N. e BRINK, J.A.J. - 1977 - Indústrias de Processos Químicos. 4 ed. Rio de Janeiro, Guanabara Dois, 717p.
- SIOLI, H. - 1968 - Principal Biotypes of Primary Production in the Waters of Amazonia. Recent Adv. Trop. Ecol. the Inst. Soc. for Prop. Ecology. p. 591-600.
- SOARES, L. de C. - 1977 - Geografia do Brasil, Região Norte. Rio de Janeiro., IBGE, v.1.
- SOMBROECK, W.G. - 1966 - Amazon Soils. A Reconnaissance of the Soils of the Brazilian Amazon Region. Centre of Agricultural Publications and Documentation. Wageningen, Netherlands. 404 p.

STAMER, K.J.; YORKE, H.T., AND PEDERSON, G.L. - 1985 - Distribution and Transport of Trace Substances in the Schuylkill River Basin from Berne to Philadelphia, Pennsylvania. Rev. United States Survey Water-Supply paper 2256-A.

STANDARD Methods: For the Examination of Water and Wastewater. Washington, American Public Health Association, 1976. 1193p.

TARDIFF, R.G. - 1972 - Health standard for metals in drinking water. Cincinnati, Nat. Environ. Res. Cent. EPA. p. 113-139.

THUOG, E. - 1946 - Soil reaction influence on availability of plant nutrients. In: VIEIRA, L.S.; SANTOS, W.H.P.; FALESI, I.C.; OLIVEIRA FILHO, J.P.S. - 1967 - Levantamento de Reconhecimento dos Solos da Região Bragantina, Estado do Pará. Belém, Instituto de Pesquisa e Experimento Agropecuária do Norte. 63p. (Boletim Técnico nº 47).

VIEIRA, L.S.; SANTOS, W.H.P.; FALESI, I.C.; FILHO, J.P.S.O. - 1967 - Levantamento de Reconhecimento dos Solos da Região Bragantina, Estado do Pará. Belém, Instituto de Pesquisa e Experimento Agropecuária do Norte. 63p. (Boletim Técnico nº 47).

pH o manganês se apresenta na forma de íon Mn^{4+} dissolvido, mesmo em condições altamente oxidantes.

A concentração do manganês na água do igarapé Tucunduba, na estação seca, é cem vezes maior que na estação chuvosa, devido à contribuição industrial do efluente de lavagem do curtume, altamente reduzida na estação chuvosa (Fig.22).

No sedimento de fundo, a concentração do manganês na forma oxidada (MnO_2) é ligeiramente maior na estação seca, em consequência das condições levemente básicas da água do igarapé determinada pela solução de lavagem do efluente do curtume, ficando praticamente inalterado no sedimento de fundo na estação chuvosa.

(g) Cromo

Segundo Hem (1970), os íons Cr^{3+} e Cr^{6+} , são estáveis em soluções com pH no intervalo de 8,0 a 9,5 e um baixíssimo Eh. Com pH menor que 8,0 e maior que 7,0 o cromo se oxida formando o íon $CrOH_2^+$ e em pHs menores que sete o cromo permanece na forma de sulfato, cloreto e hidróxido complexado como: hidroxissulfato hidratado de cromo ($Cr(OH)SO_4 \cdot nH_2O$); cloreto de cromo hidratado ($CrCl_3 \cdot nH_2O$); cloreto de cromo anidro ($CrCl_3$). Os íons cromato (CrO_4^{2-}) e dicromato ($Cr_2O_7^{2-}$), em solução ácida, são reduzidos para Cr^{3+} , que automaticamente adquirem as formas complexadas (Hem, 1970). Sendo utilizados os sulfatos de sódio e potássio para este fim.