

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

Natália Micheli Tavares Do Nascimento Silva Mendes

***BACKGROUND* GEOQUÍMICO PARA SEDIMENTOS DE REGIÕES
ESTUARINAS DE PERNAMBUCO**

Tese de Doutorado
2015

NATÁLIA MICHELI TAVARES DO NASCIMENTO SILVA MENDES
Licenciada em Geografia, Universidade Federal de Pernambuco, 2006
Mestre em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, 2009

BACKGROUND GEOQUÍMICO PARA SEDIMENTOS DE REGIÕES
ESTUARINAS DE PERNAMBUCO

Tese que apresentou ao Programa de Pós-Graduação em Geociências do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, orientada pelo Prof. João Adauto de Souza Neto, em preenchimento parcial para obter o grau de Doutora em Geociências, área de concentração geologia sedimentar e ambiental, defendida e aprovada em 05 de fevereiro de 2015.

RECIFE, PE
2015

Catálogo na fonte
Bibliotecária Valdicêa Alves, CRB-4 / 1260

M538b Mendes, Natália Micheli Tavares do Nascimento Silva.
Background geoquímico para sedimentos de regiões
estuarinas de Pernambuco/ Natália Micheli Tavares do Nascimento Silva
Mendes. - Recife: O Autor, 2015.
133folhas, Il., Qua. e tabs.

Orientador: Profº. Drº. João Adauto de Souza Neto.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Programa de Pós-Graduação Geociências, 2015.
Inclui Referências Apêndices e Anexos.

1. Geociências. 2. Background geoquímico. 3. Sedimentos estuarinos.
4. Contaminação. 5. Monitoramento ambiental. 6. Pernambuco.
I. Souza Neto, João Adauto de. (Orientador) II. Título.

UFPE

551 CDD (22. ed.)

BCTG/2015-178

BACKGROUND GEOQUÍMICO PARA SEDIMENTOS DE REGIÕES
ESTUARINAS DE PERNAMBUCO

NATÁLIA MICHELI TAVARES DO NASCIMENTO SILVA MENDES

Aprovado:

João Adauto de Souza Neto (Orientador)	04.03.2015
---	------------

Antônio Fernando de Souza Queiroz (Examinador externo – UFBA)	04.03.2015
--	------------

Wanilson Luiz Silva (Examinador externo – UNICAMP)	04.03.2015
---	------------

Lúcia Maria Mafra Valença (Examinador interno)	04.03.2015
---	------------

Mário Lima Filho (Examinador interno)	04.03.2015
--	------------

Às melhores partes de mim: Amanda,
Tiago e Lara.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação, em particular ao professor Gorki Mariano pelo empenho, como coordenador, em atender às necessidades dos alunos e sempre nos incentivar. Ao Igor, secretário desse programa, por estar sempre disposto a ajudar.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

Aos professores Dr. Mario Lima Filho, Lúcia Maria Mafra Valença, Wanilson Luiz Silva e Antônio Fernando de Souza Queiroz, por aceitarem o convite para participar da banca examinadora contribuindo com suas análises críticas e correções.

Ao meu orientador, João Aduino, que há uma década deposita em mim uma confiança que só me estimula a seguir em frente. Acima de tudo por torcer por mim e se alegrar com minhas conquistas. Você tem o meu eterno respeito e admiração, como profissional e principalmente como pessoa.

Ao professor Germano Melo Junior, por mesmo em meio a tantas ocupações ter se disposto sempre a ensinar, tirar minhas dúvidas (muitas) e a trazer suas contribuições valiosíssimas para este trabalho.

Ao Colegiado de Ciências da Natureza da Universidade Federal do Vale do São Francisco do qual sou docente, pela aprovação do meu afastamento para a realização das atividades do doutorado.

Agradeço ao CRCN por permitir a realização da solubilização das amostras nos laboratórios da DIAMB, a todos os pesquisadores, técnicos, funcionários e alunos do DIAMB que participaram das etapas de campo e laboratório.

À minha amiga, irmã, companheira de todas as horas Natália Souza (Natalhinha) que participou diretamente de cada etapa desse trabalho ainda que muitas vezes a quilômetros de distância. Você é um dos maiores presentes que esse doutorado me trouxe.

Agradeço às amigas queridas Luciana Freitas e Priscila Felix pela amizade e apoio que compartilhamos desde a graduação. Ao Douglas Farias, Natalhinha, Alexandre Velásquez, Priscila Felix, Adriana Baggio, por auxiliarem nas atividades de campo e tornarem esses momentos tão divertidos. À amiga Ana Claudia que não só contribuiu na elaboração dos mapas, mas principalmente me apoiando e incentivando.

À minha amiga Flaviana, que sempre me hospedou em sua casa com todo amor e atenção, sempre tentando me deixar o mais confortável possível. À Natalhinha que

também abriu as portas da sua casa pra me receber, minha prima Ana Rafaela, a minha amigona Bárbara Melo e a todos que me ofereceram suas casas para que eu pudesse realizar minhas atividades em Recife.

Ao Ednaldo Mendes, meu marido, que teve toda a paciência e carinho nesta etapa importante de minha vida, buscando sempre me tranquilizar e estimular a seguir em frente.

Aos meus filhos Amanda, Tiago e Lara por me presentearem diariamente com seus sorrisos encantadores. Por serem minhas fontes de inspiração. Por me motivarem a seguir em frente. Em especial ao Tiago, por, mesmo ainda tão pequeno e com tão poucos dias de vida me mostrar que vale muito a pena lutar pela vida.

Agradeço também as pessoas que me ajudaram sem nem me conhecer, pessoas cujos nomes eu desconheço, mas que estenderam a mão quando eu precisei. Meu muito obrigada. É muito bom saber que há pessoas, muitas pessoas, que fazem o bem sem esperar nada em troca. Que eu possa retribuir esses favores, se não a vocês que seja a outras pessoas, desconhecidas ou conhecidas, e dar continuidade a essa corrente do bem.

Por fim deixo meu maior agradecimento a Deus, pelo Seu cuidado e generosidade.

“Tudo é veneno, nada é sem veneno;
somente a dose determina o que é veneno
ou não.”

(PARACELSUS)

RESUMO

O crescimento industrial e populacional tem influenciado nas concentrações de elementos maiores, menores e traços nos sedimentos estuarinos e impactado esses ecossistemas. A determinação do *background* geoquímico é fundamental para subsidiar o monitoramento desses contaminantes baseados em uma realidade regional. Diversos estudos vêm buscando estabelecer esses índices para identificar áreas suspeitas de contaminação. A presente pesquisa buscou estabelecer o *background* geoquímico de elementos maiores, menores e traços (Ag, As, Se, Cu, Pb, Zn, Cr, Ni, Co, V, Cd, Mn, Fe, Al, B, Ba, Be, Sr e Tl) a partir de sedimentos superficiais de fundo de estuários do estado de Pernambuco (NE do Brasil). Foram coletadas 68 amostras de sedimentos superficiais de fundo e 4 testemunhos (total) nos estuários do rio Goiana, Sirinhaém, Formoso e Mamucabas. Estes foram selecionados por apresentarem vegetação nativa preservada e posição relativamente “afastada” de fontes antrópicas de contaminação. A extração dos elementos foi realizada pelo método EPA-3051a. O substrato geológico foi identificado como o fator de maior influência nas concentrações naturais da área estudada. O *background* Geoquímico para sedimentos das áreas estuarinas no Estado do Pernambuco foi determinado com base no percentil 75 do universo amostral. Assim obtiveram-se os seguintes valores: Ag 0,07 mg.Kg⁻¹; As 14,25 mg.Kg⁻¹; Se 2,4 mg.Kg⁻¹; Cu 15,72 mg.Kg⁻¹; Pb 18,05 mg.Kg⁻¹; Zn 40 mg.Kg⁻¹; Cr 40,15 mg.Kg⁻¹; Ni 11,85 mg.Kg⁻¹; Co 7 mg.Kg⁻¹; V 56,3 mg.Kg⁻¹; Cd 0,17 mg.Kg⁻¹; Mn 292,85 mg.Kg⁻¹; Fe 5,3%; Al 2,6%; B 46,45 mg.Kg⁻¹; Ba 107,4 mg.Kg⁻¹; Be 1,0 mg.Kg⁻¹; Sr 70,55 mg.Kg⁻¹; Tl 0,5 mg.Kg⁻¹. Esses valores se mostraram mais restritivos do que os valores orientadores de material a ser dragado recomendado pela Resolução CONAMA N° 454/2012, indicando a necessidade de que esses sejam estabelecidos de forma local/regional. O presente estudo contribui diretamente para a gestão dos ambientes estuarinos do estado de Pernambuco, especialmente por propor valores de *background* para elementos químicos diversos servindo de subsídio para o monitoramento ambiental das áreas estuarinas do Estado de Pernambuco e regiões com características socioambientais semelhantes no Nordeste do Brasil.

PALAVRAS CHAVE: *background* geoquímico, Sedimentos estuarinos, contaminação, monitoramento ambiental, Pernambuco.

ABSTRACT

The industrial and population growth has influenced the concentrations of major, minor and trace elements in estuarine sediments and thus impacted these ecosystems. The determination of the geochemical background is essential to support the monitoring of these contaminants based on a local characteristics. Several studies have sought to establish these background values in order to identify suspected areas of contamination. This study sought to establish the geochemical background for major, minor and trace elements (Ag, As, Se, Cu, Pb, Zn, Cr, Ni, Co, V, Cd, Mn, Fe, Al, B, Ba, Be, Sr and Tl) from sediments of estuaries background of the state of Pernambuco (NE Brazil). Sixty-eight samples of bottom surface sediments and 4 from core sediments were collected in the estuaries of the Goiana, Sirinhaém, Formoso and Mamucabas rivers. In these estuaries, the sampling sites were preferentially selected where they have preserved native vegetation and a position considered free of anthropogenic sources of contamination. The chemical extraction of sediment samples was performed by the EPA-3051 Method. After the results, the geological substrate was identified as the biggest factor influencing the natural concentrations of the chemical elements investigated in the studied area. The geochemical background for sediments from estuarine areas in the state of Pernambuco was determined based on the 75 percentile of the sample universe. Thus, the following values were obtained: Ag 0,07 mg.Kg⁻¹; As 14,25 mg.Kg⁻¹; Se 2,4 mg.Kg⁻¹; Cu 15,72 mg.Kg⁻¹; Pb 18,05 mg.Kg⁻¹; Zn 40 mg.Kg⁻¹; Cr 40,15 mg.Kg⁻¹; Ni 11,85 mg.Kg⁻¹; Co 7 mg.Kg⁻¹; V 56,3 mg.Kg⁻¹; Cd 0,17 mg.Kg⁻¹, Mn 292,85 mg.Kg⁻¹, Fe 5,3%; Al 2,6%; B 46,45 mg.Kg⁻¹; Ba 107,4 mg.Kg⁻¹; Be 1,0 mg.Kg⁻¹; Sr 70,55 mg.Kg⁻¹; Tl 0,5 mg.Kg⁻¹. These values were more restrictive than the guiding values material to be dredged recommended by CONAMA Resolution N° 454/2012, indicating the need for these values being set in a local / regional basis. This study contributes directly to the management of estuarine environments of the state of Pernambuco, especially for proposing background values for many chemical elements that can be used as subsidies for environmental monitoring of estuarine areas of the State of Pernambuco and other brazilian regions with similar socio-environmental characteristics.

KEYWORDS: geochemical background, estuarine sediment, pollution, environmental monitoring, Pernambuco.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1 Localização	13
2 ASPECTOS FISIOGRAFICOS E GEOLÓGICOS DO LITORAL DE PERNAMBUCO	15
2.1 Aspectos geológicos e geomorfológicos	15
2.2 Clima	23
2.3 Hidrografia.....	26
2.4 Vegetação	27
2.5 Marés	28
3 ESTUÁRIOS: ASPECTOS GERAIS	29
3.1 Importância dos estuários	30
3.2 Classificação estuarina	31
3.3 Circulação estuarina	33
3.4 Elementos químicos em ambiente sedimentar estuarino e suportes geoquímicos.....	36
3.5 Background Geoquímico	39
4 MÉTODOS E TÉCNICAS	46
4.1 Amostragem	46
4.2 Tratamento das amostras e quantificação da matéria orgânica e carbonatos totais	52
4.3 Composição Ganulométrica	52
4.4 Composição Mineralógica.....	53
4.5 Determinações Químicas.....	53
4.6 Análises Estatísticas	55
5 RESULTADOS	56
5.1 Granulometria.....	56
5.2 Parâmetros físico-químicos da água.....	60
5.3 Matéria Orgânica e Carbonatos Totais	61
5.4 Análises por Difractometria de Raios-X dos Sedimentos (Testemunho e Superficial)	63
5.5 Concentrações dos elementos químicos nos sedimentos superficiais de fundo e testemunhos dos estuários estudados.....	64
5.6 Variabilidade temporal das concentrações dos elementos químicos nos sedimentos dos estuários estudados.....	65
5.7 Variabilidade sazonal das concentrações dos elementos químicos estudados nos sedimentos superficiais de fundo dos estuários estudados.....	65
6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	70
6.1 Variabilidade temporal das concentrações dos elementos químicos nos sedimentos dos estuários investigados.	70
6.2 Concentrações dos elementos químicos nos sedimentos dos estuários estudados.	81
6.3 Variabilidade Sazonal das concentrações dos elementos químicos nos sedimentos dos estuários de Pernambuco.....	82
6.4 Background geoquímico para os sedimentos dos estuários de Pernambuco..	83
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	96
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	98

1. INTRODUÇÃO

As atividades humanas interferem diretamente sobre os ciclos geoquímicos de elementos maiores, menores e traços presentes no ambiente, o que pode ocasionar sua contaminação. O descarte inadequado de substâncias contaminantes, a partir de fontes industriais, tem contribuído para a alteração das condições naturais de diversos estuários no Brasil e no mundo (LI et al., 2012; SANDERS et al., 2011). A depender dos aspectos hidrodinâmicos e das condições ambientais estuarinas esses elementos tendem a acumular-se nos sedimentos na parte inferior da coluna de água. No caso de níveis tóxicos serem atingidos os organismos bentônicos podem ser afetados bem como a cadeia alimentar, aumentando com isso a possibilidade de ameaça à saúde humana da população local (LOURIÑO-CABALA et al. 2011).

Diversos contaminantes inorgânicos, como por exemplo, os metais, têm recebido atenção devido ao risco ambiental que representam. Contudo, nem sempre as altas concentrações desses metais, em sedimentos estuarinos, implicam na ocorrência de contaminação. Isso pode apenas refletir as características geológicas locais (MIRLEAN et al., 2011).

Desse modo, estabelecer o *background* geoquímico para distinguir as concentrações naturais das antropogênicas de elementos químicos diversos em sedimentos estuarinos vem se impondo como cada vez mais necessário para o desenvolvimento de planos de políticas ambientais e de saúde pública.

Nesse contexto, o presente trabalho tem como **objetivo principal**: estabelecer o *background* geoquímico de elementos químicos diversos (Ag, As, Se, Cu, Pb, Zn, Cr, Ni, Co, V, Cd, Mn, Fe, Al, B, Ba, Be, Sr e Tl) a partir de sedimentos superficiais de fundo de estuários no estado de Pernambuco (NE do Brasil).

Para isso alguns objetivos específicos foram traçados:

- Quantificar a concentração de elementos químicos diversos (Ag, As, Se, Cu, Pb, Zn, Cr, Ni, Co, V, Cd, Mn, Fe, Al, B, Ba, Be, Sr e Tl) nos sedimentos superficiais de fundo de estuários “preservados” no Estado de Pernambuco;

- Avaliar a influência de parâmetros físico-químicos da água bem como da matéria orgânica, carbonatos totais e granulação dos sedimentos, nas concentrações dos elementos analisados;
- Avaliar a variabilidade sazonal geoquímica nos sedimentos superficiais de fundo dos estuários estudados;
- Investigar a variabilidade temporal das concentrações dos elementos químicos supracitados através de testemunhos sedimentares;
- Analisar a influência litológica da área nas concentrações dos elementos quantificados nos sedimentos através da comparação com mapa geológico, bem como das atividades antrópicas locais, a fim de se indicar a origem dos elementos investigados.

1.1 Localização

O litoral de Pernambuco possui uma extensão de aproximadamente 187 km onde predominam cotas baixas representadas principalmente por praias arenosas de largura variável, pontais rochosos, restingas e estuários com extensos manguezais (ANDRADE-LIMA, 1960). Ao longo desse litoral estão presentes quinze estuários (Figura 1), sendo alguns considerados do tipo misto (e.g. estuário do rio Mamucabas/Ilhetas), onde dois rios deságuam numa mesma foz e outros do tipo simples (um rio e única foz, e.g. estuário do rio Sirinhaém).

Dentre os sistemas estuarinos pernambucanos, foram selecionados quatro para este trabalho atendendo aos seguintes critérios: possuir afluente com vegetação nativa preservada e posição relativamente “afastada” de fontes antrópicas de contaminação. Com isso foram estudados os estuários dos rios Goiana, Sirinhaém, Formoso e Mamucabas. O primeiro está localizado no litoral norte e os outros no litoral sul do Estado.

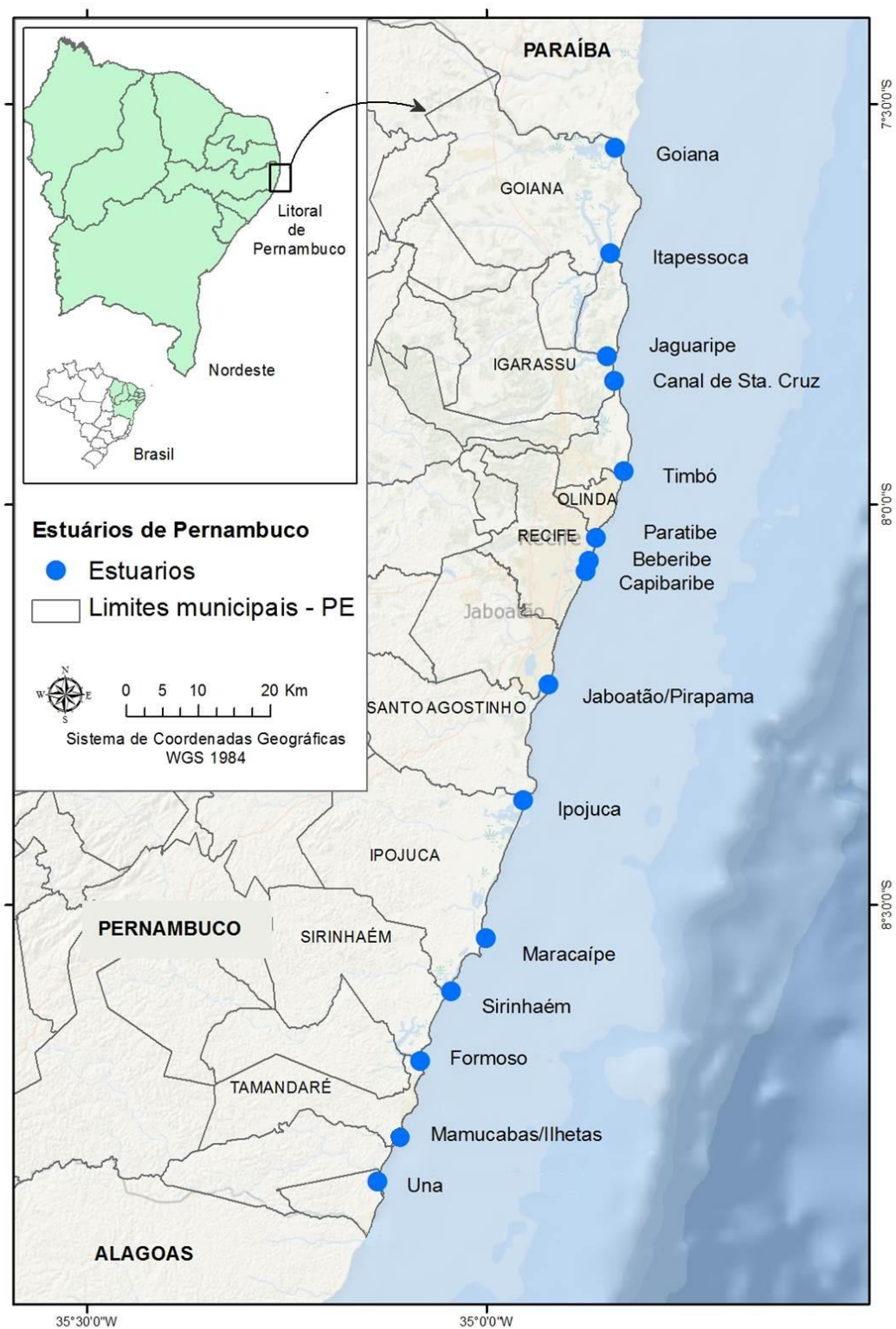


Figura 1: Áreas estuarinas do Estado de Pernambuco. Fonte: IBGE (2010).

2 ASPECTOS FISIOGRÁFICOS E GEOLÓGICOS DO LITORAL DE PERNAMBUCO

2.1 Aspectos geológicos e geomorfológicos

O litoral do Estado de Pernambuco apresenta a sequência sedimentar acumulada na bacia da Paraíba e na bacia de Pernambuco (Figura 2). Diversos autores citavam a faixa costeira desses dois estados como abrangendo uma única bacia sedimentar, a Bacia Pernambuco-Paraíba (ASMUS & CARVALHO, 1978; BRITO 1979, MABESOONE & ALHEIROS, 1988, 1991). Contudo, Rand (1976, 1978), através de investigações geofísicas, demonstrou uma diferença nas áreas situadas a norte e a sul da Zona de Cisalhamento de Pernambuco (ZCPE).

Mais tarde essas bacias foram definidas como sendo duas faixas sedimentares com histórias deposicionais distintas limitadas pela ZCPE (LIMA FILHO, 1998). Com isso, a Bacia de Pernambuco está limitada geologicamente ao sul pelo Alto de Maragogi e a norte pela ZCPE. Na sua porção offshore, esta bacia estende-se até a porção norte do Platô de Pernambuco (ALVES & COSTA, 1986).



Figura 2: Localização das Bacias de Pernambuco e da Paraíba e sua compartimentação em sub-bacias. Barbosa & Lima Filho (2006) apud, Morais (2008).

O estilo tectônico e a evolução da Bacia de Pernambuco diferiam da faixa sedimentar existente a norte da ZCPE (LIMA FILHO, 1998). Na Bacia de Pernambuco há seções do tipo rifte, com dois depocentros identificados na faixa costeira: o Gráben de Piedade e o Gráben do Cupe, separados por uma estrutura positiva, o Alto do Cabo de Santo Agostinho, que corresponde a intrusões de rochas magmáticas da Suíte Ipojuca (~100 m.a.). Estes grabens são internos e estão separados da plataforma por um alto estrutural externo (LIMA FILHO, 1998; ALMEIDA et al., 2005).

A Bacia da Paraíba situa-se entre a Zona de Cisalhamento Patos (ZCPA) e a ZCPE, a qual corresponde à zona transversal do nordeste brasileiro (SOUZA, 1999; BARBOSA, 2004; BARBOSA et al., 2003). Esta bacia é dividida em duas sub-bacias, a Sub-bacia Olinda, ao sul, localizada entre a ZCPE e o alto de Goiana; a Sub-bacia de Alhandra/Miriri localiza-se em um depocentro limitado na faixa costeira a norte pela falha de Mamanguape e a sul pelo Alto de Goiana. Essas sub-bacias são caracterizadas por efeitos diferenciados do tectonismo que atuou na compartimentação da bacia (MABESOONE & ALHEIROS, 1988, 1993; BARBOSA et al., 2003).

A Bacia Paraíba se diferencia da maior parte da plataforma continental brasileira por dois motivos: pouca espessura sedimentar, que atingiria no máximo 2500m; e pela interpretação de que as rochas desta faixa corresponderiam essencialmente ao empilhamento de sistemas carbonáticos, no que difere das demais bacias marginais que possuem complexo empilhamento de sistemas clásticos de origem continentais fluvio-lacustre, de plataforma e de talude (ASMUS & CARVALHO, 1978).

A área estuarina do estuário do rio Goiana, localizado no litoral norte do Estado de Pernambuco, está inserida na Bacia da Paraíba. As unidades estratigráficas que a compõem são (Figura 3):

- **Formação Itamaracá:** Rochas sedimentares, cuja origem está associada a um evento transgressivo que recobriu os depósitos continentais basais, e são representados por arenitos calcíferos, calcários com siliciclastos e margas. Esta unidade, de idade Neo-Campaniano – Eo-Maastrichtiano apresenta no topo uma superfície de inundação máxima caracterizada por uma zona rica em fosfato sedimentar. Os depósitos da Formação Itamaracá são restritos também à Bacia da Paraíba, sendo mais estudado em poços e algumas das poucas áreas aflorantes encontram-se na área estudada, sendo esta unidade muitas vezes descrita por

outros autores como constituintes da porção basal da Formação Gramame (BARBOSA et al., 2007).

- **Formação Gramame:** Esta formação, dada a sua presença espacialmente mais ampla, apresenta-se dividida em três fácies, definidas, segundo Mabeoone & Alheiros (1991), por calcarenitos e calcários arenosos, muito fossilíferos, na base, interdigitando-se com fosforitos e, no topo, calcários biomicríticos argilosos, com uma fácies supramesolitoral, uma fosfática e uma marinha plena. Segundo Barbosa (2004) os depósitos da Formação Gramame são caracterizados por ciclos de *shallowing upwarding*, caracterizados pela repetição de calcário marga e acamamento plano-paralelo com grande continuidade lateral, mostrando o domínio de processos de agradiação em uma extensa plataforma carbonática de baixo gradientre. Estes depósitos representam o regime de mar alto na bacia (BARBOSA et al., 2003). A Formação Gramame, que tem idade determinada como Maastrichtiano (BEURLEN, 1967), mostra um caráter transgressivo sobre os arenitos Beberibe e, no topo, passa sem interrupção para os calcários da Formação Maria Farinha (BARBOSA, 2004).
- **Formação Barreiras:** Alheiros et al. (1988), afirmam que na região estudada essa unidade é caracterizada pela presença de fácies típicas de um sistema fluvial entrelaçado e de fácies transicionais para leques aluviais. Geralmente descrita como formada por arenitos de granulometria grossa, com níveis conglomeráticos e outros argilosos, assim como outros ricos em óxido de ferro (LIMA FILHO, 1998). Esta formação apresenta geomorfologia dominada por tabuleiros costeiros, de grande extensão, recortados por grandes vales de rios, na zona mais proximal da faixa costeira. Na zona de litoral ocorrem planícies costeiras e falésias (BARBOSA et al., 2007).
- **Terraços Holocênicos:** Ocorrem como corpos alongados, mais ou menos contínuos, e paralelos a linha de costa, em largas faixas contínuas. Constituídos, essencialmente, de areias quartzosas, com cores claras, granulometria média a grossa, medianamente selecionadas, com grãos arredondados a subarredondados e incluindo fragmentos de conchas, alcançando cotas de 3m (LIMA FILHO, 1998).

- **Depósitos de mangue:** Caracterizados como depósitos recentes ou não encontrados em regiões protegidas da ação das ondas do mar, nas margens de canais de maré e nas porções distais de vales de rios e riachos, e que compreendem, principalmente, argilas ricas em matéria orgânica, porém com porções silticas e arenosas (LIMA FILHO, 1998).
- **Depósitos Litorâneos Praiais:** São depósitos arenosos inconsolidados essencialmente quartzosos, bem selecionados, que ocupam faixas estreitas ao longo da costa. Com concentrações esporádicas de minerais pesados em placers (LIMA FILHO, 1998).
- **Depósitos Aluvionares:** Compostos por areia fina a média, argila e cascalho inconsolidados a semi-consolidados, localmente com porções rudíticas. As aluviões recentes estão presentes nos vales fluviais instalados em cotas mais elevadas (SOUZA, 2006). Ao longo dos canais mais retilíneos das aluviões há predominância de sedimentos arenosos já os sedimentos argilosos com matéria orgânica são depositados nas planícies de inundação, durante o transbordamento dos canais.

Os estuários do rio Srinhaém, Formoso e Mamucabas estão inseridos na bacia de Pernambuco. A área onde estão é formada por dois grandes grupos de unidades geológicas. O primeiro grupo é composto por rochas de idades pré-cambrianas (2,10 bilhões de anos até 542 milhões de anos) que constituem o embasamento cristalino. As rochas desse primeiro grupo são principalmente representadas por litótipos dos complexos Belém do São Francisco e Cabrobó (na bacia do rio Sirinhaém) e por suítes magmáticas (Figuras 4 e 5).

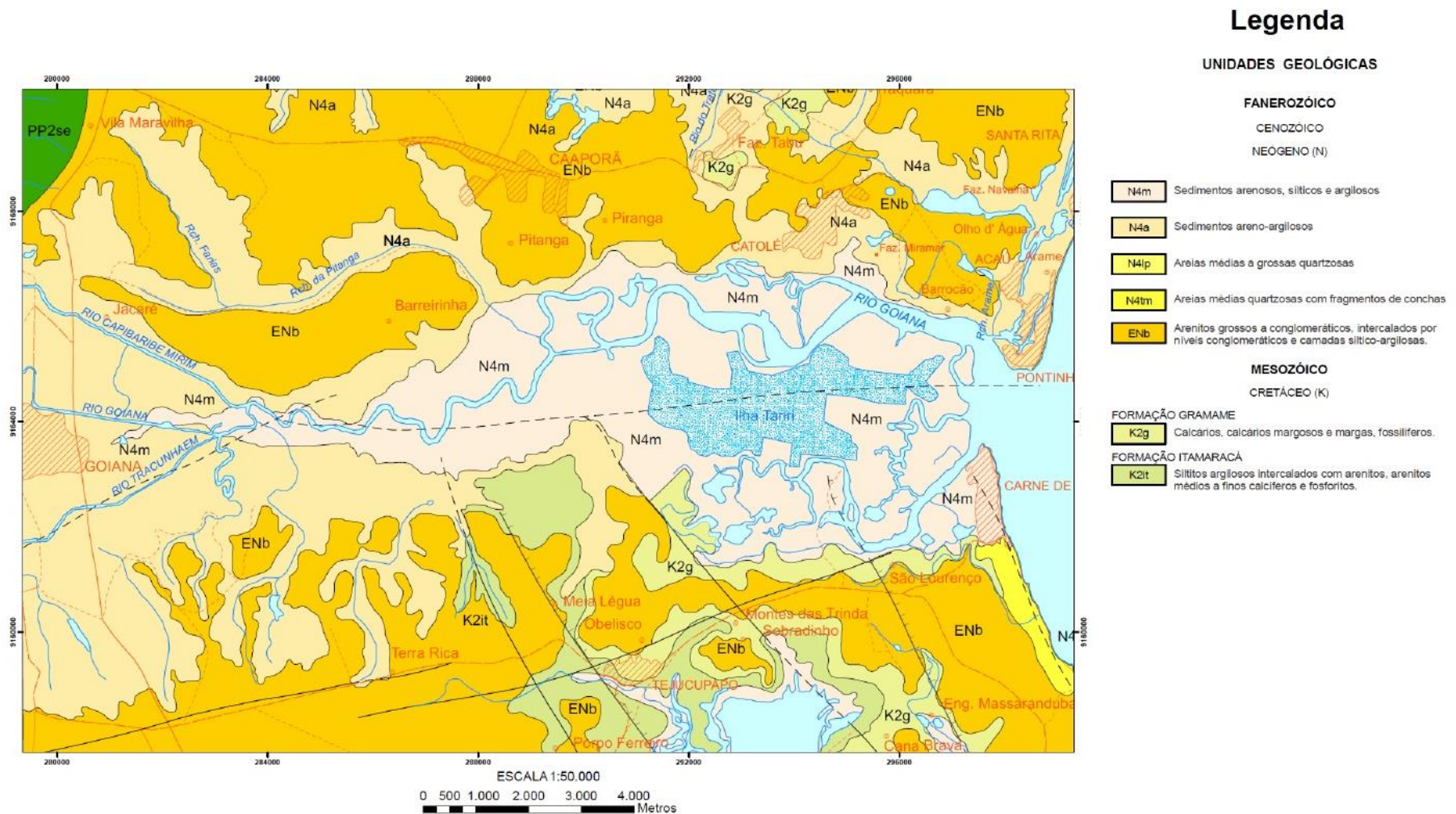
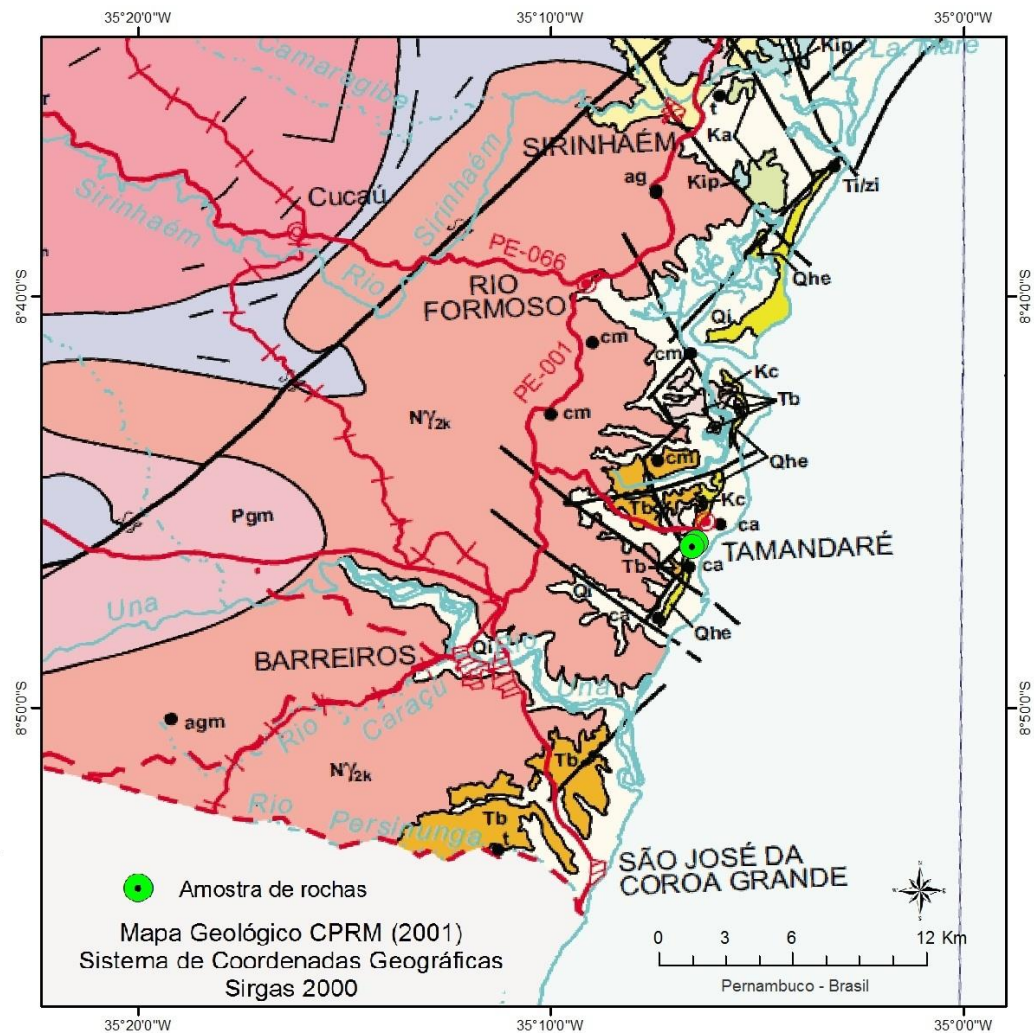


Figura 3: Mapa Geológico, com unidades litoestratigráficas que ocorrem no substrato da área do sistema estuarino Goiana-Megaó (PE), modificado de Souza (1999).



Coberturas cenozoicas

- Qi** Depósitos holocênicos indivisos: conglomerados e arenitos, além de areias e cascalhos; intercalações de camadas argilosas.
- Qhe** Terraços pleistocênicos: arenitos finos e grossos e conglomerados.
- Tb** Formação Barreiras: conglomerados e arenitos com níveis de argilitos e folhelhos.

FORMAÇÃO ALGODOAIS

- Ka** Conglomerados polimodais oligomíticos com seixos de rochas vulcânicas, arcóseo com seixos de quartzo e de tufo vulcânico, matriz argilosa e arcóseo intercalado com camadas argilosas.

FORMAÇÃO IPOJUCA

- Kip** Traquitos, riolitos, basaltos, andesitos, ignimbritos, tufo vulcânicos e granitos subvulcânicos.

FORMAÇÃO ESTIVA

- Ket** Calcário maciço, dolomítico, pouco fossilífero, apresentando intercalações de margas e argilas esverdeadas.

FORMAÇÃO CABO

- Kc** Conglomerados polimíticos de matriz arcoseana, arcóseos com níveis conglomeráticos, siltitos e argilitos capeados por arenitos grosseiros a conglomeráticos.

Embasamento precambriano

- N_{3m}** Monzonitos e granodioritos com enclaves máficos e filiação alcalina-metaluminosa.
- N_{2g}** Hornblenda granitos de composição monzogranítica a quartzodiorítica, com fácies porfíricas.
- N_{2k}** Biotita-anfibólio granitóides grossos a porfíricos, com enclaves dioríticos e fácies sieníticas (N_{2k}); termos dioríticos de granulação fina podem predominar (N_{2kd}). Suíte K-calcálica, predominantemente metaluminosa, tipo Itaporanga.

ROCHAS METAPLUTÔNICAS

- M_{4s}** Leucogranitóides contendo biotita e muscovita (M_{4m}), e/ou granada ou cordierita (M_{4g}). Suíte leucocrática peraluminosa.

COMPLEXO CABROBÓ

- Mcb** Biotita gnaisses e muscovita gnaisses (por vezes migmatizados) e migmatitos, com freqüentes lentes de rochas metamáficas/anfibolíticas e rochas calcissilicáticas (Mcb₃). Metacórsios com muscovita, apresentando níveis quartzíticos (Mcb₂). Biotita gnaisses quartzo-feldspáticos (podendo conter granada, muscovita gnaisses, micaxistos, metagrauvas, paragnaisses e migmatitos, com níveis de quartzitos (qt), anfibolitos (af) e calcários/mármore (ca) (Mcb₁).

COMPLEXO BELÉM DO SÃO FRANCISCO

- Mbf** Biotita ortognaisses tonalíticos/granodioríticos, leucocráticos de cor cinza, geralmente migmatizados e migmatitos com mesossoma quartzo diorítico/tonalítico a anfibólio e/ou biotita além de porções anfibolíticas. Relíquias de rochas paraderivadas, calcários/mármore (ca), quartzitos (qt) e rochas calcissilicáticas (cs).

Figura 4. Recorte do mapa geológico de Pernambuco com as unidades litoestratigráficas que ocorrem no substrato da área dos estuários do rio Sirinhaém, Formoso e Mamucabas (PE) e localização das amostras de rochas analisadas para As (RM01 – arenito, RM02 – filito alterado, RM03 – vulcânica alterada e RM 04 - vulcânica alterada). Fonte: CPRM (2001).

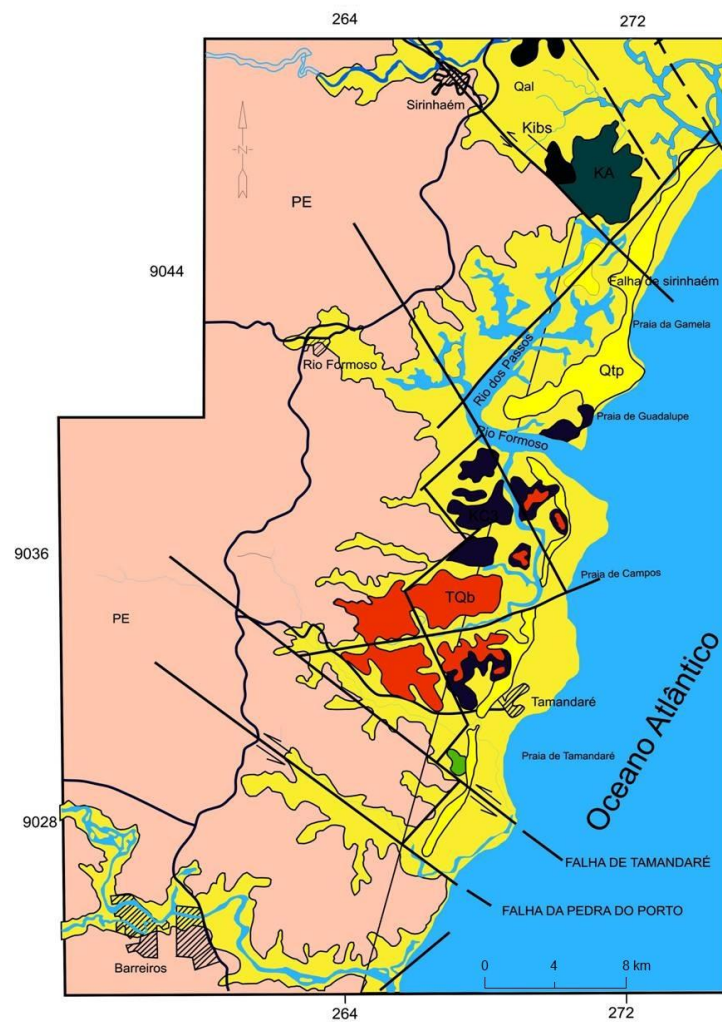
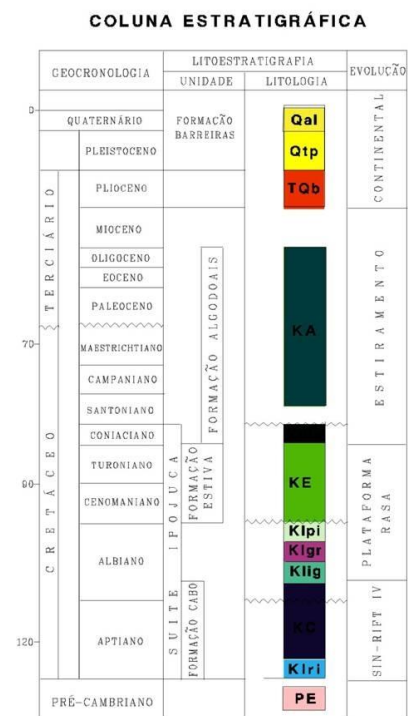


Figura 5: Mapa geológico do litoral sul de Pernambuco. Fonte: modificado de Lima Filho (1998).

- Complexo Belém do São Francisco – formado por biotita ortognaisses de composição tonalítica/granodiorítica, leucocráticos de cor cinza, geralmente migmatizados e migmatitos com mesossoma quartzo diorítico/tonalítico a anfibólio e/ou biotita, além de porções anfibolíticas. Relíquias de rochas paraderivadas, calcários/mármore, quartzitos e rochas calcissilicáticas.
- Complexo Cabrobó – constituído por biotita gnaisses e muscovita gnaisses (por vezes migmatizados) e migmatitos, com frequentes lentes de rochas metamáficas/anfibolíticas e rochas calcissilicáticas. Metarcósios com muscovita apresentando níveis quartzíticos. Ocorrem ainda biotita gnaisses quartzo - feldspáticos, podendo conter granada, muscovita gnaisses, micaxistos, metagrauvacas, paragnaisses e migmatitos, com níveis de quartzitos, anfibolitos e metacalcários/mármore.
- Suíte Ipojuca (KI) – Essa suíte é representada por riolitos (KIri), Granitos de Santo Agostinho (KIgr). Nela são também incluídos os depósitos piroclásticos de primeira, os ignibritos (Klig) e os fluxos piroclásticos (Klpi).

O segundo grupo de unidades geológicas, presente nas bacias dos rio Sirinhaém, Formoso e Mamucabas é composto por rochas sedimentares, vulcânicas e sedimentos, com idades variando do Cretáceo a ao Quaternário (120 milhões de anos aos dias atuais):

- Formação Cabo (KC) – conglomerados polimíticos de matriz arcoseana (fácies proximal), arenitos grossos a conglomeráticos e níveis silto-areníticos (fácies mediana) e siltitos, argilitos e folhelhos, intercalados em arenitos (fácies distal).
- Suíte Ipojuca (na bacia do rio Sirinhaém) – vulcânicas e subvulcânicas que ocorrem como plugs, domos, diques e derrames, onde predominam basaltos, traquiandesitos, traquitos, ignimbritos, riolitos, granito e diques de riolitos tardios.
- Formação Estivas (KE) – calcários maciços, dolomíticos, intercalados com margas e argilitos.
- Formação Algodoads (KA) – conglomerados e arenitos com seixos de vulcânicas e quartzo. Apresenta camadas siltico-argilíticas.

- Formação Barreiras (TQb) – formada por conglomerados e arenitos com níveis de argilitos e folhelhos.
- Terraços Marinhos Pleistocênicos (Qtp) – formados por arenitos finos a grossos e conglomerados.
- Depósitos Holocênicos Indivisos (Qal) – como conglomerados e arenitos, além de areias e cascalhos contendo intercalações de camadas argilosas.

Uma vez que no Litoral Sul, o Embasamento Cristalino constitui o substrato geológico predominante, e os terrenos do Litoral Norte são constituídos, na maior parte, por depósitos terciários e quaternários, diferenças no relevo desses setores do litoral de Pernambuco são observadas.

No litoral norte, o relevo elaborado sobre os sedimentos da Formação Barreiras é constituído por tabuleiros cuja altitude varia de 40 a 50 metros próximo à planície costeira, até mais de 160 metros na porção oeste da área (FERREIRA, 2008). A quase horizontalidade do topo desses relevos tem favorecido a ocupação dos mesmos especialmente com a cultura da cana-de-açúcar, além de granjas e chácaras e com núcleos urbanos, bem como para construção de rodovias (CPRH, 2003a).

Por outro lado, no litoral sul de Pernambuco o relevo é marcado pela predominância de morros e colinas cujas altitudes variam, em média, de 30 a mais de 400 metros no primeiro caso, e de 12 a pouco mais de 50 metros, no segundo. Os morros são constituídos por litotipos do Embasamento Cristalino, ao passo que as colinas foram modeladas sobre rochas mais recentes, pertencentes às Formações Barreiras, Cabo e Algodoads (CPRH, 2003b).

2.2 Clima

No Nordeste brasileiro é comum se considerar apenas duas estações climáticas – seca e chuvosa, embora variações na temperatura e precipitação, bem como em outros fatores, como na vegetação, por exemplo, sejam percebidos.

As figuras 6, 7, 8 e 9 mostram os dados da precipitação mensal relativos aos anos de 2007 à 2012 dos municípios de Goiana, Sirinhaém, Rio Formoso e Tamandaré. Esses foram gerados a partir da análise dos componentes do balanço hídrico obtidos no PROCLIMA/CPTEC/INPE (2012). Vale ressaltar que o gráfico da figura 9 apresenta uma anomalia na média do mês de janeiro, pois no ano de 2012 a precipitação mensal no município de Tamandaré foi de 2.964,28mm. Por outro lado a média de precipitação para esse mês nos anos de 2008 a 2011 foi de 157,53mm.

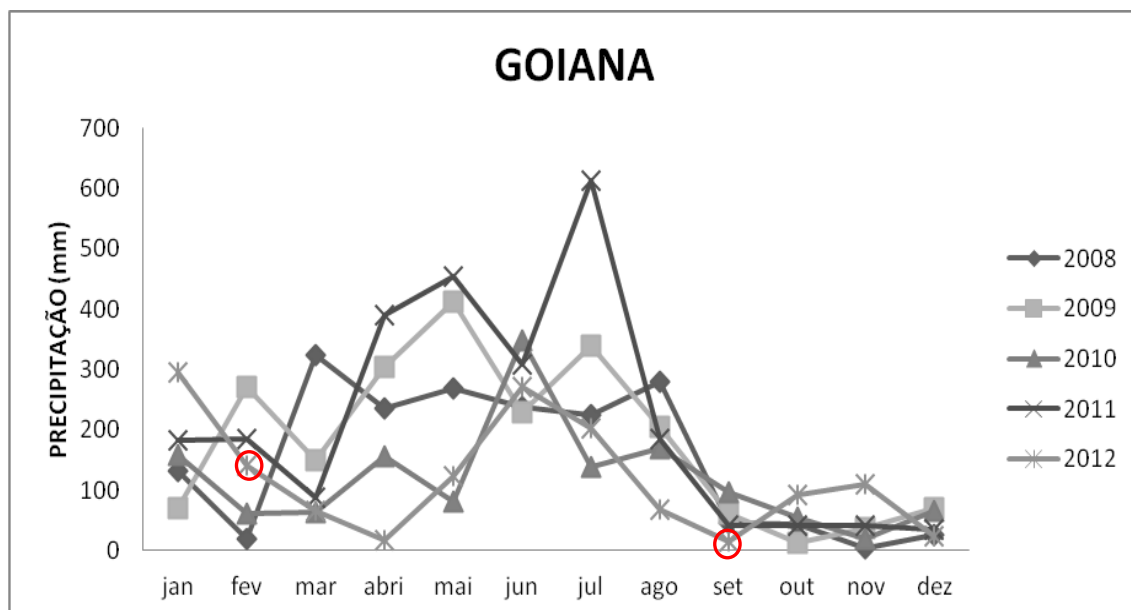


Figura 6. Precipitação mensal dos anos de 2007 a 2012 no município de Goiana (PE) com meses de coleta destacados (fevereiro e setembro de 2012). (Fonte dos dados: PROCLIMA/CPTEC/INPE, 2012).

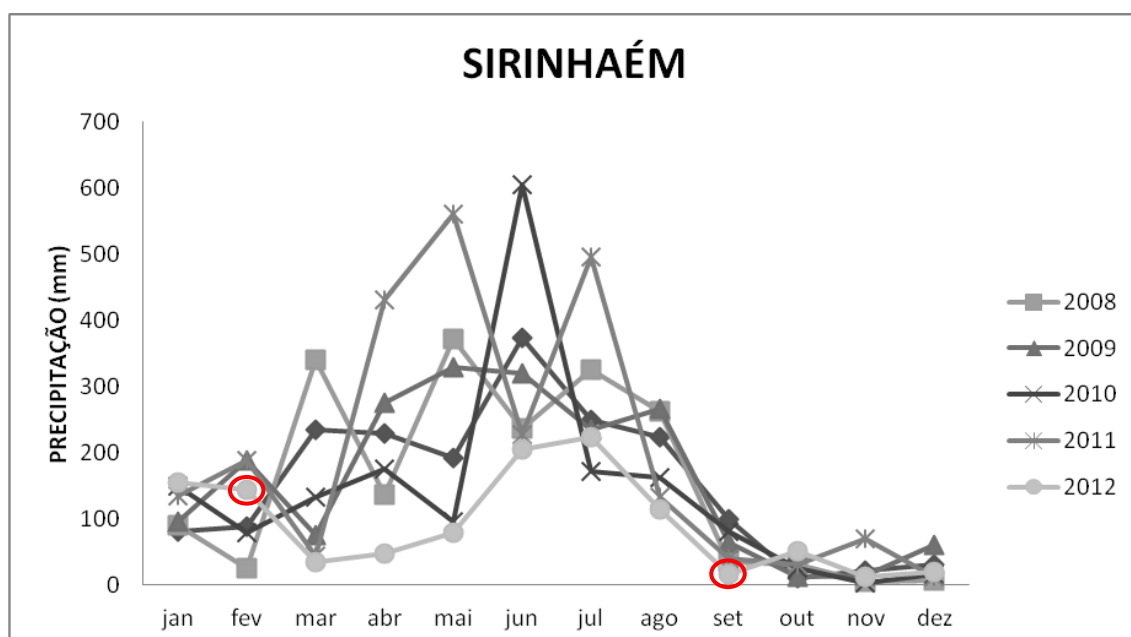


Figura 7. Precipitação mensal dos anos de 2007 a 2012 no município de Sirinhaém (PE) com meses de coleta destacados (fevereiro e setembro de 2012). (Fonte dos dados: PROCLIMA/CPTEC/INPE, 2012).

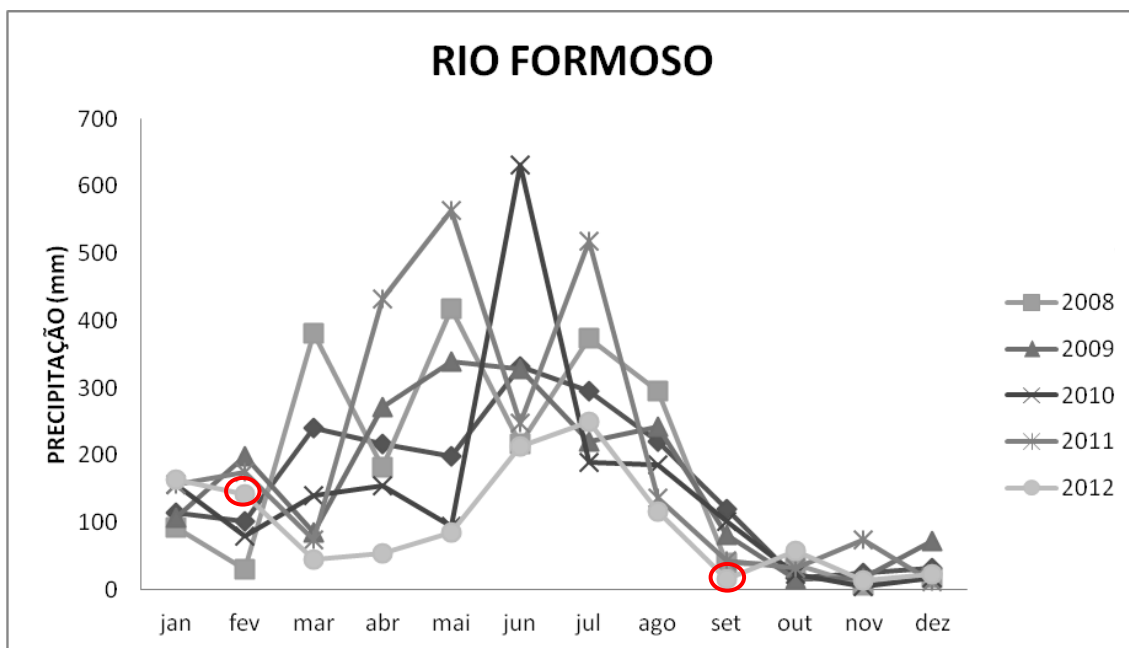


Figura 8. Precipitação mensal dos anos de 2007 a 2012 no município de Rio Formoso, PE, com meses de coleta destacados (fevereiro e setembro de 2012). (Fonte dos dados: PROCLIMA/CPTEC/INPE, 2012).

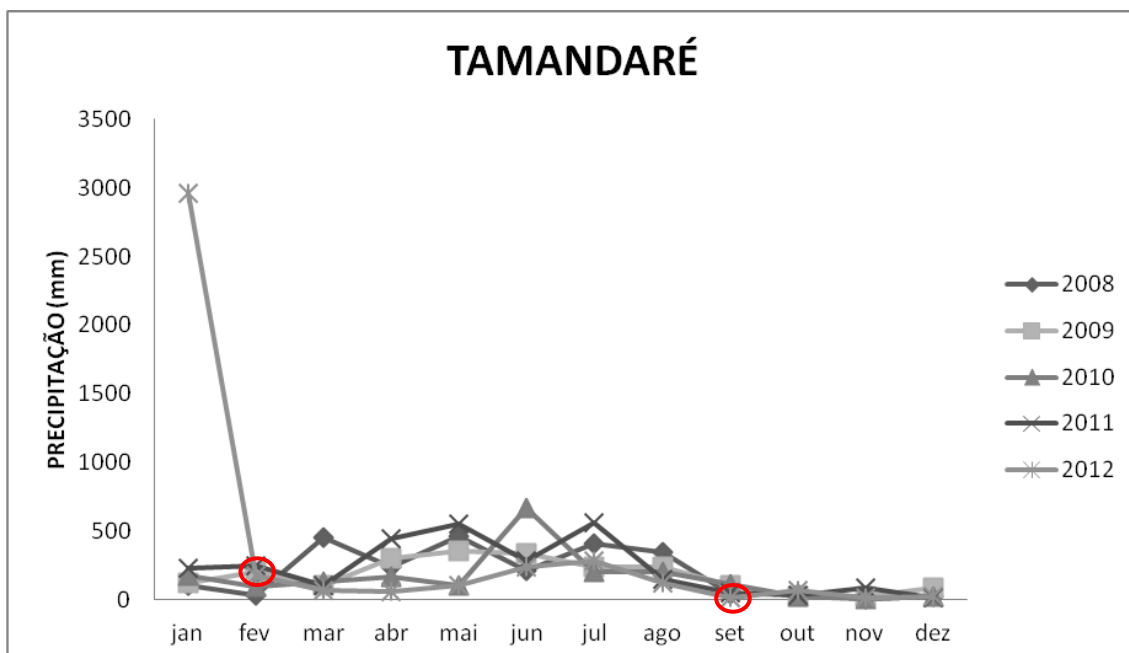


Figura 9. Precipitação mensal dos anos de 2007 a 2012 no município de Tamandaré (PE) com meses de coleta destacados (fevereiro e setembro de 2012). (Fonte dos dados: PROCLIMA/CPTEC/INPE, 2012).

2.3 Hidrografia

A fim de planejar, avaliar e controlar os recursos hídricos, o território pernambucano foi dividido em 29 Unidades de Planejamento – UP (CONDEPE/FIDEM, 2005) (Figura 10). O estuário do rio Goiana faz parte da rede hidrográfica do GL 6, o estuário do rio Sirinhaém está inserido na Unidade de Planejamento Hídrico UP4 e os estuários do rio Formoso e Mamucabas estão inseridos no grupo de bacias hidrográficas dos pequenos rios litorâneos GL 4.

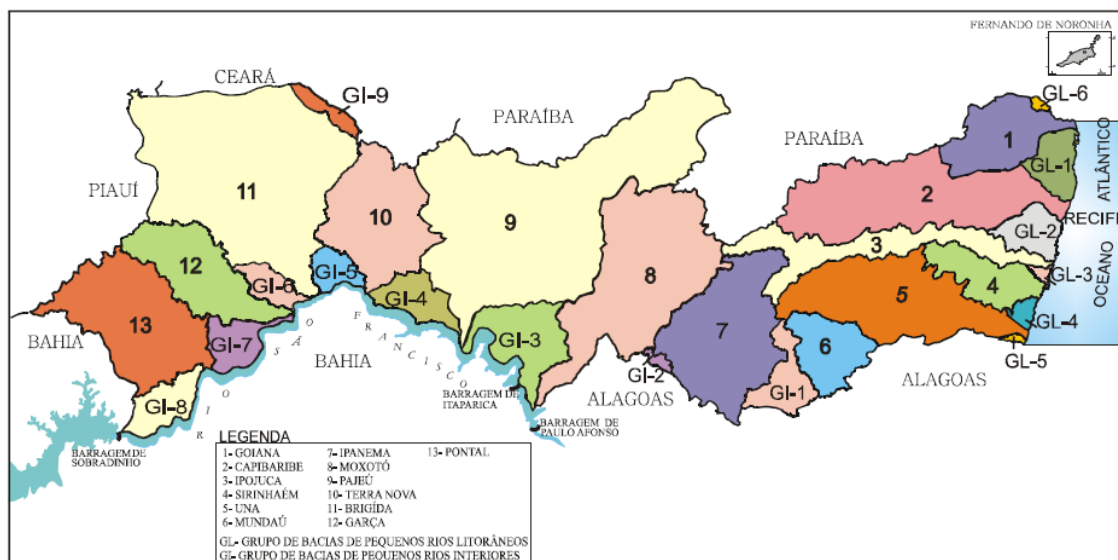


Figura 10: Mapa das unidades hídricas de planejamento do Estado de Pernambuco. Fonte: CONDEPE/FIDEM (2005).

A bacia hidrográfica do rio Goiana tem como principais cursos d'água os rios Capibaribe-Mirim, Siriji, Tracunhaém e Goiana. O rio Goiana é formado pela confluência dos rios Capibaribe-Mirim e Tracunhaém e forma junto com o rio Megaó um estuário misto, sendo cercado pelos municípios de Goiana no Estado de Pernambuco, Caaporã e Pitimbú no Estado da Paraíba. O rio Capibaribe Mirim nasce a uma altitude de 700m nos contrafortes da Serra Pirauá, no município de São Vicente Férrer. Drena a maior parte da bacia e tem uma extensão de 83km. O sentido oeste-leste é a sua direção geral. O seu regime fluvial é intermitente até as proximidades da cidade de Timbaúba, onde se torna perene até a sua foz localizada a 4 km à montante da cidade de Goiana (CONDEPE/FIDEM, 2005).

A Unidade de Planejamento Hídrico UP4 corresponde à bacia do rio Sirinhaém. O rio Sirinhaém é o principal curso d'água da bacia, tendo sua nascente no município de Camocim de São Félix. Sua extensão é de aproximadamente 158 km, com sentido noroeste-sudeste, no qual atravessa as sedes municipais de Cortês e Gameleira.

As áreas estuarinas do rio Formoso e do rio Mamucabas estão inseridas na rede hidrográfica do GL 4. Os seus principais cursos d'água são: rios Ilhetas, Cabrobó, União; e os riachos Vermelho e Saltinho (CONDEPE/FIDEM, 2005). Sua rede hidrográfica está inserida em uma região de elevada pluviosidade, fazendo com que o regime fluvial dos cursos d'água seja perene. Embora perenes os cursos apresentam vazões reduzidas, sendo essas intensificadas nos períodos mais chuvosos.

O rio Formoso nasce na porção noroeste do município de mesmo nome, onde estão localizadas as cabeceiras de seus dois formadores - os riachos Vermelho e Serra d'Água. A partir da confluência desses rios, o rio Formoso dirige-se para sudeste, alcançando a Planície Costeira dominada por seu amplo estuário (CPRH, 2003b).

O rio Mamucabas, nasce no entorno da Reserva Biológica de Saltinho e do engenho Laranjeiras, a 15,5 km da baía de Tamandaré. É considerado um rio de pequeno porte. Sua largura máxima é de 31 m, apresentando várias corredeiras no seu alto curso, o que proporciona boa oxigenação de suas águas. O estuário do rio Mamucabas possui um comprimento de 3,1 km para o continente, podendo ser classificado como estuário de restinga, devido à formação de sua bacia, praticamente paralela à linha de praia.

2.4 Vegetação

A área estuarina do rio Goiana é composta por densas florestas de manguezal na faixa de influências de maré. As principais espécies presentes são: *Rhizophora mangle* (mangue vermelho ou gaiteiro), *Laguncularia racemosa* (mangue manso ou branco) e *Avicenia schaueriana* (mangue preto ou canoé) (BARLLETA & COSTA, 2009). No estuário do rio Sirinhaém observa-se um extenso manguezal constituído por mangue vermelho, com árvores de grande porte. Por outro lado, há também a presença de mangue vermelho de porte mais baixo, estando este associado ao mangue branco (*Laguncularia racemosa*) (CPRH, 2003a). Há também a ocorrência de mangue preto, onde esta espécie possui indivíduos atingindo 20m de altura e 40cm de diâmetro. O manguezal do estuário do rio Formoso é semelhante ao encontrado no Sirinhaém, com a presença típica do mangue vermelho, mangue branco e mangue preto. O porte da vegetação é um pouco mais baixo do que no manguezal de Sirinhaém, com predominância entre 3 a 10m de altura. A vegetação de manguezal em toda extensão do

estuário do rio Mamucabas não difere da encontrada no estuário do rio Sirinhaém e Formoso - e está rodeado por expressivas áreas dos remanescentes de Mata Atlântica (CPRH, 2003b).

2.5 Marés

A costa de Pernambuco é do tipo mesomaré, dominada por ondas, portanto com uma amplitude de maré importante na dinâmica costeira. Existem apenas duas estações maregráficas realizando as previsões de marés no Estado, a saber: Porto do Recife e Porto de Suape. Para este estudo foram utilizados os dados da segunda estação. Considerando o período de coleta de amostras deste estudo, em fevereiro de 2012, a menor maré esteve em 0,0 m no dia 08. As maiores marés apresentaram altura de 2,4 m nos dias 07,09 e 10 do mesmo mês. Em setembro de 2012 as menores marés foram de 0,0 m nos dias 16 e 19, e as maiores marés foram de 2,5 também nos dias 16 e 17 desse mês (DHN, 2012).

3 ESTUÁRIOS: ASPECTOS GERAIS

Os estuários modernos foram formados a menos de 5.000 anos, resultando da subsidência do terreno por processos tectônicos ou da elevação do nível do mar, causando a inundação da foz do rio. Suas localizações, formas e extensões dependem do nível do mar, da topografia do litoral e dos rios. Suas formas foram alteradas por processos erosivos e deposicionais de sedimentos inicialmente naturais, e mais recentemente, como consequência dos tipos de uso e ocupação do solo das bacias de drenagem (MIRANDA et al., 2002).

A definição clássica para estuário proposta por Pritchard (1967) afirma que este “*é um corpo de água costeiro, semifechado, que possui uma ligação livre ao mar e dentro da qual a água do mar se dilui progressivamente com a água doce proveniente da drenagem terrestre*”.

Essa definição aponta que a circulação dentro do estuário está diretamente relacionada aos limites laterais; que a comunicação com o oceano deve necessariamente ser ampla o bastante para permitir o livre e ininterrupto fluxo de maré e diluição da água salgada; e ainda, deve haver gradientes de densidade. Há que se destacar que não é levado em consideração a variabilidade temporal da descarga fluvial e as possíveis alterações morfológicas que ocorrem na grande maioria das embocaduras estuarinas.

Diante dessas limitações Kjerfve (1987) propôs que o “sistema estuarino” “*é uma reentrância costeira com conexão restrita com o oceano, permanecendo aberta pelo menos de forma intermitente, e subdividida em 3 regiões*”:

- 1) Zona de Maré de Rio (ZR), caracterizada por ausência de salinidade na água, mas submetida à subida e descida da maré;
- 2) Zona de Mistura, caracterizada pela mistura de água doce e salgada e apresentando gradientes químicos, físicos e bióticos e,
- 3) Zona Costeira, à jusante da embocadura, estendendo tão longe quanto for observada a pluma de maré vazante no momento de descarga máxima”.

Nessa definição destaca-se a importância do caráter dinâmico dos limites entre as três zonas, que pode variar no tempo em escala de horas a até milhares de anos. Contudo, tal conceito pode ocasionar que se considere um ambiente de sedimentação fluvial como estuarino. Isto porque os processos de transporte difusivos podem carrear sais até áreas onde a sedimentação é exclusivamente fluvial. Além do mais, o

prolongamento do estuário até a *shoreface* introduz um ambiente deposicional marinho clássico dentro do limite estuarino.

Uma definição de cunho mais geológico foi proposta por Dalrymple et al. (1992), que sugere que um estuário é “o limite mais à jusante de um vale afogado que recebe sedimentos fluviais e marinhos e que contém fácies sedimentares influenciadas pela maré, pelas ondas e pelos processos fluviais. O estuário compreende toda a extensão do vale afogado que se estende do limite à montante das fácies de maré até o limite à jusante das fácies costeiras próximo à embocadura”.

Esse conceito de estuário indica a necessidade da presença de uma fácies fluvial. Porém, é comum se encontrar vales inundados com pequena bacia de drenagem e/ou localizados em áreas com pouca pluviosidade, onde os rios são intermitentes ou pouco competentes. Nessas condições a fácies fluvial se torna pouco expressiva ou até mesmo inexistente, e o estuário pode apresentar apenas a fácies marinha (marés e ondas) no registro sedimentológico. Neste caso, alternativamente, pode-se considerar o estuário como um espaço de acomodação interior à linha de costa.

3.1 Importância dos estuários

Os estuários são ambientes de grande importância ecológica, econômica e social. Servem como áreas de alimentação e refúgio para peixes marinhos juvenis que se reproduzem no mar, compreendem áreas de alimentação utilizadas sazonalmente por adultos de peixes marinhos e como habitat definitivo para outras espécies (LOWE-MACCONNELL, 1999).

A situação de interface entre zonas terrestres e aquáticas e entre os ambientes fluviais e marinhos fazem dos estuários um meio muito específico cujos serviços ecossistêmicos oferecidos são de valor inestimável. Os serviços dos ecossistemas são processos de suporte de vida fundamentais sobre os quais todos os organismos são dependentes (DAILY et al., 1997). Dentre esses serviços pode-se citar: a filtração da água e a proteção do habitat.

Os habitats associados aos estuários (e.g. restingas e manguezais) agem como grandes filtros biogeoquímicos reciclando nutrientes e outras substâncias que chegam até ele em concentrações elevadas, antes de transferi-las ou exporta-las para a zona marinha (CHESTER, 1990).

Os estuários e suas áreas úmidas circundantes também funcionam como zonas de amortecimento (VAIPHASA et al. 2006). Eles protegem as áreas costeiras, habitats terrestres e as comunidades humanas de inundações e tempestades. Quando ocorrem inundações, os estuários muitas vezes agem como grandes esponjas, absorvendo o excesso de água. Além disso, também protegem córregos, canais de rios e praias costeiras da erosão causada pelos ventos e água.

Ainda há que se destacar sua elevada produtividade biológica, elevado número de habitats e grande diversidade de peixes e avifauna que os utiliza como local de nidificação, alimentação ou abrigo. Uma das razões que justificam a alta produtividade dos ecossistemas estuarinos é o fato das águas do sistema carregarem nutrientes da bacia circundante (DAY et al., 2013). Por outro lado, além de nutrientes, essa mesma água, muitas vezes traz consigo todos os poluentes que foram introduzidos nas terras da bacia hidrográfica. Por este motivo, os estuários formam alguns dos ecossistemas mais férteis da Terra, mas também podem ser alguns dos mais poluídos.

Além do valor ambiental, os estuários possuem igualmente importante valor econômico, paisagístico e social fornecendo diversos bens e serviços. Diversas são as atividades antrópicas desenvolvidas nessas áreas. Dentre elas estão: a pesca tradicional, a coleta de bivalves, a carcinicultura, a agricultura, as atividades portuárias e industriais, a pesca comercial e recreativa, a exploração de sedimentos, a exploração e produção energética, atividades de turismo, recreio, lazer e desporto, dentre outras.

Somado a essas atividades está a ocupação antrópica sob suas diversas formas, a saber: urbana, industrial, portuária, turística, agrícola etc. Com isso impactos diretos e indiretos ocorrem ao longo dos estuários, seu leito, margens e ecossistemas associados.

3.2 Classificação estuarina

Diversos autores têm proposto inúmeras classificações de estuários com base em critérios morfológicos, de salinidade e hidrodinâmicos (PRITCHARD, 1967; FAIRBRIDGE, 1980; HANSEN & RATRAY, 1966; BOWDEN, 1980; DYER, 1977; IBÁÑEZ et al., 1997, apud MIRANDA et al., 2002).

Classificando os estuários tendo-se como base as características geomorfológicas, é possível agrupá-los em quatro categorias (PRITCHARD, 1952; DYER, 1973): planície costeira (vale inundado), fiorde, formado por barras e, por último, aqueles por outros processos.

Os estuários do tipo **planície costeira** são típicos de regiões de planície costeira e se formaram durante a transgressão do mar no holoceno, que inundou os vales dos rios. O processo de inundação foi mais acentuado do que o de sedimentação e a topografia atual tornou-se muito semelhante ao vale do rio (MIRANDA et al. 2002).

Estão, em geral, localizados em regiões tropicais e subtropicais. Os estuários do Goiana-Megaó (litoral norte de Pernambuco – Brasil), Sirinhaém e Formoso (litoral sul de Pernambuco – Brasil), são classificados como do tipo planície costeira de acordo com Silva et al. (2001).

Os estuários do tipo **Fiorde** foram formados em regiões que durante o pleistoceno estavam cobertas com calotas de gelo, devido a intensa escavação glacial na planície costeira ou próximo à plataforma continental. Possui de forma geral uma secção transversal em forma de U e é normalmente bastante profundo (300 ou 400 m), e com os lados íngremes. Localizam-se em altas latitudes sendo comuns no Alasca, Noruega, no Chile e na Nova Zelândia (MIRANDA et al. 2002).

Nos estuários **construídos por barras** também houve inundação dos vales primitivos dos rios no período da transgressão marinha e ocorre a formação de barras na foz provocada pela sedimentação recente da dinâmica costeira local. Devido aos processos erosivos, grandes quantidades de sedimentos são retrabalhadas pelas ondas e transportadas por correntes litorâneas formando canais e lagunas extensas no seu interior. O estuário Ilheta/Mamucabas (litoral sul de Pernambuco – Brasil), está dentro desta classificação de acordo com estudo realizado por Silva et al. (2001).

O rio ou sistema de rios que nutrem esses estuários apresentam variação na descarga fluvial de acordo com a estação do ano, podendo transportar grande concentração de sedimentos em suspensão, modificando a geometria da barra ou de sua entrada. É muito comum também esses apresentarem canais e lagunas extensas em seu interior. Em alguns sistemas observam-se a erosão da barra em função do aumento da descarga, chegando a alguns momentos ao seu total desaparecimento, restabelecendo-se quando cessa o período de chuvas mais intensas.

Há ainda estuários que foram formados por **outros processos costeiros**, tais como: falhas tectônicas, erupções vulcânicas, tremores e deslizamentos de terra (MIRANDA et al. 2002). Dentre os principais estuários dessa classificação estão: os deltas estuarinos com processo de grande sedimentação formando pequenas ilhas na sua parte interna (delta de enchente) e os que formam ilhas na parte externa (delta de vazante); os estuários do tipo *ria*, de origem tectônica, formaram-se por elevação da

parte continental; e as Lagunas Costeiras foram formadas pelo fechamento da ligação com o mar.

3.3 Circulação estuarina

A circulação estuarina é uma das características mais importantes de um estuário, uma vez que determina o fluxo de sal e de dispersão horizontal e é uma variável-chave que afeta a estratificação. Além da classificação dos estuários baseada em suas características geomorfológicas, eles também têm sido tradicionalmente classificados com base nos padrões de circulação (PRITCHARD, 1952, 1954, 1956; STOMMEL & FARMER, 1952; DYER, 1973, BOWDEN, 1967, 1980).

Os padrões de circulação podem ter efeitos significativos sobre os ciclos biogeoquímicos, sendo o transporte de oxigênio e de nutrientes, exemplos de tais ciclisos (BOICOURT, 1990; KUO et al, 1991).

Baseado na estratificação vertical de salinidade, Pritchard (1955) aponta os seguintes tipos de estuários:

- Cunha Salina (Tipo A): São estuários típicos de regiões onde prevalecem às descargas fluviais em relação à força da maré, as quais tipicamente ocorrem com pequenas amplitudes (micromarés). A cunha salina nesses estuários em resposta as variações da descarga fluvial e da maré não se mantém estacionária, procurando sempre uma posição de equilíbrio. O esquema desse tipo de estuário, está ilustrado no perfil longitudinal da figura 11.

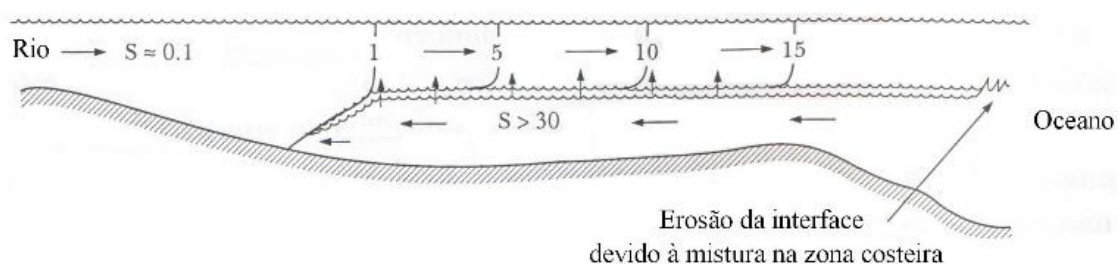


Figura 11. Diagrama esquemático de estuário tipo cunha salina. As setas verticais na interface entre os movimentos bidirecionais indicam o processos de entranhamento (de acordo com Pritchard, 1989, e modificado de Miranda, 2002).

- Moderadamente ou Parcialmente Misturado (Tipo B): Nesse tipo de estuário todo o volume de água no seu interior é agitado periodicamente com a co-oscilação da maré. Pode ocorrer em marés de pequena altura, porém só ocorre em pequenos valores de razão de fluxo, o que possibilita a erosão da haloclina. A maré nesse processo deve possuir energia suficiente para gerar turbulência interna e quebrar as forças estabilizadoras presentes. Nesse momento a turbulência gerada quebra os gradientes verticais, provocando a mistura das camadas, salinizando toda coluna de água. A figura 12 mostra o perfil longitudinal desse tipo de estuário.

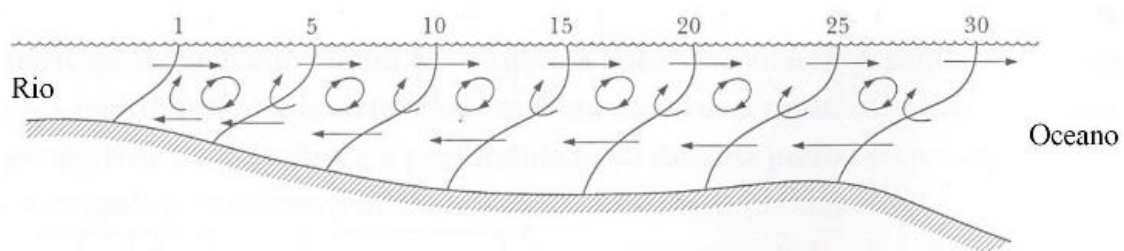


Figura 12: Distribuição longitudinal da salinidade e da circulação num estuário do tipo parcialmente misturado (de acordo com Pritchard, 1989, e modificado de Miranda, 2002).

- Verticalmente bem misturado: Neste estuário, o perfil vertical de salinidade é homogêneo, ou seja, a salinidade das águas superficiais é igual à salinidade das águas do fundo. São verticalmente homogêneos. A salinidade da água só varia lateralmente, sendo mais alta na região oceânica e mais baixa em direção ao continente. Nesse caso, o bombeamento pelas marés é o modo de circulação dominante. São encontrados na natureza dois subtipos desses estuários: (a) *Lateralmente estratificado (Tipo C)*, quando o estuário apresenta a razão largura/profundidade relativamente grande, pode ocorrer uma estratificação lateral da salinidade, embora a coluna da água possa permanecer verticalmente quase homogênea (figura 13); (b) *Bem misturado (Tipo D)*, em canais estuarinos estreitos, o cisalhamento lateral poderá ser suficientemente intenso para gerar condições homogêneas lateralmente. Nessas condições, a salinidade aumenta gradativamente estuário abaixo e o movimento médio está orientado nessa direção em todas as profundidades.

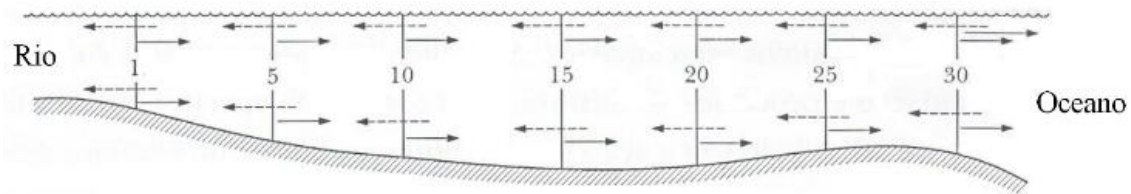


Figura 13. Distribuição da salinidade e da circulação num estuário verticalmente homogêneo, mas com ligeira estratificação lateral (de acordo com Pritchard, 1989, e modificado de Miranda, 2002).

Hansen e Rattray (1966) introduziram um esquema de classificação geral para estuários com base na estratificação-circulação de salinidade que é baseada em dois parâmetros: o parâmetro de circulação, que é a taxa de corrente superficial sobre a velocidade média da água doce através da secção; e o parâmetro de estratificação, que é a diferença entre a salinidade de fundo e superficial divididos pela salinidade média da coluna de água sendo identificados três tipos de estuários:

- tipo 1 – onde o fluxo resultante é para o oceano em todas as profundidades e a transferência de sal para o interior do estuário ocorre por difusão. No tipo *1a* a água é bem misturada com estratificação muito suave, enquanto em *1b* ocorre estratificação.
- Tipo 2- onde o fluxo resultante reverte em profundidade e ambos, advecção e difusão contribuem para o fluxo de sal rio acima. A estratificação dos tipos *2a* e *2b* correspondem aos tipos *1a* e *1b*, respectivamente.
- Tipo 3 – neste há predominância de processos advectivos, a camada inferior é tão profunda que o gradiente de salinidade e a circulação não se estendem até o fundo, uma importante diferença qualitativa com relação aos outros estuários.

A mistura de água salgada e água doce nos estuários ocorre através dos processos de mistura e de difusão. A mistura turbulenta é essencial para os padrões básicos de circulação estuarina (PETERS, 1999; PETERS e BOKHORST, 2000).

Os estuários agem como filtros biogeoquímicos reciclando nutrientes e outras substâncias que chegam até eles em concentrações elevadas, antes de transferi-las ou exportá-las para a zona marinha (CHESTER, 1990). O conceito de filtro estuarino é baseado no fato de que a mistura de água doce e salgada resultará no estabelecimento de fortes gradientes físico-químicos em um ambiente submetido à variações contínuas no fornecimento de matéria e energia. Tais gradientes são as forças condutoras desse filtro.

O filtro estuarino atua sobre o material particulado e dissolvido que são transportados pelo rio, podendo esses serem modificados e retidos dentro da zona de

mistura das águas (CHESTER, 1990). Essas modificações ocorrem via processos físicos, químicos e biológicos envolvendo mudanças na especiação dos componentes encontrados na água. Desse modo, o material particulado pode agir tanto como uma fonte de componentes dissolvidos, que são liberados dentro da solução, como um aprisionador de componentes dissolvidos, que são removidos da solução.

Uma vez que toda água existente em um estuário flui para fora do mesmo em uma escala de dias ou semanas, apenas o sedimento agirá como um retentor dos elementos que são trazidos pelo rio. Entretanto, os sedimentos não são um reservatório estático dentro do sistema estuarino. Esses são submetidos a uma infinidade de processos físicos, químico e biológicos, podendo resultar na reciclagem dos componentes depositados de volta a água. Estes processos de reciclagem incluem (CHESTER, 1990):

- a difusão química de componentes a partir da água intersticial;
- o deslocamento da água intersticial para a coluna d'água, e;
- a ressuspensão dos sedimentos de superfície devido às marés, podendo levar à sua transferência de um local para outro.

A mobilização de elementos contaminantes presentes nos sedimentos estuarinos é potencialmente perigosa para a manutenção do ecossistema. Contaminantes como os metais, por exemplo, em grande concentração, merecem atenção, uma vez que permanecem por longos períodos no ambiente, principalmente nos sedimentos.

3.4 Elementos químicos em ambiente sedimentar estuarino e suportes geoquímicos

De forma geral os processos que se desenvolvem ao longo das bacias hidrográficas tendem a convergir para os estuários. A presença de atividades humanas leva a esses ecossistemas elevadas concentrações de materiais antrópicos que podem ocasionar danos ambientais (OLIVEIRA & MARINS, 2011).

Os sedimentos estuarinos possuem fontes distintas que vão desde a lixiviação da bacia de drenagem, plataforma continental, atmosfera, bem como a erosão dentro do próprio corpo estuarino e da atividade biológica (MIRANDA et al., 2002).

Os sedimentos, em particular, desempenham um papel importante no diagnóstico da condição ambiental de um sistema estuarino. Tal importância se deve a sua grande capacidade de acumular contaminantes bem como de remobilizá-los (ALEXAKIS,

2008) o que lhes confere um caráter mais permanente dos efeitos provenientes da contaminação.

Diversas são as funções dos sedimentos no meio aquático, como: efeito memória em ambientes de deposição, uma vez que as camadas de deposição são temporal e sequencialmente acumuladas; suporte à vida, pois além de representar uma parte essencial do ecossistema aquático formando uma variedade de habitats e ambientes, fornece nutrientes para os organismos aquáticos; fonte secundária, com mobilização de partículas contaminadas e subsequente liberação de contaminantes com ressuspensão natural ou artificial dos sedimentos e; reservatório final de contaminantes, por meio da capacidade de imobilizar elementos potencialmente perigosos, como por exemplo, os metais pesados (FÖRSTNER et al., 2004).

JESUS et al. (2004) apontam que nos sedimentos os elementos químicos distribuem-se de forma heterogênea nos diferentes tamanhos de seus grãos e, de forma geral, uma grande diferença na concentração total de metais é observada para uma mesma amostra. Normalmente a fração onde há maior concentração de metais é a inferior a 63 μm .

A reatividade das partículas de sedimentos estuarinos pode mudar ao longo de intervalos espaciais curtos devido às rápidas mudanças na salinidade, pH, e condições redox (TURNER; MILLWARD, 2002). Com isso a precipitação dos elementos contaminantes (e.g. As, Pb, Cd) é influenciada por esses parâmetros assim como pela presença de óxi-hidróxidos de Fe e Mn, matéria orgânica e argilominerais (KENNISH 1995, LACERDA & MARINS 1997).

As perturbações que ocorrem nos sedimentos podem conduzir a alterações nas propriedades químicas desses, estimulando a mobilização de contaminantes. Dentre os fatores que governam a mobilidade dos elementos em solução no ambiente estuarino Calmano & Forstner (1993) indicam o conjunto pH e Eh como o possivelmente mais importante, uma vez que mudanças nesses parâmetros podem acelerar dessorção, particionamento, degradação bacteriana e a oxidação de contaminantes. Como exemplo pode se citar a mobilidade do arsênio. Esta ocorre em ambientes oxidantes, sendo muito baixa em ambientes redutores (REIMANN; CARITAT, 1998). Já a mobilidade do Cd é média em ambientes oxidantes, sendo muito baixa em ambientes redutores, além disso, o Cd é muito solúvel a pH baixo (REIMANN & CARITAT, 1998).

Quanto à salinidade, analisando-se a variação da concentração da espécie contaminante de interesse em função desta, é possível, compreender os processos

químicos relacionados à propriedade conservativa de tais espécies em regiões de mistura estuarina (CHURCH & SCUDLARK, 1998). A interpretação da reatividade de uma espécie química no ambiente estuarino pode ser feita através de uma curva com a mistura do elemento pelo gradiente de salinidade (diagrama de mistura estuarina) como pode ser observado na figura 14. Com isso é possível observar como tal espécie pode ter sua distribuição linear alterada quando se dá a mistura entre as águas fluviais e marinhas no interior do estuário (WEN et al., 1999). O desvio do comportamento gráfico dos elementos em relação à linha de diluição teórica pode identificar adição ou remoção dos elementos durante a mistura.

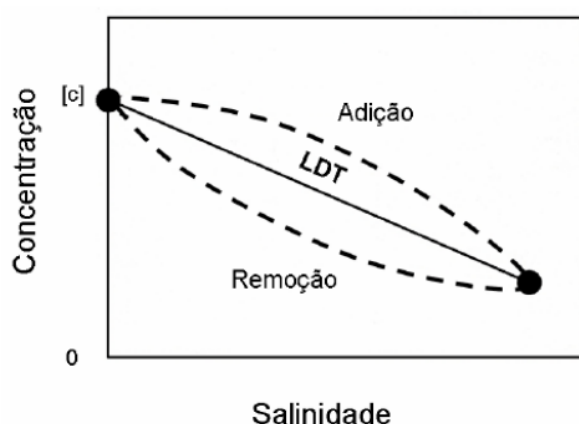


Figura 14. Comportamento conservativo e não conservativo de metais em estuários. Linha de diluição teórica (LDT) indica a diluição ideal de um metal-traço dissolvido em função do gradiente de salinidades. Linhas tracejadas indicam os efeitos de adição ou remoção.

No que concerne à matéria orgânica, a sua decomposição, associada aos sedimentos, provoca modificações que influenciam no ciclo biogeoquímico de vários elementos, determinando a forma na qual os mesmos encontram-se ali presentes. Essas modificações consistem de reações diagenéticas capazes de produzir decomposição de matéria orgânica reduzida, material húmico e quelação de metais (BERNER e BERNER, 1996). Entretanto, tem sido observado em sedimentos muito salinos que a matéria orgânica possui uma importância secundária na retenção/complexação de metais comparada àquela exercida pelos óxidos de Mn/Fe e aos sulfetos (PERIN et al, 1997).

Quanto aos óxidos de Fe e Mn, estes têm influência direta na mobilidade dos elementos. Estes se dissolvem à medida que o Eh decresce e reprecipitam à medida que o Eh aumenta (JENNE, 1968). O mesmo autor afirma ainda que em solos, sedimentos e água os óxidos são os principais controladores de metais pesados. Dessa forma metais

como Cu, Co, Zn e Ni, solúveis em condições levemente ácidas, podem ser agregados nos precipitados de Fe, Al e Mn, deixando de estar solubilizados na água e passando a incorporar os sedimentos de drenagem. Os hidróxidos de Fe, bem como materiais ricos em carbonatos podem, por exemplo, controlar a mobilidade do As causando o acúmulo através de processos de sorção ou co-precipitação (ROMERO et al., 2004). Cabe salientar que Fe ($^{2+}$ e $^{3+}$) pode formar hematita (Fe_2O_3) e magnetita (Fe_3O_4) em condições mais oxidante ou mais redutoras. Assim, a relação Eh *versus* solubilidade de metais é complexa.

No tocante aos argilominerais, estes desempenham um papel fundamental nos processos estuarinos. Isso devido a uma propriedade importante das argilas, a atividade química de sua superfície, que surge devido à carga superficial. O fato dessas partículas (e.g. illita, caulinita) possuírem a capacidade de trocar seus cátions com uma solução, interfere diretamente na mobilidade dos metais em ambientes estuarinos (BIANCHI, 2007). Isto porque tais elementos ficam retidos e fixados nos argilominerais, que, por conseguinte constituem um reservatório importante para os contaminantes. Havendo perturbação hidrodinâmica, por exemplo, as argilas podem ser remobilizadas deixando-os livres.

3.5 **Background Geoquímico**

As atividades antrópicas são responsáveis pela introdução de diversos contaminantes (p.ex. As, Pb, Cd, Hg entre outros) nos compartimentos ambientais. Esse acréscimo de cargas contaminantes no ambiente traz consigo a necessidade de se entender que consequências tais interferências podem acarretar ao ambiente. Com isso as investigações relacionadas ao processo de contaminação do ar, água, solo e sedimentos têm sido crescentes tornando assim o uso do termo *background* geoquímico cada vez mais importante nos estudos ambientais (MATSCHULLAT et al., 2000).

A aplicação inicial do conceito de *background* geoquímico se deu na área de exploração mineral para a busca de depósitos minerais (HAWKES & WEBB, 1962). Entretanto, já no início da década de 1980, devido à necessidade de se avaliar o impacto ambiental de áreas contaminadas passou a ser empregado também nos estudos ambientais. Nesses o objetivo principal é encontrar a influência antrópica sobre o ambiente, manifestado pela presença de uma anomalia antropogênica (SELINUS & ESBENSEN, 1995). Além disso, busca-se fazer a diferenciação dos elementos

contaminantes oriundos das fontes naturais e das fontes antrópicas (GAŁUSZKA & MIGASZEWSKI, 2011).

Nas ciências ambientais o *background* geoquímico é considerado como a medida relativa para distinção entre as concentrações naturais de um elemento ou composto e as concentrações influenciadas por ações antrópicas (MATSCHULLAT et al., 2000). Outra definição é sugerida por Galuszka (2006), onde o mesmo é conceituado como a concentração teoricamente natural de um determinado elemento observando a variável temporal e espacial.

É destacado por Galuska (2006), que o termo *background* geoquímico tem sido compreendido e utilizado de forma variada nos estudos ambientais. Isso de certo modo acaba gerando confusão entre os estudiosos, uma vez que há similaridade entre os seus significados. Porém, há discrepância entre as nomenclaturas adotadas como pode ser observado no quadro 1.

Observando as definições apresentadas no quadro 1 percebe-se que há grande semelhança entre os termos *background* ambiental, antropogênico e local. Uma vez que todos fazem referência às substâncias poluentes oriundas de fontes antropogênicas, em escala regional, não identificadas.

Nota-se ainda que alguns estudos utilizam os termos "faixa de referência geoquímica" ou simplesmente "valores de referência" também como sinônimos de *background* geoquímico, como é o caso do estudo de Tidball et al. (1974) e Nieto & Custodio (2005).

Mesmo diante das divergências relacionadas ao termo utilizado, determinar valores referentes às concentrações naturais/anômalas de determinados elementos, traz, por si só, implicações ambientais significativas (RODRIGUES; NALINE, 2009). Sendo possível definir a concentração acima da qual as substâncias são consideradas poluentes; bem como, possibilita o estabelecimento de critérios de qualidade para os solos, as águas e sedimentos.

Alguns métodos são utilizados para a determinação do *background* geoquímico. Galuszka e Migaszewski (2011) os classificam em métodos: direto (geoquímico), indireto (estatístico) e integrado. O método direto se utiliza de valores médios obtidos através de amostras representativas do período pré-industrial, onde se observa o aspecto histórico (LUIZ-SILVA et al., 2006; BIRCH, 2013), ou obtidos em áreas preservadas, onde se observa o aspecto contemporâneo (DEPAULA & MOZETO 2001, SABADINI-SANTOS et al. 2009).

Quadro 1. Definições referentes ao termo *background*.

Variantes	Definições	Referências
<i>Background ambiental</i>	“Concentrações de substâncias inorgânicas de origem antrópica que são representativas de uma dada região”	Natural resources and environmental protection cabinet (2004)
<i>Background antropogênico</i>	“Concentrações observadas tipicamente em uma dada região como resultado das atividades humanas, não sendo necessariamente relacionadas a uma atividade de contaminação” “Produtos químicos presentes no meio ambiente devido às atividades humanas não relacionadas a uma fonte específica de liberação”	Portier (2001) NFESC (2002)
<i>Background local</i>	“Concentrações de substâncias perigosas presente no meio ambiente, relacionadas à liberação por atividades antropogênicas”	Model Toxics Control Act-Cleanup (2001)
<i>Background natural</i>	“Quantidade de substâncias naturais no meio ambiente isenta de fontes antropogênicas de poluição” “Concentração de substâncias perigosas no meio ambiente não relacionada à liberação por atividades antropogênicas”	Natural resources and environmental protection cabinet (2004) Model Toxics Control Act-Cleanup (2001)
<i>Background que ocorre naturalmente</i>	“Concentrações ambientais de elementos químicos presentes no meio ambiente não influenciadas por atividades antrópicas”	NFESC (2002)
<i>Background pedogeoquímico</i>	“Concentrações naturais de elementos presentes nos solos”	Baize & Sterckeman (2001)
<i>Background pré-industrial</i>	“Concentrações de diferentes elementos de materiais coletados, de áreas estudadas no período pré-industrial”	Matschullat et al. (2000)

Como vantagens do uso do método direto pode ser citado o fato de o *background* geoquímico ser estabelecido de forma relativamente simples. Sendo para isso utilizado as médias ou medianas das concentrações dos elementos. Além disso, não há necessidade de processamento dos resultados originais. Por outro lado, tal método exige um profundo conhecimento sobre o comportamento geoquímico dos elementos estudados e sobre as condições ambientais dominantes, incluindo o entendimento das condições paleoambientais e sedimentológicas, que nem sempre são facilmente entendidas (GALUSKA, 2007).

Há ainda o fato de que a coleta de amostras pré-industriais e materiais datados, para algumas áreas, não garante que eles não passaram por impactos antropogênicos. A exemplo disso há os estudos de Hong et al. (1994) e Hong et al. (1996), onde foram encontrados níveis elevados de Pb que remonta para os antigos períodos gregos e romanos (encontrados em núcleos de gelo da Groenlândia), bem como de Cu desde os tempos romanos e medievais.

No que concerne aos dados obtidos em áreas preservadas, a utilização destes é frequentemente criticada. Isso porque de forma geral há subjetividade nos critérios de seleção e na decisão das áreas a serem estudadas quanto a seu nível de preservação (GALUSKA, 2007). Somado a isso os custos são bastante elevados e há uma carga pesada de trabalho em laboratório.

O método indireto (estatístico) baseia-se em técnicas estatísticas (computacionais e gráficas), que visam eliminar os valores extremos de distribuição da população estatística (considerados como entropicamente influenciados) (MATSCHULLAT et al., 2000), sendo o *background* representado por concentrações não anômalas.

Tal método é criticado pelos geoquímicos por negligenciar a importância dos processos naturais que influenciam a distribuição de elementos ou de compostos químicos no ambiente e por não considerar a incerteza de fases de tratamento da amostra, incluindo a amostragem, a preparação da amostra e análise química (PASLAWSKI; MIGASZEWSKI, 2006).

Vários métodos estatísticos são usados para avaliar o *background* geoquímico (MATSCHULLAT et al., 2000; REIMANN; GARRET, 2005). A revisão detalhada de tais métodos foi publicado por Reimann et al. (2005). Seu ponto de vista é que a construção de boxplots e diagramas de frequência cumulativa, juntamente com informações obtidas a partir de mapas geoquímicos, são as melhores maneira de se determinar o *background* geoquímico.

O método integrado é uma combinação do método direto e indireto onde as amostras são coletadas em áreas preservadas e os resultados são submetidos a cálculos estatísticos (GALUSZKA, 2006). As principais vantagens desse método estão em: levar em consideração o conhecimento especializado sobre o comportamento dos elementos no meio ambiente; utilizar uma abordagem estatística, influenciando a maior precisão da avaliação do *background*; não prevê impacto antropogênico direto sobre a área de estudo; permite avaliar o *background* em escalas regionais e locais (levando-se em consideração as especificidades da região). Como desvantagens podem ser apontadas a subjetividade da seleção da área de estudo; os custos elevados e a carga de trabalho de laboratório pesado; além da necessidade de conhecimentos especializados.

Independente do método escolhido para se estabelecer o *background* geoquímico é importante perceber que é impossível determiná-lo com uma certeza absoluta. Uma vez que este representa uma gama teórica de valores que podem ser obtidos com diferentes métodos (GALUSKA, 2006). Assim, é de suma importância que para se obter valores passíveis de comparação, um método geoquímico específico e confiável seja usado.

A legislação nacional vem buscando estabelecer tais índices, apesar de até o momento haver apenas valores para sedimentos a serem dragados, na Resolução do CONAMA Nº 454/2012. Tal resolução estabelece valores orientadores para alguns contaminantes no material a ser dragado, com base na experiência internacional, utilizando valores estabelecidos de outros países.

Para efeito de classificação do material a ser dragado, são definidos critérios de qualidade que se baseiam em níveis:

- Nível 1: Valor limiar abaixo do qual se prevê baixa probabilidade de efeitos adversos à biota;
- Nível 2: valor limiar acima do qual se prevê efeito adverso à biota.

Para determinação da concentração de metais em sedimentos, o CONAMA (2012) indica que a metodologia analítica para extração dos metais das amostras consista em ataque com ácidos minerais e aquecimento, conforme EPA SW 846: método 3050B (exceto Hg) e 3051A (todos e metais e semi-metais), 7471B (Hg) ou metodologia similar. Os valores orientadores adotados baseiam-se na experiência

internacional e têm como referência as publicações oficiais internacionais constantes no quadro 2.

Quadro 2. Valores orientadores de material a ser dragado recomendado pela Resolução CONAMA N° 454/2012.

POLUENTES	NÍVEIS DE CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL A SER DRAGADO (em unidade de material seco)			
	ÁGUA DOCE		ÁGUA SALINA/SALOBRA	
	Nível 1	Nível 2	Nível 1	Nível 2
Metais e Semi metais (mg.Kg ⁻¹)				
Arsênio (As)	5,9 ¹	17 ¹	19 ³	70 ²
Cádmio (Cd)	0,6 ¹	3,5 ¹	1,2 ²	7,2 ³
Chumbo (Pb)	35 ¹	91,3 ¹	46,7 ²	218 ²
Cobre (Cu)	35,7 ¹	197 ¹	34 ²	270 ²
Cromo (Cr)	37,3 ¹	90 ¹	81 ²	370 ²
Mercúrio (Hg)	0,17 ¹	0,486 ¹	0,3 ³	1,0 ⁴
Níquel (Ni)	18 ¹	35,9 ¹	20,9 ²	51,6 ²
Zinco (Zn)	123 ¹	315 ¹	150 ²	410 ²

1 CCME (2002); 2 Long et al., (1995); 3 CCME (2008); 4 HPA (2011)

O uso de métodos considerados “pseudototais” se justifica pelo fato de estes possibilitarem a determinação da influência antropogênica e, dessa forma, poderem ser usados no monitoramento ambiental (SCANCAR et al., 2000; ALLOWAY, 2012). Por outro lado, as extrações consideradas “totais” produzem poucas informações úteis, uma vez que os efeitos ecotoxicológicos de um elemento químico, assim como o seu comportamento ambiental (transporte, reatividade, mobilidade etc.), dependem totalmente da sua forma química (QUEVAUVILLER, 1998; KOT & NAMIESNIK, 2000).

No Brasil, a Resolução n° 420 do CONAMA, de 28 /12/ 2009, que “dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas” também recomenda os dois tipos supracitados de metodologias de extração das substâncias inorgânicas das amostras (USEPA 3050 ou USEPA 3051 em suas atualizações).

Os critérios de avaliação da qualidade dos solos e sedimentos se aproximam bastante, isso porque tais protocolos são cada vez mais relacionados às informações biológicas (AHLF et al., 2002). Os solos e sedimentos são compostos essencialmente das mesmas matrizes, eles recebem *inputs* semelhantes de contaminantes, onde os principais processos interativos entre os componentes sólidos e dissolvidos no geral diferem apenas na intensidade (AHLF & FÖRSTNER, 2001), justificando essas similaridades nos protocolos supracitados.

Com isso, é válido levar em consideração os métodos utilizados para se estabelecer os valores de referência de qualidade (VRQs) do solo quanto à presença de substâncias químicas quando da elaboração desses VRQs para sedimentos estuarinos.

Para a definição dos VRQs de solo são identificados os tipos de solo mais representativos de cada Estado, onde são então selecionados os parâmetros para caracterização do solo. De forma geral, as amostras são compostas e são obtidas na camada entre 0 a 0,2m. Para análises das substâncias inorgânicas, utiliza-se a fração de solo menor que 2 mm, e a metodologia padrão definida para extração dos elementos é o método 3050 e 3051 (ou em suas atualizações) da USEPA (CONAMA, 2009).

Outro ponto importante no estabelecimento de VRQs é a escolha por procedimentos estatísticos mais adequados (PAYE, 2008). Segundo o CONAMA (2009), o VRQ de cada substância pode ser estabelecido com base no percentil 75%, onde existe a tentativa de normalizar a distribuição de dados, pela exclusão dos 25% dos valores mais elevados, que são considerados anomalias (CETESB, 2001), ou percentil 90% onde os 10% dos valores superiores são considerados como anômalos. Assim fica estabelecido o valor que ocupa a posição indicada como referência de qualidade.

4 MÉTODOS E TÉCNICAS

4.1 Amostragem

Foram coletados sedimentos superficiais de fundo e testemunhos em um afluente de cada um dos estuários analisados neste estudo, a saber, estuário do rio Goiana (Figura 15), Sirinhaém (Figura 16) e Formoso (Figura 17). No caso do estuário do rio Mamucabas (Figura 18), cuja formação de sua bacia é praticamente paralela à linha de praia, sem apresentar afluentes na zona estuarina, as coletas foram realizadas ao longo do canal principal.

Amostras pontuais de sedimentos superficiais foram coletadas distando cerca de 1m da margem de cada estuário. Foi estabelecida uma distância de ~100m entre cada ponto de coleta, a partir do primeiro ponto.

A fim de se avaliar a variabilidade sazonal, foram realizadas duas campanhas de coletas, uma no início da estação chuvosa (Campanha A - CA) - fevereiro/2012 e outra no início da estação seca (Campanha B - CB) - setembro/2012.

Os sedimentos superficiais de fundo foram coletados com a utilização de amostrador do tipo *Van Veen* em aço inox, que possibilita a coleta de sedimentos a uma profundidade de aproximadamente 10 cm.

Cabe destacar que a quantidade de amostras e a localização destas variaram nos estuários analisados nas campanhas de coleta. No caso do rio Goiana, a vegetação bloqueou a entrada no meandro onde as amostras foram coletadas de forma alternada em cada coleta. Da mesma forma, no estuário do rio Formoso a vegetação na campanha B impediu o avanço do barco em direção ao interior do afluente objeto das coletas. No caso do rio Mamucabas, na campanha A coletou-se um número de amostras inferior ao da campanha B. Isso se deu pela presença de barras arenosas, que impediam a passagem da embarcação.

Um testemunho de 1m de comprimento também foi coletado em cada um desses estuários apenas na Campanha A. Para isso foi utilizado um testemunhador em tubo de PVC. A profundidade amostrada variou de acordo com a profundidade da coluna sedimentar em cada estuário. Cada testemunho foi seccionado de 3 em 3 cm, produzindo uma amostra a cada 3 cm de espessura. Assim os testemunhos coletados tiveram: 30 cm (10 amostras) de profundidade no rio Goiana, 48 cm (16 amostras) no Sirinhaém, 36 cm (12 amostras) no Formoso, e 45 cm (15 amostras) no Mamucabas.

As amostras foram então acondicionadas em sacos plásticos devidamente etiquetados com a numeração da amostra, sendo mantidas até 4°C até a chegada em laboratório, onde foram mantidas em freezer até que fossem preparadas para a realização das análises.

Paralelamente a coleta de sedimentos foi realizada a medida dos parâmetros físico-químicos da água superficial. A determinação desses parâmetros (pH, Eh e condutividade elétrica) foi feita com sonda multi-parâmetro portátil durante a coleta, cujo eletrodo de referência é Ag/AgCl ([KCl] = 3 mol L⁻¹).

As medições de Eh foram realizadas com eletrodo combinado de platina e as de pH, com eletrodo combinado de vidro. Em ambos os casos, o eletrodo de referência foi Ag:AgCl ([KCl] = 3 mol L⁻¹). Os valores de Eh medidos foram recalculados para o potencial padrão do hidrogênio (Standard hydrogen electrode – SHE), utilizando a seguinte equação:

$$Eh_{SHE} = Eh_{medido} + 209 - 0,7 (t - 25^{\circ}C) \text{ mV}$$

onde, 209 (mV) é o potencial do eletrodo de referência, relativo ao SHE, e 0,7 é um fator de correção, função da temperatura de aquisição do Eh (NORDSTROM & WILDE, 1998).

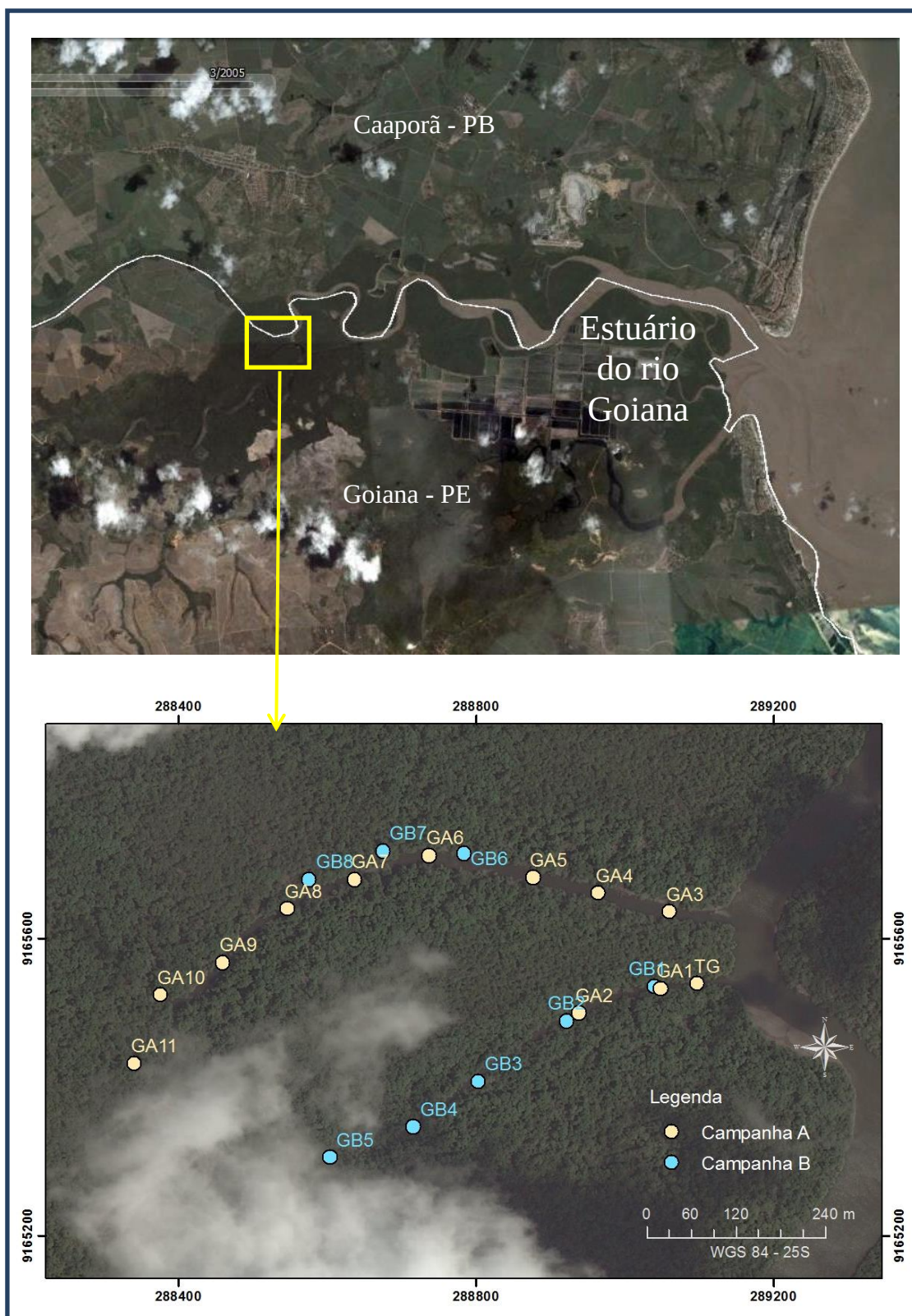


Figura 15. Localização do estuário do rio Goiana, das estações de amostragem do sedimento superficial de fundo e testemunho e dos parâmetros físico-químicos da água (GA – Goiana campanha A e GB – Goiana campanha B; TG – Testemunho Goiana). Fonte: Imagery ESRI 2013 e IBGE 2010.

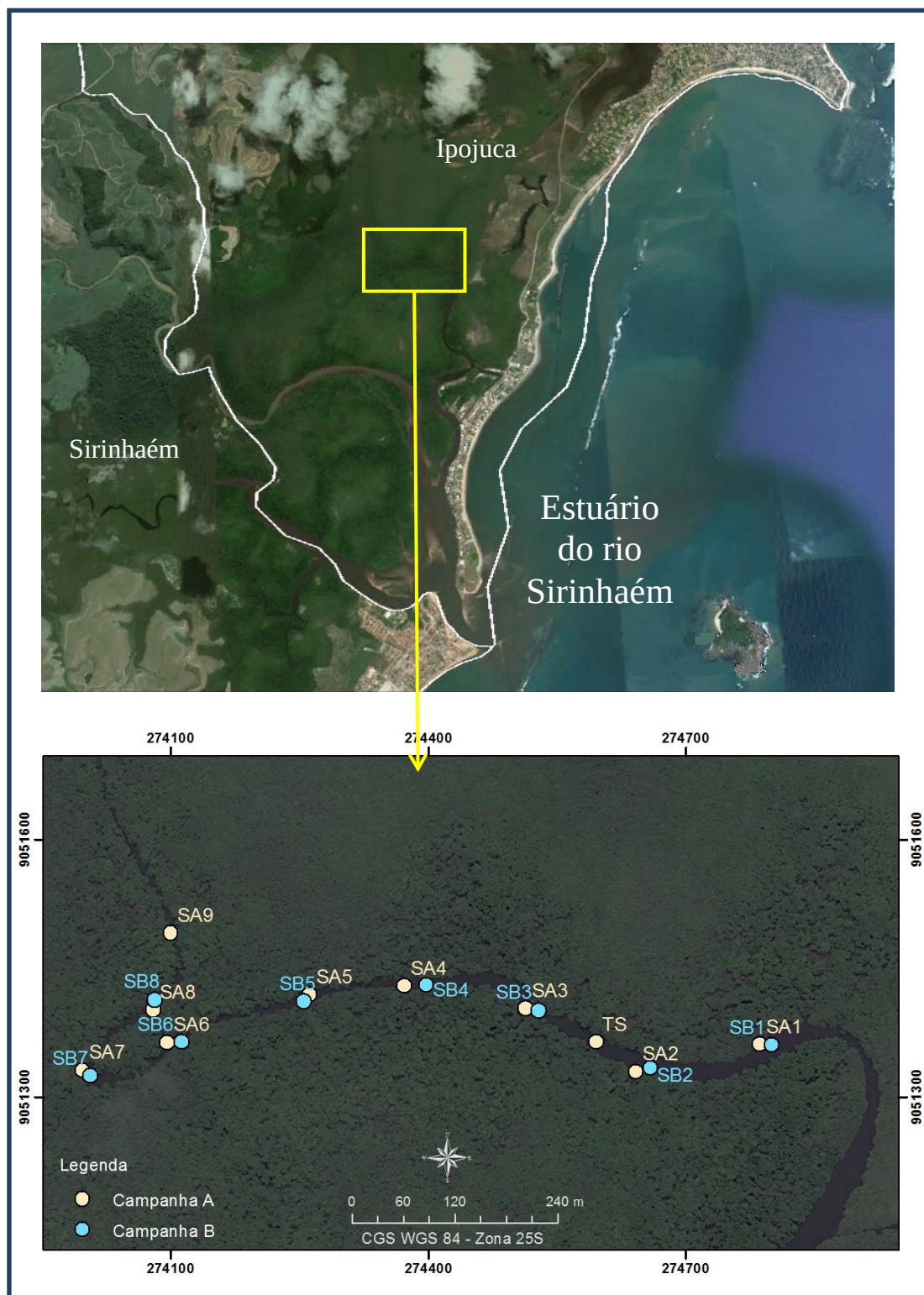


Figura 16. Localização do estuário do rio Sirinhaém das estações de amostragem do sedimento superficial de fundo e testemunho e dos parâmetros físico-químicos da água (SA – Sirinhaém campanha A e SB – Sirinhaém campanha B; TS – Testemunho Sirinhaém). Fonte: Imagery ESRI 2013 e IBGE 2010.

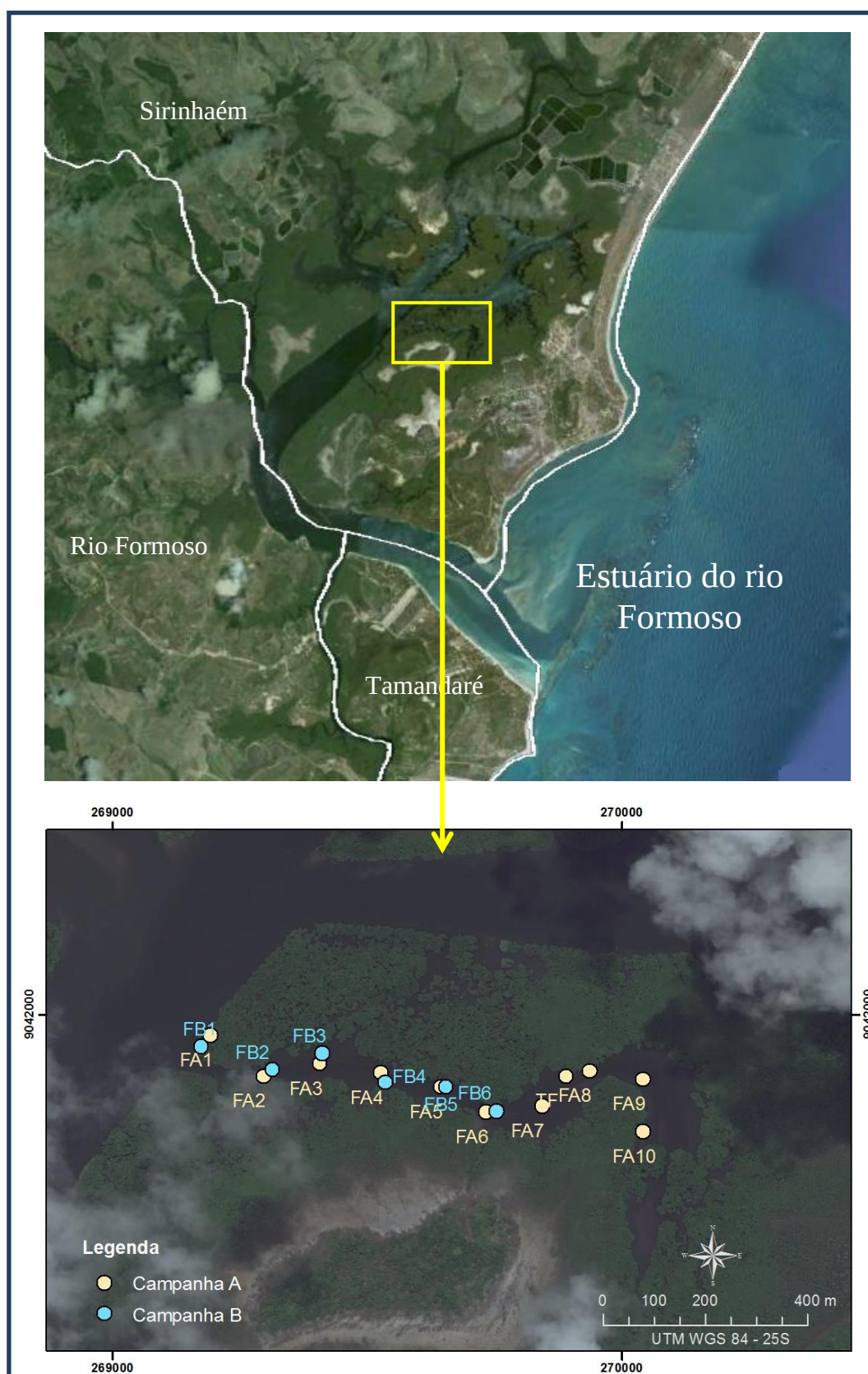


Figura 17. Localização do estuário do rio Formoso das estações de amostragem do sedimento de fundo superficial e testemunho e dos parâmetros físico-químicos da água (FA – Formoso campanha A e FB – Formoso campanha B; TF – Testemunho Sirinhaém). Fonte: Imagery ESRI 2013 e IBGE 2010.

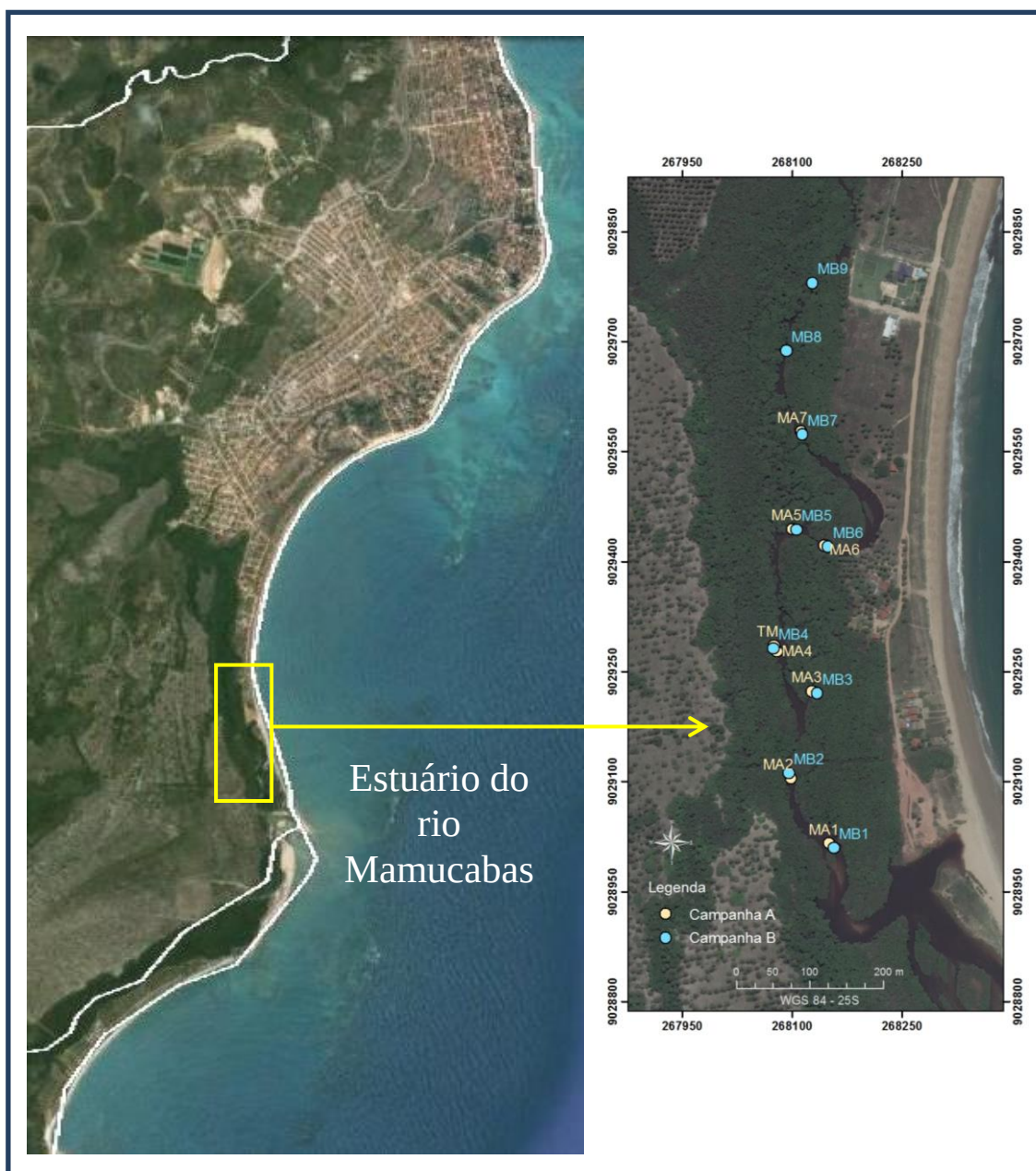


Figura 18. Localização do estuário do rio Mamucabas das estações de amostragem do sedimento superficial de fundo e testemunho e dos parâmetros físico-químicos da água (MA – Mamucabas campanha A e MB Mamucabas campanha B; TF – Testemunho Formoso). Fonte: Imagery ESRI (2013); IBGE (2010).

4.2 Tratamento das amostras e quantificação da matéria orgânica e carbonatos totais

No laboratório as amostras foram secadas à temperatura ambiente e, em seguida, desagregadas, homogeneizadas e quarteadas. Uma parte do material quarteado foi utilizada para a análise da composição granulométrica dos sedimentos, enquanto outra foi peneirada (peneiras de *nylon*) para se obter a fração granulométrica $<63\mu\text{m}$ usada como analito das análises geoquímicas e de matéria orgânica. Cabe ressaltar que algumas amostras se mostraram predominantemente arenosas. Na tentativa de se obter uma quantidade mínima necessária da fração supracitada foi peneirado todo material amostrado. Com isso não foi possível se quantificar a fração fina nas análises granulométricas.

Para determinação do valor estimado de matéria orgânica, utilizou-se a metodologia adotada por Kralik (1999). Para isso, uma alíquota de 1,0g de cada amostra (secada e peneirada – fração $<63\mu\text{m}$) foi colocada em cadinho de porcelana previamente pesado. Primeiro as amostras foram deixadas em estufa a 105°C por aproximadamente 16h (até peso constante). Em seguida os cadinhos foram levados a mufla a 360°C (2h). Após resfriarem em dessecador, os cadinhos contendo as amostras foram novamente pesados, e a diferença de peso obtida foi considerada igual à quantidade de matéria orgânica calcinada.

Após a obtenção da matéria orgânica, os cadinhos contendo as amostras retornaram à mufla, desta vez a 1000° graus por 1 hora (modificado de DEAN, 1974). A diferença de peso entre 360 e 1000° correspondeu a quantidade de CO_2 liberado. Para a obtenção da quantidade de carbonato perdido na amostra, utilizou-se o fator 0,44 (fração de CO_2 em CaCO_3).

4.3 Composição Granulométrica

Para a determinação da granulometria, em uma alíquota de aproximadamente 1g foi adicionada solução 40 mL de hexametáfosfato de sódio 4%, seguindo-se de uma agitação por 24h para dispersão das partículas. A amostra foi peneirada a $500\mu\text{m}$ e a parte inferior a esse valor foi analisada quanto à distribuição granulométrica por difração a laser, utilizando o equipamento CILAS 1064 e a escala granulométrica de Udden-Wentworth, no Laboratório de Análise Ambiental da UNICAMP. Algumas

amostras se mostraram muito arenosas e sem fração fina suficiente, não sendo passíveis de medida no granulômetro. Neste caso, foram consideradas como arenosas de acordo com as informações das peneiras.

4.4 Composição Mineralógica

Dentre as amostras de sedimentos superficiais de fundo, algumas delas foram selecionadas para análise por difratometria de raios-X. O critério usado para tal seleção foi a diferença faciológica e o espacial, ou seja, amostras com características texturais, de cor, presença ou não de matéria orgânica e conchas bem como a distribuição na área de estudo. Também foram analisadas algumas amostras dos testemunhos, atendendo ao mesmo critério acima citado.

Cerca de 2g das amostras (fração $<63\mu\text{m}$) foram separadas para as análises. Estas foram realizadas no Departamento de Mecânica do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, em um equipamento Shimadzu XRD – 6000. As condições de operação para análise rotineira foram padronizadas utilizando-se radiação de Cu-K α em voltagem de 40Kv, corrente de 20mA, 2θ de 2 a 60°, com aquisição contínua de 1° por minuto.

4.5 Determinações Químicas

Para as análises químicas multi-elementares (Be, B, Al, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Sr, Ag, Cd, Ba, Tl e Pb), as amostras foram solubilizadas utilizando o método USEPA SW-846 3051A (U.S. EPA, 2007), que promove a solubilização ácida parcial da amostra em forno de micro-ondas, utilizando o ácido nítrico (HNO_{3conc.}). O ácido extrai metais ligados aos sulfetos, hidróxidos, alguns óxidos, precipitados, entre outros. Alguns compostos refratários não são completamente solubilizados como quartzo, silicatos, dióxido de titânio, alumina e alguns tipos de óxidos. Os elementos ligados a esses materiais não são considerados móveis no meio ambiente e são excluídos de muitos mecanismos de transporte de poluição (U.S. EPA, 2007).

Para isso uma massa representativa de aproximadamente 0,5g de amostra de sedimento foi transferida para os vasos de digestão de teflon. A digestão foi realizada em digestor microondas utilizando $10\pm0,1$ mL de HNO₃ concentrado. O tempo de digestão foi de 10' ($175\pm5^\circ\text{C}$ em aproximadamente $5,5\pm0,25$ minutos, permanecendo a $175^\circ\text{C}\pm5^\circ\text{C}$ por 4,5 minutos). Após a digestão por microondas, as amostras foram

transferidas sob filtração para balão volumétrico de 50 mL com seguidas lavagens do resíduo retido no papel de filtro com água deionizada. Em seguida, o volume foi aferido com água deionizada até a marca.

As leituras foram realizadas em espectrômetro de plasma com espectrometria de massa acoplada (ICP-MS), em um modelo XseriesII (Thermo) equipado com CCT (*Collision Cell Technology*), no Laboratório do Instituto de Geociências da UNICAMP. A calibração do instrumento foi efetuada com soluções-padrão multi-elementares preparadas gravimetricamente a partir de soluções-padrão monoelementares de 10mg L^{-1} (*High Purity Standards*), e 1000mg L^{-1} (*Merck*).

A estabilidade do equipamento foi monitorada e corrigida utilizando os elementos In e Re como padrão interno. As variações durante todo o período de medidas ficaram no intervalo de $\pm 10\%$.

Não foi possível realizar o controle de qualidade com amostra de material certificado de referência no momento das análises. Contudo, Quináglia (2006), realizou análises utilizando o mesmo método deste trabalho (3051A U.S EPA) e utilizou para o controle de qualidade o material de referência certificado WQB-3 fornecido pelo *National Water Research Institute – Environment Canada* (Anexo1). Os valores de recuperação nas amostras apresentaram valores de recuperação dentro da faixa de 75-125% recomendada para metais (U.S EPA, 1996).

Após a análise dos resultados foram observadas concentrações relativamente elevadas de As nos sedimentos estudados, particularmente nos estuários do litoral sul. Com o objetivo de se identificar a possível fonte desse elemento químico, foram analisadas amostras de rochas (arenitos e rochas vulcânicas alteradas) das porções mais elevadas e mais próximas (possível fonte dos sedimentos) da área do Estuário do Rio Mamucabas (Figura 4), bem como de algas (*Halimeda punctata*), observadas nos sedimentos praias do estuário do rio Formoso. A análise de algas foi feita porque Mirlean *et al.* (2011) demonstraram a capacidade de algas calcárias (ocorrem como bioclásticos nos sedimentos praias) acumularem concentrações relativamente elevadas de As de origem do ambiente marinho, no estado do Espírito Santo.

Para essas análises utilizou-se a Fluorescência de Raios X por Energia Dispersiva, para determinar as concentrações de As, utilizando um equipamento de fluorescência de raios X (modelo EDX-720 da Shimadzu) no SEAMB – Serviço de Análises Ambientais do CRCN – NE - Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste.

A calibração para a determinação quantitativa do As presente, bem como a avaliação da precisão e exatidão do método foi feita recorrendo aos materiais de referência certificados *Standard Reference Material® 2710 Montana Soil Highly Soil Highly Elevated Trace Element Concentrations* As=626±38; *Standard Reference Material® 2782 Industrial As*=166±20; *Standard Reference Material® 2711A Montana II Soil Moderately Elevated Trace Element Concentrations* As=107±5. O branco teve como resultado 58,1 mg.kg⁻¹. O limite de detecção foi de 60 mg.kg⁻¹. As análises realizadas nas algas apresentaram valores abaixo do limite de detecção impedindo assim a sua quantificação.

4.6 Análises Estatísticas

A partir dos resultados obtidos foram realizadas análises estatísticas através do programa STATISTICA 5.1 (Copyright© 1984-97, StatSoft, Inc.). A normalidade dos parâmetros foi testada através do teste Shapiro-Wilk ($p < 0,05$) sendo que a maioria dos parâmetros não apresentou uma distribuição normal. Dessa forma, o tratamento estatístico adotado foi não paramétrico: correlação de Spearman. Este opera com *ranking* das medidas para cada variável, e testes Mann-Whitney ($p < 0,05$), ambos utilizados para comparar as variações sazonais das concentrações dos elementos em cada estuário.

Quando o elemento químico na amostra analisada apresentou concentração inferior ao limite de detecção mínimo do ICP-MS (ocorreu com o B – no estuário do rio Goiana, Se – no estuário do rio Sirinhaém, Zn – no estuário do rio Formoso e Mamucabas e o Cd – no estuário do rio Mamucabas), utilizou-se a metade desse limite em todos os cálculos estatísticos.

5 RESULTADOS

5.1 Granulometria

As porcentagens de argila ($\leq 3,90\mu\text{m}$), silte ($3,91$ a $62,50\mu\text{m}$) e areia fina-média ($62,51$ a $500\mu\text{m}$) ao longo dos testemunhos e nos sedimentos de fundo superficial dos estuários estudados são mostradas nas figuras 19, 20, 21 e 22.

No testemunho do estuário do rio Goiana (figura 19) a variação das frações granulométricas foi de 0 e 24,7% (argila), 35 e 72,9% (silte) e 4,3 e 58,4% (areia). Até a profundidade 9-12 cm a fração silte foi a predominante, sendo que em direção à base a fração areia foi a que apresentou as maiores concentrações de forma geral. Nos sedimentos de fundo superficial as concentrações da fração argila foram de 4,9 a 30,4% (CA) e de 13,1 a 25,9% (CB), a fração silte variou entre 9,2 e 65,6% (CA) e de 35,4 a 65,1% (CB), e a fração areia variou entre 3,9 e 84,3% (CA) e de 10,5 a 51,4% (CB).

No testemunho do estuário do rio Sirinhaém (figura 20) a variação das frações granulométricas foi de 5,3 e 44,5% (argila), 24,3 e 66,7% (silte) e 0,1 e 70,2% (areia). Este se mostrou predominantemente siltoso até a profundidade 27-30 cm e mais arenoso em direção à base. Nos sedimentos de fundo superficial as concentrações da fração argila foram de 6,3 a 17,6 (CA) e de 8,3 a 13,3(CB), a fração silte variou entre 27 e 67,1(CA) e de 24,7 a 47 (CB), e a fração areia variou entre 17,6 e 67,1 (CA) e de 8,3 a 39,6 (CB).

No testemunho do estuário do rio Formoso (figura 21) e nos sedimentos de fundo superficial das estações seca e chuvosa, algumas amostras eram constituídas basicamente por partículas $>500\mu\text{m}$. Estas não foram representadas nas figuras a seguir. Pereira da Silva (2008), estudando a sedimentologia do estuário do rio Formoso apontou que os grãos arenosos apresentam espacialização predominante, destacando-se nas amostras por ele analisadas (220 ao longo do estuário) com percentuais acima de 90%.

As variação das frações granulométricas no testemunho do estuário do rio Formoso foram de 0 e 39,7% (argila), 0 e 64% (silte) e 0 e 19,9% (areia), se mostrando predominantemente siltoso até a profundidade 24-27 cm, sendo a partir daí constituído de grão de areia ($>500\mu\text{m}$). Nos sedimentos de fundo superficial as concentrações da fração argila foram de 0 a 29,7 (CA) e de 0 a 21,6 (CB), a fração silte variou entre 0 e 54,5 (CA) e de 0 a 66,74 (CB), e a fração areia variou entre 0 e 23 (CA) e de 0 a 78,3 (CB).

No testemunho do estuário do rio Mamucabas (figura 22) a variação das frações granulométricas foi de 0 e 28,9% (argila), 0 e 69% (silte) e 0 e 74,1% (areia). Este se mostrou predominantemente siltoso até a profundidade 12-15 cm e mais arenoso em direção à base apresentando amostras com frações superiores a 500 μ m. Nos sedimentos de fundo superficial as concentrações da fração argila foram de 0 a 28,3 (CA) e de 0 a 32,6 (CB), a fração silte variou entre 0 e 65 (CA) e de 0 a 69,9 (CB), e a fração areia variou entre 0 e 67,1 (CA) e de 0 a 14,5 (CB).

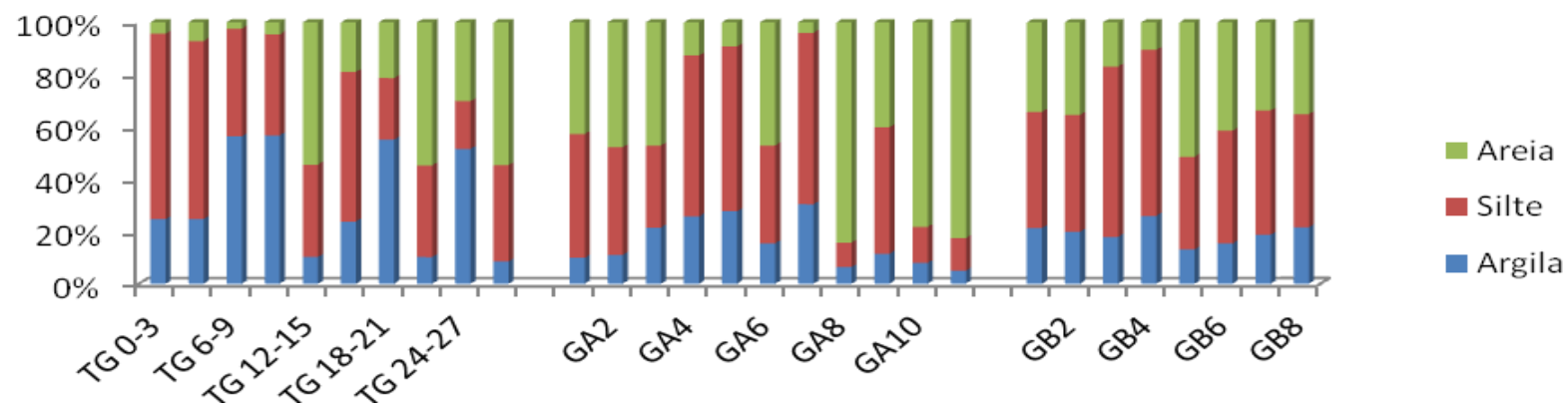


Figura 19. Quantidade (em percentual) das frações areia, silte e argila nas amostras de testemunho e sedimentos superficiais de fundo do estuário do rio Goiana.

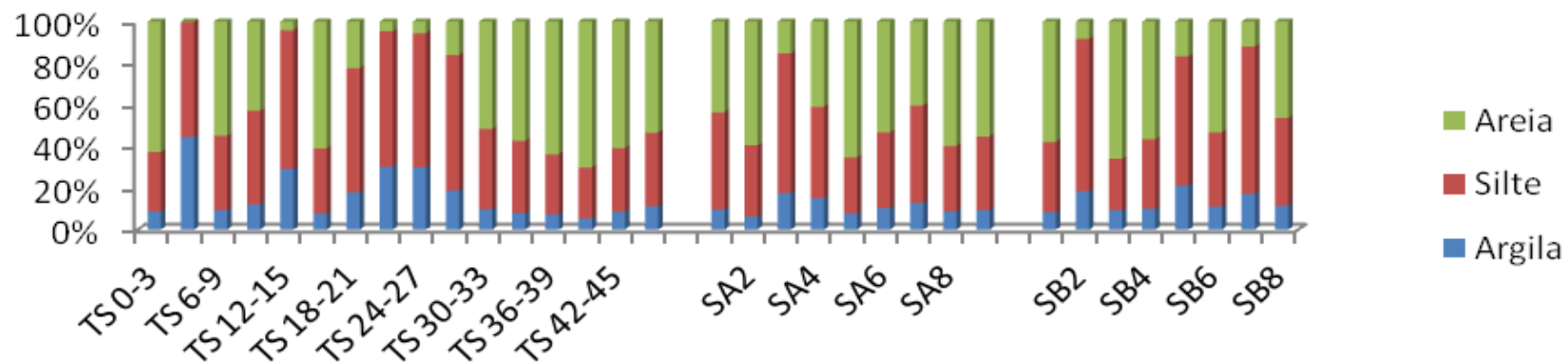


Figura 20. Quantidade (em percentual) das frações areia, silte e argila nas amostras de testemunho e sedimentos superficiais de fundo do estuário do rio Sirinhaém.

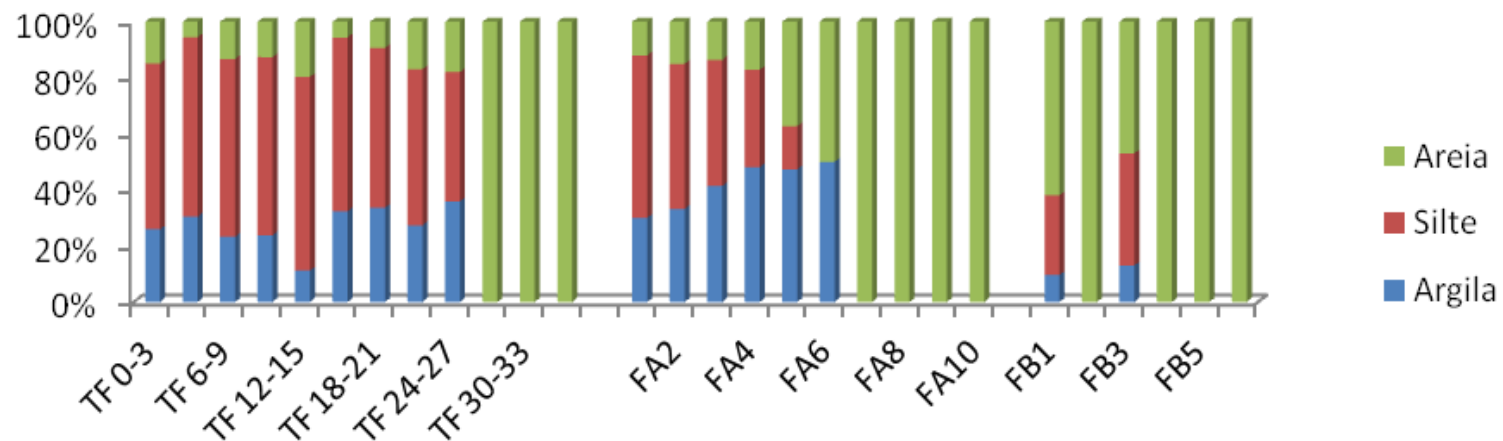


Figura 21. Quantidade (em percentual) das frações areia, silte e argila nas amostras de testemunho e sedimentos superficiais de fundo do estuário do rio Formoso.

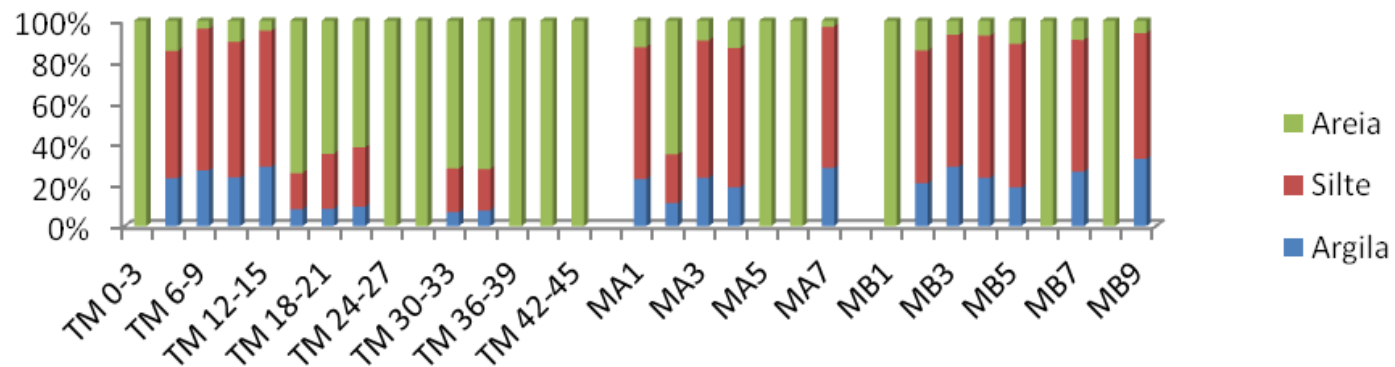


Figura 22. Quantidade (em percentual) das frações areia, silte e argila nas amostras de testemunho e sedimentos superficiais de fundo do estuário do rio Mamucabas.

5.2 Parâmetros físico-químicos da água

Os valores dos parâmetros físico-químicos medidos na água superficial das estações de amostragem são mostrados nos apêndices 1,2,3 e 4.

A temperatura da água apresentou um discreto padrão sazonal, com maiores valores na estação seca, de forma geral. No estuário do rio Goiana esse parâmetro variou de 27,8°C a 28,4°C na CA e de 26,3°C a 27,1°C na CB. No estuário do rio Sirinhaém a variação foi de 29,5°C a 31,2°C na CA e de 26,5°C a 27,8°C na CB. No estuário do rio Formoso foi de 27,7°C a 28,5°C na CA e de 27,5°C a 28,4°C na CB. No estuário do Mamucabas 29°C a 30,8°C na CA e 26°C a 27,2°C na CB.

Os valores encontrados para o pH no estuário do rio Goiana foram de fracamente ácido a neutro na CA (6,5-7,0) e também na CB (6,5-6,8). No estuário do rio Sirinhaém os valores foram de fracamente ácidos (5,9-6,1) na CA e de fracamente ácido a neutro (6,4-6,9) na CB. Para o estuário do rio Formoso o pH foi neutro ou fracamente básico (6,6-7,3) na CA e neutro ou fracamente básico à fortemente básico (7,1-8,6) na CB. E no estuário do Mamucabas a variação foi de fracamente ácido (6,1-6,6) na CA e neutro ou fortemente básico (7,2-8,4) na CB.

Os índices de pH encontrados neste trabalho estão consoantes com outros trabalhos realizados nos mesmos estuários analisados, como aquele de Souza (2013) que descreveu pH entre 6,5 e 6,7 no estuário do rio Goiana. No estuário do rio Formoso Silva et al. (2009) apresentaram valores de pH alcalino variando de 7,05 a 8,88.

O Eh nos estuários estudados indicaram de forma geral ambientes oxidantes, excetuando-se algumas estações de amostragem do estuário do rio Formoso e do Mamucabas na estação chuvosa. Os valores obtidos no estuário do rio Goiana variaram entre 485,62mV a 512,9mV na CA e de 188,09mV a 901,53mV na CB. No estuário do rio Sirinhaém foi de 440,64mV a 479,15mV na CA e de 529,95mV a 570,95mV na CB. No estuário do rio Formoso foi de 193,55mV a 219,62mV na CA e de -131,96mV a 168,25mV na CB. No estuário do rio Mamucabas foi de 245,85mV a 441,22mV na CA e de -456mV a 327mV na CB.

A condutividade elétrica no estuário do rio Goiana na CA variou de 2.120 $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$ a 6.860 $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$ e de 1.202 $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$ a 4.150 $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$ na CB. No estuário do rio Sirinhaém essa variação foi de 750 $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$ a 3.670 $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$ na CA e de 5.280 $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$ a 13.180 $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$ na CB. A condutividade elétrica no estuário do rio Formoso foi de 14.120 $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$ a 15.840 $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$ na CA e de 16.820 $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$ a 17.290 $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$ na CB.

A condutividade elétrica no estuário do rio Mamucabas variou de $4.460 \mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$ a $10.970 \mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$ na CA e de $3.930 \mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$ a $10.420 \mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$ na CB. Valores entre $490 \mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$ e $13.780 \mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$ foram medidos no sistema estuarino Goiana-Megaó por Souza (2013), e de 4 a $19 \times 10^4 \mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$ no estuário do rio Formoso por Melo et al. (2002).

5.3 Matéria Orgânica e Carbonatos Totais

Os valores da perda ao fogo (PF a 360°C e 1000°C), indicativos relativos das concentrações de matéria orgânica e carbonatos totais são mostrados nos apêndices 5 a 16, e nas figuras 23 e 24.

Com relação à PF a 360°C , no estuário do rio Goiana as concentrações no testemunho foram de 4,6 a 12%, na CA 3,05 a 24,50% e na CB 6,9 a 14,1%. No estuário do rio Sirinhaém as concentrações no testemunho foram de 20,6 a 27,9%, na CA 16,31 a 28% e na CB 14,33 a 21,5%. No estuário do rio Formoso as concentrações no testemunho foram de 17,2 a 26,7%, na CA 9,1 a 20,44% e na CB 11,71 a 21,29%. No estuário do rio Mamucabas as concentrações no testemunho foram de 17,6 a 25,4%, na CA variaram de 5,24% a 29,71% e na CB foi de 10,28% a 25,89%.

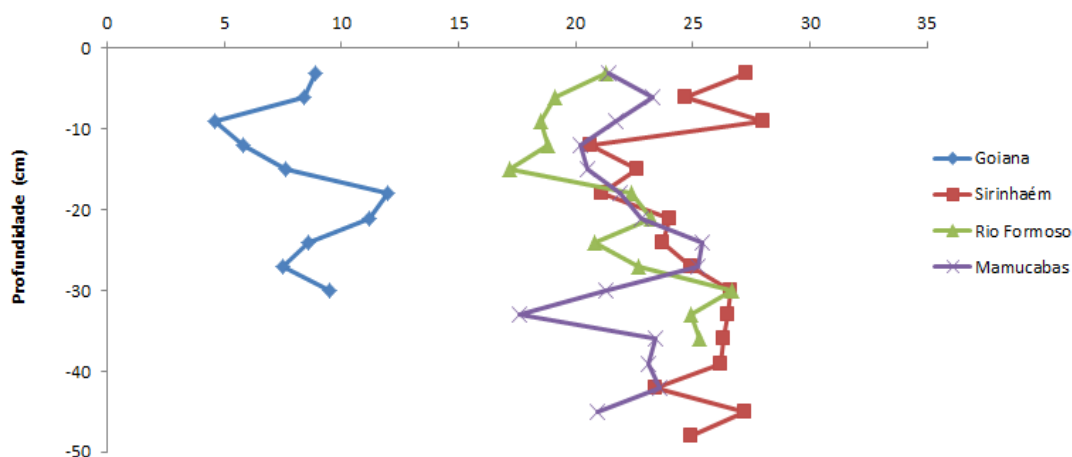


Figura 23. Percentual da matéria orgânica ao longo dos testemunhos dos estuários estudados.

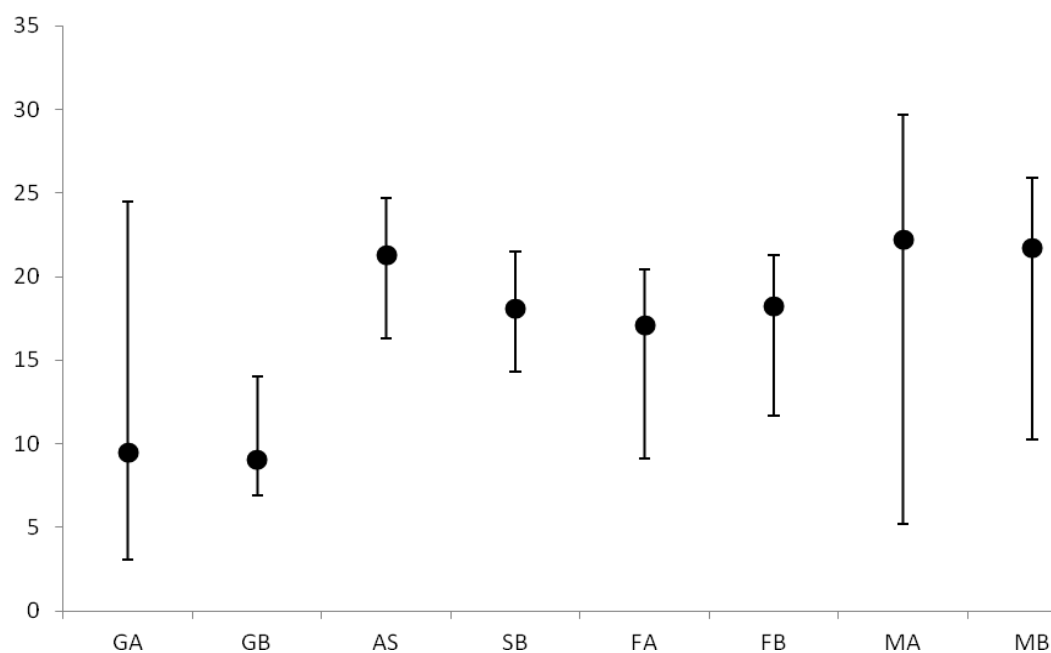


Figura 24. Valor médio, máximo e mínimo de matéria orgânica (%) nos sedimentos superficiais nas campanhas A e B de coleta dos estuários estudados. G – rio Goiana; S – rio Sirinhaém; F – rio Formoso e M – rio Mamucabas.

Quanto à PF a 1000°C (ver apêndices 5 a 16 e figuras 25 e 26), no estuário do rio Goiana as concentrações no testemunho foram de 2,6 a 28,7%, na CA 10,8 a 22% e na CB 16,3 a 24 %. No estuário do rio Sirinhaém as concentrações no testemunho foram de 21 a 37 %, na CA 26,5 a 30% e na CB 19,5 a 37,9%. No estuário do rio Formoso as concentrações no testemunho foram de 18,3 a 34%, na CA 18,9 a 30 % e na CB 18,5 a 33,9 %. No estuário do rio Mamucabas as concentrações no testemunho foram de 19 a 44,3 %, na CA variaram de 7,9 a 28% e na CB foi de 19 a 30,9%.

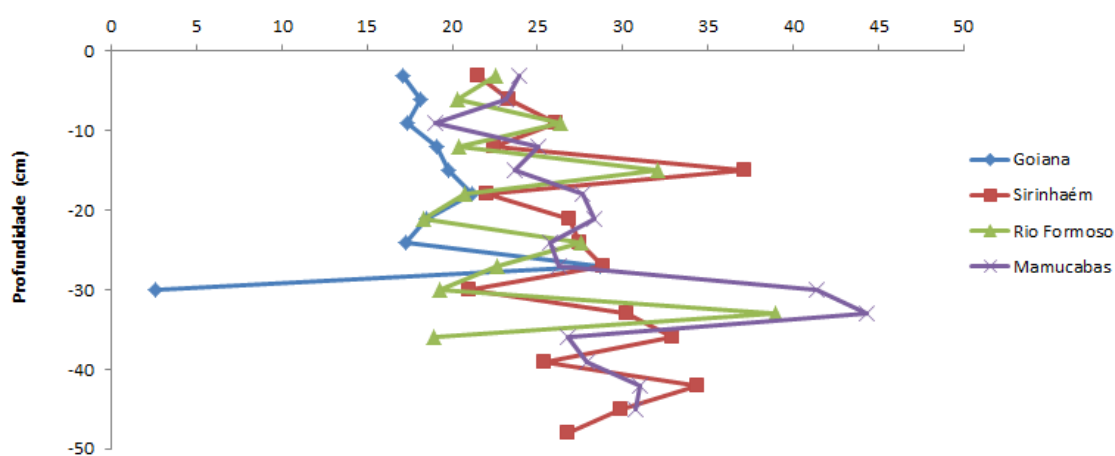


Figura 25. Percentual de Carbonatos Totais ao longo dos testemunhos dos estuários estudados.

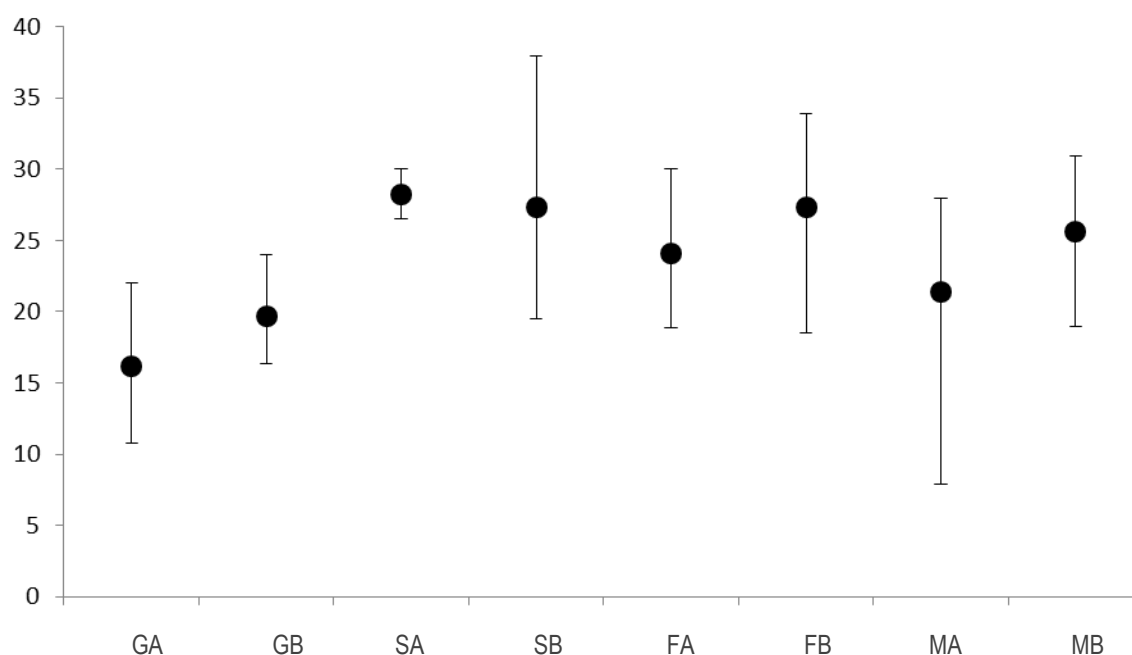


Figura 26. Percentual médio, máximo e mínimo de carbonatos totais nos sedimentos superficiais nas campanhas A e B dos estuários estudados. G – rio Goiana; S – rio Sirinhaém; F – rio Formoso e M – rio Mamucabas.

5.4 Análises por Difratometria de Raios-X dos Sedimentos (Testemunho e Superficial)

A distribuição dos minerais que foram identificados nas análises por difratometria de raios-X encontra-se nos quadros 1, 2, 3 e 4.

As análises difratométricas mostraram picos referentes ao quartzo (SiO_2), feldspato alcalino (KAlSi_3O_8) e caulinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) nas amostras do estuário do rio Goiana. No estuário do rio Sirinhaém os picos indicaram a presença de quartzo, caulinita e ilita ($(\text{K},\text{H}_3\text{O})(\text{Al},\text{Mg},\text{Fe})_2(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}[(\text{OH})_2,\text{H}_2\text{O}]$). No estuário do rio Formoso, quartzo, feldspato alcalino, caulinita e hematita (Fe_2O_3). E por último no estuário do rio Mamucabas, quartzo, caulinita e ilita.

Quadro 1: Minerais identificados por difratometria de Raios-X nas respectivas amostras analisadas (testemunho, sedimentos superficiais de fundo, coletados nas campanhas A e B) no estuário do rio Goiana.

	TESTEMUNHO	CAMAPANHA A			CAMPANHA B		
Mineral	TG 6-9 cm	GA1	GA2	GA6	GB1	GB5	GB7
Caulinita	X	X	X			X	X
Feldspato Alcalino		X	X				
Quartzo	X	X	X	X	X	X	X

Quadro 2: Minerais identificados por difratometria de Raios-X nas respectivas amostras analisadas (testemunho, sedimentos superficiais de fundo, coletados nas campanhas A e B) no estuário do rio Sirinhaém.

	TESTEMUNHO				CAMAPANHA A			CAMAPANHA B		
Mineral	TS 3-6 cm	TS 12-15 cm	TS 30-33 cm	TS 42-45 cm	SA2	SA6	SA8	SB1	SB2	SB6
Caulinita	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Ilita			X	X					X	
Quartzo	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Quadro 3: Minerais identificados por difratometria de Raios-X nas respectivas amostras analisadas (testemunho, sedimentos superficiais de fundo, coletados nas campanhas A e B) no estuário do rio Formoso.

	TESTEMUNHO			CAMAPANHA A			CAMAPANHA B		
Mineral	TF 0-3cm	TF 12-15 cm	TF 27-30 cm	FA1	FA3	FA9	FB1	FB3	FB6
Caulinita	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Feldspato Alcalino	X		X						
Hematita	X	X							
Quartzo	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Quadro 4: Minerais identificados por difratometria de Raios-X nas respectivas amostras analisadas (testemunho, sedimentos superficiais de fundo, coletados nas campanhas A e B) no estuário do rio Mamucabas.

	TESTEMUNHO			CAMAPANHA A				CAMAPANHA B		
Mineral	TM 9-12 cm	TM 21-24 cm	TM 36-39 cm	MA1	MA2	MA6	MA7	MB1	MB6	MB8
Caulinita	X	X	X		X	X	X			X
Ilita			X				X			
Quartzo	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

5.5 Concentrações dos elementos químicos nos sedimentos superficiais de fundo e testemunhos dos estuários estudados.

As concentrações dos elementos analisados (Ag, As, Se, Cu, Pb, Zn, Cr, Ni, Co, V, Cd, Mn, Fe, Al, B, Ba, Be, Sr e Tl) dos sedimentos investigados são apresentadas nos apêndices 5,6,7,9,10, 12, 13, 15 e 16.

Algumas amostras apresentaram concentração inferior ao limite mínimo analítico do ICP MS ocorreu com o B ($<5 \text{ mg.kg}^{-1}$) no estuário do rio Goiana, Se ($<0,8 \text{ mg.kg}^{-1}$)

no estuário do rio Sirinhaém, Zn ($<18,0 \text{ mg.kg}^{-1}$) no estuário do rio Formoso e Mamucabas e o Cd ($<0,02 \text{ mg.kg}^{-1}$) no estuário do rio Mamucabas.

5.6 Variabilidade temporal das concentrações dos elementos químicos nos sedimentos dos estuários estudados.

As concentrações dos elementos químicos nos testemunhos estudados são mostradas nos apêndices 5, 8, 11 e 14. Os testemunhos coletados nos estuários do rio Goiana, Sirinhaém, Formoso e Mamucabas alcançaram uma profundidade de 30cm, 48cm, 36cm e 45cm respectivamente. Levando-se em consideração que a taxa média de deposição de sedimentos em estuários do NE brasileiro é de aproximadamente 3mm.ano^{-1} (MARINS et al., 2004; ARRUDA, 2010) denota-se que provavelmente o registro temporal para o estuário do rio Goiana é de 100 anos; do rio Sirinhaém 160, Formoso 120 anos; e do rio Mamucabas 150 anos.

5.7 Variabilidade sazonal das concentrações dos elementos químicos estudados nos sedimentos superficiais de fundo dos estuários estudados.

Considerando os estuários investigados de forma individual, alguns dos elementos tenderam a seguir certa variabilidade sazonal. Isso ocorreu com o Fe no estuário do rio Goiana (p-valor = 0,028) onde as maiores concentrações ocorreram no período chuvoso (Figura 27).

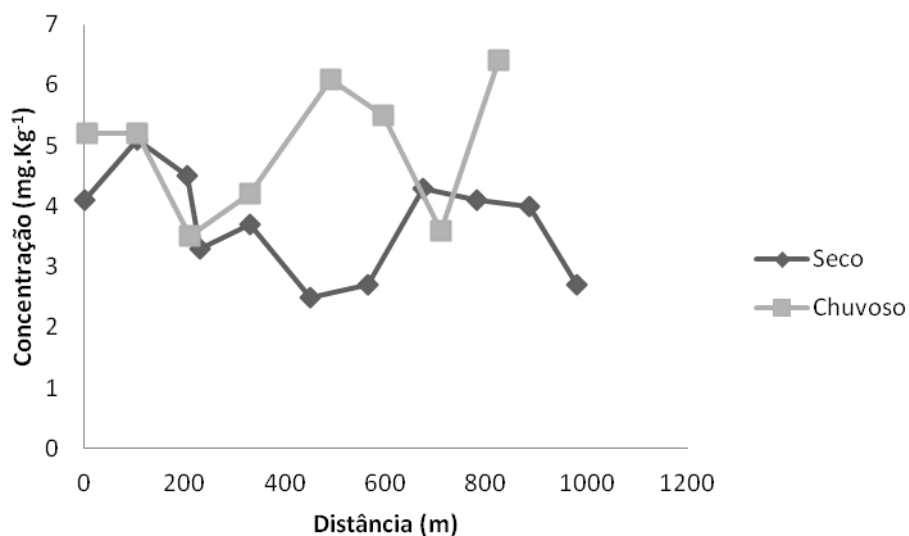


Figura 27. Variação sazonal das concentrações de Fe nos sedimentos superficiais de fundo do estuário do rio Goiana (Representação da distância entre os pontos de coleta no eixo X, sendo a distância 0 referente ao primeiro ponto e assim sucessivamente).

O Sr no estuário do rio Sirinhaém (p-valor = 0,001) (figura 28); Pb (p-valor = 0,034) (figura 29), Cr (p-valor = 0,005) (figura 30), Ni (p-valor = 0,007) (figura 31) e Co (p-valor = 0,017) (figura 32) no estuário do rio Formoso e com o V (p-valor = 0,009) (figura 33) no estuário do rio Mamucabas.

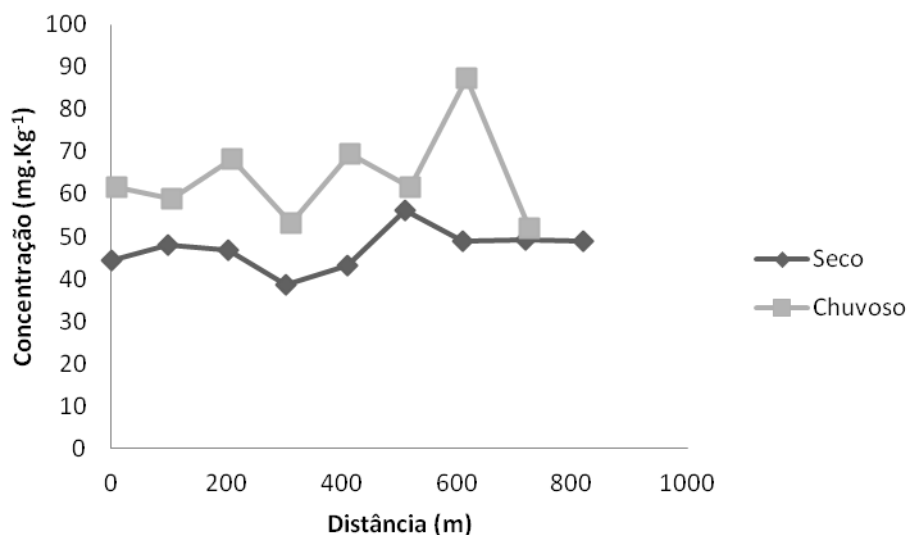


Figura 28. Variação sazonal das concentrações de Sr nos sedimentos superficiais de fundo do estuário do rio Sirinhaém.

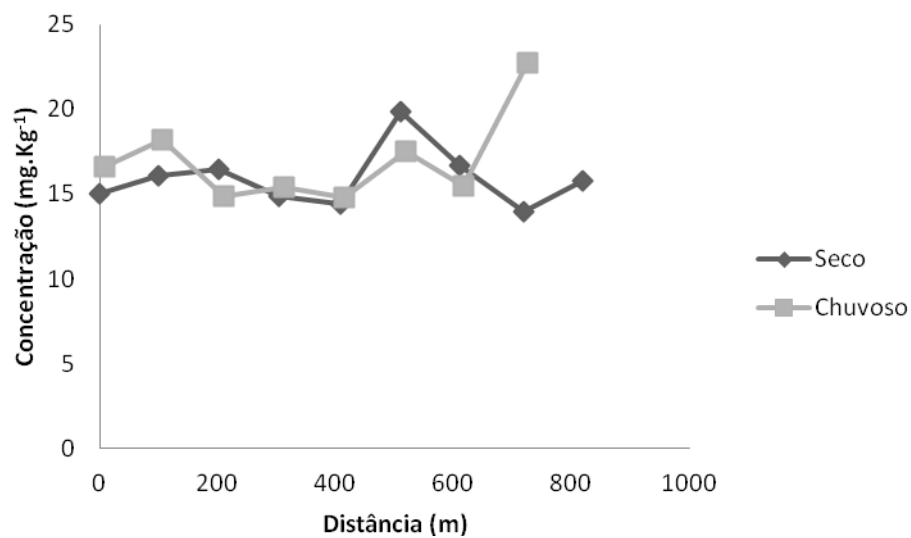


Figura 29. Variação sazonal das concentrações de Sr nos sedimentos superficiais de fundo do estuário do rio Sirinhaém.

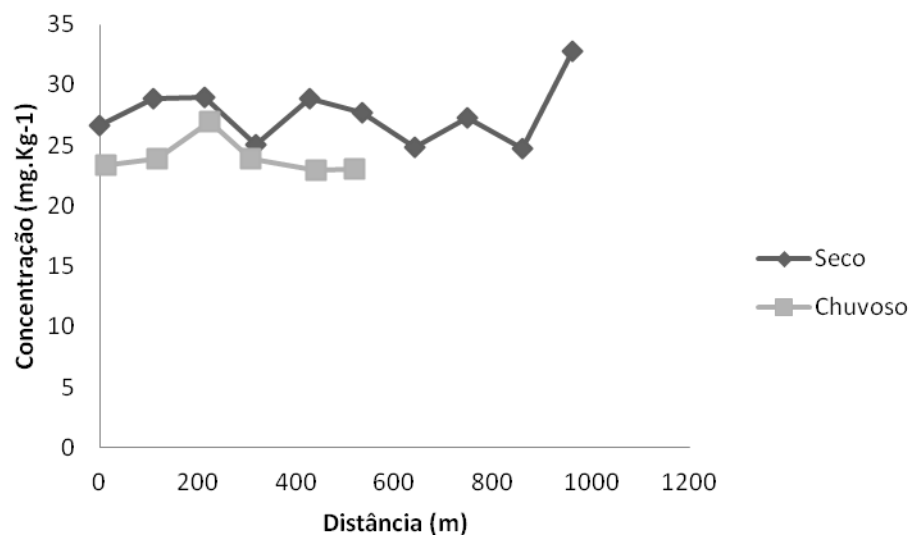


Figura 30. Variação sazonal das concentrações de Cr nos sedimentos superficiais de fundo do estuário do rio Formoso.

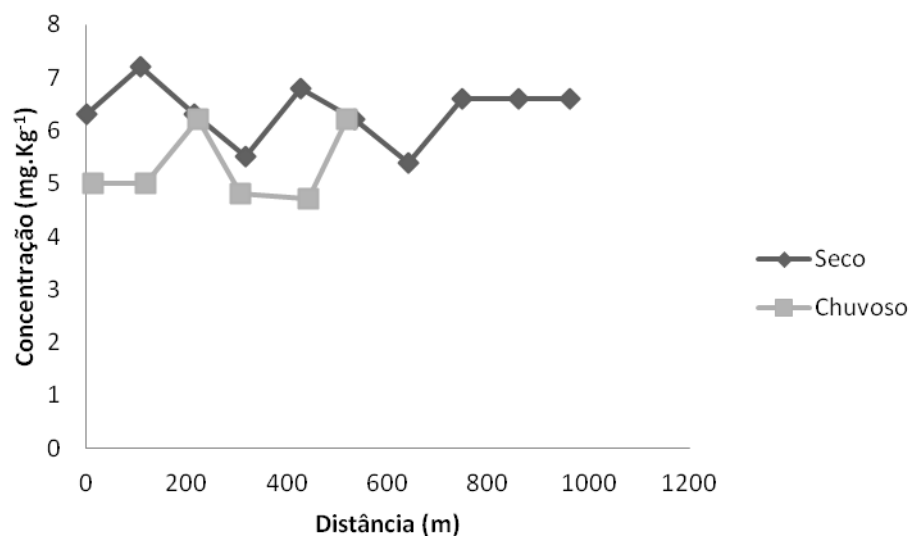


Figura 31. Variação sazonal das concentrações de Ni nos sedimentos superficiais de fundo do estuário do rio Formoso.

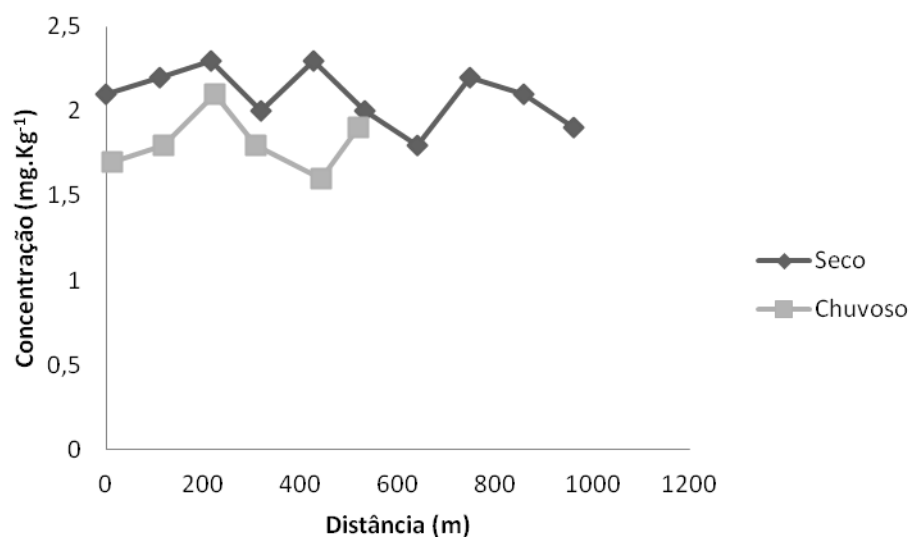


Figura 32. Variação sazonal das concentrações de Co nos sedimentos superficiais de fundo do estuário do rio Formoso.

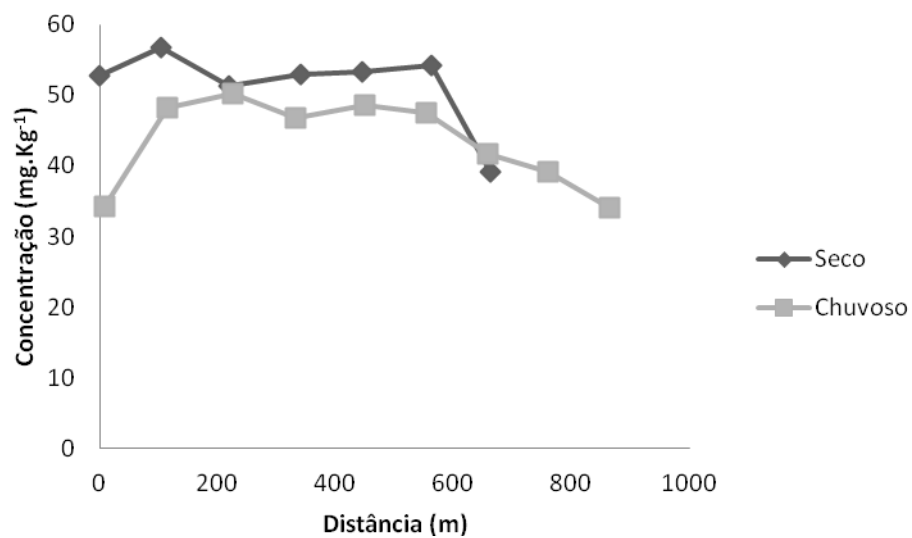


Figura 33. Variação sazonal das concentrações de V nos sedimentos superficiais de fundo do estuário do rio Mamucabas.

6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

6.1 Variabilidade temporal das concentrações dos elementos químicos nos sedimentos dos estuários investigados.

As análises dos testemunhos dos estuários do rio Goiana, Sirinhaém, Formoso e Mamucabas apontaram que alguns aspectos relacionados às correlações entre os parâmetros analisados foram semelhantes. Entre eles está a ausência de correlação positiva entre o Fe e Mn (exceto no estuário do rio Formoso). Essa ausência de correlação entre tais elementos deve-se provavelmente ao fato de que o Mn é mobilizado mais rapidamente que o Fe, pela redução do Eh (LACERDA et al., 1997). Esta ausência de correlação entre Fe e Mn foi observada na Baía de Sepetiba (ARAGON et al., 1986), bem como no complexo estuarino de Paranaguá (MACHADO, 2011).

Observou-se que apesar de o Al apresentar correlações positivas com diversos elementos não houve correlação positiva entre a fração argila e esse elemento, como esperado. Cabe ressaltar que as reações dos argilominerais com ácidos variam com: a natureza do ácido; concentração do ácido; relação ácido/argila; temperatura; duração do tratamento; grupo dos argilominerais (e.g. esmectita é mais sensível do que a illita ou caulinita); tipo de argilomineral dentro do grupo (e.g. esmectita magnésiana é mais solúvel em ácido do que àquelas ricas em alumínio, ao passo que tipos contendo Fe são sensíveis aos ácidos de forma intermediária); grau de cristalinidade; e tamanho da partícula (GRIM, 1953 apud WOLF et al.1967).

As análises por difratometria de raios-X apontaram a presença de caulinita e illita na composição mineralógica dos sedimentos estudados. Essa são relativamente menos solúveis em ácido se comparados à esmectita, por exemplo. Além disso, o método utilizado neste trabalho - USEPA SW-846 3051A (U.S. EPA, 2007) promove a solubilização ácida parcial da amostra. Com isso, é possível que o Al dos argilominerais não tenha sido extraído, sendo o Al presente nas amostras oriundo de uma fase mais lábil, como por exemplo, os coloides, ou óxidos e/ou hidróxidos solúveis com o método utilizado.

Outros aspectos no que diz respeito às concentrações dos elementos nos testemunhos dos estuários são discutidos a seguir:

O As apresentou peculiaridades nas concentrações em cada estuário (figura 34). Em primeiro lugar há uma notória diferença entre as concentrações obtidas no estuário do rio Goiana e nos estuários do litoral sul. O primeiro apresenta as menores concentrações e uma distribuição relativamente mais homogênea. Por outro lado, os estuários do litoral sul apresentam concentrações mais elevadas e distribuição heterogênea.

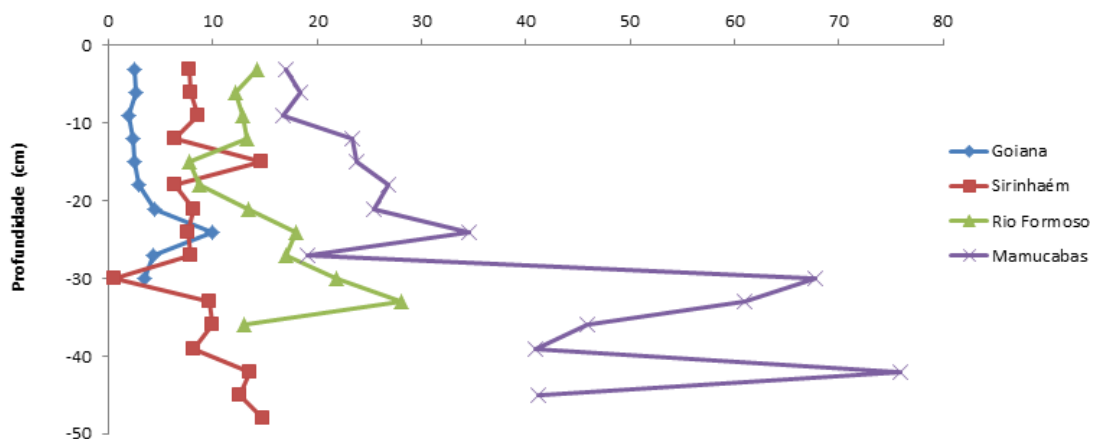


Figura 34. Concentrações do As nos testemunhos dos estuários dos rios Goiana, Formoso, Sirinhaém e Mamucabas.

Trabalhos anteriores já haviam relatado a ocorrência de concentrações de As relativamente elevadas no estuário do rio Formoso (SILVA et al., 2009; ARRUDA, 2010; RAMOS, 2011). Os dois primeiros autores atribuíram tais resultados à fonte(s) geogênica(s). Arruda (2010) avaliou a evolução temporal da contaminação causada por alguns elementos químicos, dentre eles o As. O autor observou que os picos de ocorrência do metalóide ocorreram em idades superiores à implantação de algumas atividades consideradas antrópicas (carcinicultura, lixão e criação de aves). Com isso, o autor enfatizou que a fonte mais provável para o As são as rochas vulcânicas da área.

O fato das concentrações de As deste trabalho terem sido elevadas apenas nos estuários do litoral sul, diferente do que ocorre no estuário do rio Goiana (litoral norte), remete ao fato destes estarem dispostos em bacias sedimentares distintas. Os primeiros na bacia Pernambuco, onde, ocorreram eventos de vulcanismo cuja idade Ar-Ar é de 100 Ma (LIMA FILHO & SZATMARI, 2002; NASCIMENTO, 2003). Tais manifestações não ultrapassaram o Lineamento Pernambuco (LIMA FILHO et al., 2006), ou seja, não ocorreram na bacia Paraíba, onde o rio Goiana está localizado.

Buscando identificar a origem do As no litoral sul de Pernambuco observou-se o mapa das áreas de anomalia de As no Estado (figura 35). Este aponta a ocorrência de

teores que podem variar de 7-194 ppm no município de Ipojuca, mas não mostra essa mesma incidência na área dos estuários em questão. Diante disso, e a fim de se esgotar a possibilidade da fonte do As ser geogênica, foi realizada análise para determinação de arsênio em amostras de rochas vulcânicas coletadas nas proximidades dos estuários do rio Formoso e Mamucabas através da técnica de fluorescência de raios-X por energia dispersiva (EDXRF). Os resultados indicaram concentrações em torno de 70 mg.Kg⁻¹, ratificando a hipótese de que a origem do As no litoral sul de Pernambuco é geogênica.

Foram ainda realizadas análises em algas calcáreas (*Halimeda opuntia*), isso porque, como já mencionado, Mirlean et al. (2011) demonstraram a capacidade de algas calcárias bioclástica em acumular concentrações relativamente elevadas de As no ambiente marinho, no estado do Espírito Santo. O As segundo os autores tem como proveniência a Formação Barreiras. Os resultados obtidos apontaram concentrações de As nas algas <60mg.Kg⁻¹, não sendo possível haver a quantificação pelo método utilizado.

Além dos aspectos acima mencionados, outro fato chama a atenção com relação ao As. A análise do gráfico com as concentrações desse elemento nos testemunhos indicam uma mudança na intensidade do aporte geogênico ao longo do tempo (figura 34). As concentrações mostram uma distribuição temporal decrescente (do passado para o presente) para o arsênio, requerendo estudos posteriores específicos para identificar os processos responsáveis por essa mudança. Dentre os possíveis processos, pode ter ocorrido, por exemplo, uma compensação (balanço de massa) em função de um aumento relativo de outros elementos químicos. Cabe ressaltar que entre os elementos químicos analisados (Ag, As, Se, Cu, Pb, Zn, Cr, Ni, Co, V, Cd, Mn, Fe, Al, B, Ba, Be, Sr e Tl) não foram verificadas significativas distribuições temporalmente crescentes nas concentrações. Todavia, cabe se fazer análises futuras para elementos químicos não contemplados neste estudo (como por exemplo, os elementos maiores como Si, Ca, Mg, Na, K, P, Ti), a fim de se testar tal hipótese.

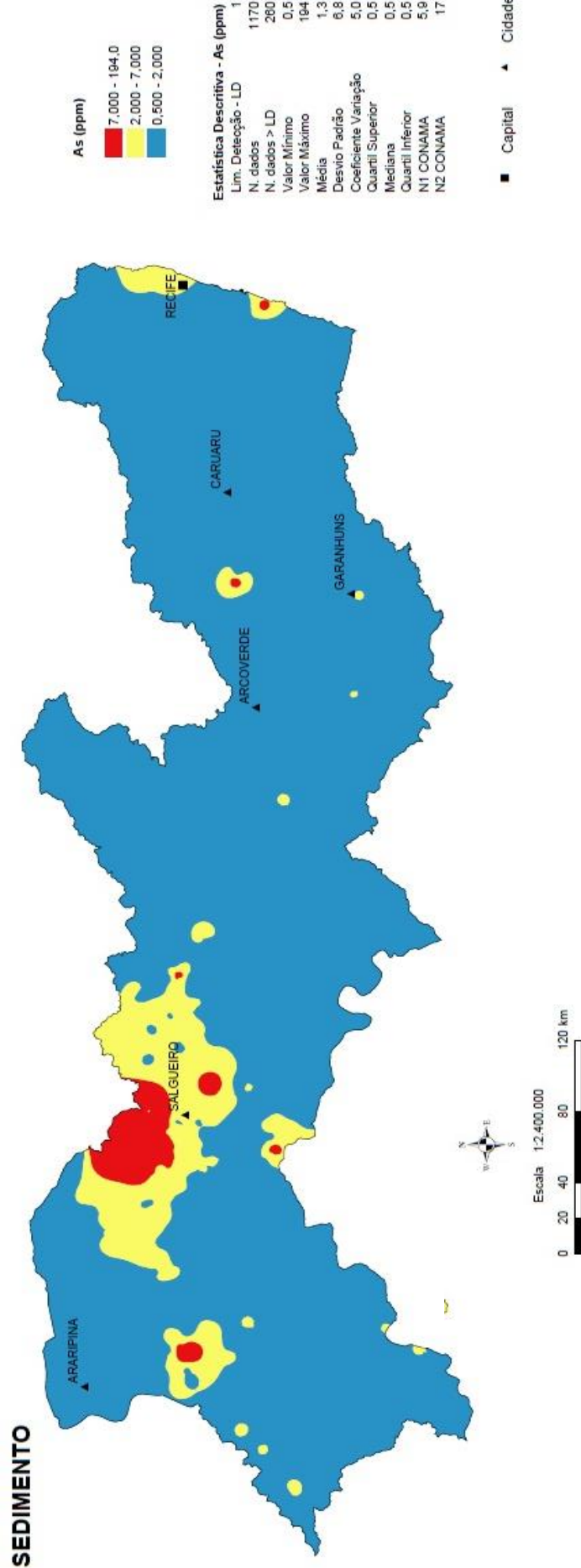


Figura 35. Curvas de tendência dos teores de arsênio no estado de Pernambuco. Fonte: CPRM (no prelo).

Sobre o selênio, a concentração média nos testemunhos foi de 2,52 mg.Kg⁻¹ no Goiana, 2,16 mg.Kg⁻¹ no Sirinhaém, 2,53 mg.Kg⁻¹ no Formoso e 2,08 mg.Kg⁻¹ no Mamucabas (figura 36).

As principais fontes do Se são as rochas vulcânicas, jazidas sulfídricas e algumas jazidas de rochas fosfáticas. A presença de rochas vulcânicas no litoral sul de Pernambuco pode justificar as concentrações de Se na área, assim com as rochas fosfáticas da Formação Gramame na área do estuário do rio Goiana pode estar contribuindo. Cabe ressaltar que o Se é um componente minoritário nesse tipo de rocha (fosfática), podendo fazer parte da sua constituição ou não (BECKER, 1989). De forma geral a presença de selênio em áreas costeiras é atribuída às emissões biogênicas naturais provenientes do mar (AMOUREUX; DONARD, 1996).

Possíveis fontes antrópicas como a mineração, a fundição e o refino de matérias como cobre, zinco, fosfatos e urânio, bem como a própria produção de selênio e seu uso industrial (WHO, 1987) não estão presentes na área. O seu uso em defensivos agrícola é pequeno. Por outro lado a combustão de carvão e de outros combustíveis fósseis é uma das fontes antropogênicas de selênio lançados à atmosfera (WHO, 1987).

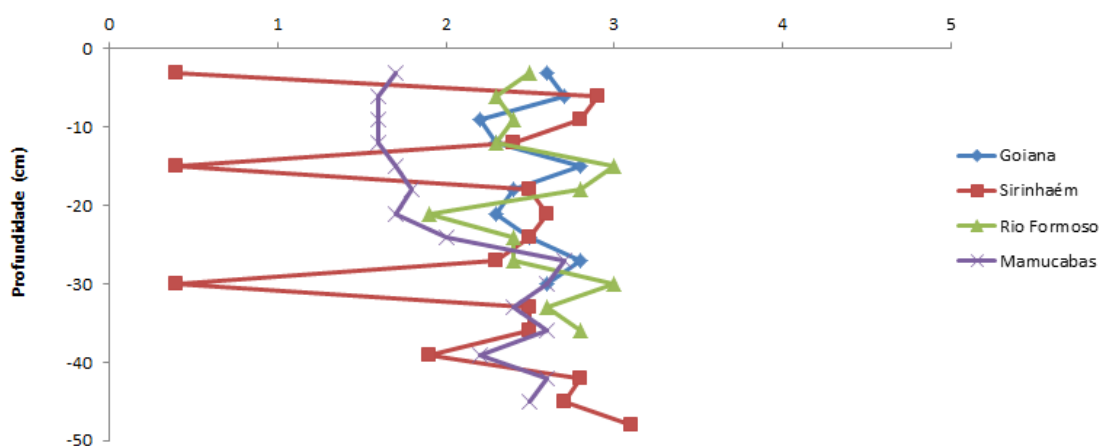


Figura 36. Concentrações do Se nos testemunhos dos estuários dos rios Goiana, Formoso, Sirinhaém e Mamucabas.

O Pb apresentou de forma geral concentrações relativamente elevadas no estuário do rio Goiana (figura 37). Essas concentrações têm sido atribuídas à presença na área da mineralização de Pb-Ba de Camutanga (SOUZA, 2013), tendo como via de transporte o rio Capibaribe-Mirim, afluente do rio Goiana. Camutanga situa-se a cerca de 30 km a noroeste da cidade de Goiana, no Estado de Pernambuco. De acordo com Cunha et al. (1984), a rocha mineralizada é um pegmatito que contém minerais de interesse

econômico como galena (PbS), cerussita (PbCO₃), barita (BaSO₄) e calcopirita (CuFeS₂), os quais ocorrem como preenchimento de fraturas.

Assim como as concentrações mais elevadas de Pb podem ser reportadas à essa mineralização, a Ag (figura 38), possivelmente pode também ser. Isso porque, de forma geral, a Ag associa-se geoquímicamente ao Pb em condições de hidrotermalismo. Sendo que nesta área Silva et al. (2010) identificaram evidências de que a paragênese galena-barita seja oriunda de hidrotermalismo (*stockworks*). O mesmo pode estar acontecendo com o Fe (figura 39), porém, este também pode ter como fonte natural, por exemplo, os níveis ricos em óxidos de ferro da Formação Barreiras, que explicariam também as concentrações mais elevadas nos estuários dos rios Sirinhaém e Mamucabas. Dentre as fontes antropogênicas reconhecidas nas áreas, para o Fe, então os efluentes de esgotos municipais e industriais e o escoamento superficial urbano. Além disso, o uso de fertilizantes na agricultura também é outro fator relevante.

A matriz de correlação apresentou no testemunho do rio Goiana $r\text{-Spearman}=0,55$ para Pb/Ag, $r\text{-Spearman}=0,77$ Pb/Ba e $r\text{-Spearman}=0,93$ Pb/Cu .

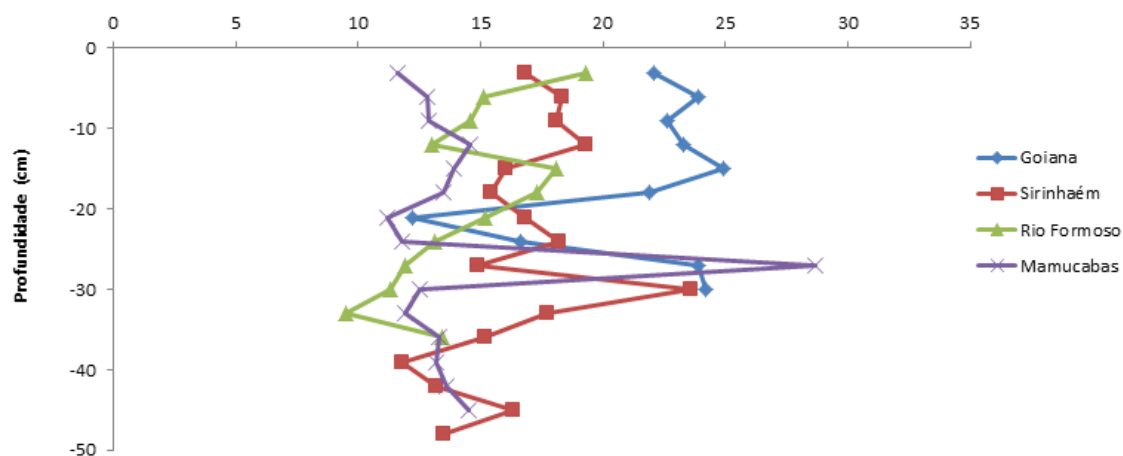


Figura 37. Concentrações do Pb nos testemunhos dos estuários dos rio Goiana, Formoso, Sirinhaém e Mamucabas.

A Ag, em particular no estuário do rio Formoso apresentou concentrações relativamente elevadas (0,04 -0,53 mg.Kg⁻¹). Na área não há ocorrência de fontes antrópicas potenciais para esse elemento como: indústrias fotográficas (que utilizam emulsão de brometo de prata-AgBr), de pilhas de Zn-Ag e Ag-Cd, soldas, produção de espelhos, objetos de prata, fabricação de germicidas (usadas em filtros), fabricação de talheres. Com isso acredita-se que a prata está relacionada às características do substrato rochoso da área.

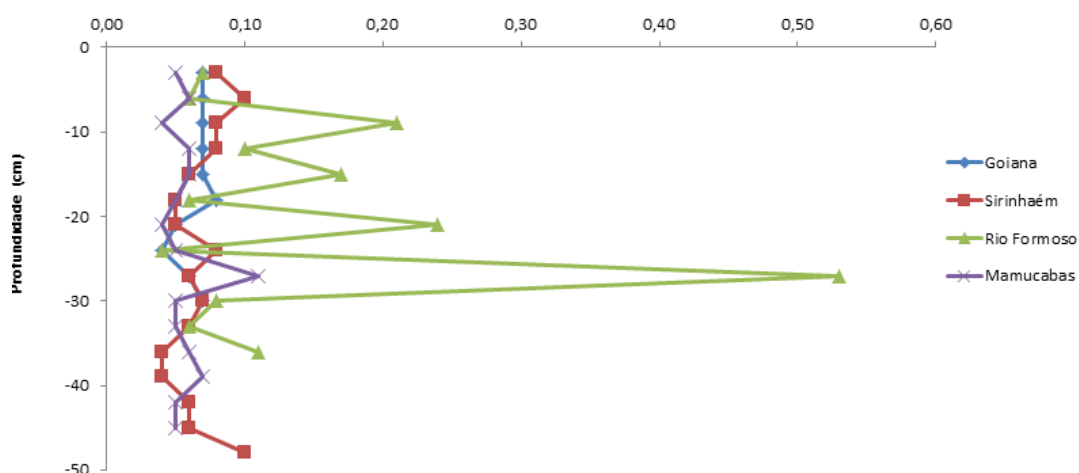


Figura 38. Concentrações do Ag nos testemunhos dos estuários dos rios Goiana, Formoso, Sirinhaém e Mamucabas.

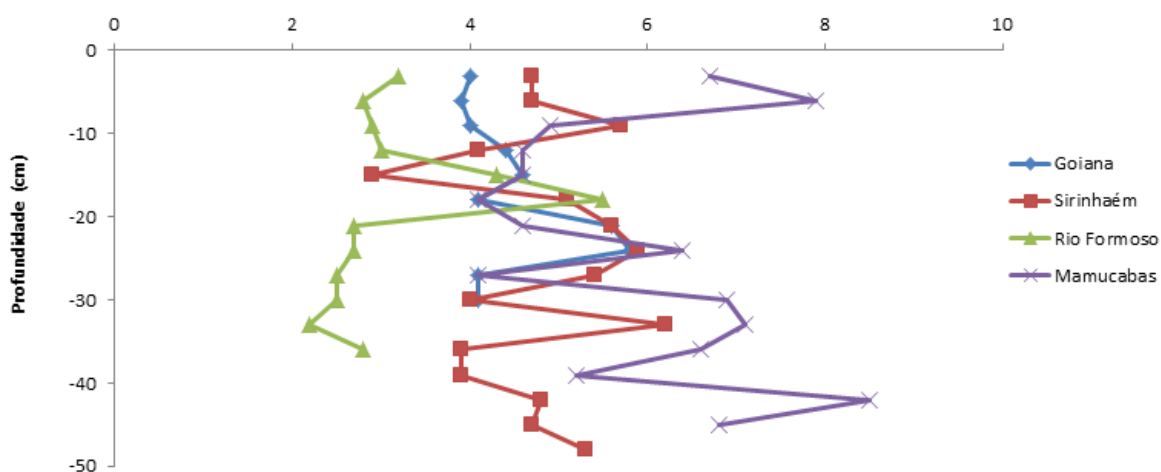


Figura 39: 39Concentrações do Fe nos testemunhos dos estuários dos rios Goiana, Formoso, Sirinhaém e Mamucabas.

Um grupo de elementos químicos que estão correlacionados entre si, apresentaram um pico de concentração há aproximadamente 100 anos (cerca de 30 cm de profundidade), a saber: Pb, Ba (figura 40), Cu (figura 41), Zn (figura 42), Cr (figura 43), Ni (figura 44), Co (figura 45), Mn (figura 46), e Al (figura 47). Esses picos de concentração ocorrem tanto nos estuários do litoral sul, quanto no estuário do rio Goiana. As concentrações mostram-se de forma geral mais elevadas no estuário do rio Goiana, exceto para o Al. No caso do Pb, Ba e Cu, é forte a evidência que a fonte é geogênica, como já explicado anteriormente. Para haver esse pico, algum evento de cunho natural ou antropogênico deve ter ocorrido. Uma possibilidade é que estes elementos tenham sido introduzidos no ambiente através de um episódio de enchente.

Um desses possíveis episódios é o ocorrido em 1914, que se deu na Mata Sul de forma tão intensa quanto na capital (SANTOS, 2013).

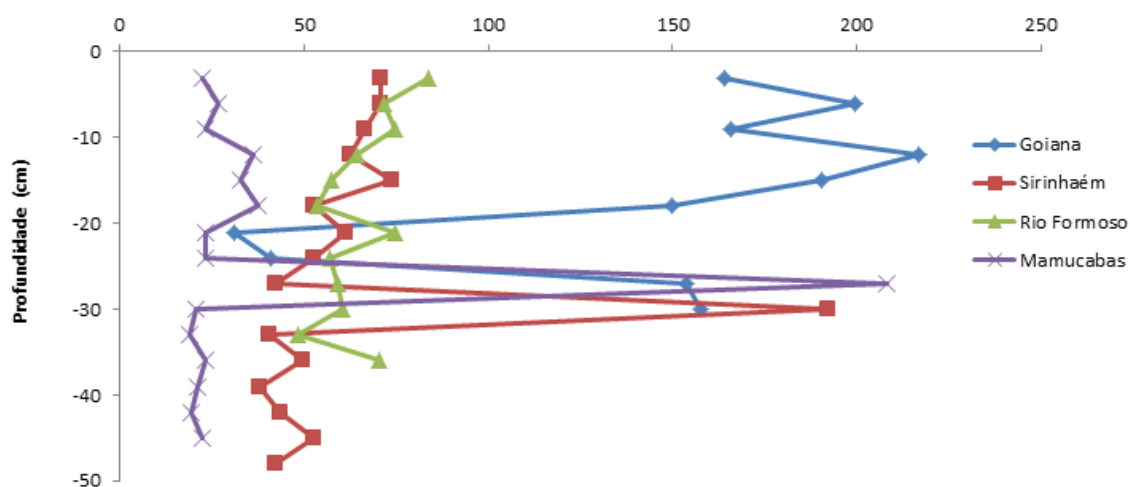


Figura 40. Concentrações do Ba nos testemunhos dos estuários dos rios Goiana, Formoso, Sirinhaém e Mamucabas.

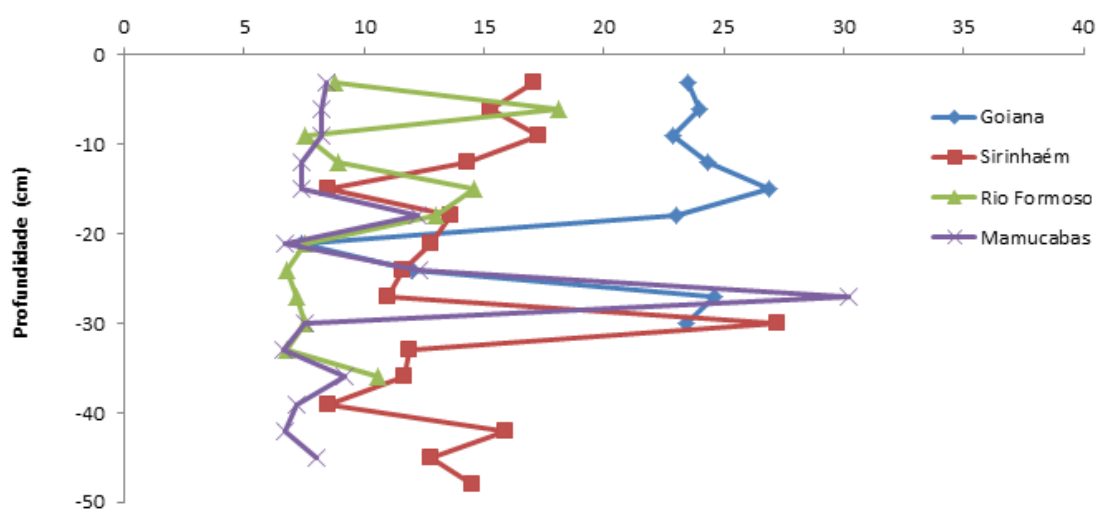


Figura 41. Concentrações do Cu nos testemunhos dos estuários dos rios Goiana, Formoso, Sirinhaém e Mamucabas.

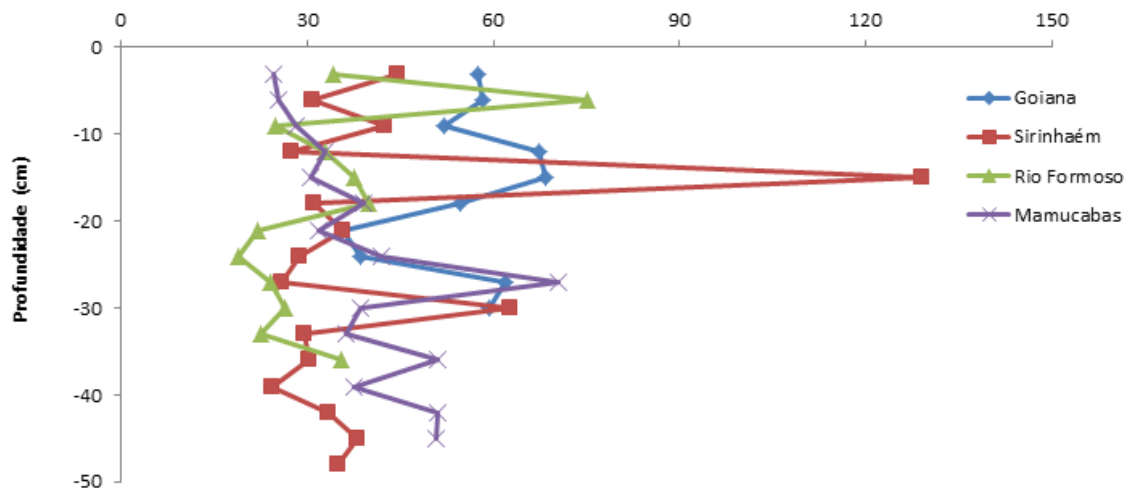


Figura 402. Concentrações do Zn nos testemunhos dos estuários dos rios Goiana, Formoso, Sirinhaém e Mamucabas.

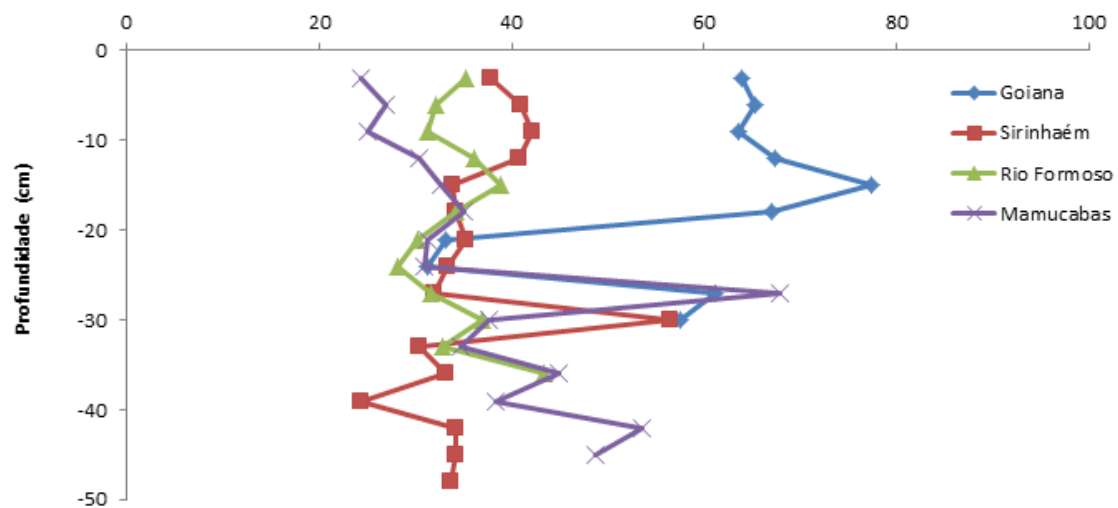


Figura 413. Concentrações do Cr nos testemunhos dos estuários dos rios Goiana, Formoso, Sirinhaém e Mamucabas.

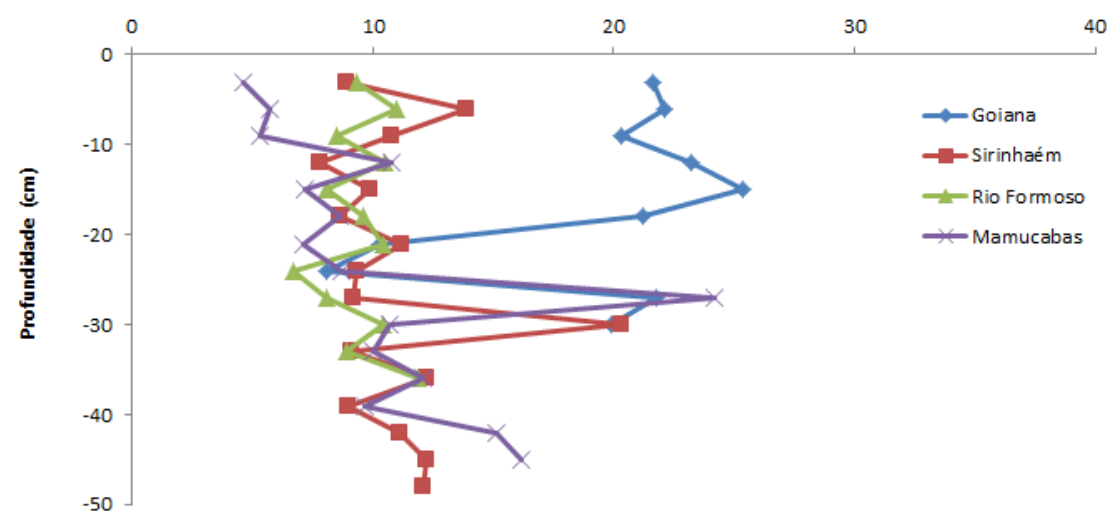


Figura 424. Concentrações do Ni nos testemunhos dos estuários dos rios Goiana, Formoso, Sirinhaém e Mamucabas.

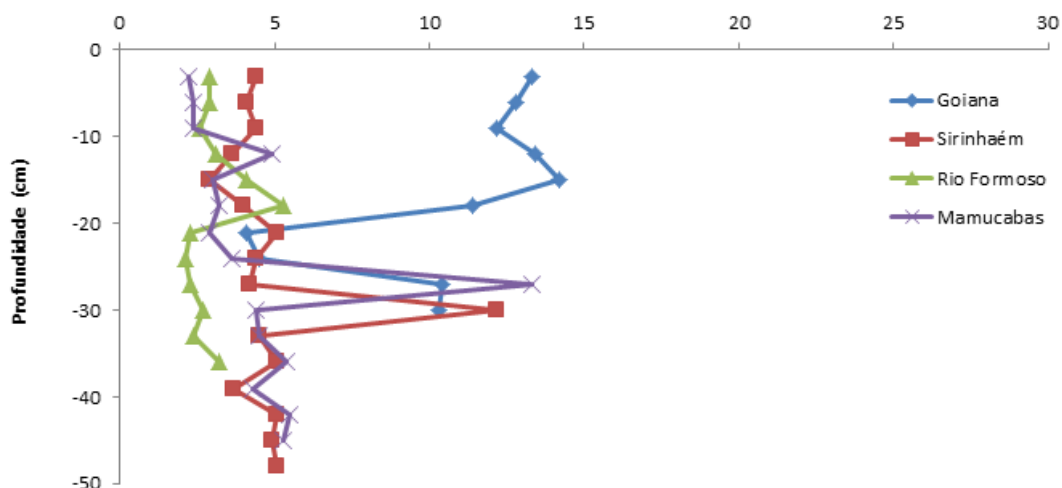


Figura 435. Concentrações do Co nos testemunhos dos estuários dos rios Goiana, Formoso, Sirinhaém e Mamucabas.

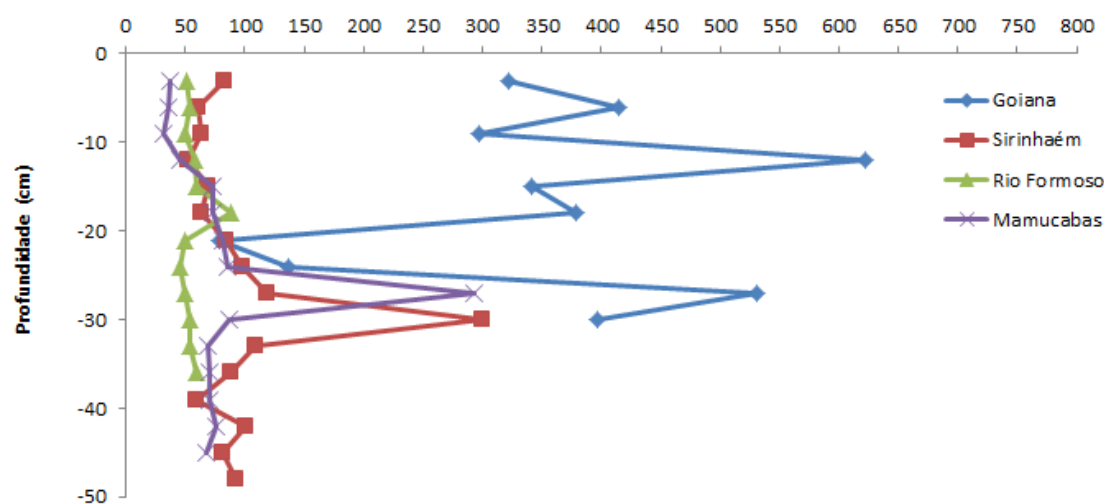


Figura 46. Concentrações do Mn nos testemunhos dos estuários dos rios Goiana, Formoso, Sirinhaém e Mamucabas.

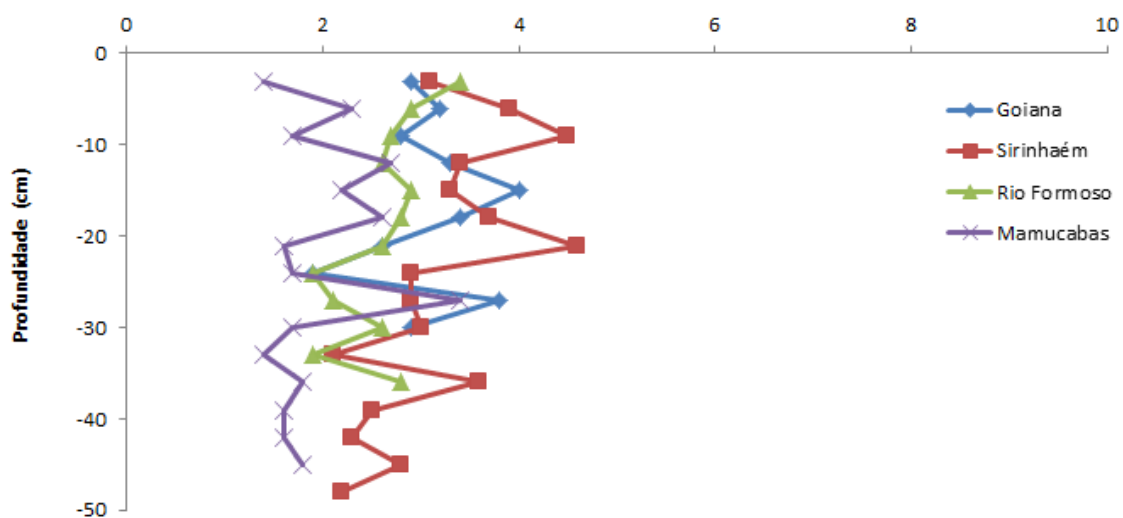


Figura 447. Concentrações do Al nos testemunhos dos estuários dos rios Goiana, Formoso, Sirinhaém e Mamucabas.

Analisando-se os testemunhos individualmente, são identificados alguns grupos de elementos químicos apresentando forte correlação positiva, como Ag, Se, Cu, Pb, Zn, Cr, Ni, Co, Be, Tl, Ba e Al. Isto foi observado particularmente no estuário do rio Goiana. A presença do Al nesse grupo sugere uma provável retenção desses elementos químicos nos argilominerais. Entretanto, como já mencionado anteriormente, essa correlação não ocorre. Provavelmente pelo fato de o Al quantificado pelo método utilizado (3051A U.S. EPA) não se tratar daquele contido nos argilominerais e sim daquele presente nas amostras oriundo de uma fase mais lábil, como por exemplo, os coloides, ou óxidos e/ou hidróxidos solúveis com o método utilizado.

Observam-se ainda associações típicas de rochas ultramáficas, V, Cr, Co, e Ni. Também, a correlação positiva entre o V, Co, Ni, Zn e Ba que é característica de associações sedimentares com óxidos de Mn (CAVALCANTE NETO & ROCHA DA ROCHA, 2010).

No estuário do rio Sirinhaém O Pb foi o único elemento que apresentou correlação positiva com a fração silte e argila. A forte correlação positiva da MO com o As, Zn, Ni, Co, Mn e Be assinala a sua interação com os processos em que estes elementos estão envolvidos. O Mn e o Al também se destacam como possíveis suportes geoquímicos na forma de oxi-hidróxidos. O primeiro apresentando correlações fortemente positivas com As, Cu, Ni, Co e Be e o segundo com o Cu, Pb, Cr, Ni e V.

No estuário do rio Formoso, o Fe e o Mn além de estarem positivamente correlacionados, também apresentaram correlações positivas com um grupo de elementos, a saber, Ag, Se, Cu, Pb, Zn, Cr, Ni, Co, V, Cd, Al, Be, Tl, e também com a fração silte-argila.

No estuário do rio Mamucabas destaca-se um grupo que apresenta forte correlação positiva: Se, Cu, Pb, Zn, Cr, Ni, Co, V, Mn, Al, Be, Tl, CT. Além dele há o que se pode chamar de subgrupo composto pelo As, Se, Zn, Cr, Ni, Co, V, Mn, Be e CT. Esse segundo grupo se destaca pela presença do As, que nos outros estuários apresentou correlações positivas com poucos elementos, sobretudo com a MO e CT. A associação Cr-Co-Ni é indicativa de rochas plutônicas (CAVALCANTE NETO & ROCHA, 2010), sugerindo uma possível fonte geogênica para esses elementos.

As correlações acima expostas denotam a importância dos óxidos e hidróxidos de Al, Fe e Mn e da MO e dos CT como suportes geoquímicos nos estuários estudados.

6.2 Concentrações dos elementos químicos nos sedimentos dos estuários estudados.

A concentração dos elementos nos sedimentos de fundo superficial dos estuários dos rios Goiana, Sirinhaém, Formoso e Mamucabas foi comparada à do Delta do Parnaíba e Canal de Bertioiga e à composição média do folhelho mundial (Tabela 7).

Tabela 3. Distribuição dos minerais identificados por difratometria de Raios-X nas respectivas amostras coletadas (testemunho, sedimentos de fundo superficial na estação seca e chuvosa) no estuário do rio Mamucabas. Concentração de elementos químicos em sedimentos de diferentes rios do Brasil e composição média do folhelho mundial (mg.kg⁻¹, com exceção do Fe (%)).

	Estuário de Pernambuco ¹	Delta do rio Parnaíba (Piauí) ²	Canal de Bertioiga (São Paulo) ³	Composição média do folhelho mundial ⁴
Ag	0,03 - 0,20	—	—	0,07
As	1,6 - 28,4	—	—	13
Se	1 - 3	—	—	0,6
Cu	4 - 34,4	1,5–48	7,52 - 16,9	45
Pb	8,4 - 26,3	1,3–28	—	20
Zn	9 - 73,8	2,6–31	—	95
Cr	15,4 - 73,2	1,5–38	20,9 - 29,6	90
Ni	2,4 - 25,9	—	9,4 - 15,2	68
Co	1,3 - 15	—	4,80 - 7,80	19
V	26,1 - 80,2	—	—	130
Cd	0,04 - 0,57	—	—	0,3
Mn	30,4 - 1551,1	145–1356	109 - 442	850
Fe	2 - 9,2	0,3–2,5	2,1 - 4,3	4,7
Al	1 - 4,3	—	1,6 - 4,1	8
B	2,5 - 64,7	—	67,1 - 138	100
Ba	22,4 - 397,6	—	17 - 38,4	580
Be	0,5 - 1,6	—	—	3
Sr	25,4 - 455	—	—	300
Tl	0,1 - 1	—	—	1,4

¹ Este trabalho: fração granulométrica < 63µm e método de digestão 3051a.

² Paula Filho et al. (2015): fração granulométrica < 63µm e método de digestão 3051a.

³ Quináglia (2012): fração granulométrica < 63µm e método de digestão 3051a.

⁴ Mason B., Moore C.B.(1982) e Govett G. J. S. (1983): digestão química com ácidos forte (fração total).

Alguns elementos apresentaram concentrações superiores as da composição média do folhelho mundial: Ag, As, Pb, Cd, Mn, Fe e Sr. Outros tiveram suas concentrações ultrapassando as dos estuários utilizados para comparação: Cu, Cr, Ni,

Co, Mn, Fe e Ba. As concentrações mais elevadas da Ag, As, Pb, Fe e Ba, como mencionado anteriormente estão relacionadas ao substrato geológico da área. Sendo observado que o As tem como origem as rochas vulcânicas presentes no litoral sul do estado de Pernambuco. O Pb e Ba estão relacionados à presença da mineralização de Pb-Ba no litoral norte do estado, na cidade de Camutanga. Ainda fazendo referência ao litoral norte as concentrações elevadas da Ag, possivelmente, podem também estar relacionadas à mineralização de Pb-Ba. Uma vez que a Ag associa-se geoquimicamente ao Pb em condições de hidrotermalismo e a paragênese galena-barita da área é mencionada como sendo oriunda de hidrotermalismo (*stockworks*) (SILVA et al., 2010). Finalmente, como possível fonte para o Fe se tem os níveis ricos em óxidos de ferro da Formação Barreiras.

Há ainda que se observar a influência dos parâmetros físico-químicos da água sobre essas concentrações. No estuário do rio Goiana o Eh apresentou correlação positiva com o As ($r=0,39$), Cd ($r=0,43$), Mn ($r=0,48$), Fe ($r=0,41$) e com a MO ($r=0,50$). Esse parâmetro também apresentou correlação positiva com o B ($r=0,39$), Sr ($r=0,67$) e Tl ($r=0,39$) no estuário do rio Sirinhaém, com a maioria dos elementos do estuário do rio Sirinhaém Se ($r=0,47$), Cu ($r=0,35$), Pb ($r=0,59$), Cr ($r=0,68$), Ni ($r=0,70$), Co ($r=0,77$), V ($r=0,41$), Mn ($r=0,73$), Fe ($r=0,37$), Al ($r=0,56$), B ($r=0,38$), Ba ($r=0,54$), Be ($r=0,55$) e Tl ($r=0,46$) e com o V ($r=0,43$) no Mamucabas. A diferenciação do potencial redox nas águas estuarinas pode remobilizar os elementos e causar contaminação no ambiente.

O Controle do pH sobre a distribuição dos elementos nos sedimentos de fundo superficiais também pode ser observado através das correlações positivas entre eles nos estuários dos rios Sirinhaém (Pb $r=0,35$; Mn $r=0,40$; Fe $r=0,34$; Sr $r=0,57$) e Mamucabas (Co $r=0,45$; Be $r=0,43$; Tl $r=0,42$). Dentre as correlações entre os elementos estudados e o pH e Eh da água apenas o Sr apresentou correlação positiva com ambos. Este, em particular, deve ter sua mobilidade governada por esses parâmetros.

6.3 Variabilidade Sazonal das concentrações dos elementos químicos nos sedimentos dos estuários de Pernambuco.

Uma vez observado que poucos elementos apresentaram variação sazonal significativa chegou-se a conclusão de que o *background* geoquímico dos sedimentos

dos estuários de Pernambuco poderia ser estabelecido sem se ter a sazonalidade como pressuposto, e assim foi feito. Entretanto vale ressaltar que em caso de uso desses valores de referência para tomada de decisão ambiental as variações do Fe no estuário do rio Goiana; do Sr, Pb, Cr, Ni no estuário do rio Sirinhaém; do Co no estuário do rio Formoso e do V no Mamucabas podem e devem ser levadas em consideração.

6.4 *Background* geoquímico para os sedimentos dos estuários de Pernambuco.

Uma vez que a determinação do *background* geoquímico se deu a partir de amostras de sedimentos estuarinos que, embora sejam considerados preservados em alguns estudos (GARLIPP et al., 2010; SOUZA, 2013; SILVA et al., 2009; ARRUDA, 2010) e tenha se atendido aos critérios de seleção deste trabalho (possuir afluente com vegetação nativa preservada e posição relativamente “afastada” de fontes antrópicas de contaminação) apresentam, como era de se esperar, notória influência antrópica. Embora a tabela 9 apresente o percentil 90 e 75, o segundo foi o considerado para o estabelecimento do *background* geoquímico dos sedimentos estuarinos do Estado de Pernambuco. As representações gráficas boxplots da distribuição dos elementos analisados com o P75 são mostradas nas figuras 50 a 59.

Comparando o *background* obtido com os valores orientadores de material a ser dragado recomendado pela Resolução CONAMA Nº 454/2012 (Tabela 8), observa-se que todos os valores obtidos neste trabalho são mais restritivos do que os determinados pela legislação. O que demonstra a necessidade de se obter dados locais/regionais para se avaliar a qualidade ambiental dos sistemas estuarinos. O fato é que podem haver áreas cujos valores dos metais, semi-metais, ultrapassem o níveis determinados pela legislação, mas não representem contaminação. Bem como, a comparação com valores de referência podem camuflar contaminações latentes.

Tabela 4: Valores orientadores de material a ser dragado recomendado pela Resolução CONAMA N° 454/2012 e *background* geoquímico para os estuários de Pernambuco.

POLUENTES	NÍVEIS DE CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL A SER DRAGADO (em unidade de material seco)				Background estuários de Pernambuco
	ÁGUA DOCE		ÁGUA SALINA/SALOBRA		
	Nível 1	Nível 2	Nível 1	Nível 2	
Metais e Semi metais (Mg/Kg)					
Arsênio (As)	5,9 ¹	17 ¹	19 ³	70 ²	14,25
Cádmio (Cd)	0,6 ¹	3,5 ¹	1,2 ²	7,2 ³	0,17
Chumbo (Pb)	35 ¹	91,3 ¹	46,7 ²	218 ²	18,5
Cobre (Cu)	35,7 ¹	197 ¹	34 ²	270 ²	15,72
Cromo (Cr)	37,3 ¹	90 ¹	81 ²	370 ²	40,15
Mercúrio (Hg)	0,17 ¹	0,486 ¹	0,3 ³	1,0 ⁴	-
Níquel (Ni)	18 ¹	35,9 ¹	20,9 ²	51,6 ²	11,85
Zinco (Zn)	123 ¹	315 ¹	150 ²	410 ²	40

1 CCME (2002); 2 Long et al., (1995); 3 CCME (2008); 4 HPA (2011)

Tabela 5. *Background* geoquímico para sedimentos de regiões estuarinas de Pernambuco

Elementos	N	Média	Mediana	Soma	Mínimo	Máximo	Percentis		Desvio Padrão	Coeficiente de variação	Assimetria
							P (75)	P (90)			
Ag	68	0,06	0,06	4,40	0,03	0,20	0,07	0,09	0,03	39,39	2,65
As	68	10,01	7,35	680,39	1,60	28,40	14,25	22,00	6,91	69,06	0,77
Se	68	2,04	2,10	139,04	1,00	3,00	2,40	2,80	0,49	24,18	-0,15
Cu	68	11,64	10,30	791,58	4,00	34,40	15,72	22,70	6,98	59,93	1,00
Pb	68	15,83	15,05	1076,65	8,40	26,30	18,05	22,80	4,35	27,50	0,65
Zn	68	29,99	25,25	2039,60	9,00	73,80	40,00	55,60	16,01	53,36	0,74
Cr	68	34,20	29,56	2325,49	15,40	73,20	40,15	59,90	14,55	42,55	1,10
Ni	68	9,19	6,60	625,03	2,40	25,90	11,85	20,40	6,11	66,52	1,17
Co	68	4,92	3,05	334,69	1,30	15,00	7,00	12,60	4,06	82,43	1,25
V	68	48,13	48,40	3272,68	26,10	80,20	56,30	67,90	13,69	28,44	0,32
Cd	68	0,15	0,12	9,98	0,04	0,57	0,17	0,27	0,09	60,42	2,26
Mn	68	235,67	56,95	16025,78	30,40	1551,10	292,85	824,80	351,52	149,16	2,04
Fe	68	4,49	4,40	305,00	2,00	9,20	5,30	6,60	1,69	37,61	0,63
Al	68	2,21	2,20	150,50	1,00	4,30	2,60	3,10	0,73	33,07	0,68
B	68	29,34	24,00	1994,92	2,50	64,70	46,45	57,80	18,62	63,48	0,51
Ba	68	94,81	66,45	6446,81	22,40	397,60	107,40	205,10	81,16	85,61	1,98
Be	68	0,86	0,80	58,55	0,50	1,60	1,00	1,20	0,26	30,61	0,96
Sr	68	68,31	60,85	4645,36	25,40	455,00	70,55	91,40	52,32	76,59	6,28
Tl	68	0,40	0,40	27,11	0,10	1,00	0,50	0,60	0,18	44,40	1,13

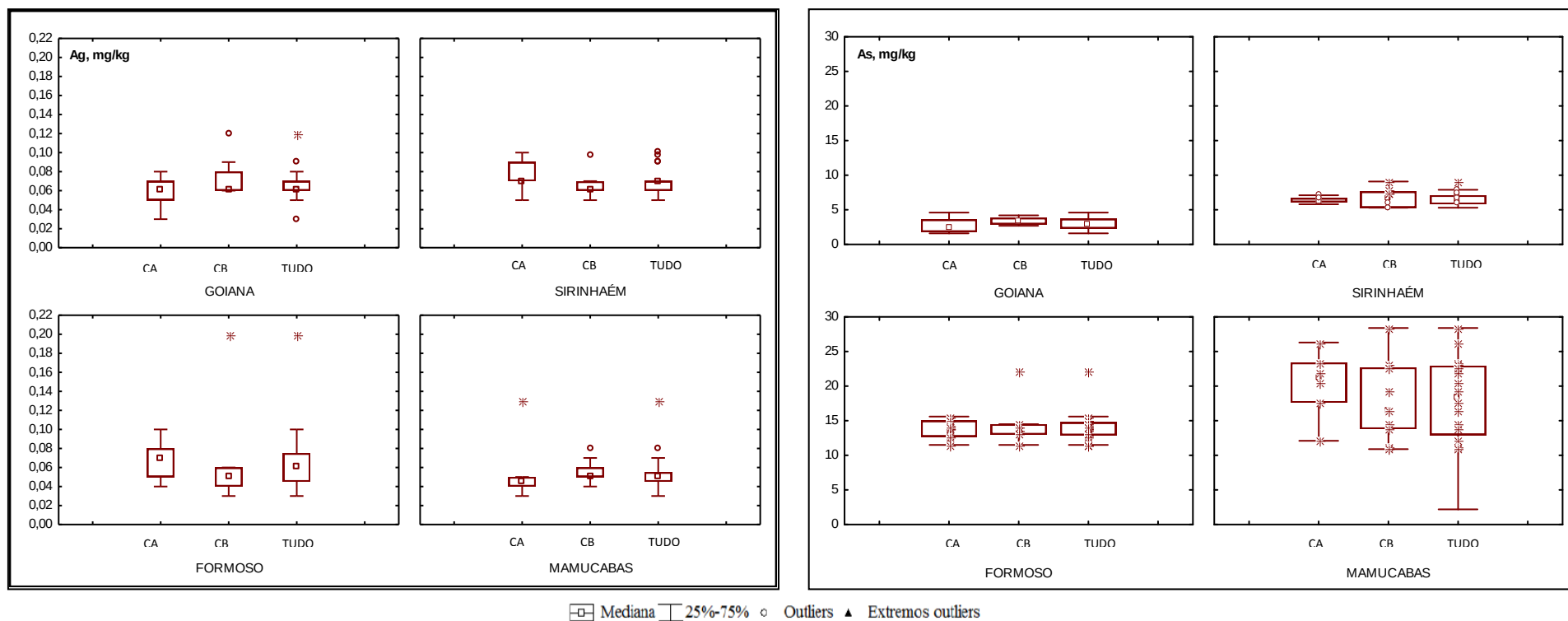


Figura 45. Distribuição da Ag e As através da representação gráfica boxplot, utilizado na retirada dos valores anômalos e extremos anômalos, para obtenção do P75 a partir do universo amostral (CA – campanha A, CB – Campanha B e TUDO – as duas campanhas).

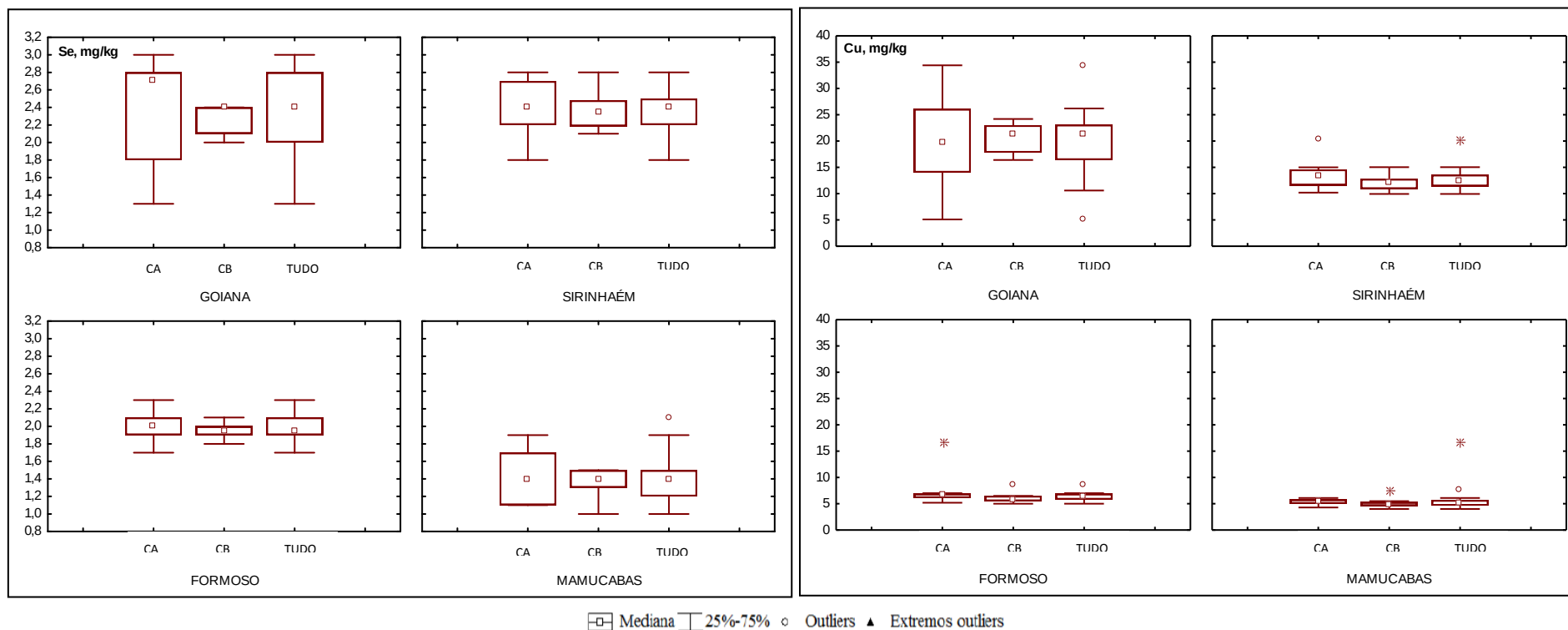


Figura 46. Distribuição da Se e Cu através da representação gráfica boxplot, utilizado na retirada dos valores anômalos e extremos anômalos, para obtenção do P75 a partir do universo amostral (CA – campanha A, CB – Campanha B e TUDO – as duas campanhas).

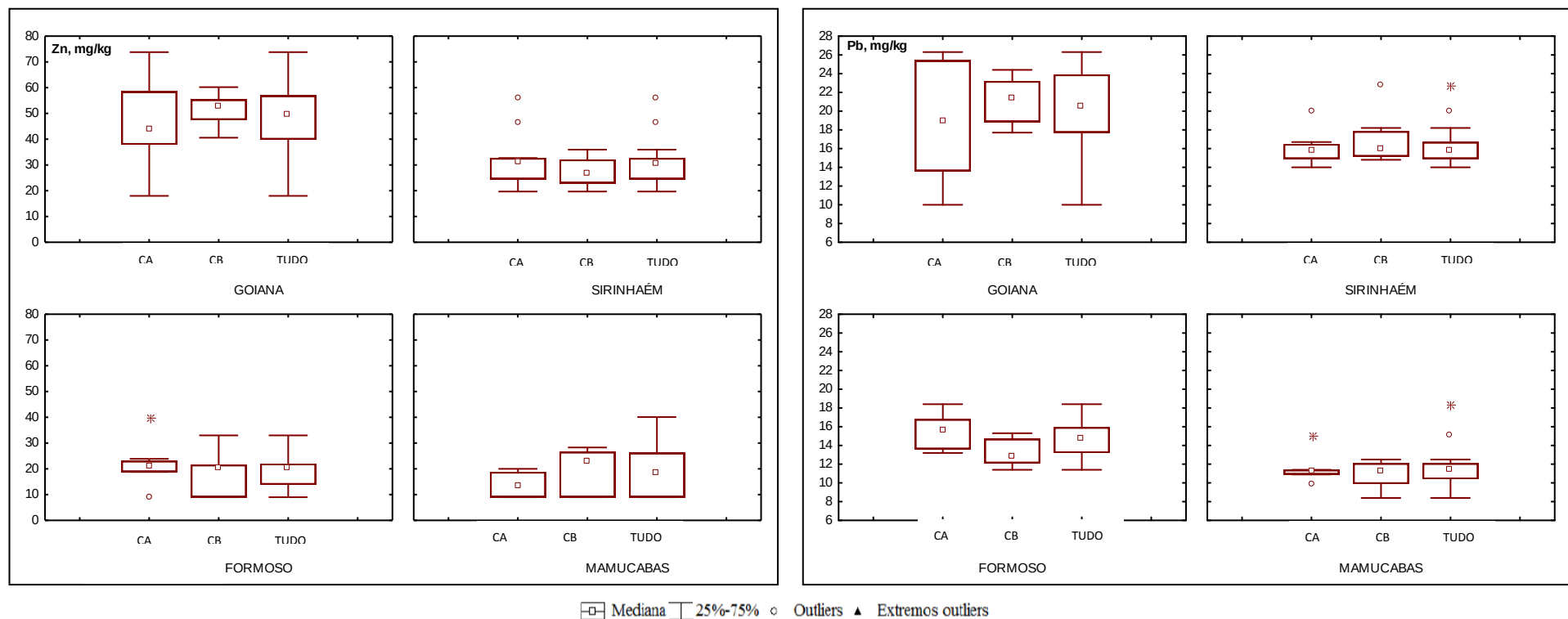


Figura 47. Distribuição da Zn e Pb através da representação gráfica boxplot, utilizado na retirada dos valores anômalos e extremos anômalos, para obtenção do P75 a partir do universo amostral (CA – campanha A, CB – Campanha B e TUDO – as duas campanhas).

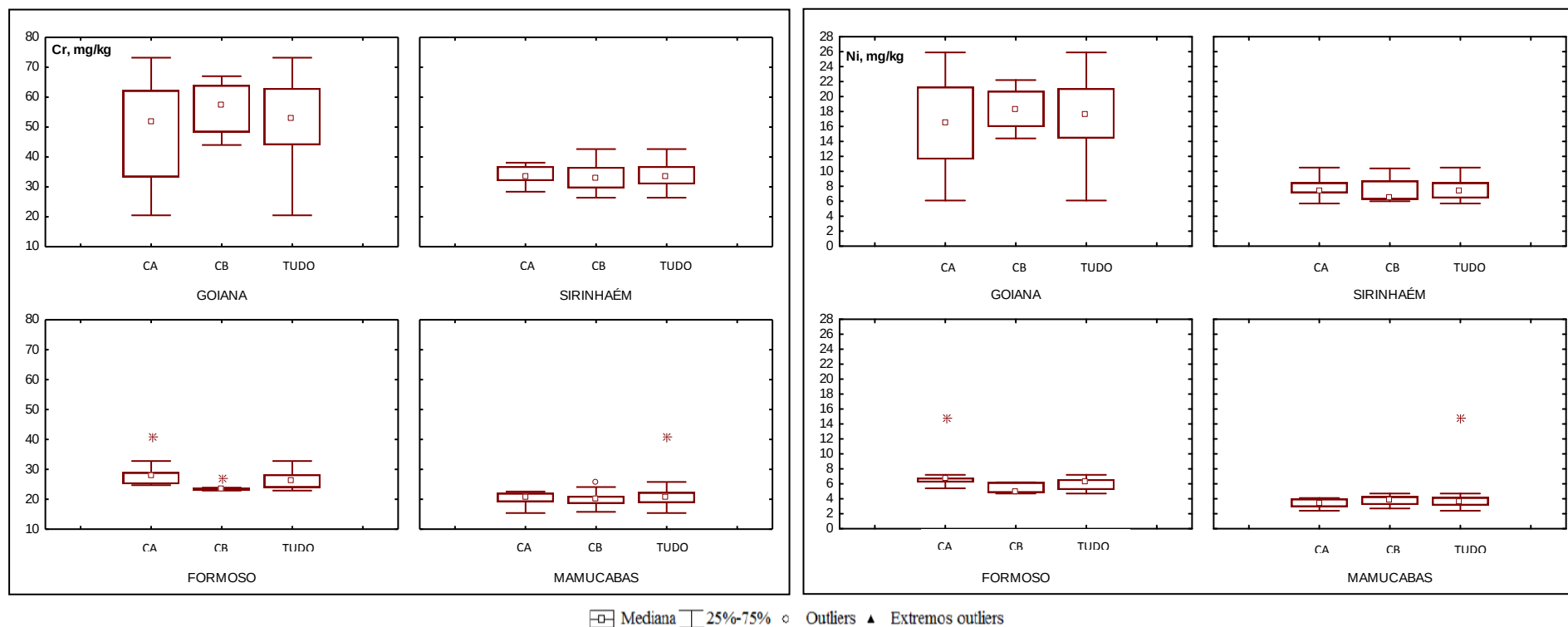


Figura 48. Distribuição da Cr e Ni através da representação gráfica boxplot, utilizado na retirada dos valores anômalos e extremos anômalos, para obtenção do P75 a partir do universo amostral (CA – campanha A, CB – Campanha B e TUDO – as duas campanhas).

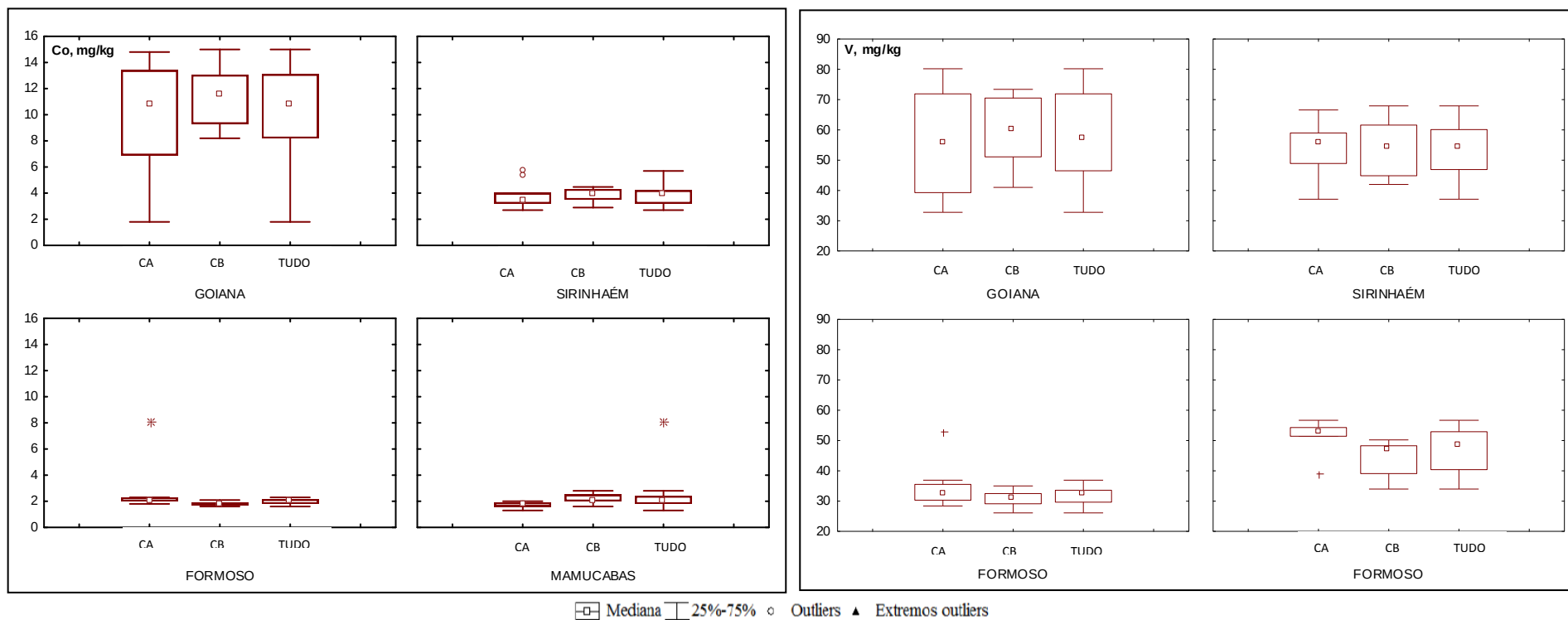


Figura 49. Distribuição da Co e V através da representação gráfica boxplot, utilizado na retirada dos valores anômalos e extremos anômalos, para obtenção do P75 a partir do universo amostral (CA – campanha A, CB – Campanha B e TUDO – as duas campanhas).

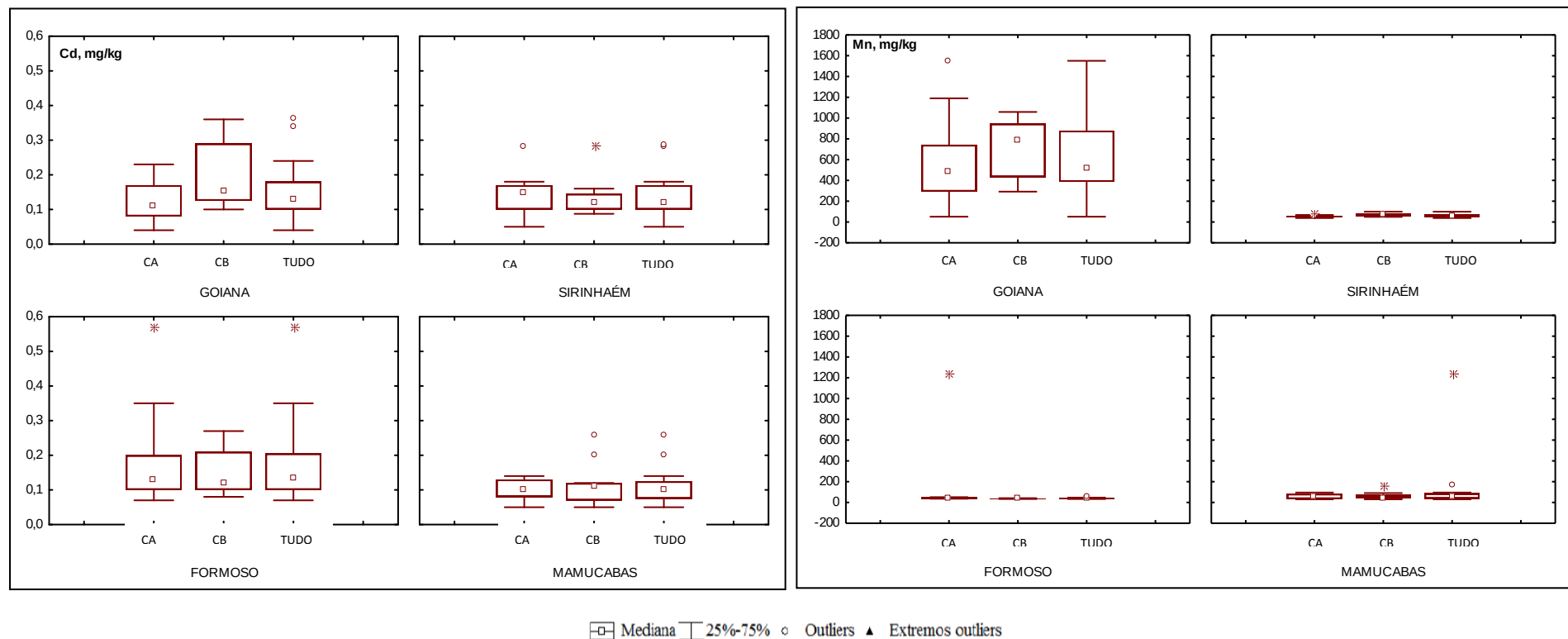


Figura 50. Distribuição da Co e V através da representação gráfica boxplot, utilizado na retirada dos valores anômalos e extremos anômalos, para obtenção do P75 a partir do universo amostral (CA – campanha A, CB – Campanha B e TUDO – as duas campanhas).

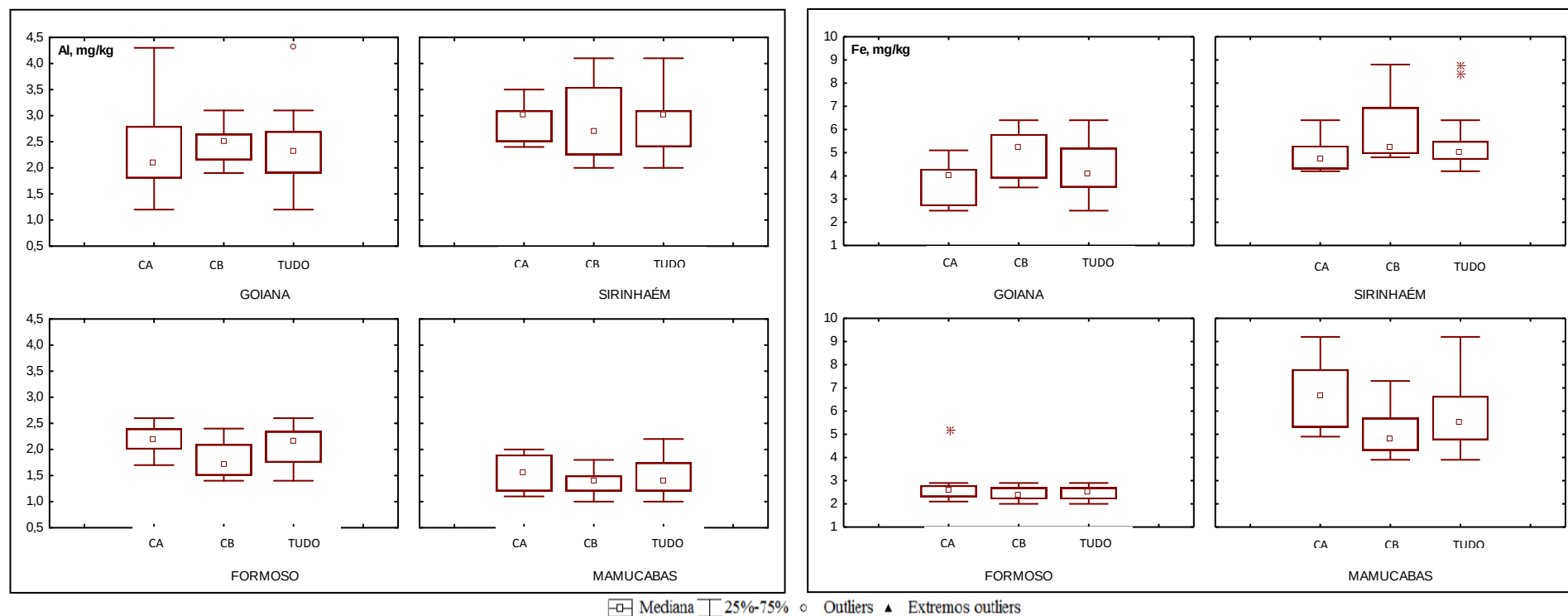


Figura 51. Distribuição da Al e Fe através da representação gráfica boxplot, utilizado na retirada dos valores anômalos e extremos anômalos, para obtenção do P75 a partir do universo amostral (CA – campanha A, CB – Campanha B e TUDO – as duas campanhas).

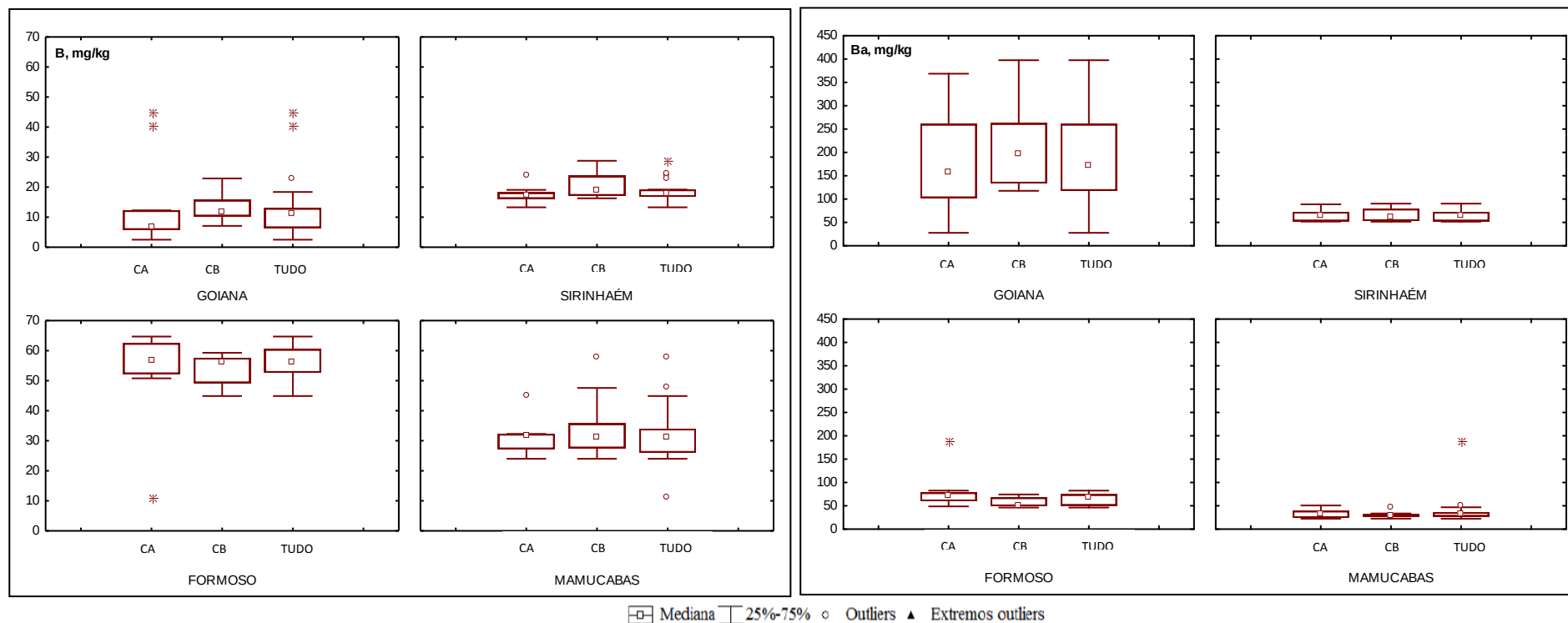


Figura 52. Distribuição da Ag e As através da representação gráfica boxplot, utilizado na retirada dos valores anômalos e extremos anômalos, para obtenção do P75 a partir do universo amostral (CA – campanha A, CB – Campanha B e TUDO – as duas campanhas).

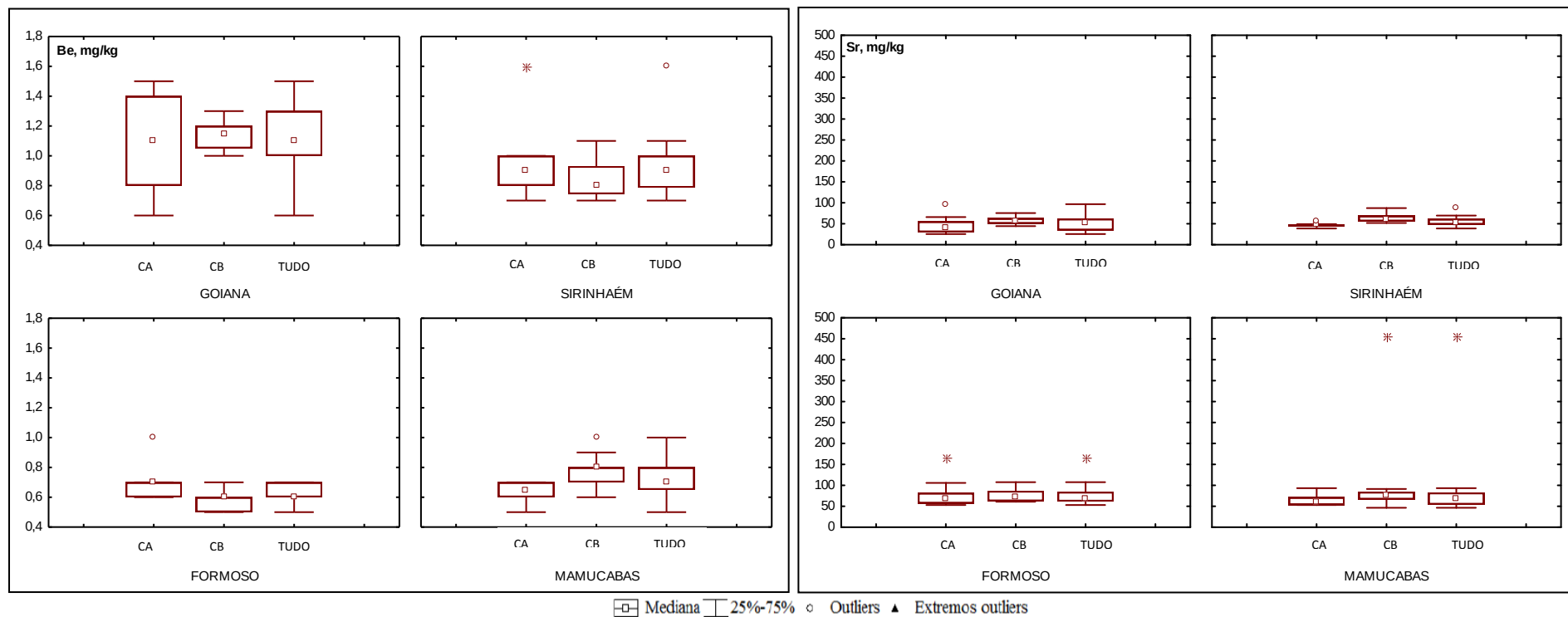


Figura 53. Distribuição da Be e Sr através da representação gráfica boxplot, utilizado na retirada dos valores anômalos e extremos anômalos, para obtenção do P75 a partir do universo amostral (CA – campanha A, CB – Campanha B e TUDO – as duas campanhas).

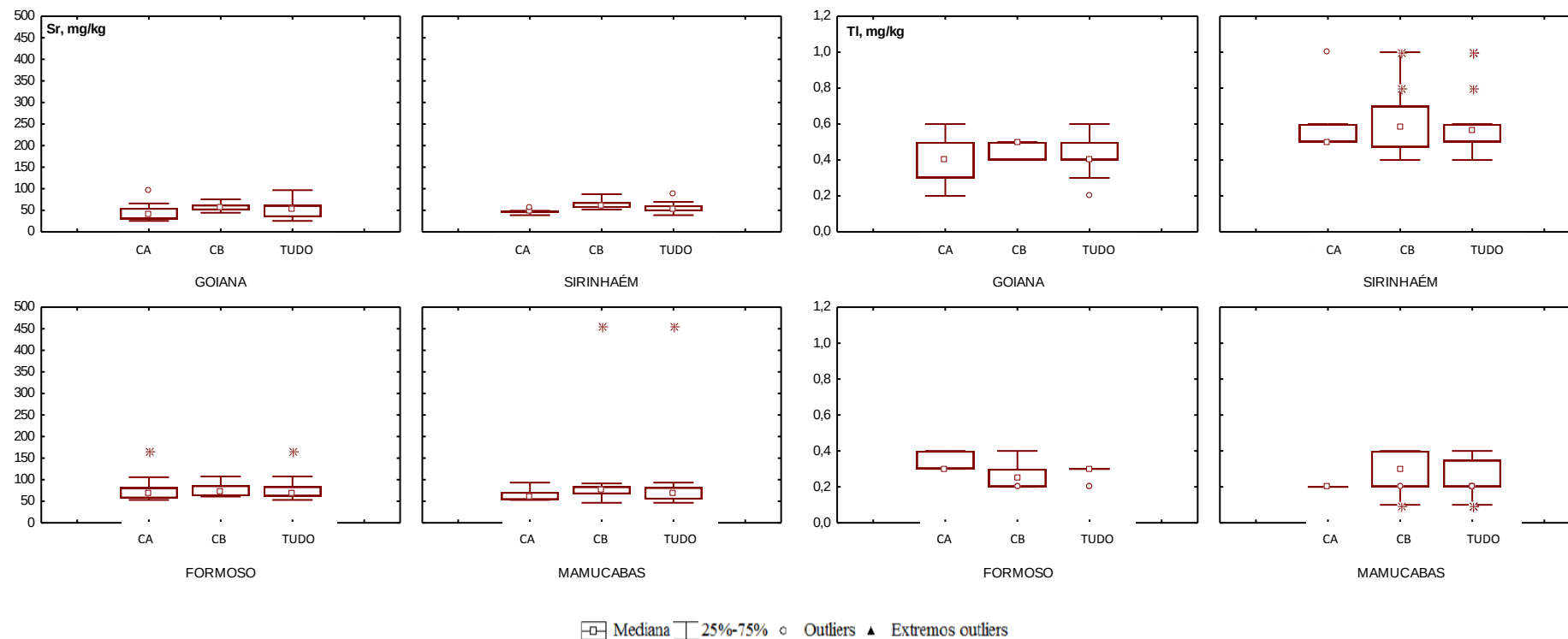


Figura 54. Distribuição da Be e Sr através da representação gráfica boxplot, utilizado na retirada dos valores anômalos e extremos anômalos, para obtenção do P75 a partir do universo amostral (CA – campanha A, CB – Campanha B e TUDO – as duas campanhas).

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em virtude da crescente pressão antrópica sobre as áreas estuarinas do estado de Pernambuco, a determinação de valores de *background* geoquímico para elementos químicos (maiores, menores e traços) trazem implicações significativas para a gestão desses ambientes, sobretudo quando se trata de avaliar se há a ocorrência de contaminação atualmente, ou para se usar como base de comparação para o futuro.

Nos estuários estudados observou-se que de forma geral, o substrato geológico é o fator que mais influencia nas concentrações naturais da área estudada. Ainda, se observou especificamente nos testemunhos, destacadamente para o arsênio, uma distribuição de concentração temporalmente decrescente, do passado para o recente. Isso pode estar relacionado possivelmente, por exemplo, uma compensação (balanço de massa) em função de uma distribuição temporal crescente nas concentrações de outros elementos químicos. Entretanto é necessário que sejam realizadas análises futuras para elementos químicos (e.g. Si, Ca, Mg, Na, K, P, Ti) que não fizeram parte desse estudo a fim de se testar tal hipótese.

Os picos de concentração presentes nos testemunhos dos estuários estudados há aproximadamente 100 anos para o Pb, Ba, Cu, Zn, Cr, Ni, Co, Mn e Al estão provavelmente relacionados a um evento natural em comum. Possivelmente tais elementos foram sendo introduzidos no ambiente através de um episódio de enchente. Um desses possíveis episódios é o ocorrido no estado de Pernambuco em 1914.

A análise das concentrações dos elementos investigados em regimes pluviométricos diferentes apontou que a maior parte destes tendeu a não apresentar variação significativa. Dessa forma foi possível utilizar dados desses dois períodos para se estabelecer o *background* sem a necessidade de se levar a variação sazonal em consideração.

As particularidades da composição mineralógica (presença de caulinita e illita que são relativamente menos solúveis em ácido se comparados à esmectita, por exemplo) dos sedimentos estudados, bem como o método utilizado nesse trabalho - USEPA SW-846 3051A (U.S. EPA, 2007) para a solubilização das amostras, se mostraram como causas de algumas anomalias observadas. Em especial aquela da não correlação entre a quantidade da fração argila e os elementos químicos estudados.

O *background* obtido nesse trabalho se mostrou mais restritivo do que os valores orientadores de material a ser dragado recomendado pela Resolução CONAMA N° 454/2012. Isso mostra a necessidade de se estabelecer valores orientadores de forma local/regional. Isto, com o propósito de se evitar sub ou superestimação de grau de contaminação dos ambientes estuarinos do Estado de Pernambuco.

A adoção do *background* a partir do percentil 75 se mostrou mais eficiente do ponto de vista do gerenciamento das áreas estuarinas. Isso porque ao considerar o percentil 90 o *background*, em alguns casos se mostra bem mais alto do que quando se considera o percentil 75, como por exemplo o Ni (p 75 = 11,85 mg.kg⁻¹ e p 90 = 20,40 mg.kg⁻¹) e o Co (p 75 = 7 mg.kg⁻¹ e p 90 = 12,60 mg.kg⁻¹). Além disso não foi/é possível no litoral de Pernambuco encontrar estuários absolutamente livres das atividades antrópicas. Assim sendo, a utilização do percentil 75 para definição do *background* possibilita, num primeiro momento, maior segurança quanto a qualidade dos sedimentos.

O presente estudo contribui diretamente para a gestão dos ambientes estuarinos do estado de Pernambuco, especialmente por propor valores de *background* para elementos químicos diversos (Ag, As, Se, Cu, Pb, Zn, Cr, Ni, Co, V, Cd, Mn, Fe, Al, B, Ba, Be, Sr e Tl). O conhecimento desses valores, especialmente no que diz respeito aos elementos químicos tóxicos, serve como subsídio aos gestores para o planejamento de suas ações corretivas e/ou mitigadoras, e o monitoramento futuro desses ambientes tão sensíveis à ação humana.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahlf W, Förstner U (2001): Managing Contaminated sediments, Part I: Improving chemical and biological criteria. *Journal of Soils and Sediments* 1, 30–36.
- Ahlf, W., Braunbeck, T., Heise, S., Hollert, H., 2002. Sediment and soil quality criteria. In: Burden, F.R., Mckevie, I., Forstner, U., Gunther, H. (Eds.), *Environmental Monitoring Handbook*. McGraw-Hill, New York, p. 17.1-17.18.
- Alexakis, D. 2008. Geochemistry of stream sediments as a tool for assessing contamination. *European Water*. 21/22: 57–72.
- Alheiros, M. M.; Lima Filho, M. F.; Monteiro, F. A. J.; Oliveira Filho, J. S. 1988. *Sistemas deposicionais na Formação Barreiras no Nordeste Oriental*. In: Congresso Brasileiro de Geologia, v.2, p.753-760.
- Alloway, B.J. 2012. *Heavy metals in soils*. 3.ed. Springer: Dordrecht (Germany). 613p.
- Almeida, C.B., Cruz, L.B., Jardim de Sá, E.F., Vasconcelos, P.M.P., Medeiros, W.E. 2005. Tectônica e relações estratigráficas na Sub-bacia de Pernambuco, NE do Brasil: contribuição ao conhecimento do Rifte Sul-Atlântico. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, 13(2): 167-180.
- Alves, E. C. & Costa, M. P. A. 1986. *Interpretação sismoestratigráfica da porção norte do Platô de Pernambuco e suas possíveis correlações com a bacia Pernambuco Paraíba*. Congresso Brasileiro de Geologia, 34, Goiânia. Anais, 1: 286-297.
- Amouroux, D.; Donard, O. F. X., 1996. Maritime emission of selenium to the atmosphere in eastern Mediterranean seas. *Geophys. Res. Lett.* 23: 1777-1780.
- Andrade-Lima, D. 1960. *Estudos fitogeográficos de Pernambuco*. Recife: Instituto de Pesquisa Agrônoma de Pernambuco, 1960. (Publicação, 2).
- Aragon G.T., Pires V.S., Lacerda L.D., Patchineelam S.R. 1986. Distribuição espacial de nutrientes e metais pesados em sedimentos e águas superficiais em um ecossistema de manguezal. *Acta Limnol. Brasil.* 1: 365 – 385.
- Arruda, G. N., 2010. Avaliação das concentrações recentes e históricas de metais pesados nos sedimentos de fundo do estuário do rio Formoso, PE. Universidade Federal de Pernambuco. Recife. Dissertação de mestrado, 144 p.
- Arruda, G.N. 2010. *Avaliação das concentrações recentes e históricas de metais pesados nos sedimentos de fundo do estuário do Rio Formoso, Pernambuco*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco. 90 p.
- Asmus, H. E. & Carvalho, J. C. 1978. Condicionamento tectônico da sedimentação nas bacias marginais do Nordeste do Brasil (Sergipe-Alagoas e Pernambuco-Paraíba). PROJETO REMAC – Aspectos estruturais da margem continental leste e sudeste do Brasil. Rio de Janeiro, *PETROBRÁS/CENPES*. 4:1-24.

Baize, D., Sterckeman, T. 2001. Of the necessity of knowledge of the natural pedogeochemical background content in the evaluation of the contamination of soils by trace elements. *Science of the Total Environment*, 264:127-139.

Barbosa J. A., 2004. *Evolução da Bacia Paraíba durante o Maastrichtiano-Paleoceno Formações Gramame e Maria Farinha, NE do Brasil*. Universidade Federal de Pernambuco. Recife. Dissertação de mestrado, 219 p.

Barbosa J. A., 2007. *A Deposição Carbonática na Faixa Costeira Recife-Natal: Aspectos Estratigráficos, Geoquímicos e Paleontológicos*. Universidade Federal de Pernambuco. Recife. Tese de doutorado, 270 p.

Barbosa, J. A, Souza, E. M., Lima Filho, M. F., Neumann, V.H. 2003. A estratigrafia da Bacia da Paraíba: Uma reconstituição. *Estudos Geológicos*, Universidade Federal de Pernambuco. 13: 89-108

Barbosa, J. A.; Neumann, V. H.; Lima Filho, M. F.; Souza, E. M. de.; Moraes, M. A. de. (2007). Estratigrafia da Faixa Costeira Recife-Natal (Bacia da Paraíba e Plataforma de Natal), NE Brasil. *Estudos Geológicos*, v.17, p.3-30.

Barletta, M. & Costa, M. F. 2009. Living and non-living resources exploitation in a tropical semi-arid estuary. *Journal of Coastal Research*, SI 56:371-375.

Becker, P., 1989. *Phosphates and Phosphoric Acid: raw materials, technology, and economics of the wet process*. Fert. Sci. Technol. Ser. (Second edition), Vol. 6 Marcel Dekker, Inc, New York. 752p.

Berner, E.K., Berner, R.A., 1996. *The Global Environment: Water, Air and Geochemical Cycles*. Prentice-Hall, Upper Saddle River, N.J. 376 pp.

Beurlen, K., 1967. Estratigrafia da faixa sedimentar costeira Recife-João Pessoa. *Bol. Geol.São Paulo*.16(1): 43-53.

Bianchi, Thomas S. 2007. *Biogeochemistry of estuaries*. Oxford: Oxford University Press.721p.

Birch, G.F., Chang, C.H., Lee, J.H., Churchill, L.J. 2013. The use of vintage surficial sediment data and sedimentary cores to determine past and future trends in estuarine metal contamination (Sydney Estuary, Australia). *Sci Total Environ*. 542–561.

Boicourt, W.C. 1990. The influences of circulation processes on dissolved oxygen in Chesapeake Bay. *Oxygen Dynamics in Chesapeake Bay, USA, A Synthesis of Recent Research* (Smith, D.E., Leffler, M., and Mackiernan, eds.), pp. 1–59, Maryland Sea Grant, College Park, MD.

Bowden, K. F. 1980 Physical factors: salinity, temperature, circulation, and mixing processes. In *Chemistry and Biogeochemistry of Estuaries*. Wiley, New York. pp. 37-70.

Bowden, K.F. 1967. Circulation and diffusion. *Estuaries* (Lauff, G.H., ed.), pp. 15–36, American Association for the Advancement of Science, Washington, DC.

Brito, I. M. 1979. *Bacias sedimentares e formações pós-paleozóicas do Brasil*. Interciência Ltda, RJ.

Calmano, W., Hong, J.; Förstner, U. 1993. Binding and mobilization of heavy metals in contaminated sediments affected by pH and redox potential. *Water Sci. Technol.* 28 (8-9), 223-235.

Cavalcanti Neto, M. T. O.; Rocha da Rocha, A. M. 2010. *Noções de Prospeção e Pesquisa Mineral para Técnicos de Geologia e Mineração*. Natal/RN: Editora do IFRN-RN.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. 2001. *Relatório de Estabelecimento de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo*. DOROTHY C.P. CASARINI et al., São Paulo: CETESB, 73p.

Chester, R. 1990. *Marine Geochemistry*. Chapman & Hall, London. 698 p.

Church, T.M., Scudlark, J.R., 1998. Trace metals in estuaries: A Delaware Bay synthesis. In: Allen, H.E., Garrison, A.W., Luther, G.W. (Eds.), *Metals in Surface Waters*, Ann Arbor Press, Chelsea, MI, pp. 1-22.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. *Resolução N° 420*, de 28 de dezembro de 2009.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. *Resolução N° 454*, de 1 de novembro de 2012

CONDEPE/FIDEM. 2005. *Rio Goiana e GL 6*. Recife: Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco 65 p.

CONDEPE/FIDEM. 2006. *Rio Uma, GL 4 e GL 5*. Recife: Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco, 85p.

CPRH. 2003a. Diagnóstico Sócio Ambiental do litoral Norte de Pernambuco. Recife: Agência Pernambucana de Recursos Hídricos. 214p.

CPRH. 2003b. Diagnóstico Sócio Ambiental do litoral Sul de Pernambuco. Recife: Agência Pernambucana de Recursos Hídricos. 87p.

Cunha A. C., Sampaio G. M. P., Milet H. A. R., Filho P. S. O., 1984. Projeto Cadastramento das Ocorrências Minerais do Estado de Pernambuco, por SUDENE e CONESP. *Série Brasil*. SUDENE, Geologia Econômica nº10, Recife, 261 p.

Daily, G. C., Ehrlich, P. R., Alexander, S. 1997. Ecosystem services: benefits supplied to human societies by natural ecosystems. *Issues in Ecology*, 2.

Dalrymple, R. W., B. A. Zaitlin, and R. Boyd. 1992. Estuarine facies models: Conceptual basis and stratigraphic implications: *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 62, p. 1130–1146.

Day Jr, J. W., Yanez-Arancibia, A., Kemp, W. M., & Crump, B. C. 2013. Introduction to estuarine ecology. *Estuarine ecology*, 1-18.

- Dean, W.E. 1974. Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition: comparison with other methods. *Journal of Sedimentary Petrology*. 44: 242-251.
- DePaula, F. C., & Mozeto, A. A. 2001. Biogeochemical evolution of trace elements in a pristine watershed in the Brazilian southeastern coastal region. *Applied Geochemistry*, 16(9): 1139-1151.
- DHN - Diretoria De Hidrografia E Navegação. 2012. *Tábua de marés 2012: Porto do Recife*. Rio de Janeiro: Marinha do Brasil.
- Dyer, K.R. 1997. Lateral circulation effects in estuaries. *Estuaries, Geophysics and the Environment*. Washington, D.C., National Academy of Sciences, pp. 22-29. pp. 22–29.
- Dyer, K.R., 1973. *Estuaries: A Physical Introduction*. Wiley, London, United Kingdom: 140 pp
- Environmental Canada and Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec. 2008. Criteria for the Assessment of Sediment Quality in Quebec and Application Frameworks: Prevention, Dredging and Remediation. Disponível em: <http://www.planstlaurent.qc.ca>. Acessado em: 07 de ago. de 2013.
- Environmental Canada. 2002. Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life. Canadian Environmental Quality Guidelines - Summary Tables. Disponível em: <http://www.ec.gc.ca>. Acessado em: 07 de ago. de 2013.
- Fairbridge, R.W., 1980. The estuary: its definition and geodynamic cycle. In: E. Olausson and I. Cato (Editors), *Chemistry and Biogeochemistry of Estuaries*. Wiley, New York, pp.1 35.
- FDEP. 1994. Approach to the Assessment of sediment quality in Florida coastal waters. Vol. I. Development and Evaluation of Sediment Quality Assessment Guidelines. Prepared for Florida Department of Environmental Protection – FDEP, Office of Water Policy, Tallahassee, FL, by Macdonald Environmental Sciences Ltd., Ladysmith, British Columbia.
- Ferreira, R. V. 2008. Mapeamento geomorfológico e de processos erosivos da bacia hidrográfica do rio Botafogo – PE utilizando técnicas de geoprocessamento. 153f. Tese (Doutorado) - Centro de Tecnologia e Geociências - Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco.
- Förstner, U. 2004. Traceability of sediment analysis. *Trends in Analytical Chemistry*. 3: 217–236.
- Gałuszka A, Migaszewski Z.M. 2011. Geochemical background—an environmental perspective. *Mineralogia*. 42(1):7–17.
- Gałuszka, A. 2006. Methods of determining geochemical background in environmental studies. *Problems of Landscape Ecology*, 16(1):507-519.

- Galuszka, A. 2007. Different approaches in using and understanding the term "Geochemical Background"- practical implications for environmental studies. *Polish Journal of Environmental Studies*. 16(3): 389-395.
- Garlipp, A. B.; Souza Neto, J. A.; Valença, L. M. M.; Manso, V. A. V. 2010. *Variabilidade histórica de elementos maiores e traços em sedimentos estuarinos sob influência da carcinicultura: o sistema estuarino Goiana-Megaó, Pernambuco, Brasil*. Estudos Geológicos. 20 (2): 3-18.
- Gomes, H. A.. *Geologia e Recursos Minerais do Estado de Pernambuco*. Recife: CPRM, 2001. 198 p. 2 mapas. Escala 1:500.000. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil – PLGB.
- Hansen, D. V., & Rattray, M. 1966. New dimensions in estuary classification1. *Limnology and Oceanography*, 11(3): 319-326.
- Hawkes HE, Webb JS. 1962. *Geochemistry in Mineral Exploration*. New York: Harper.
- Hong S., Candelone J.P., Patterson C.C., Boutron C.F. 1994. Greenland ice evidence of hemispheric lead pollution two millennia ago by Greek and Roman civilizations. *Science*, 265(5180):1841-1843.
- Hong, S.; Candelone, J.; P. Patterson, C. C.; Boutron, C. F. 1996. History of Ancient copper smelting pollution during Roman and Medieval times recorded in Greenland ice sheet. . *Science*. 272: 246-248.
- Ibañez, C.; Pont, D. & Prat, N. 1997. Characterisation of the Ebre and Rhone Estuaries. *Limnol. and Oceanogr.*, 42 (1) 89- 101.
- Jenne, E.A. 1968. Controls on Mn, Fe, Co, Ni, Cu and Zn concentrations in soils and water: the significant role of hydrous Mn and Fe oxides. *Amer. Chem. Soc.*, 73: 337-387.
- Jesus, H. C.; Costa, E. A.; Zandonade, E.; Gonçalves, S. M. 2004. Distribuição de metais pesados em sedimentos do sistema estuarino da ilha de Vitória-ES. *Química Nova*. 27, 3: 378-386.
- Kennish, M. J. 1994. Pollution in estuaries and coastal marine waters. *Journal of Coastal Research*, 27-49.
- Kjerfve, B. Estuarine Geomorphology and Physical Oceanography. In: Day Jr.; Hall, C.H.A.S.; Kemp, W.M.; Yáñez-Arancibia, A. (eds.). *Estuarine Ecology*. New York, Wiley, pp.47-78, 1987.
- Kralik, M. 1999. A rapid procedure for environmental sampling and evaluation of polluted sediments. *Applied Geochemistry*. 14:807-816
- Kuo, A.Y., Park, K., and Moustafa, M.Z. 1991 Spatial and temporal variability of hypoxia in the Rappahannock River, Virginia. *Estuar. Coastal Shelf Sci.* 14: 113–121.
- Lacerda A.D., Marins R.V. 1997. Anthropogenic mercury emissions to the atmosphere in Brazil: The impact of gold mining. *J. Geochem. Exploration*, 58: 223-229.

- Lacerda, L. D.; Freixo, J. L.; Coelho, S. M. 1997. The effect of *Spartina alterniflora* Loisel on trace metals accumulation in inter – tidal sediment”. *Mangroves and Salt Marshes*, 1: 201 – 209.
- Li, B., Feng, C., Li, X., Chen, Y., Niu, J., Shen, Z. 2012. Spatial distribution and source apportionment of PAHs in surficial sediments of the Yangtze Estuary, China. *Marine Pollution Bulletin.*, 64:636–643.
- Lima Filho, M. F. 1998. *Análise Estratigráfica e Estrutural da Bacia Pernambuco*. IG-USP. Tese de Doutorado, 139 p.
- Lima Filho, M. F.; Szatmari, P. 2002. Ar-Ar Geochronology of volcanic rocks of the Cabo magmatic province (CMP) – Pernambuco Basin. In: *Simpósio sobre vulcanismo e ambientes associados*. Bélem. Resumos 2: p.59.
- Long, E.R., Macdonald, D.D., Smith, S.L. & Calder F. D. 1995. Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. *Environmental Management*. 19(1):81-97.
- Louriño-Cabala, B., Levsen, L., Charriau, A., Billon, G., Ouddane, B., & Boughriet, A. 2011. Potential risks of metal toxicity in contaminated sediments of Deûle river in Northern France. *Journal of Hazardous Materials*, 186: 2129–2137.
- Lowe-McConnell, R.H. 1999. *Estudos ecológicos de comunidades de peixes tropicais*. São Paulo, EDUSP, 584p.
- Luiz-Silva, W., Matos, R. H. R., Kristosch, G. C., & Machado, W. 2006. Variabilidade espacial e sazonal da concentração de elementos-traço em sedimentos do sistema estuarino de Santos-Cubatão (SP). *Química Nova*. 29(2), 256-263.
- Mabesoone, J. M. & Alheiros, M. M. 1988. Origem da bacia sedimentar costeira Pernambuco-Paraíba. *Rev. Bras. Geoc.* São Paulo. 18(4):476-482.
- Mabesoone, J. M. & Alheiros, M. M. 1991. Base Estrutural - Faixa sedimentar costeira de Pernambuco, Paraíba e parte do Rio Grande do Norte. *Estudos Geológicos*. Recife, UFPE/DGEO, Estudos e Pesquisas, v.10, Série. B, 33 – 43.
- Mabesoone, J. M. & Alheiros, M. M. 1993. Evolution of the Pernambuco-Paraíba-Rio Grande do Norte Basin and the problem of the South Atlantic connection. *Geologie en Mijnbouw, Kluwer. Academic Publishers*, 71:351-362
- Machado, C. G. 2011. Caracterização química dos agregados e sedimentos superficiais na zona de máxima turbidez no complexo estuarino de Paranaguá (CEP). *Boletim paranaense de geociências*. 64: 40-47.
- Marins, R.; De Paula Filho, F.; Maia, S.; De Lacerda, L. E Marques, W. 2004. Distribuição de mercúrio total como indicador de poluição urbana e industrial na costa brasileira. *Química Nova*, 27:763 – 770.
- Matschullat, J., Ottenstein, R., & Reimann, C. 2000. Geochemical background—can we calculate it? *Environmental Geology*, 39(9), 990-1000.

- Melo, D. C. P., Gazineu, M. H. P., Paiva, S. C., Silva, J. C., Rêgo, R. C. P., Salgueiro, A. A. 2002. Influência das condições de maré na qualidade de água do rio Formoso-PE-Brasil. *Química e Tecnologia*. 1:20-24.
- Miranda, L. B.; Castro, B. M.; Kjerfve, B. 2002. *Princípios de oceanografia Física de estuários*. Edusp. 411p.
- Mirlean, N. Baisch, P., Travassos, M.P., Nassar, C. 2011. Calcareous algae bioclast contribution to sediment enrichment by arsenic on the Brazilian subtropical coast. *Geom. Lett.*, 31(1): 65–73.
- MODEL TOXICS CONTROL ACT - Cleanup - Departament od ecology. 2001. Washington Administrative Code. 173 – 340-200. Disponível em: www.leg.wa.gov/wac. Acessado em: 20 fev. 2014.
- Morais, D. M. F. 2008. *Sismoestratigrafia do cretáceo superior / neógeno nas bacias de Pernambuco e da Paraíba, NE do Brasil*. Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Pós-Graduação em Geociências (Dissertação). Recife.
- Nascimento, M.A.L. 2003. *Geologia, geocronologia, geoquímica e petrogênese das rochas ígneas cretácicas da província magmática do Cabo e suas relações com as unidades sedimentares da Bacia de Pernambuco, NE do Brasil*. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 235 p.
- Natural Resources And Environmental Protection Cabinet. Kentucky guidance for ambient background assessment. Disponível em: <http://rais.ornl.gov/homepage/AmbientBackgroundAssessment.pdf>. Acessado em: 20 fev. 2014.
- Naval Facilities Engineering Command (NFESC). 2002. *Guidance for environmental background analysis, Volume 1: Soil*. Washington: NFESC, 188p.
- Nieto, P., Custodio, E., Manzano, M. 2005. Baseline groundwater quality: a European approach. *Environmental Science and Policy*, 8:399-409.
- Nordstrom D. K., Wilde F. D. 1998. Reduction-oxidation potential (electrode method). In: Wilde FD, Radtke DB, Gibs J, Iwatsubo RT (eds) National field manual for the collection of water-quality data. US Geol Survey Water-Resour Invest, book 9: handbooks for water-resources investigations. A6.5, Book 9, 9/98
- Oliveira, R. C. B; Marins, R. V. Dinâmica de Metais-Traço em Solo e Ambiente Sedimentar Estuarino como um Fator Determinante no Aporte desses Contaminantes para o Ambiente. *Rev. Virtual Química*. 3(2): 88-102.
- Paslawski, P. & Migaszewski, M., 2006. The quality of element determinations in plant materials by instrumental methods. *Polish J. Environ. Stud.* 15(2a), 154-164.
- Paula Filho, F. J., Marins, R. V., de Lacerda, L. D., Aguiar, J. E., & Peres, T. F. 2015. Background values for evaluation of heavy metal contamination in sediments in the Paraíba River Delta estuary, NE/Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, 91: 424-428.

Paye, H. De S.; Mello, J. W. V.; Melo, S.B. 2012. Métodos de análise multivariada no estabelecimento de valores de referência de qualidade para elementos-traço em solos. *Revista Brasileira de Ciência do solo*, v.36, p. 1031-1041.

Pereira da Silva, J.; Valença, L. M. M. 2008. Estudos sedimentológicos, hidrodinâmicos, batimétricos e da qualidade da água visando a evolução e os aspectos ambientais associados do Estuário do Rio Formoso - PE. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

Perin, G.; Fabris, R.; Manente, S.; Wagener, R, A.: Hamacher, C.; Scott, S. 1997. A Five-Year Study on the Heavy Metal Pollution of Guanabara Bay Sediments (Rio de Janeiro, Brazil) and Evaluation of the Metal Bioavailability by Means of Geochemical Speciation. *Water Resources*. 31(12): 3017-3028.

Peters, H. 1999. Spatial and temporal variability of turbulent mixing in an estuary. *J. Mar. Res.* 57: 805–845.

Peters, H., and Bokhorst, R. 2000. Microstructure observations of turbulent mixing in a partially mixed estuary. Part I: Dissipation rate. *J. Phys. Oceanogr.* 30:1232–1244.

Portier, K.M. Statistical issues in assessing anthropogenic background for arsenic. 2001. *Environmental Forensics*, 2:155-160.

Pritchard, D. W. 1952. *Estuarine Hydrography*. Advances in Geophysics. New York, Academic Press, vol. 1, pp. 243-280.

Pritchard, D. W. 1954. A study of the salt balance in a coastal plain estuary. *J. Mar. Res.* 13: 133–144.

Pritchard, D. W. 1955. Estuarine Circulation Patterns. *Proc. Am. Soc. Civ. Eng.* 81:717:1-11.

Pritchard, D. W. 1956. The dynamic structure of a coastal plain estuary, *J. Mar. Res.* 15: 33–42.

Pritchard, D.W. 1967. What is an estuary? Physical viewpoint. In: Lauff G. H. (ed). *Estuaries*. Washington, D. C., American association for the Advence of Science, pp.3-5.

Quinágua G. A. 2006. *Caracterização dos Níveis Basais de Concentração de Metais nos Sedimentos do Sistema Estuarino da Baixada Santista*. Tese de doutorado. Universidade de São Paulo. São Paulo. 239 p.

Ramos, V. C. 2011. *Avaliação da concentração de metais traço em ostra de mangue (Crassostrea rhizophorae Guilding, 1828), sururu (Mytella charruana D Orbigny, 1846) e sedimentos superficiais no estuário do Rio Formoso, Pernambuco*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

Rand, H. M. 1976. *Estudos geofísicos na faixalitorânea ao Sul de Recife*. Tese de Livre Docência. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 112 p.

Rand, H. M. 1978. *Análise gravimétrica e magnetométrica da estrutura superficial da faixa costeira do Nordeste brasileiro*. Anais XXX Cong. Bras. Geol. Recife, PE. 5: 2336-2346.

Reimann C. & Caritat P. 1998. Chemical elements in the environment - factsheets for the geochemist and environmental scientist. Germany: Springer –Verlag, 398 p.

Reimann, C., Filzmoser, P., Garrett, R.G. 2005. Background and threshold: critical comparison of methods of determination. *Science of the Total Environment*. 346:1-16.

Reimann, C., Garret, R.G. 2005. Geochemical background - concept and reality. *Science of the Total Environment*. 350:12-27.

Rodrigues, A. S. L.; Nalini Júnior, H. A. 2009. Valores de background geoquímico e suas implicações em estudos ambientais. *Revista da Escola de Minas*. 62(2):155-165.

Romero, F.M., Armienta, M.A. & Carrillo, C. A. 2004. Arsenic sorption by carbonate-rich aquifer material, a control on arsenic mobility at Zimapan. Mexico. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 47:1-13.

Sabadini-Santos, E., Knoppers, B. A., Oliveira, E. P., Leipe, T., & Santelli, R. E. 2009. Regional geochemical baselines for sedimentary metals of the tropical São Francisco estuary, NE-Brazil. *Marine pollution bulletin*, 58(4): 601-606.

Sanders, L. M., Sanders, C. J., Luiz-Silva, W., Machado, W., Silva-Filho, E. V., Patchineelam, S. R. 2011. Anthropogenic source assessment of ²²⁶Ra and ²¹⁰Pb in a sediment core from the Cubatão River estuary (SE Brazil). *J Radioanal Nucl Chem.*, 287:729–732.

Santos, K. A. 2013. Modelagem do acompanhamento e controle de cheias em bacias hidrográficas de grande variação de altitude: estudo de caso, bacia do Rio Mundaú. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. Recife. 107p.

Scancar, J.; Milacic, R.; Strazar, M.; Burica, 2000. O. Total metal concentrations and partitioning of Cd, Cr, Cu, Fe, Ni and Zn in sewage sludge. *The Science of the Total Environment*. 250:9-19.

Selinus O. & Esbensen K. 1995. Separating anthropogenic to natural anomalies in environmental geochemistry. *J. Geoch. Exp.*, 50:55-66.

Silva, J. B.; Galvêncio, J. D.; Corrêa A. C. B.; Silva D. G.; Machado C. C. C. 2011. Classificação Geomorfológica dos Estuários do Estado de Pernambuco (Brasil) com Base em Imagens do LANDSAT 5/TM. *Revista Brasileira de Geografia Física*. 1: 118-133.

Silva, N. M. T. N.; Souza Neto, J. A., Luiz-Silva, W., Valença, L. M. M. 2009. Geoquímica de sedimentos de fundo de drenagem em estuário tropical, Nordeste do Brasil. *Estudos Geológicos*, 19 (1): 139-159.

Silva, P. R. P. B. , Vianna, J. S. M. P. , Garlipp, A. B. , Souza Neto, J. A. , Santos, E. J., 2010. Mapeamento geológico e levantamento geoquímico ambiental em sedimento de

fundo na área da mineralização de Pb-Ba de Camutanga (PE). *Estudos Geológicos*. 20: 35-47.

Souza, E. M. 1999. *Levantamento radiométrico das unidades estratigráficas da Bacia Paraíba*. Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco. Dissertação de Mestrado, 152 p.

Souza, E. M. 2006. Estratigrafia da sequência clástica inferior (Andares Coniaciano – Maastrichtiano Inferior da Bacia da Paraíba e suas implicações paleogeográficas. Tese de Doutorado. Pós-Graduação em geociências, UFPE, 358p.

Souza, N. G. A. 2013. Estudo geoquímico e geocronológico dos sedimentos de fundo do sistema estuarino Goiana-Megaó, Pernambuco. Dissertação de Mestrado. Pós-Graduação em Geociências, UFPE, 110p.

Stommel, H., Farmer, H. G. 1952. On the nature of estuarine circulation. (Chaps. 1, 2, 3, 4, 7) *Woods Hole Oceanogr. Inst. Ref Nos.* 52-51, 52-63, 52-88.

Tidball, R.R., Erdman, J.A., Ebens, R.J. 1974. Geochemical baselines for sagebrush and soil. Powder River Basin. Montana - Wyoming. *United States Geological Survey Open-File Report*, 74: 6-13.

Turner, A., S. M.; G. E. Millward. 2002. Suspended particles: Their role in estuarine biogeochemical cycles. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 55: 857–883.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA. 1998. Method 3051A: Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils; test methods for evaluating solid waste, Physical/Chemical Methods; Office of Solid Waste, U.S. Environmental Protection Agency. Washington, p.1-20.

Vaiphasa, C., Skidmore, A.K. e de Boer, W.F. 2006. A post-classifier for mangrove mapping using ecological data. *Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 61:1–10.

Wen, L., Shiller, A., Santschi, P. H., Gill, G. 1999. Trace element behavior in Gulf of Mexico estuaries. In: T. S. Bianchi, J. R. Pennock, & R. R. Twilley, *Biogeochemistry of Gulf of Mexico estuaries*. Nova Iorque: John Wiley. 303-346 pp.

WHO. 1987. *Environmental Health Criteria 58: Selenium*. United Nations Environmental Programme, the International Labour Organisation and the World Health Organization. World Health Organization, Geneva.

Wolf, M. M., Risley, T., Johnston, M., Harris, F.. and Allen, E. 1967. *Application of operant conditioning procedures to the behaviour problems of an autistic child: a follow up and extension*. *Behav. Res. The r.*, 5, 103p.

ANEXOS

Anexo 1. Resultados para o material de referência certificado de sedimento – WQB-3, solubilização parcial – U.S EPA 3051a.

Elementos	WQR-3 não certificado (mg kg ⁻¹)	WQR-3 média (mg kg ⁻¹)	% Desvio padrão entre replicatas	% Recuperação
Ag	1,69	1,86	4,55	109
As	-	-	-	-
Se	-	-	-	-
Cu	80	59,1	0,55	73,7
Pb	242	207	0,12	86
Zn	1.407	1.158	0,13	84
Cr	105	77,2	0,19	73,5
Ni	53,8	41,5	0,24	77,1
Co	13,4	11,5	0,4	82,4
V	76,5	48	0,39	63
Cd	-	-	-	-
Mn	1.207	794	0,14	66,4
Fe	58.215	34.560	5,03	59,4
Al	35.645	27.040	0,3	76
B	55,6	49,2	0,34	88,4
Ba	220	143	0,32	65
Be	1,37	1	0,47	73
Sr	-	-	-	-
Tl	-	-	-	-

1- ICP OES com vista axial.

2- (-) não analisado.

APÊNDICES

Apêndice 1. Parâmetros físico-químicos medidos na água superficial do estuário do rio Goiana durante as campanhas A e B, altura da maré e salinidade.

CAMPANHA A													
Estação de Amostra	n.s.a	GA1	GA2	GA3	GA4	GA5	GA6	GA7	GA8	GA9	GA10	GA11	n.s.a
Hora	12:17	14:35	14:40	14:55	15:30	15:35	15:45	16:00	16:40	16:50	16:55	16:59	18:26
Maré (m)*	0,5	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	2,0
Temperatura (°C)	n.o.	28,4	28,4	28,3	28,2	28,3	28,1	28,2	28,0	27,9	27,8	28,0	n.o.
pH	n.o.	7	6,8	6,8	6,5	6,8	6,7	6,8	6,7	6,8	6,7	6,7	n.o.
Eh (mV)	n.o.	489,62	485,62	490,69	495,76	486,69	495,83	494,76	497,9	501,97	502,04	512,9	n.o.
Condutividade ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	n.o.	2120	5690	6860	5270	5290	5140	5170	5220	5210	3060	4210	n.o.
Salinidade	n.o.	<1,0	2,7	3,3	2,5	2,5	2,4	2,4	2,5	2,5	1,4	1,9	n.o.
CAMPANHA B													
Estação de Amostra	n.s.a	GB1	GB2	GB3	GB4	GB5	GB6	GB7	GB8	GB9	GB10	GB11	n.s.a
Hora	06:54	10:48	10:50	11:00	11:10	11:05	11:16	11:25	11:30	11:35	11:40	11:45	13:04
Maré (m)*	1,9	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	0,7
Temperatura (°C)	n.o.	26,9	27	26,3	26,5	26,6	26,5	26,3	27,1	27,1	27,1	27,1	n.o.
pH	n.o.	6,8	6,8	6,7	6,6	6,5	6,5	6,5	6,7	6,7	6,7	6,7	n.o.
Eh (mV)	n.o.	739,67	861,6	767,09	744,95	701,88	680,95	188,09	901,53	901,53	901,53	901,53	n.o.
Condutividade ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	n.o.	4150	3710	3050	2420	2320	2050	1380	1202	1202	1202	1202	n.o.
Salinidade	n.o.	2,0	1,7	1,4	1,1	1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	n.o.

1 - n.s.a – Não se aplica

2 - n.o. – Não observado

Apêndice 2. Parâmetros físico-químicos medidos na água superficial do estuário do rio Sirinhaém durante as campanhas A e B, altura da maré e salinidade.

CAMPANHA A											
Estação de Amostra	n.s.a	SA1	SA2	SA3	SA4	SA5	SA6	SA7	SA8	SA9	n.s.a
Hora	06:47	10:50	10:55	10:58	11:04	11:17	11:25	11:40	12:00	12:05	12:54
Maré (m)*	1,9	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	0,6
Temperatura (°C)	n.o.	30,2	31,2	29,8	29,6	29,9	29,8	30,5	29,5	29,9	n.o.
pH	n.o.	6,1	6	6,1	5,9	6	5,9	5,9	6	6	n.o.
Eh (mV)	n.o.	472,36	458,66	440,64	452,78	442,57	451,64	479,15	478,85	476,57	n.o.
Condutividade ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	n.o.	3670	2290	2350	1608	1315	967	879	750	810	n.o.
Salinidade	n.o.	1,6	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	n.o.
CAMPANHA B											
Estação de Amostra	n.s.a	SB1	SB2	SB3	SB4	SB5	SB6	SB7	SB8		n.s.a
Hora	06:54	9:45	9:52	10:00	10:05	10:15	10:20	10:29	10:45		13:04
Maré (m)*	1,9	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.		0,7
Temperatura (°C)	n.o.	26,5	26,7	27	26,9	27,2	27,4	27,5	27,8		n.o.
pH	n.o.	6,6	6,5	6,5	6,5	6,6	6,4	6,9	6,6		n.o.
Eh (mV)	n.o.	570,95	557,81	550,6	545,67	532,46	536,32	531,25	529,04		n.o.
Condutividade ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	n.o.	5280	5500	5530	5520	5600	6010	13180	7270		n.o.
Salinidade	n.o.	2,8	2,9	2,9	2,9	2,9	3,1	7,2	3,8		n.o.

1 - n.s.a – Não se aplica

2 - n.o. – Não observado

Apêndice 3. Parâmetros físico-químicos medidos na água superficial do estuário do rio Formoso durante as campanhas A e B, altura da maré e salinidade.

CAMPANHA A												
Estação de Amostra	n.s.a	FA1	FA2	FA3	FA4	FA5	FA6	FA7	FA8	FA9	FA10	n.s.a
Hora	11:15	12:17	12:45	12:50	12:58	13:05	13:12	13:18	13:25	13:30	13:35	17:23
Maré (m)*	0,3	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	2,2
Temperatura (°C)	n.o.	27,8	28,4	27,7	27,9	28,3	28,5	27,7	27,8	28,3	28,5	n.o.
pH	n.o.	6,9	6,9	6,6	7	6,9	7	6,9	7	6,8	7,3	n.o.
Eh (mV)	n.o.	211,04	219,62	218,11	212,97	211,69	213,55	209,11	218,04	213,69	193,55	n.o.
Condutividade (µS.cm ⁻¹)	n.o.	14120	14770	15480	15500	15450	15520	15590	15840	15740	15800	n.o.
Salinidade	n.o.	7,7	8,0	8,6	8,7	8,4	8,4	8,6	8,7	8,6	8,6	n.o.
CAMPANHA B												
Estação de Amostra		n.s.a		FB1	FB2	FB3	FB4	FB5	FB6			n.s.a
Hora		11:54		12:32	12:39	13:15	13:22	13:30	13:35			18:00
Maré (m)*		0,4		n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.			2,0
Temperatura (°C)		n.o.		27,6	27,8	27,5	28,4	27,6	28,1			n.o.
pH		n.o.		7,2	8,6	7,3	8,1	7,1	8,3			n.o.
Eh (mV)		n.o.		146,18	-131,96	168,25	-46,38	153,18	-57,17			n.o.
Condutividade (µS.cm ⁻¹)		n.o.		16820	17090	17060	17220	17140	17290			n.o.
Salinidade		n.o.		9,3	15,1	9,5	9,4	9,5	9,5			n.o.

1 - n.s.a – Não se aplica

2 - n.o. – Não observado

Apêndice 4. Parâmetros físico-químicos medidos na água superficial do estuário do rio Mamucabas durante as campanhas A e B, altura da maré e salinidade.

CAMPANHA A											
Estação de Amostra	n.s.a	MA1	MA2	MA3	MA4	MA5	MA6	MA7	n.s.a		
Hora	07:26	12:40	13:02	13,09	13:25	13:30	13:35	13:38	13:39		
Maré (m)*	1,8	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	0,7		
Temperatura (°C)	n.o.	30,4	29	29,5	30,6	29,9	30,8	30,5	n.o.		
pH	n.o.	6,6	6,4	6,1	6,4	6,3	6,3	6,5	n.o.		
Eh (mV)	n.o.	441,22	426,2	245,85	427,08	429,57	419,94	453,4	n.o.		
Condutividade (µS.cm ⁻¹)	n.o.	10970	7910	6100	5190	4460	5730	6250	n.o.		
CAMPANHA B											
Estação de Amostra	n.s.a	MB1	MB2	MB3	MB4	MB5	MB6	MB7	MB8	MB9	n.s.a
Hora	11:21	11:30	11:35	11:42	11:50	11:56	12:05	12:15	12:20	12:27	17:28
Maré (m)*	0,3	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o	2,1
Temperatura (°C)	n.o.	26,3	26,6	27,2	27	26,8	26,5	26,8	26,0	27	n.o.
pH	n.o.	8,0	8,4	7,2	8,1	7,6	8,2	8,0	8,4	7,8	n.o.
Eh (mV)	n.o.	48,09	-272,12	175,46	349,6	327,74	-456,05	312,74	-271,7	270,6	n.o.
Condutividade (µS.cm ⁻¹)	n.o.	10420	9180	8190	7470	6450	5520	3980	3930	3970	n.o

1 - n.s.a – Não se aplica

2 - n.o. – Não observado

Apêndice 5. Concentrações dos elementos químicos investigados no testemunho sedimentar do estuário do rio Goiana (fração granulométrica <63µm). Valores em mg.kg⁻¹ exceto para Al e Fe, que estão em % em peso.

Amostra (cm)	Ag	As	Se	Cu	Pb	Zn	Cr	Ni	Co	V	Cd	Mn	Fe	Al	B	Ba	Be	Sr	Tl	MO	CT
TG 0-3	0,07	2,5	2,6	23,5	22,1	57,5	63,9	21,6	13,3	65,6	0,16	322,0	4,0	2,9	11,6	164,1	1,3	32,6	0,5	8,9	17,1
TG 3-6	0,07	2,6	2,7	24,0	23,9	58,2	65,4	22,1	12,8	68,1	0,14	415,1	3,9	3,2	11,2	199,5	1,3	37,3	0,5	8,4	18,1
TG 6-9	0,07	1,9	2,2	22,9	22,6	52,0	63,6	20,3	12,2	64,0	0,11	297,1	4,0	2,8	10,1	165,9	1,2	29,8	0,5	4,6	17,4
TG 9-12	0,07	2,3	2,3	24,3	23,3	67,5	67,4	23,2	13,4	68,6	0,13	622,6	4,4	3,3	7,5	216,8	1,2	35,8	0,5	5,8	19,1
TG 12-15	0,07	2,5	2,8	26,9	24,9	68,5	77,5	25,4	14,2	74,6	0,12	341,9	4,6	4,0	12,5	190,6	1,4	34,2	0,6	7,6	19,8
TG 15-18	0,08	2,9	2,4	23,0	21,9	54,8	67,1	21,2	11,4	61,1	0,11	378,6	4,1	3,4	16,5	150,1	1,1	45,5	0,5	12,0	21,2
TG 18-21	0,05	4,4	2,3	7,4	12,2	35,8	33,1	10,3	4,1	64,5	0,06	78,9	5,6	2,6	28,0	30,9	1,2	35,6	0,4	11,2	18,5
TG 21-24	0,04	9,9	2,5	12,0	16,6	38,7	31,3	8,1	4,5	52,9	0,08	136,8	5,8	1,9	21,8	41,0	0,8	69,0	0,8	8,6	17,3
TG 24-27	0,06	4,3	2,8	24,6	23,9	62,0	61,2	21,8	10,4	57,8	0,16	530,9	4,1	3,8	17,8	153,6	1,3	45,4	0,5	7,5	28,7
TG 27-30	0,07	3,5	2,6	23,4	24,2	59,4	57,5	19,9	10,3	58,6	0,16	396,1	4,1	2,9	16,4	157,6	1,1	41,8	0,5	9,5	2,6

Apêndice 6. Concentrações dos elementos químicos investigados nos sedimentos de fundo superficial do estuário do rio Goiana na campanha A (fração granulométrica <63µm). Valores em mg.kg⁻¹ exceto para Al e Fe, que estão em % em peso.

Estação de Amostragem	Ag	As	Se	Cu	Pb	Zn	Cr	Ni	Co	V	Cd	Mn	Fe	Al	B	Ba	Be	Sr	Tl	MO	CT
GA1	0,05	1,6	2,8	26,2	25,6	58,5	70,1	24,5	14,8	75,0	0,08	588,2	4,1	3,1	<5,0	368,7	1,4	29,9	0,5	4,0	10,8
GA2	0,08	3,0	2,8	26,1	25,4	66,9	73,2	25,9	14,1	80,2	0,12	387,2	5,1	4,3	12,2	183,5	1,5	96,8	0,6	6,7	13,3
GA3	0,05	2,3	1,9	16,9	17,9	39,9	46,8	15,7	9,1	51,8	0,10	520,4	4,5	2,1	6,4	155,9	1,0	34,4	0,4	7,3	12,4
GA4	0,06	1,7	2,3	19,7	21,8	43,9	51,5	16,4	10,8	55,9	0,11	437,3	3,3	2,0	5,8	260,8	1,2	25,5	0,4	3,0	15,0
GA5	0,07	1,8	2,8	34,4	26,3	73,8	62,3	21,3	13,4	67,9	0,10	479,3	3,7	2,3	5,3	285,0	1,5	25,4	0,5	5,0	13,7
GA6	0,06	2,9	1,8	14,6	12,6	39,6	35,2	12,1	6,9	35,3	0,13	742,8	2,5	1,8	9,0	101,9	0,7	55,5	0,3	4,6	17,5
GA7	0,05	2,5	1,8	14,0	13,7	37,9	32,6	11,2	6,1	32,8	0,18	219,6	2,7	1,9	40,7	102,3	0,8	34,5	0,3	5,3	22,0
GA8	0,07	3,6	3,0	22,7	23,9	56,9	59,9	20,9	12,6	71,9	0,17	293,2	4,3	2,8	12,3	154,0	1,4	50,4	0,5	14,3	21,3
GA9	0,03	2,0	1,3	5,1	10,0	18,0	20,5	6,1	1,8	48,8	0,04	50,9	4,1	1,3	45,3	27,7	0,6	65,9	0,2	24,5	21,9
GA10	0,06	4,2	2,9	21,7	19,0	47,3	53,1	18,9	11,1	61,3	0,08	1551,1	4,0	2,3	6,7	171,7	1,1	49,1	0,4	12,9	12,4
GA11	0,06	4,6	2,7	10,6	13,6	27,2	33,3	11,6	7,1	39,3	0,23	1190,2	2,7	1,2	6,3	112,5	1,0	39,4	0,3	16,7	18,2

Apêndice 7. Concentrações dos elementos químicos investigados nos sedimentos de fundo superficial do estuário do rio Goiana na campanha B (fração granulométrica <63µm). Valores em mg.kg⁻¹ exceto para Al e Fe, que estão em % em peso.

Estação de Amostragem	Ag	As	Se	Cu	Pb	Zn	Cr	Ni	Co	V	Cd	Mn	Fe	Al	B	Ba	Be	Sr	Tl	MO	CT
GB1	0,06	2,9	2,4	24,2	24,4	55,2	67,0	22,2	15,0	73,3	0,13	1059,4	5,2	3,1	7,1	397,6	1,3	48,8	0,5	8,0	16,3
BG2	0,09	2,9	2,4	22,9	22,8	54,9	63,0	20,4	13,1	67,7	0,10	1012,9	5,2	2,7	9,6	281,2	1,1	51,6	0,5	9,0	19,4
GB3	0,06	3,5	2,1	16,4	17,8	45,6	44,9	15,3	8,2	41,0	0,36	466,4	3,5	2,2	12,4	136,5	1,1	44,4	0,4	7,9	18,4
GB4	0,12	2,7	2,4	21,3	20,5	51,2	56,3	17,6	10,0	55,7	0,34	401,6	4,2	2,4	18,4	130,7	1,2	61,8	0,5	9,0	22,7
GB5	0,06	3,3	2,4	23,1	22,2	60,2	65,0	21,1	13,0	73,4	0,24	878,6	6,1	2,6	13,0	243,6	1,2	58,1	0,5	14,1	21,7
GB6	0,06	4,0	2,1	18,9	19,9	49,4	51,7	16,6	10,7	57,6	0,17	739,4	5,5	2,1	11,0	190,5	1,0	64,1	0,4	10,5	18,1
GB7	0,06	3,7	2,0	16,7	17,7	40,6	44,0	14,4	8,6	46,5	0,12	292,5	3,6	1,9	22,9	117,8	1,0	75,4	0,4	6,9	24,0
GB8	0,07	4,2	2,4	21,2	23,6	55,6	58,2	19,0	12,4	63,3	0,14	824,8	6,4	2,6	11,3	205,1	1,2	56,5	0,5	7,2	16,9

Apêndice 8. Concentrações dos elementos químicos investigados no testemunho sedimentar do estuário do rio Sirinhaém (fração granulométrica <63µm). Valores em mg.kg⁻¹ exceto para Al e Fe, que estão em % em peso.

Amostra	Ag	As	Se	Cu	Pb	Zn	Cr	Ni	Co	V	Cd	Mn	Fe	Al	B	Ba	Be	Sr	Tl	MO	CT
TS 0-3	0,08	7,7	<0,8	17,1	16,8	44,6	37,8	8,9	4,4	59,7	0,10	83,1	4,7	3,1	22,3	70,7	1,0	48,9	0,5	27,3	21,5
TS 3-6	0,10	7,9	2,9	15,3	18,3	30,7	40,9	13,9	4,1	59,4	0,24	60,6	4,7	3,9	24,3	70,8	1,1	50,7	0,5	24,7	23,3
TS 6-9	0,08	8,5	2,8	17,3	18,1	42,4	42,1	10,8	4,4	65,3	0,11	63,4	5,7	4,5	29,9	66,7	1,0	51,3	0,6	28,0	26,1
TS 9-12	0,08	6,3	2,4	14,3	19,3	27,4	40,8	7,8	3,6	62,4	0,39	52,1	4,1	3,4	24,1	62,6	0,9	47,9	0,4	20,6	22,4
TS 12-15	0,06	14,6	<0,8	8,5	16,0	129,1	33,8	9,9	2,9	35,7	0,06	68,9	2,9	3,3	66,3	73,8	1,1	67,8	0,4	22,6	37,1
TS 15-18	0,05	6,3	2,5	13,6	15,4	31,1	34,2	8,6	4,0	51,3	0,05	63,7	5,1	3,7	19,9	52,5	0,9	40,9	0,6	21,1	22,0
TS 18-21	0,05	8,2	2,6	12,8	16,8	35,8	35,2	11,2	5,1	50,6	0,07	84,0	5,6	4,6	23,6	61,1	1,0	54,0	0,8	24,0	26,9
TS 21-24	0,08	7,6	2,5	11,6	18,2	28,8	33,3	9,3	4,4	44,2	0,24	98,3	5,9	2,9	33,9	52,5	0,9	74,9	0,9	23,7	27,5
TS 24-27	0,06	7,9	2,3	11,0	14,9	25,8	32,0	9,2	4,2	47,3	0,13	118,4	5,4	2,9	31,3	42,2	1,0	69,0	0,7	24,9	28,8
TS 27-30	0,07	0,5	<0,8	27,2	23,6	62,7	56,5	20,3	12,2	65,1	0,11	300,1	4,0	3,0	11,0	192,2	1,3	31,8	0,5	26,6	21,0
TS 30-33	0,06	9,7	2,5	11,9	17,7	29,4	30,4	9,1	4,5	47,8	0,25	109,0	6,2	2,1	18,3	40,5	0,8	81,7	1,0	26,5	30,3
TS 33-36	0,04	10,0	2,5	11,7	15,2	30,3	33,2	12,2	5,1	44,3	0,09	88,6	3,9	3,6	19,6	49,7	0,9	67,2	0,9	26,3	32,9
TS 36-39	0,04	8,1	1,9	8,5	11,8	24,4	24,4	9,0	3,7	33,6	0,03	58,6	3,9	2,5	19,4	37,8	0,7	77,1	0,7	26,2	25,4
TS 39-42	0,06	13,6	2,8	15,9	13,2	33,4	34,2	11,1	5,1	53,1	0,09	100,1	4,8	2,3	22,4	43,5	1,0	43,3	0,7	23,4	34,4
TS 42-45	0,06	12,5	2,7	12,8	16,3	38,2	34,2	12,2	4,9	51,7	0,22	81,1	4,7	2,8	22,2	52,5	1,0	78,4	0,7	27,2	29,9
TS 45-48	0,10	14,8	3,1	14,5	13,5	34,9	33,6	12,1	5,1	51,8	0,26	92,1	5,3	2,2	24,6	42,5	1,0	56,3	0,6	24,9	26,8

Apêndice 9. Concentrações dos elementos químicos investigados nos sedimentos de fundo superficial do estuário do rio Sirinhaém na campanha A (fração granulométrica <63µm). Valores em mg.kg⁻¹ exceto para Al e Fe, que estão em % em peso.

Estação de Amostragem	Ag	As	Se	Cu	Pb	Zn	Cr	Ni	Co	V	Cd	Mn	Fe	Al	B	Ba	Be	Sr	Tl	MO	CT
SA1	0,06	5,8	1,8	10,2	15,0	19,7	28,4	5,7	2,7	45,6	0,17	38,6	4,2	2,5	17,6	52,5	0,7	44,5	0,5	16,3	26,5
SA2	0,07	7,1	2,5	14,6	16,1	31,2	34,4	7,1	3,3	55,5	0,12	55,7	5,0	3,1	18,2	66,2	0,9	48,1	0,5	22,0	30,0
SA3	0,07	6,8	2,7	15,0	16,5	31,2	37,6	7,5	4,0	61,2	0,10	56,6	5,3	3,0	16,1	65,5	1,0	46,7	0,6	22,0	27,8
SA4	0,05	5,8	2,2	11,6	14,9	32,7	30,9	7,4	3,2	48,9	0,05	47,0	4,3	2,7	13,3	61,3	0,8	38,7	0,5	18,6	27,0
SA5	0,07	6,2	2,4	13,3	14,4	24,5	33,2	5,9	3,2	55,9	0,18	45,4	4,7	2,4	13,6	51,9	0,7	43,2	0,5	17,7	28,5
SA6	0,07	6,1	2,8	13,6	19,9	30,4	38,1	10,5	5,4	66,6	0,17	68,1	6,4	3,5	23,8	88,8	1,0	56,3	0,5	24,1	28,5
SA7	0,10	6,1	2,3	12,2	16,7	23,9	33,2	7,3	3,5	54,0	0,09	46,4	4,7	3,4	16,8	80,4	0,9	48,8	0,6	24,7	28,1
SA8	0,09	6,6	2,0	11,1	14,0	46,7	32,0	10,0	5,7	37,1	0,15	92,7	4,2	2,5	19,1	52,1	1,6	49,1	1,0	22,8	29,0
SA9	0,09	6,7	2,8	20,3	15,8	56,2	36,9	8,5	3,9	59,0	0,28	57,3	5,7	3,1	17,3	72,6	1,0	48,8	0,6	23,2	28,2

Apêndice 10. Concentrações dos elementos químicos investigados nos sedimentos de fundo superficial do estuário do rio Sirinhaém na campanha B (fração granulométrica <63µm). Valores em mg.kg⁻¹ exceto para Al e Fe, que estão em % em peso.

Estação de Amostragem	Ag	As	Se	Cu	Pb	Zn	Cr	Ni	Co	V	Cd	Mn	Fe	Al	B	Ba	Be	Sr	Tl	MO	CT
SB1	0,06	7,9	2,5	11,4	16,6	19,7	33,9	6,0	2,9	63,1	0,13	82,9	8,8	3,0	23,0	69,5	0,7	61,5	0,4	14,3	31,5
SB2	0,06	5,3	2,1	11,5	18,2	24,7	32,5	6,4	3,2	54,4	0,10	69,8	5,0	2,3	16,3	53,7	0,8	58,8	0,6	18,5	19,5
SB3	0,07	7,3	2,3	12,6	14,9	29,3	33,2	8,5	4,0	54,3	0,16	56,5	5,5	3,1	28,8	64,5	0,9	68,4	0,6	16,0	31,8
SB4	0,06	5,3	2,4	12,5	15,4	24,7	29,9	6,6	3,8	46,9	0,10	49,3	5,3	2,4	18,6	51,7	0,8	53,1	0,8	19,0	21,8
SB5	0,05	5,3	2,1	10,4	14,8	21,2	26,4	6,1	3,9	42,0	0,12	55,1	4,9	2,0	19,2	52,4	0,7	69,6	1,0	19,0	22,0
SB6	0,06	7,4	2,8	13,0	17,5	31,5	39,4	9,0	4,4	60,1	0,12	99,4	8,4	4,1	17,5	89,0	1,1	61,6	0,5	21,5	34,0

Apêndice 11. Concentrações dos elementos químicos investigados no testemunho sedimentar do estuário do rio Formoso (fração granulométrica <63µm). Valores em mg.kg⁻¹ exceto para Al e Fe, que estão em % em peso.

Amostra	Ag	As	Se	Cu	Pb	Zn	Cr	Ni	Co	V	Cd	Mn	Fe	Al	B	Ba	Be	Sr	Tl	MO	CT
TF 0-3	0,07	14,2	2,5	8,8	19,3	34,2	35,3	9,3	2,9	37,4	0,15	51,1	3,2	3,4	65,1	83,7	1,1	73,5	0,4	21,3	22,6
TF 3-6	0,06	12,1	2,3	18,1	15,1	75,1	32,2	11,0	2,9	31,1	0,31	54,1	2,8	2,9	55,0	71,5	1,0	63,2	0,4	19,1	20,3
TF 6-9	0,21	12,9	2,4	7,5	14,6	24,8	31,2	8,5	2,6	32,4	0,04	49,7	2,9	2,7	60,3	74,8	1,2	63,8	0,4	18,5	26,4
TF 9-12	0,10	13,3	2,3	8,9	13,0	32,8	36,1	10,5	3,1	29,3	0,52	58,5	3,0	2,6	53,3	64,2	1,3	66,5	0,4	18,8	20,4
TF 12-15	0,17	7,7	3,0	14,6	18,1	37,6	38,9	8,1	4,1	61,4	0,20	59,1	4,3	2,9	25,2	57,6	1,0	52,7	0,6	17,2	32,1
TF 15-18	0,06	8,7	2,8	13,0	17,3	40,0	34,2	9,6	5,3	52,8	0,16	88,6	5,5	2,8	25,7	53,6	1,1	55,6	0,9	22,4	20,7
TF 18-21	0,24	13,4	1,9	7,5	15,2	22,0	30,2	10,4	2,3	32,3	0,22	48,9	2,7	2,6	59,5	74,9	0,9	60,4	0,4	23,2	18,3
TF 21-24	0,04	18,0	2,4	6,8	13,1	19,0	28,1	6,7	2,1	34,3	0,09	45,7	2,7	1,9	65,7	57,2	0,7	54,2	0,3	20,8	27,6
TF 24-27	0,53	17,0	2,4	7,2	11,9	24,1	31,6	8,1	2,3	29,3	0,28	49,1	2,5	2,1	61,1	59,3	0,9	53,5	0,4	22,7	22,6
TF 27-30	0,08	21,8	3,0	7,5	11,3	26,3	37,0	10,4	2,7	36,5	0,55	53,6	2,5	2,6	71,3	60,5	1,1	59,5	0,4	26,7	19,3
TF 30-33	0,06	28,0	2,6	6,8	9,5	22,4	32,9	8,9	2,4	35,4	0,40	54,0	2,2	1,9	87,9	48,4	1,0	64,0	0,4	24,9	39,0
TF 33-36	0,11	13,0	2,8	10,6	13,4	35,6	43,4	11,9	3,2	31,7	0,16	59,7	2,8	2,8	55,1	70,5	1,4	51,0	0,4	25,3	18,9

Apêndice 12. Concentrações dos elementos químicos investigados nos sedimentos de fundo superficial do estuário do rio Formoso na campanha A (fração granulométrica <63µm). Valores em mg.kg⁻¹ exceto para Al e Fe, que estão em % em peso.

Estação de Amostragem	Ag	As	Se	Cu	Pb	Zn	Cr	Ni	Co	V	Cd	Mn	Fe	Al	B	Ba	Be	Sr	Tl	MO	CT
FA1	0,05	13,8	2,0	6,9	15,7	19,9	26,7	6,3	2,1	32,2	0,11	39,7	2,1	2,2	60,5	70,3	0,7	81,9	0,3	17,7	20,9
FA2	0,07	15,1	2,2	6,9	16,2	23,9	28,9	7,2	2,2	32,2	0,15	51,0	2,6	2,4	56,7	74,6	0,6	168,0	0,3	9,1	25,9
FA3	0,07	15,6	2,3	6,8	16,7	18,8	29,0	6,3	2,3	36,9	0,20	46,9	2,7	2,3	60,5	82,5	0,7	105,8	0,3	15,3	27,8
FA4	0,04	15,0	1,7	5,7	13,6	18,8	25,1	5,5	2,0	33,1	0,08	40,9	2,7	1,7	50,8	48,8	0,6	56,8	0,3	17,9	26,0
FA5	0,07	12,8	2,1	7,0	15,0	22,3	28,9	6,8	2,3	34,1	0,57	41,3	2,3	2,6	53,1	75,4	0,7	74,7	0,3	17,9	19,0
FA6	0,06	13,9	1,9	6,4	16,8	21,7	27,7	6,2	2,0	35,5	0,07	39,4	2,8	2,2	55,7	59,6	0,7	60,7	0,4	18,6	22,7
FA7	0,08	14,4	1,7	5,2	14,9	<18,0	24,9	5,4	1,8	30,3	0,13	37,2	2,5	1,8	52,2	59,9	0,6	62,1	0,3	18,7	30,0
FA8	0,04	11,5	2,1	6,9	13,2	23,1	27,3	6,6	2,2	30,1	0,11	40,3	2,5	2,0	62,5	66,7	0,7	68,5	0,3	20,4	18,9
FA9	0,10	14,0	1,9	6,1	18,4	20,7	24,7	6,6	2,1	30,7	0,35	38,1	2,9	2,5	64,7	78,6	0,7	67,7	0,4	18,4	25,0
FA10	0,08	12,7	1,9	6,3	13,2	<18,0	32,8	6,6	1,9	28,4	0,19	36,5	2,1	2,2	63,1	73,5	0,6	53,1	0,3	17,2	24,9

Apêndice 13. Concentrações dos elementos químicos investigados nos sedimentos de fundo superficial do estuário do rio Formoso na campanha B (fração granulométrica <63µm). Valores em mg.kg⁻¹ exceto para Al e Fe, que estão em % em peso.

Estação de Amostragem	Ag	As	Se	Cu	Pb	Zn	Cr	Ni	Co	V	Cd	Mn	Fe	Al	B	Ba	Be	Sr	Tl	MO	CT
FB1	0,05	11,5	2,0	5,5	11,4	20,1	23,4	5,0	1,7	26,1	0,21	38,5	2,0	1,5	49,2	49,5	0,5	107,7	0,2	17,5	18,5
FB2	0,20	13,6	1,9	5,9	12,1	<18,0	23,9	5,0	1,8	29,1	0,08	36,5	2,2	1,6	44,9	49,3	0,6	86,9	0,2	11,7	26,8
FB3	0,06	14,5	2,1	6,5	13,5	20,7	27,0	6,2	2,1	32,2	0,27	41,8	2,7	2,4	55,8	74,4	0,7	77,9	0,4	18,5	30,0
FB4	0,05	22,1	1,9	5,0	14,7	<18,0	23,9	4,8	1,8	35,0	0,14	35,3	2,9	1,8	56,0	51,3	0,6	65,4	0,3	21,3	33,9
FB5	0,03	13,0	1,8	5,9	12,1	21,6	22,9	4,7	1,6	32,5	0,10	34,9	2,2	1,4	57,6	46,4	0,5	62,2	0,2	20,8	26,0
FB6	0,04	14,1	2,0	8,7	15,3	33,0	23,1	6,2	1,9	29,2	0,10	34,0	2,5	2,1	59,3	67,9	0,6	61,0	0,3	19,7	29,0

Apêndice 14. Concentrações dos elementos químicos investigados no testemunho sedimentar do estuário do rio Mamucabas (fração granulométrica <63µm). Valores em mg.kg⁻¹ exceto para Al e Fe, que estão em % em peso.

Amostra	Ag	As	Se	Cu	Pb	Zn	Cr	Ni	Co	V	Cd	Mn	Fe	Al	B	Ba	Be	Sr	Tl	MO	CT
TM 0-3	0,05	17,0	1,7	8,4	11,6	24,5	24,4	4,6	2,2	55,1	0,10	37,5	6,7	1,4	46,9	22,3	0,8	55,0	0,2	21,4	23,9
TM 3-6	0,06	18,4	1,6	8,2	12,8	25,3	26,9	5,7	2,4	60,8	0,11	35,4	7,9	2,3	50,4	26,8	0,9	50,4	0,3	23,3	23,1
TM 6-9	0,04	16,7	1,6	8,2	12,9	28,2	25,1	5,3	2,4	55,5	0,09	31,5	4,9	1,7	35,4	23,3	0,9	41,1	0,3	21,7	19,0
TM 9-12	0,06	23,4	1,6	7,4	14,6	33,0	30,4	10,8	4,9	53,8	0,08	45,4	4,6	2,7	37,0	36,4	1,0	43,5	0,4	20,2	25,0
TM 12-15	0,06	23,8	1,7	7,4	13,9	30,6	32,6	7,2	3,0	53,1	0,10	73,0	4,6	2,2	36,4	32,8	1,1	38,7	0,3	20,5	23,6
TM 15-18	0,05	26,8	1,8	12,2	13,5	39,1	35,0	8,6	3,2	53,3	0,10	73,7	4,1	2,6	44,0	37,5	1,2	42,7	0,3	21,9	27,6
TM 18-21	0,04	25,4	1,7	6,7	11,2	31,9	31,2	7,1	2,9	51,0	0,13	81,3	4,6	1,6	35,2	23,3	1,0	35,0	0,3	22,8	28,4
TM 21-24	0,05	34,6	2,0	12,3	11,8	42,0	30,9	8,7	3,6	59,7	0,05	85,0	6,4	1,7	32,0	23,4	1,3	37,1	0,4	25,4	25,7
TM 24-27	0,11	19,0	2,7	30,2	28,7	70,4	67,9	24,2	13,3	73,2	0,26	292,8	4,1	3,4	15,6	208,1	1,4	40,0	0,6	25,2	26,3
TM 27-30	0,05	67,8	2,6	7,5	12,5	38,6	37,7	10,7	4,4	81,6	0,02	87,0	6,9	1,7	31,1	20,8	1,3	40,8	0,4	21,3	41,4
TM 30-33	0,05	60,9	2,4	6,6	11,9	36,2	34,8	10,0	4,5	88,4	0,09	68,5	7,1	1,4	30,2	19,0	1,4	45,6	0,4	17,6	44,3
TM 33-36	0,06	45,9	2,6	9,2	13,3	51,0	44,9	12,1	5,4	90,1	0,10	70,8	6,6	1,8	25,7	23,4	1,5	41,8	0,5	23,4	26,7
TM 36-39	0,07	40,9	2,2	7,2	13,2	37,6	38,4	9,7	4,3	92,0	<0,02	70,5	5,2	1,6	25,5	20,9	1,5	41,3	0,4	23,1	27,9
TM 39-42	0,05	75,9	2,6	6,7	13,6	51,0	53,5	15,1	5,5	109,3	<0,02	76,2	8,5	1,6	22,6	19,2	1,6	41,1	0,3	23,6	31,0
TM 42-45	0,05	41,2	2,5	8,0	14,5	50,9	48,8	16,2	5,3	66,7	0,12	67,7	6,8	1,8	23,1	22,2	1,4	53,6	0,3	20,9	30,8

Apêndice 15. Concentrações dos elementos químicos investigados nos sedimentos de fundo superficial do estuário do rio Mamucabas na campanha A (fração granulométrica <63µm). Valores em mg.kg⁻¹ exceto para Al e Fe, que estão em % em peso.

Estação de Amostragem	Ag	As	Se	Cu	Pb	Zn	Cr	Ni	Co	V	Cd	Mn	Fe	Al	B	Ba	Be	Sr	Tl	MO	CT
MA1	0,05	2,2	2,1	17,0	18,4	40,1	40,9	15,0	8,1	52,8	0,10	1253,3	5,2	2,2	11,0	189,3	1,0	53,9	0,4	5,2	7,9
MA2	0,05	26,3	1,9	6,1	11,4	20,0	22,6	4,1	2,0	56,7	0,10	83,6	6,7	2,0	44,9	50,8	0,7	93,4	0,2	25,9	27,0
MA3	0,13	23,4	1,1	5,0	10,9	<18,0	20,6	3,4	1,9	51,4	0,10	96,0	7,8	1,4	30,8	33,4	0,6	66,2	0,2	18,5	18,9
MA4	0,04	17,6	1,4	5,6	15,1	18,8	22,1	4,0	1,9	53,0	0,13	33,4	4,9	1,7	32,2	30,3	0,7	54,8	0,2	29,7	20,7
MA5	0,04	20,5	1,4	5,1	11,4	<18,0	19,1	2,9	1,6	53,3	0,05	46,1	6,6	1,2	27,2	24,2	0,6	53,1	0,1	25,2	22,8
MA6	0,05	22,0	1,7	5,8	11,2	18,4	21,0	3,5	1,7	54,3	0,08	57,8	9,2	1,9	32,3	39,4	0,7	71,5	0,2	29,3	28,0
MA7	0,03	12,1	1,1	4,3	9,8	<18,0	15,4	2,4	1,3	39,1	0,14	30,4	5,3	1,1	24,0	22,4	0,5	53,3	0,2	21,8	24,9

Apêndice 16. Concentrações dos elementos químicos investigados nos sedimentos de fundo superficial do estuário do rio Mamucabas na campanha B (fração granulométrica <63µm). Valores em mg.kg⁻¹ exceto para Al e Fe, que estão em % em peso.

Estação de Amostragem	Ag	As	Se	Cu	Pb	Zn	Cr	Ni	Co	V	Cd	Mn	Fe	Al	B	Ba	Be	Sr	Tl	MO	CT
MB1	0,05	19,3	1,1	4,0	8,4	22,9	19,7	3,5	2,0	34,3	0,20	73,6	5,7	1,1	35,7	29,7	0,7	455,0	0,2	10,3	29,8
MB2	0,07	14,6	1,5	4,9	11,2	28,3	21,1	4,3	2,5	48,3	0,11	46,9	7,3	1,4	31,7	31,2	0,8	84,5	0,4	22,1	26,7
MB3	0,08	23,2	1,5	7,7	12,1	25,8	25,8	4,4	2,3	50,2	0,11	90,6	5,7	1,6	57,8	46,8	0,8	91,4	0,2	25,9	28,9
MB4	0,05	22,7	1,3	4,7	9,9	<18,0	20,3	3,8	2,1	46,8	0,26	59,0	4,7	1,3	47,6	33,6	0,7	69,4	0,2	21,4	28,1
MB5	0,05	16,5	1,4	5,3	12,1	26,6	24,1	4,7	2,5	48,5	0,12	45,9	4,8	1,8	31,1	32,8	0,9	66,3	0,3	21,5	21,9
MB6	0,05	28,4	1,4	4,4	8,4	<18,0	17,5	2,7	1,6	47,5	0,05	170,5	4,3	1,0	30,9	30,4	0,6	80,9	0,1	23,8	30,9
MB7	0,05	11,2	1,4	4,6	12,1	18,6	18,5	3,0	1,9	41,7	0,07	30,4	3,9	1,2	24,0	26,8	0,8	75,2	0,3	22,6	22,9
MB8	0,04	13,8	1,5	5,5	12,5	26,6	20,3	4,1	2,8	39,1	0,07	33,3	3,9	1,4	24,9	27,6	1,0	65,5	0,4	22,5	22,8
MB9	0,06	10,9	1,0	4,9	11,3	<18,0	15,8	3,2	2,1	34,0	0,08	41,3	6,2	1,5	27,5	22,5	0,7	46,6	0,4	25,2	19,0

Apêndice 17. Matriz de correlação de Spearman entre as concentrações elementos químicos investigados, matéria orgânica (MO), carbonatos totais (CT) e frações granulométricas do testemunho do estuário do rio Goiana. Coeficientes de correlação em destaque correspondem a correlações estatisticamente significantes ($p < 0,05$).

	Ag	As	Se	Cu	Pb	Zn	Cr	Ni	Co	V	Cd	Mn	Fe	Al	B	Ba	Be	Sr	Tl	MO	CT	Argila	Silte	Areia
Ag	1,00																							
As	-0,11	1,00																						
Se	0,37	0,18	1,00																					
Cu	0,55	-0,36	0,63	1,00																				
Pb	0,55	-0,28	0,66	0,93	1,00																			
Zn	0,60	-0,23	0,62	0,95	0,92	1,00																		
Cr	0,62	-0,35	0,53	0,92	0,85	0,86	1,00																	
Ni	0,57	-0,31	0,61	0,96	0,90	0,91	0,97	1,00																
Co	0,54	-0,38	0,55	0,89	0,87	0,83	0,93	0,93	1,00															
V	0,42	-0,21	0,61	0,79	0,80	0,78	0,85	0,84	0,88	1,00														
Cd	0,27	0,24	0,00	0,02	0,04	0,16	0,04	0,07	-0,01	-0,16	1,00													
Mn	0,11	0,12	0,18	0,23	0,22	0,21	0,24	0,26	0,35	0,13	0,20	1,00												
Fe	0,08	0,29	0,13	0,15	0,24	0,25	0,27	0,22	0,27	0,50	-0,14	0,06	1,00											
Al	0,57	-0,14	0,55	0,83	0,78	0,81	0,89	0,89	0,73	0,79	0,02	0,03	0,34	1,00										
B	-0,10	0,34	-0,24	-0,34	-0,35	-0,22	-0,32	-0,33	-0,50	-0,26	0,15	-0,68	0,18	-0,03	1,00									
Ba	0,36	-0,39	0,37	0,74	0,77	0,69	0,73	0,73	0,87	0,71	-0,05	0,55	0,25	0,49	-0,66	1,00								
Be	0,47	-0,24	0,69	0,82	0,84	0,80	0,77	0,83	0,79	0,83	0,04	0,05	0,19	0,75	-0,27	0,62	1,00							
Sr	0,02	0,57	-0,12	-0,31	-0,25	-0,20	-0,22	-0,24	-0,25	-0,16	0,13	0,02	0,38	-0,19	0,45	-0,30	-0,35	1,00						
Tl	0,54	-0,02	0,61	0,71	0,74	0,74	0,71	0,70	0,65	0,71	-0,03	-0,07	0,52	0,74	0,02	0,44	0,65	0,03	1,00					
MO	0,00	0,51	0,17	-0,29	-0,28	-0,21	-0,19	-0,22	-0,24	-0,03	0,14	-0,01	0,30	-0,09	0,36	-0,31	-0,22	0,41	-0,10	1,00				
CT	0,03	0,18	-0,25	-0,24	-0,32	-0,15	-0,17	-0,19	-0,30	-0,24	0,34	-0,30	-0,01	-0,08	0,65	-0,43	-0,19	0,32	-0,15	0,29	1,00			
Argila	0,18	-0,36	-0,25	-0,02	0,00	-0,06	-0,04	-0,06	0,06	-0,19	0,15	0,01	-0,19	-0,21	-0,04	0,18	-0,04	-0,04	-0,09	-0,23	-0,03	1,00		
Silte	0,29	-0,56	-0,36	0,13	0,06	0,10	0,18	0,13	0,16	0,00	0,09	-0,23	-0,30	0,11	0,02	0,17	0,12	-0,32	0,00	-0,42	0,09	0,46	1,00	
Areia	-0,21	0,59	0,44	-0,07	0,02	0,00	-0,11	-0,06	-0,11	0,04	-0,04	0,24	0,29	-0,04	0,00	-0,16	-0,07	0,38	0,08	0,41	-0,09	-0,55	-0,95	1,00

Apêndice 18. Matriz de correlação de Spearman entre as concentrações elementos químicos investigados, matéria orgânica (MO), carbonatos totais (CT) e frações granulométricas do testemunho do estuário do rio Sirinhaém. Coeficientes de correlação em destaque correspondem a correlações estatisticamente significantes ($p < 0,05$).

	Ag	As	Se	Cu	Pb	Zn	Cr	Ni	Co	V	Cd	Mn	Fe	Al	B	Ba	Be	Sr	Tl	MO	CT	Argila	Silte	Areia
Ag	1,00																							
As	-0,07	1,00																						
Se	0,22	0,39	1,00																					
Cu	0,52	-0,04	0,52	1,00																				
Pb	0,35	-0,19	0,17	0,40	1,00																			
Zn	0,28	0,31	0,15	0,48	0,17	1,00																		
Cr	0,47	0,04	0,47	0,82	0,67	0,53	1,00																	
Ni	0,15	0,48	0,38	0,38	0,23	0,60	0,49	1,00																
Co	0,17	0,30	0,35	0,38	0,17	0,53	0,35	0,79	1,00															
V	0,48	-0,23	0,40	0,77	0,62	0,17	0,82	0,10	0,11	1,00														
Cd	0,59	-0,06	0,34	0,29	0,28	-0,04	0,27	0,10	0,15	0,36	1,00													
Mn	-0,04	0,48	0,17	0,08	0,17	0,41	0,21	0,63	0,72	-0,02	0,05	1,00												
Fe	0,09	0,11	0,57	0,15	0,23	-0,09	0,14	-0,09	0,16	0,30	0,26	0,23	1,00											
Al	0,19	0,04	0,31	0,41	0,52	0,28	0,72	0,37	0,13	0,49	-0,03	0,00	0,08	1,00										
B	0,07	0,63	0,20	-0,15	-0,03	0,08	0,05	0,34	0,19	-0,20	0,08	0,27	0,22	0,15	1,00									
Ba	0,43	-0,28	0,05	0,43	0,67	0,36	0,70	0,06	-0,05	0,66	0,07	-0,11	0,09	0,65	-0,14	1,00								
Be	0,40	0,26	0,30	0,49	0,28	0,76	0,65	0,74	0,59	0,28	0,10	0,50	0,00	0,46	0,20	0,41	1,00							
Sr	-0,24	0,47	0,01	-0,55	-0,02	-0,16	-0,38	0,11	0,15	-0,42	0,07	0,34	0,29	-0,20	0,50	-0,28	-0,15	1,00						
Tl	-0,28	0,18	0,09	-0,24	-0,37	-0,10	-0,48	0,19	0,40	-0,58	-0,12	0,27	0,15	-0,36	0,08	-0,68	-0,06	0,39	1,00					
MO	0,16	0,46	0,23	0,34	0,20	0,42	0,31	0,75	0,62	0,03	-0,01	0,49	-0,09	0,21	0,22	-0,05	0,53	0,15	0,32	1,00				
CT	-0,15	0,58	0,21	-0,28	-0,30	0,09	-0,17	0,04	0,07	-0,24	-0,06	0,23	0,19	-0,06	0,27	-0,09	0,09	0,35	0,06	-0,05	1,00			
Argila	0,16	-0,19	-0,14	-0,17	0,40	0,02	0,05	0,09	-0,01	-0,06	0,08	0,09	0,06	0,04	0,14	0,26	0,22	0,18	-0,05	-0,02	-0,24	1,00		
Silte	0,04	-0,18	-0,17	-0,24	0,44	-0,02	0,00	-0,05	-0,1	-0,07	-0,04	0,05	0,02	0,00	0,02	0,25	0,06	0,14	-0,09	-0,06	-0,16	0,88	1,00	
Areia	-0,10	0,14	0,12	0,22	-0,45	0,02	-0,03	-0,03	0,10	0,08	-0,02	-0,07	-0,01	-0,06	-0,09	-0,26	-0,14	-0,16	0,10	0,01	0,16	-0,94	-0,97	1,00

Apêndice 19. Matriz de correlação de Spearman entre as concentrações elementos químicos investigados, matéria orgânica (MO), carbonatos totais (CT) e frações granulométricas do testemunho do estuário do rio Formoso. Coeficientes de correlação em destaque correspondem a correlações estatisticamente significantes ($p < 0,05$).

	Ag	As	Se	Cu	Pb	Zn	Cr	Ni	Co	V	Cd	Mn	Fe	Al	B	Ba	Be	Sr	Tl	MO	CT	Argila	Silte	Areia
Ag	1,00																							
As	-0,09	1,00																						
Se	0,26	-0,02	1,00																					
Cu	0,32	-0,34	0,74	1,00																				
Pb	0,06	-0,17	-0,02	0,27	1,00																			
Zn	0,19	-0,34	0,72	0,90	0,20	1,00																		
Cr	0,51	-0,13	0,79	0,74	0,05	0,63	1,00																	
Ni	0,48	-0,15	0,74	0,85	0,08	0,75	0,88	1,00																
Co	0,43	-0,19	0,84	0,87	0,23	0,79	0,89	0,91	1,00															
V	-0,10	0,21	0,42	0,22	0,39	0,22	0,37	0,21	0,43	1,00														
Cd	0,34	0,01	0,37	0,30	-0,13	0,29	0,45	0,50	0,45	0,00	1,00													
Mn	0,38	-0,11	0,84	0,76	0,09	0,72	0,88	0,87	0,94	0,42	0,43	1,00												
Fe	0,24	-0,08	0,36	0,46	0,57	0,47	0,42	0,43	0,58	0,48	0,01	0,52	1,00											
Al	0,48	-0,32	0,63	0,83	0,52	0,73	0,76	0,81	0,86	0,35	0,39	0,73	0,64	1,00										
B	-0,05	0,50	0,19	0,00	-0,15	-0,05	0,13	0,20	0,04	0,09	0,11	-0,04	-0,18	0,00	1,00									
Ba	0,37	-0,08	0,13	0,35	0,53	0,19	0,26	0,38	0,33	-0,01	0,27	0,16	0,24	0,64	0,30	1,00								
Be	0,48	-0,11	0,78	0,79	0,11	0,71	0,85	0,89	0,93	0,37	0,37	0,85	0,58	0,79	0,16	0,30	1,00							
Sr	-0,17	0,09	-0,20	-0,29	0,08	-0,26	-0,42	-0,32	-0,25	-0,16	0,06	-0,24	-0,24	-0,17	-0,01	0,27	-0,30	1,00						
Tl	0,46	-0,09	0,62	0,67	0,31	0,68	0,73	0,74	0,80	0,42	0,39	0,75	0,69	0,77	0,05	0,23	0,84	-0,43	1,00					
MO	-0,03	0,24	0,35	0,32	-0,26	0,41	0,32	0,45	0,33	0,23	0,19	0,31	0,20	0,15	0,36	-0,17	0,48	-0,48	0,43	1,00				
CT	-0,14	0,47	-0,11	-0,36	0,06	-0,34	-0,27	-0,45	-0,29	0,22	-0,29	-0,26	0,06	-0,33	0,04	-0,26	-0,29	0,01	-0,10	-0,21	1,00			
Argila	0,10	-0,02	0,26	0,39	0,23	0,21	0,27	0,37	0,41	0,22	0,17	0,46	0,24	0,33	-0,09	0,23	0,27	-0,02	0,23	-0,02	-0,25	1,00		
Silte	0,13	-0,18	0,41	0,50	0,22	0,36	0,35	0,42	0,50	0,18	0,16	0,56	0,45	0,51	-0,16	0,26	0,44	0,07	0,42	-0,09	-0,09	0,77	1,00	
Areia	-0,08	0,17	-0,25	-0,45	-0,38	-0,28	-0,31	-0,40	-0,48	-0,27	-0,10	-0,53	-0,36	-0,45	0,21	-0,27	-0,32	-0,09	-0,27	0,17	0,24	-0,90	-0,81	1,00

Apêndice 20. Matriz de correlação de Spearman entre as concentrações elementos químicos investigados, matéria orgânica (MO), carbonatos totais (CT) e frações granulométricas do testemunho do estuário do rio Mamucabas. Coeficientes de correlação em destaque correspondem a correlações estatisticamente significantes ($p < 0,05$).

	Ag	As	Se	Cu	Pb	Zn	Cr	Ni	Co	V	Cd	Mn	Fe	Al	B	Ba	Be	Sr	Tl	MO	CT	Argila	Silte	Areia
Ag	1,00																							
As	0,16	1,00																						
Se	0,16	0,60	1,00																					
Cu	0,22	0,28	0,77	1,00																				
Pb	0,16	0,12	0,60	0,70	1,00																			
Zn	0,21	0,46	0,86	0,76	0,70	1,00																		
Cr	0,29	0,55	0,90	0,82	0,74	0,93	1,00																	
Ni	0,28	0,47	0,87	0,80	0,75	0,95	0,97	1,00																
Co	0,31	0,39	0,80	0,71	0,71	0,95	0,90	0,96	1,00															
V	0,20	0,67	0,86	0,68	0,53	0,66	0,79	0,73	0,60	1,00														
Cd	0,02	-0,31	-0,23	-0,05	-0,07	-0,09	-0,04	-0,04	-0,08	-0,31	1,00													
Mn	0,38	0,52	0,43	0,32	0,04	0,38	0,46	0,37	0,36	0,26	-0,03	1,00												
Fe	0,19	0,28	0,20	0,04	-0,20	0,00	0,11	0,07	-0,02	0,42	-0,13	0,08	1,00											
Al	0,30	0,16	0,58	0,74	0,72	0,58	0,67	0,67	0,58	0,51	0,10	0,21	-0,02	1,00										
B	0,08	0,06	-0,22	0,06	-0,24	-0,27	-0,16	-0,18	-0,28	-0,10	0,25	-0,06	0,04	0,15	1,00									
Ba	0,30	-0,29	-0,17	0,05	0,07	-0,15	-0,10	-0,12	-0,12	-0,30	0,36	0,31	-0,31	0,39	0,29	1,00								
Be	0,23	0,52	0,85	0,69	0,69	0,94	0,90	0,92	0,93	0,70	-0,22	0,25	-0,02	0,51	-0,27	-0,30	1,00							
Sr	0,01	-0,37	-0,55	-0,58	-0,49	-0,61	-0,62	-0,61	-0,60	-0,55	0,23	-0,12	0,09	-0,41	0,19	0,41	-0,66	1,00						
Tl	0,35	0,08	0,55	0,48	0,53	0,73	0,57	0,68	0,80	0,35	-0,18	0,08	-0,10	0,43	-0,39	-0,16	0,75	-0,55	1,00					
MO	-0,02	0,02	0,02	0,01	-0,04	-0,15	-0,13	-0,22	-0,27	0,10	-0,16	-0,01	0,05	0,07	0,04	0,12	-0,15	0,03	-0,15	1,00				
CT	0,04	0,73	0,42	-0,01	-0,17	0,29	0,31	0,27	0,22	0,33	-0,05	0,40	0,21	-0,12	0,11	-0,24	0,32	-0,02	-0,04	0,02	1,00			
Argila	0,17	-0,43	-0,46	-0,12	-0,02	-0,30	-0,28	-0,24	-0,21	-0,42	0,26	-0,26	-0,18	0,07	0,28	0,25	-0,30	0,05	-0,02	-0,09	-0,49	1,00		
Silte	0,02	-0,41	-0,47	-0,16	-0,03	-0,27	-0,25	-0,20	-0,20	-0,38	0,40	-0,28	-0,18	0,06	0,28	0,28	-0,30	0,09	-0,08	-0,18	-0,50	0,87	1,00	
Areia	-0,08	0,44	0,48	0,15	0,05	0,31	0,29	0,25	0,22	0,43	-0,29	0,28	0,21	-0,02	-0,24	-0,21	0,31	-0,03	0,04	0,14	0,49	-0,98	-0,93	1,00

Apêndice 21. Matriz de correlação de Spearman entre as concentrações elementos químicos investigados, matéria orgânica (MO), carbonatos totais (CT) e frações granulométricas dos sedimentos superficiais de fundo do estuário do rio Goiana. Coeficientes de correlação em destaque correspondem a correlações estatisticamente significantes ($p < 0,05$).

	Ag	As	Se	Cu	Pb	Zn	Cr	Ni	Co	V	Cd	Mn	Fe	Al	B	Ba	Be	Sr	Tl	MO	CT	Argila	Silte	Areia
Ag	1,00																							
As	0,28	1,00																						
Se	0,53	0,23	1,00																					
Cu	0,48	-0,20	0,73	1,00																				
Pb	0,50	-0,20	0,72	0,95	1,00																			
Zn	0,57	-0,04	0,71	0,94	0,94	1,00																		
Cr	0,50	-0,09	0,70	0,96	0,93	0,93	1,00																	
Ni	0,49	-0,09	0,75	0,98	0,95	0,95	0,99	1,00																
Co	0,44	-0,10	0,72	0,96	0,95	0,90	0,97	0,98	1,00															
V	0,37	-0,09	0,70	0,92	0,90	0,90	0,95	0,96	0,94	1,00														
Cd	0,27	0,43	-0,07	-0,22	-0,15	-0,01	-0,12	-0,15	-0,23	-0,25	1,00													
Mn	0,13	0,40	0,35	0,25	0,16	0,16	0,30	0,28	0,35	0,22	0,00	1,00												
Fe	0,32	0,19	0,25	0,51	0,53	0,59	0,64	0,60	0,58	0,69	0,00	0,25	1,00											
Al	0,49	-0,04	0,67	0,88	0,88	0,87	0,95	0,93	0,90	0,89	-0,05	0,19	0,66	1,00										
B	0,01	0,20	-0,43	-0,39	-0,40	-0,22	-0,31	-0,36	-0,44	-0,28	0,40	-0,56	0,11	-0,14	1,00									
Ba	0,26	-0,21	0,51	0,84	0,86	0,75	0,82	0,82	0,90	0,79	-0,25	0,44	0,53	0,71	-0,58	1,00								
Be	0,55	-0,14	0,79	0,89	0,94	0,90	0,87	0,91	0,87	0,84	-0,02	0,08	0,38	0,83	-0,35	0,72	1,00							
Sr	0,27	0,43	-0,17	-0,12	-0,19	0,02	0,01	-0,04	-0,12	0,06	0,15	-0,19	0,40	0,06	0,68	-0,33	-0,19	1,00						
Tl	0,67	-0,04	0,67	0,90	0,91	0,94	0,94	0,93	0,89	0,87	0,03	0,13	0,65	0,93	-0,14	0,71	0,89	0,10	1,00					
MO	0,04	0,51	0,13	-0,21	-0,26	-0,15	-0,13	-0,15	-0,17	0,00	0,21	0,20	0,33	-0,07	0,36	-0,27	-0,22	0,39	-0,12	1,00				
CT	0,09	0,19	-0,40	-0,46	-0,46	-0,32	-0,42	-0,48	-0,50	-0,43	0,51	-0,43	-0,09	-0,33	0,83	-0,55	-0,40	0,47	-0,25	0,40	1,00			
Argila	0,13	-0,44	-0,40	0,00	0,08	-0,02	-0,09	-0,10	-0,06	-0,22	0,09	-0,24	-0,03	-0,08	0,07	0,15	0,00	-0,26	0,05	-0,51	0,14	1,00		
Silte	0,02	-0,42	-0,36	-0,09	0,01	-0,04	-0,16	-0,17	-0,16	-0,25	0,12	-0,46	-0,22	-0,11	0,27	0,01	0,01	-0,13	-0,02	-0,47	0,28	0,74	1,00	
Areia	-0,01	0,51	0,40	0,05	-0,02	0,08	0,15	0,16	0,11	0,26	-0,05	0,39	0,21	0,13	-0,16	-0,10	0,02	0,23	0,05	0,44	-0,26	-0,85	-0,92	1,00

Apêndice 22. Matriz de correlação de Spearman entre as concentrações elementos químicos investigados, matéria orgânica (MO), carbonatos totais (CT) e frações granulométricas dos sedimentos superficiais de fundo do estuário do rio Sirinhaém. Coeficientes de correlação em destaque correspondem a correlações estatisticamente significantes ($p < 0,05$).

	Ag	As	Se	Cu	Pb	Zn	Cr	Ni	Co	V	Cd	Mn	Fe	Al	B	Ba	Be	Sr	Tl	MO	CT	Argila	Silte	Areia
Ag	1,00																							
As	0,26	1,00																						
Se	0,29	0,46	1,00																					
Cu	0,53	0,13	0,79	1,00																				
Pb	0,21	0,07	0,55	0,41	1,00																			
Zn	0,40	0,29	0,27	0,40	0,07	1,00																		
Cr	0,52	0,40	0,84	0,83	0,68	0,37	1,00																	
Ni	0,52	0,18	0,45	0,55	0,34	0,72	0,63	1,00																
Co	0,44	0,25	0,28	0,26	0,16	0,65	0,38	0,82	1,00															
V	0,30	0,27	0,82	0,75	0,72	0,10	0,91	0,36	0,11	1,00														
Cd	0,41	0,04	0,26	0,42	0,02	0,07	0,40	0,21	0,17	0,42	1,00													
Mn	0,13	0,48	0,32	0,06	0,42	0,50	0,46	0,51	0,59	0,33	0,11	1,00												
Fe	0,09	0,50	0,75	0,34	0,47	0,04	0,51	0,23	0,22	0,57	0,07	0,49	1,00											
Al	0,51	0,33	0,67	0,66	0,59	0,29	0,84	0,70	0,35	0,68	0,33	0,28	0,35	1,00										
B	0,06	0,36	0,02	0,34	0,10	0,08	0,17	0,08	0,36	0,20	0,13	0,33	0,41	0,05	1,00									
Ba	0,39	0,38	0,67	0,54	0,78	0,29	0,81	0,58	0,32	0,73	0,19	0,42	0,46	0,88	0,02	1,00								
Be	0,56	0,25	0,47	0,55	0,32	0,70	0,64	0,91	0,74	0,31	0,15	0,51	0,22	0,65	0,04	0,51	1,00							
Sr	0,21	0,25	0,02	0,32	0,19	0,05	0,07	0,08	0,40	0,08	0,09	0,56	0,54	0,10	0,73	0,10	0,03	1,00						
Tl	0,05	0,30	0,37	0,21	0,43	0,06	0,46	0,04	0,25	0,63	0,28	0,11	0,15	0,44	0,13	0,51	0,17	0,20	1,00					
MO	0,57	0,02	0,39	0,45	0,30	0,47	0,41	0,64	0,55	0,14	0,01	0,14	0,02	0,46	0,13	0,42	0,73	0,16	0,28	1,00				
CT	0,14	0,91	0,32	0,05	0,10	0,21	0,21	0,17	0,28	0,06	0,00	0,38	0,42	0,26	0,51	0,24	0,20	0,32	0,21	0,01	1,00			
Argila	0,31	0,39	0,23	0,23	0,26	0,02	0,21	0,02	0,15	0,15	0,54	0,03	0,07	0,24	0,21	0,04	0,04	0,27	0,30	0,12	0,45	1,00		
Silte	0,26	0,28	0,25	0,29	0,36	0,06	0,21	0,19	0,08	0,11	0,47	0,03	0,16	0,26	0,24	0,10	0,16	0,09	0,07	0,09	0,39	0,85	1,00	
Areia	0,29	0,31	0,24	0,29	-0,35	0,04	0,22	0,16	0,06	0,13	0,55	0,01	0,13	0,27	0,28	-0,08	0,14	-0,12	-0,13	-0,10	0,42	-0,91	-0,98	1,00

Apêndice 23. Matriz de correlação de Spearman entre as concentrações elementos químicos investigados, matéria orgânica (MO), carbonatos totais (CT) e frações granulométricas dos sedimentos superficiais de fundo do estuário do rio Formoso. Coeficientes de correlação em destaque correspondem a correlações estatisticamente significantes ($p < 0,05$).

	Ag	As	Se	Cu	Pb	Zn	Cr	Ni	Co	V	Cd	Mn	Fe	Al	B	Ba	Be	Sr	Tl	MO	CT	Argila	Silte	Areia
Ag	1,00																							
As	0,07	1,00																						
Se	0,03	0,03	1,00																					
Cu	-0,09	-0,13	0,72	1,00																				
Pb	0,26	0,51	0,23	0,40	1,00																			
Zn	-0,40	-0,17	0,49	0,72	0,27	1,00																		
Cr	0,38	0,06	0,48	0,43	0,37	0,03	1,00																	
Ni	0,32	-0,09	0,60	0,73	0,52	0,44	0,76	1,00																
Co	0,18	0,17	0,71	0,71	0,58	0,40	0,74	0,85	1,00															
V	-0,16	0,56	0,10	0,07	0,52	0,07	0,29	0,02	0,39	1,00														
Cd	0,38	-0,02	0,48	0,12	0,12	0,02	0,30	0,44	0,39	-0,04	1,00													
Mn	0,13	0,23	0,63	0,38	0,32	0,24	0,69	0,58	0,80	0,39	0,36	1,00												
Fe	0,07	0,72	-0,02	-0,10	0,60	0,07	0,11	0,07	0,31	0,60	0,02	0,22	1,00											
Al	0,43	0,21	0,58	0,63	0,70	0,35	0,67	0,83	0,82	0,29	0,60	0,56	0,36	1,00										
B	-0,04	-0,04	0,27	0,43	0,37	0,22	0,28	0,52	0,38	0,00	0,24	-0,04	0,13	0,43	1,00									
Ba	0,47	0,19	0,67	0,61	0,63	0,24	0,64	0,82	0,79	0,15	0,70	0,52	0,23	0,92	0,55	1,00								
Be	0,23	0,08	0,46	0,54	0,60	0,22	0,57	0,60	0,81	0,40	0,25	0,54	0,41	0,75	0,38	0,66	1,00							
Sr	0,20	0,03	0,69	0,20	-0,01	0,13	0,06	0,17	0,31	-0,04	0,40	0,50	-0,18	0,18	-0,13	0,31	0,11	1,00						
Tl	0,20	0,37	0,14	0,27	0,69	0,21	0,43	0,47	0,52	0,36	0,22	0,34	0,70	0,72	0,35	0,55	0,73	-0,27	1,00					
MO	-0,56	0,02	-0,35	-0,17	-0,07	0,19	-0,46	-0,40	-0,31	0,18	-0,22	-0,48	0,31	-0,26	0,13	-0,34	-0,02	-0,52	0,18	1,00				
CT	0,08	0,75	-0,21	-0,29	0,06	-0,34	-0,27	-0,44	-0,25	0,22	-0,11	-0,25	0,45	-0,10	-0,11	-0,06	-0,17	-0,15	0,11	0,27	1,00			
Argila	-0,07	0,29	0,48	0,29	0,21	0,05	0,43	0,31	0,58	0,43	0,31	0,78	-0,01	0,34	-0,16	0,35	0,27	0,44	0,02	-0,52	-0,14	1,00		
Silte	-0,07	0,26	0,58	0,29	0,12	0,10	0,33	0,26	0,47	0,21	0,37	0,76	-0,08	0,35	-0,12	0,36	0,24	0,61	0,10	-0,50	-0,09	0,86	1,00	
Areia	0,09	-0,30	-0,47	-0,26	-0,21	-0,03	-0,39	-0,29	-0,53	-0,37	-0,26	-0,77	0,04	-0,28	0,14	-0,31	-0,20	-0,48	0,02	0,56	0,17	-0,99	-0,88	1,00

Apêndice 24. Matriz de correlação de Spearman entre as concentrações elementos químicos investigados, matéria orgânica (MO), carbonatos totais (CT) e frações granulométricas dos sedimentos superficiais de fundo do estuário do rio Mamucabas. Coeficientes de correlação em destaque correspondem a correlações estatisticamente significantes ($p < 0,05$).

	Ag	As	Se	Cu	Pb	Zn	Cr	Ni	Co	V	Cd	Mn	Fe	Al	B	Ba	Be	Sr	Tl	MO	CT	Argila	Silte	Areia
Ag	1,00																							
As	0,24	1,00																						
Se	-0,02	0,07	1,00																					
Cu	0,10	0,06	0,75	1,00																				
Pb	-0,15	-0,42	0,54	0,74	1,00																			
Zn	0,11	-0,32	0,65	0,48	0,57	1,00																		
Cr	0,29	0,13	0,69	0,81	0,58	0,72	1,00																	
Ni	0,28	-0,10	0,62	0,69	0,60	0,86	0,91	1,00																
Co	0,34	-0,35	0,37	0,43	0,51	0,78	0,60	0,86	1,00															
V	0,01	0,44	0,63	0,71	0,34	0,11	0,63	0,30	-0,13	1,00														
Cd	0,02	-0,02	-0,27	-0,15	-0,19	0,17	0,26	0,32	0,20	-0,16	1,00													
Mn	0,53	0,56	0,29	0,28	-0,20	0,10	0,44	0,28	0,16	0,38	-0,01	1,00												
Fe	0,42	0,27	0,07	0,23	-0,26	-0,10	0,18	0,00	-0,17	0,46	0,03	0,30	1,00											
Al	0,21	-0,09	0,62	0,88	0,65	0,51	0,80	0,74	0,51	0,59	0,06	0,21	0,30	1,00										
B	0,35	0,67	0,09	0,15	-0,25	0,05	0,37	0,31	0,07	0,25	0,46	0,35	0,28	0,18	1,00									
Ba	0,45	0,43	0,65	0,65	0,20	0,41	0,83	0,68	0,41	0,62	0,17	0,74	0,25	0,66	0,49	1,00								
Be	0,16	-0,45	0,56	0,48	0,70	0,86	0,59	0,81	0,87	-0,05	0,01	-0,05	-0,34	0,52	-0,05	0,34	1,00							
Sr	0,40	0,52	0,29	-0,07	-0,28	0,33	0,28	0,25	0,10	0,08	0,19	0,39	0,08	-0,06	0,65	0,45	0,16	1,00						
Tl	0,22	-0,76	0,18	0,18	0,48	0,60	0,22	0,51	0,77	-0,35	0,03	-0,28	-0,15	0,40	-0,35	0,00	0,76	-0,17	1,00					
MO	-0,13	0,27	0,27	0,37	0,24	-0,18	0,03	-0,12	-0,34	0,41	-0,35	-0,23	0,18	0,25	0,31	-0,05	-0,15	0,03	-0,28	1,00				
CT	0,04	0,56	0,06	-0,34	-0,59	-0,12	-0,17	-0,19	-0,27	-0,10	0,13	0,23	-0,03	-0,43	0,61	0,11	-0,23	0,74	-0,51	0,17	1,00			
Argila	0,38	-0,35	-0,33	-0,06	0,09	-0,15	-0,06	0,00	0,15	-0,31	0,31	-0,16	-0,03	0,06	-0,10	-0,06	0,04	-0,24	0,33	-0,09	-0,27	1,00		
Silte	0,12	-0,15	-0,24	-0,01	0,11	0,04	0,27	0,28	0,19	-0,03	0,68	-0,16	-0,12	0,17	0,08	0,13	0,07	-0,18	0,19	-0,28	-0,30	0,62	1,00	
Areia	-0,26	0,32	0,41	0,10	-0,05	0,21	0,08	0,03	-0,09	0,32	-0,40	0,22	0,10	-0,04	0,10	0,09	0,02	0,29	-0,26	0,15	0,27	-0,97	-0,72	1,00

