

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

Luciano Cintrão Barros

**ESTUDOS SEDIMENTOLÓGICOS, BATIMÉTRICOS  
E GEOQUÍMICOS NA REGIÃO INTERNA  
DO PORTO DE SUAPE - PE**

Tese de Doutorado  
2009

Orientadora: Lúcia Maria Mafra Valença  
Co-orientador: João Adauto de Souza Neto

LUCIANO CINTRÃO BARROS

Geógrafo, Universidade Federal de Alagoas, 1999

Mestre, Universidade Federal de Pernambuco, 2003

**ESTUDOS SEDIMENTOLÓGICOS, BATIMÉTRICOS E GEOQUÍMICOS  
NA REGIÃO INTERNA DO PORTO DE SUAPE - PE**

Tese que apresentou ao Programa de Pós-Graduação em Geociências do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, orientada pela Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Lúcia Maria Mafra Valença e co-orientado pelo Prof. Dr. João Adauto de Souza Neto, em preenchimento parcial para obter o grau de Doutor em Geociências, área de concentração Geologia Sedimentar e Ambiental, defendida e aprovada em 30 de Setembro de 2009.

**RECIFE, PE  
2009**

Catálogo na fonte  
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

B277e

Barros, Luciano Cintrão.

Estudos sedimentológicos, batimétricos e geoquímicos na região interna do Porto de Suape - PE / Luciano Cintrão Barros. - Recife: O Autor, 2009. xxiv, 186 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Lúcia Maria Mafra Valença.

Co-Orientador: Prof. Dr. João Aduino de Souza Neto.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Geociências, 2009.

Inclui Referências Bibliográficas e Anexos.

1. Geociências. 2. Sedimentologia. 3. Batimetria. 4. Metais Pesados. 5. Porto de Suape. 6. Pernambuco. I. Valença, Lúcia Maria Mafra. II. Souza Neto, João Aduino de. III. Título.

UFPE

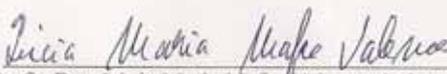
551 CDD (22. ed.)

BCTG/2011-119

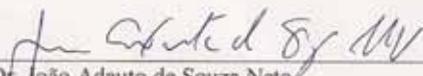
**“ESTUDOS SEDIMENTOLÓGICOS, BATIMÉTRICOS E GEOQUÍMICOS  
NA REGIÃO INTERNA DO PORTO DE SUAPE”**

**LUCIANO CINTRÃO BARROS**

**Aprovado**

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dra. Lúcia Maria Mafra Valença (orientadora) 30/09/2009

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Virgínio Henrique de M. Lopes Neumann 30/09/2009

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. João Adauto de Souza Neto 30/09/2009

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dra. Rochana Campos de A. de Lima Santos  
30/09/2009

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Moacyr Cunha de Araújo Filho 30/09/2009

*Dedico esse trabalho  
À memória dos meus avôs Júlio  
Nascimento da Paixão e Manoel Alves  
Cintrão e a minha avó Georgina de  
Oliveira Cintrão.*

*“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.”*

*José de Alencar*

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu Deus por estar sempre em minha vida em todos os momentos, proporcionando muita saúde, paz, serenidade e paciência.

A toda minha família em especial aos meus pais, Nazario Barros e Ivete de Oliveira Cintrão, responsáveis por tudo que conquistei em minha vida e apoio incondicional em todas as minhas decisões.

A minha namorada Ana Lúcia pelo apoio, compreensão, carinho e amor dedicados em minha vida.

A professora Dr<sup>a</sup> Lúcia Maria Mafra Valença pela orientação, confiança, ensinamento, incentivo e amizade dispensada ao longo da minha vida acadêmica na Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

Ao professor Dr. João Aduino Souza Neto pela co-orientação, amizade e disponibilização do Laboratório de Geoquímica da UFPE.

Ao CNPq pelo apoio na concessão da bolsa (processo nº141725/2005-2) durante o Doutorado, importante para o desenvolvimento desta pesquisa.

Ao professor Dr. Gorki Mariano coordenador do Programa de Pós-Graduação em Geociências da UFPE pelo apoio institucional dispensado.

Aos professores Dr. Virgínio Henrique Neumann, Dr. Valdir do Amaral Vaz Manso e Dr. José Madruga Filho pelo incentivo, amizade e apoio durante o desenvolvimento da tese.

As professoras Dr<sup>a</sup> Lucila Borges e Dr<sup>a</sup> Carlinda pela ajuda na interpretação das análises de Difractometria de raios-X.

A todos os professores do Departamento de Geologia da UFPE que de alguma forma contribuíram na minha formação acadêmica.

Ao Centro de Estudos Costeiros e Oceanográficos – CECO/UFRGS pelo apoio logístico nas minhas análises granulométricas.

Aos colegas Gilberto Santos e Maribel Santos do Laboratório de Sedimentologia do Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica (CECO) da UFRGS pelas importantes orientações nas análises sedimentológicas.

Aos professores do Depto de Geologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (CECO/UFRGS), Nelson Grubber e Elírio Toldo Jr pela amizade e valiosas sugestões no presente trabalho.

Aos colegas da UFRGS, Aderson Gregório, Luiz Tabajara e Felipe Caron pela receptividade e acolhimento durante minha estadia em Porto Alegre.

Ao CRCN em nome da coordenadora Dr<sup>a</sup> Eliane Valentim e do químico Gilberto Arruda, pelo apoio nas análises das amostras realizadas nos testemunhos.

Ao prof. Dr. Antônio Queiroz, coordenador do Laboratório de Estudos do Petróleo (LEPETRO/UFBA) e a Karina Garcia do NEA/UFBA pelo apoio logístico nas análises geoquímicas.

Ao Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha (LGGM) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) pelo auxílio na análise granulométrica dos testemunhos sedimentológicos.

Ao barqueiro “Seu Rubens” pela ajuda, disponibilidade e presteza na coleta das minhas amostras.

Aos estudantes de geologia Marcos Felipe e Cleiton pela ajuda durante as etapas de campo.

Aos ex-secretários Walmísia Araújo e Moisés Silva (*in memoriam*) e a atual secretária Elizabeth Nascimento por sua eficiência e competência e bons serviços prestados durante o curso.

Aos meus amigos Josué Pereira, Rivaldo Couto Júnior, Williams Guimarães e Leonardo Hisley que foram fundamentais no meu convívio acadêmico e principalmente nos trabalhos de campo.

Aos colegas prof. José Antônio Barbosa e Felipe Santana do Laboratório de SISMOS pelo auxílio na interpretação morfoscópica.

Enfim a todos os colegas que direta ou indiretamente contribuíram para esta pesquisa, quer seja no âmbito pessoal ou no âmbito acadêmico e que por acaso ou distração do autor não tenham seus nomes citados.

## RESUMO

O Complexo Industrial e Portuário de Suape (CIPS) está localizado no litoral sul de Pernambuco, entre os municípios do Cabo de Santo Agostinho e Ipojuca, há aproximadamente 40 km do Recife. É considerado o principal porto da região Nordeste e um dos mais importantes do país. Entretanto, esta região têm sido frequentemente afetada nos últimos 30 anos, desde sua construção até os dias atuais, por diversas atividades antrópicas, tais como, aterramentos, construção de estradas, instalação e operação das indústrias, além do processo de urbanização crescente na área. Este trabalho teve como objetivo principal realizar um estudo sedimentológico, batimétrico e geoquímico nos estuários da região interna ao Porto de Suape, como subsídio ao monitoramento dos impactos ambientais presente nos ecossistemas remanescentes. De acordo com os resultados obtidos verificou-se que a região possui uma distribuição heterogênea de sedimentos de fundo, com a predominância da fácies arenosa (66%), principalmente na Baía de Suape, estuário do rio Massangana e riacho Ilha da Cana. Enquanto nas regiões mais distais e nas proximidades do Porto de Suape predominam os bolsões de lama (15%). Com relação à composição dos sedimentos foi observada na fração arenosa, a predominância de quartzo e bioclásticos (e.g. foraminíferos, gastrópodes, fragmentos de conchas e algas), enquanto na fração lamosa a presença de quartzo, caulinita e subordinadamente muscovita, esmectita e calcita. A ecobatimetria revelou a predominância da isóbata de 1 metro, principalmente na Baía de Suape, Riacho Ilha da Cana e Canal Retificado. Já no estuário do rio Massangana predominaram as isóbatas de 2 a 4 metros de profundidade. A única exceção foi à região próxima ao porto de Suape que apresentou cotas de até 16 metros. Os resultados dos parâmetros físico-químicos da água (pH, Eh, temperatura, condutividade, resistividade e sólidos totais dissolvidos) não apresentaram nenhum valor em desacordo com os padrões estabelecidos pela resolução do CONAMA nº 357/2005. Os valores mais elevados de M.O e C.T (26% e 19%, respectivamente) foram encontrados nas camadas mais antigas do testemunho 3, onde provavelmente a disponibilidade de ambos era mais elevada do que o presente e a influência marinha mais intensa. As análises geoquímicas da concentração de metais potencialmente biodisponíveis nos testemunhos revelaram valores de um estuário não poluído (Fe: 0,92 a 6,44 %; Al: 0,4 a 1,58 %; Ni: 3,3 a 8,5 mg.kg<sup>-1</sup>; Pb: 0,18 a 7,78 mg.kg<sup>-1</sup>; Cu: 2,36 a 23,09 mg.kg<sup>-1</sup>; Cr: 5,43 a 31,55 mg.kg<sup>-1</sup>; Mn: 7,42 a 238,1 mg.kg<sup>-1</sup>; Zn: 8,09 a 18755 mg.kg<sup>-1</sup>; Hg: 0,08 a 0,255 mg.kg<sup>-1</sup>) comparado aos valores de referência adotados pelas agências internacionais americana, canadense e holandesa. O Cd e Co ficaram abaixo do limite de detecção do método (0,14 e 0,20 mg.kg<sup>-1</sup> respectivamente), apresentando relativamente baixas concentrações. A biodisponibilidade presente nos sedimentos ainda pode ser considerada baixa, apesar do número crescente de indústrias em atividade na região. Entretanto, vários metais (Mn, Zn, Cu e Hg) apresentaram alguns dos seus valores considerados moderadamente elevados, porém não representando grandes riscos para a biota, apenas servindo como um alerta de prováveis áreas de contaminação ao ambiente. Os sedimentos presentes no testemunho 5 revelaram concentrações que podem ser consideradas como *background* natural para a região estuarina de Suape, considerada ainda preservada sem o revolvimento das camadas sedimentares.

Palavras-Chave: Sedimentologia, Batimetria, Metais Pesados, Porto de Suape, Pernambuco

## ABSTRACT

The Suape Port Industrial Complex is located on the southern coast of Pernambuco, Brazil, between the municipals of Cabo de Santo Agostinho e Ipojuca, approximately 40 km from the state capital of Recife. The port is considered the most important in the region and one of the most important in Brazil. During the past 30 years, since the port's construction, the region has been affected by various anthropogenic activities. These include land levelling, road construction and the establishment of heavy industries together with the general urbanization of the area. The principle objective of this work was to conduct sedimentological, bathymetric and geochemical analysis within the estuarine sediments surrounding the port of Suape. The analysis is used to monitor the environmental impacts of recent human activity upon the remaining estuarine mangrove ecosystem. The results show a heterogeneity in bottom-water sediment type with a general predominance of sandy facies (66%) mostly in the Suape Bay, the estuary of the Massangana River and Ilha da Cana stream. In contrast, mud predominates (15%) in distal areas and areas nearer to the port. In terms of sediment composition, coarse fractions are composed of quartz and bioclasts (e.g. foraminíferas, gastropods, shell fragments and algae). Conversely the fine fraction is primarily composed of quartz, kaolinite and subordinate muscovite, smectite and calcite. Bathymetric analysis, using echosounding, shows an average depth of 1 meter in the Suape Bay, Ilha da Cana stream and Canal Retificado. In the estuary of the Massangana River, depths range from 2 – 4 meters. The only exception to these shallow depths was in the port region where depths of up to 16 meters were observed. The chemo-physical parameters of the water (pH, Eh, temperature, conductivity, resistivity and total dissolved solids) did not show values in excess of standards set by the CONAMA resolution nº 357/2005. The most elevated values were organic matter and total carbon (26% and 19% respectively), which were found within older sediments deposited in core 3. This likely reflects a higher influx of both components during a time when marine influences were more intense. The concentration of potential bioavailable heavy metals in the cores show values indicative of an estuary that is not polluted (Fe: 0,92 a 6,44 %; Al: 0,4 a 1,58 %; Ni: 3,3 a 8,5 mg.kg<sup>-1</sup>; Pb: 0,18 a 7,78 mg.kg<sup>-1</sup>; Cu: 2,36 a 23,09 mg.kg<sup>-1</sup>; Cr: 5,43 a 31,55 mg.kg<sup>-1</sup>; Mn: 7,42 a 238,1 mg.kg<sup>-1</sup>; Zn: 8,09 a 18755 mg.kg<sup>-1</sup>; Hg: 0,08 a 0,255 mg.kg<sup>-1</sup>) compared to reference values adopted by American, Canadian and Dutch environmental agencies. Cd and Co were below the detection limit presenting very low values (0.14 and 0.2 mg.kg<sup>-1</sup> respectively). Therefore, in spite of the growing amount of industrial activity in the region, the concentration of potentially harmful bioavailable metals can be considered low. Nevertheless, some metals (Mn, Zn, Cu and Hg) show moderately elevated concentrations, although not enough to pose a significant risk for the estuary's biota. Rather, these values serve as a warning about possible areas of environmental contamination in the future. The sediments in core 5 show concentrations that can be considered as background (i.e. natural) for the estuary and suggest the sediments have not been disturbed by reworking.

Keywords: Sedimentology, Bathymetry, Heavy Metals, Suape Port, Pernambuco.

## SUMÁRIO

RESUMO.....	viii
ABSTRACT .....	ix
LISTA DE FIGURAS .....	xv
LISTA DE TABELAS .....	xviii
LISTA DE FOTOS.....	xx
LISTA DE ANEXOS .....	xxii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS .....	xxiii
<b>CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO .....</b>	<b>25</b>
1.1 – OBJETIVOS .....	26
1.1.1 – GERAIS.....	26
1.1.2 – ESPECÍFICOS .....	26
1.2 – JUSTIFICATIVA .....	27
<b>CAPÍTULO 2 – CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>28</b>
2.1 – LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DA ÁREA.....	28
2.2 – ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS .....	30
2.3 – ASPECTOS GEOLÓGICOS REGIONAIS.....	36
2.3.1 – FORMAÇÃO CABO .....	37
2.3.2 – FORMAÇÃO ESTIVA .....	39
2.3.3 – SUÍTE IPOJUCA .....	39
2.3.4 – COBERTURA QUATERNÁRIA.....	42
2.3.4.1 – TERRAÇOS MARINHOS PLEISTOCÊNICOS.....	42

2.3.4.2 – TERRAÇOS MARINHOS HOLOCÊNICOS .....	43
2.3.4.3 – RECIFES .....	43
2.3.4.4 – DEPÓSITOS FLÚVIO-LAGUNARES .....	45
2.3.4.5 – DEPÓSITOS DE MANGUES .....	45
2.3.4.6 – DEPÓSITOS PRAIAIS .....	46
2.4 – GEOMORFOLOGIA .....	48
2.5 – CLIMA.....	49
2.6 – VEGETAÇÃO .....	52
2.7 – SOLOS .....	53
2.8 – HIDROGRAFIA.....	53
2.9 – FORÇANTES GEOFÍSICAS E CIRCULAÇÃO HIDRODINÂMICA.....	56
2.9.1 – MARÉS.....	56
2.9.2 – ONDAS.....	58
2.9.3 – VELOCIDADES DE VENTO .....	59
2.9.4 – CONDIÇÕES HIDRODINÂMICAS .....	60

**CAPÍTULOS 3 – MATERIAIS E MÉTODOS..... 63**

3.1 – AMOSTRAGEM E ANÁLISES SEDIMENTOLÓGICAS DOS SEDIMENTOS DE FUNDO .....	63
3.1.1 – AMOSTRAGEM E COLETA DOS SEDIMENTOS DE FUNDO.....	63
3.1.2 – ANÁLISE GRANULOMÉTRICA .....	65
3.1.3 – TRATAMENTO DOS DADOS .....	67
3.1.4 – APLICAÇÃO DO DIAGRAMA DE PEJRUP.....	67
3.1.5 – ANÁLISE MORFOSCÓPICA.....	69
3.2 – DIFRATOMETRIA DE RAIOS – X .....	69
3.3 – BATIMETRIA.....	72

3.3.1 – LEVANTAMENTO BATIMÉTRICO .....	72
3.3.2 – TRATAMENTO DOS DADOS BATIMÉTRICOS .....	75
3.4 – PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA ÁGUA.....	76
3.5 – COLETA E ANÁLISE SEDIMENTOLÓGICA E GEOQUÍMICA DOS TESTEMUNHOS .....	78
3.5.1 – TESTEMUNHAGEM .....	78
3.5.2 – ANÁLISES SEDIMENTOLÓGICAS .....	81
3.5.2.1 – ANÁLISE GRANULOMÉTRICA .....	81
3.5.2.2 – MORFOSCOPIA .....	82
3.5.2.3 – DIFRATOMETRIA DE RAIOS-X .....	82
3.5.3 – ANÁLISES GEOQUÍMICAS DE METAIS .....	82
3.5.3.1 – EXTRAÇÃO DE METAIS PESADOS .....	83
3.5.3.2 – CONCENTRAÇÃO DE CARBONATOS TOTAIS E MATÉRIA ORGÂNICA	85

<b>CAPÍTULOS 4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>86</b>
4.1 – SEDIMENTOLOGIA .....	86
4.1.1 – DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA.....	86
4.1.1.1 – FRAÇÃO CASCALHO.....	86
4.1.1.2 – FRAÇÃO AREIA.....	88
4.1.1.3 – FRAÇÃO LAMA.....	90
4.1.2 – DISTRIBUIÇÃO DE FÁCIES SEDIMENTARES.....	92
4.1.2.1 – FÁCIES AREIA.....	94
4.1.2.2 – FÁCIES AREIA CASCALHOSA .....	94
4.1.2.3 – FÁCIES AREIA LAMOSA .....	94
4.1.2.4 – FÁCIES LAMA .....	96
4.1.2.5 – FÁCIES LAMA ARENOSA .....	96
4.1.2.6 – CASCALHO ARENOSO .....	96

4.1.3 – PARÂMETROS ESTATÍSTICOS.....	96
4.1.3.1 – DIÂMETRO MÉDIO.....	96
4.1.3.2 – DESVIO PADRÃO .....	99
4.1.3.3 – ASSIMETRIA.....	102
4.1.3.4 – CURTOSE.....	104
4.1.4 – DIAGRAMA DE PEJRUP .....	106
4.1.5 – ANÁLISE MORFOSCÓPICA E COMPOSICIONAL.....	109
4.2 – DIFRATOMETRIA DE RAIOS-X.....	115
4.3 – BATIMETRIA.....	119
4.3.1 – PERFIS BATIMÉTRICOS.....	121
4.4 – PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA ÁGUA.....	129
4.5 – ANÁLISES DOS TESTEMUNHOS .....	132
4.5.1 – ANÁLISE SEDIMENTOLÓGICA .....	132
4.5.1.1 – DESCRIÇÃO SEDIMENTOLÓGICA DOS TESTEMUNHOS.....	132
4.5.1.2 – ANÁLISE GRANULOMÉTRICA.....	136
4.5.1.3 – ANÁLISE MORFOSCÓPICA E COMPOSICIONAL .....	137
4.5.1.4 – DIFRATOMETRIA DE RAIOS-X.....	139
4.5.1.5 – DISCUSSÃO GERAL DOS TESTEMUNHOS SEDIMENTOLÓGICOS.....	140
4.5.2 – ANÁLISES GEOQUÍMICAS .....	141
4.5.2.1 – MATÉRIA ORGÂNICA E CARBONATOS TOTAIS .....	141
4.5.2.1.1 – TESTEMUNHO 1 .....	141
4.5.2.1.2 – TESTEMUNHO 2 .....	143
4.5.2.1.3 – TESTEMUNHO 3 .....	144
4.5.2.1.4 – TESTEMUNHO 5 .....	145
4.5.2.1.5 – DISCUSSÃO GERAL DOS TESTEMUNHOS ANALISADOS .....	147
4.5.2.2 – CONCENTRAÇÃO DE METAIS PESADOS.....	149

4.5.2.2.1 – TESTEMUNHO 1 .....	149
4.5.2.2.2 – TESTEMUNHO 2 .....	151
4.5.2.2.3 – TESTEMUNHO 3 .....	153
4.5.2.2.4 – TESTEMUNHO 5 .....	154
4.5.2.3 – COMPARAÇÃO COM OUTROS TRABALHOS NA ÁREA DE ESTUDO .....	156
4.5.2.4 – CORRELAÇÃO DOS METAIS NOS TESTEMUNHOS COM MATÉRIA ORGÂNICA E CARBONATO TOTAL .....	160
4.5.2.5 – MATRIZ DE CORRELAÇÃO ENTRE GRANULOMETRIA FINA, MATÉRIA ORGÂNICA, CARBONATOS TOTAIS E METAIS PESADOS .....	163
4.5.2.6 – AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DOS SEDIMENTOS INVESTIGADOS.....	166
<b>CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>173</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>176</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>186</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Localização da área de estudo .....	29
Figura 02 – Localização da Bacia Pernambuco .....	36
Figura 03 – Diversas proposições para a estratigrafia da Bacia Pernambuco .....	38
Figura 04 – Mapa geológico da região de Suape.....	40
Figura 05 – Mapa de Isoietas do Cabo de Santo Agostinho e municípios vizinhos	50
Figura 06 – Precipitação média mensal (mm) registrada na estação pluviométrica da Barragem de Suape, município de Cabo de Santo Agostinho, entre os anos de 2004 a 2009.....	51
Figura 07 – Mapa de solos da região de Suape.....	54
Figura 08 – Modelo de circulação da área estudada antes da construção do porto de Suape, modificado (2008).....	61
Figura 09 – Modelo de circulação da área estudada depois da construção do porto de Suape, modificado (2008).....	62
Figura 10 – Mapa de localização das amostras de sedimentos de fundo coletadas.....	64
Figura 11 – Fluxograma de atividades laboratoriais referentes ao tratamento das amostras .....	66
Figura 12 – Amostras plotadas no Diagrama triangular de <i>Pejrup</i> (1988).....	68
Figura 13 – Mapa de localização das amostras selecionadas para análise morfoscópica.....	70
Figura 14 – Mapa de localização das amostras selecionadas para análise da difratometria de raios-X com os respectivos resultados da composição mineralógica.....	71
Figura 15 – Mapa com a localização das estações linigráficas e da rota batimétrica.....	74
Figura 16 – Gráfico demonstrando o prisma de maré na área de estudo .....	75
Figura 17 – Mapa de localização das estações de medição dos parâmetros físico-químicos da água .....	77

Figura 18 – Precipitação diária registrada na Estação Suape.....	78
Figura 19 – Mapa de localização dos testemunhos coletados .....	80
Figura 20 – Mapa de distribuição dos teores de cascalho na área estudada.....	87
Figura 21 – Mapa de distribuição dos teores de areia na área estudada.....	89
Figura 22 – Mapa de distribuição dos teores de lama na área estudada .....	91
Figura 23 – Valores percentuais das classes texturais nas amostras.....	92
Figura 24 – Distribuição percentual das áreas de fácies sedimentares encontradas nas regiões estuarinas estudadas.....	93
Figura 25 – Mapa de distribuição das fácies sedimentares na área estudada.....	95
Figura 26 – Valores percentuais do diâmetro médio nas amostras.....	97
Figura 27 – Mapa de distribuição dos valores de diâmetro médio nos sedimentos superficiais .....	98
Figura 28 – Valores percentuais do desvio padrão nas amostras.....	100
Figura 29 – Mapa de distribuição dos valores de desvio padrão nos sedimentos superficiais .....	101
Figura 30 – Valores percentuais de assimetria nas amostras.....	102
Figura 31 – Mapa de distribuição dos valores de assimetria nos sedimentos superficiais .....	103
Figura 32 – Valores percentuais de curtose nas amostras .....	104
Figura 33 – Mapa de distribuição dos valores de curtose nos sedimentos superficiais .....	105
Figura 34 – Percentual das amostras com valores do Diagrama de Pejrurp .....	106
Figura 35 – Mapa de distribuição hidrodinâmica (Diagrama de Pejrurp).....	108
Figura 36 – Percentual do grau de arredondamento dos grãos nas amostras.....	110
Figura 37 – Percentual do grau de esfericidade dos grãos nas amostras.....	111
Figura 38 – Proporção absoluta dos principais grupos de minerais encontrados nas amostras analisadas.....	116
Figura 39 – Mapa batimétrico da região interna de Suape.....	120
Figura 40 – Perfil batimétrico da desembocadura do estuário do rio Tatuoca .....	121
Figura 41 – Perfis batimétricos adjacente ao Porto de Suape.....	122
Figura 42 – Perfis batimétricos na Baía de Suape adjacente a Ilha de Cocaia.....	123
Figura 43 – Perfis batimétricos na Baía de Suape adjacente a desembocadura do estuário do rio Massangana e da praia de Suape.....	124

Figura 44 – Perfis batimétricos na Baía de Suape adjacente a desembocadura do estuário do rio Massangana e da praia de Suape .....	125
Figura 45 – Perfis batimétricos na porção superior, média e inferior do canal retificado.....	127
Figura 46 – Perfil batimétrico no leito principal do riacho da Ilha da Cana.....	128
Figura 47 – Testemunho sedimentológico 1 .....	132
Figura 48 – Testemunho sedimentológico 2 .....	133
Figura 49 – Testemunho sedimentológico 3 .....	134
Figura 50 – Testemunho sedimentológico 4 .....	135
Figura 51 – Testemunho sedimentológico 5 .....	136
Figura 52 – Concentrações de matéria orgânica e carbonatos totais do testemunho 1 e sua correlação com o testemunho sedimentológico.....	143
Figura 53 – Concentrações de matéria orgânica e carbonatos totais do testemunho 2 e sua correlação com o testemunho sedimentológico .....	144
Figura 54 – Concentrações de matéria orgânica e carbonato totais do testemunho 3 e sua correlação com o testemunho sedimentológico .....	145
Figura 55 – Concentrações de matéria orgânica e carbonato do testemunho 5 e sua correlação com o testemunho sedimentológico .....	146
Figura 56 – Concentrações de matéria orgânica nos testemunhos .....	147
Figura 57 – Concentrações de carbonato total nos testemunhos .....	148
Figura 58 – Concentração de metais no testemunho 1 (fração < 63 µm) localizado no Canal Retificado .....	150
Figuras 59 – Concentração de metais no testemunho 2 (fração < 63 µm) localizado no Canal Retificado.....	152
Figuras 60 – Concentração de metais no testemunho 3 (fração < 63 µm) localizado no estuário do rio Massangana.....	153
Figuras 61 – Concentração de metais no testemunho 5 (fração < 63 µm) localizado no estuário do Riacho Ilha da Cana.....	155
Figura 62 – Concentrações de metais no testemunho 1 e sua correlação com Matéria Orgânica (M.O.) e Carbonato Total (C.T.).....	161

Figura 63 – Concentrações de metais no testemunho 2 e sua correlação com Matéria Orgânica (M.O.) e Carbonato Total (C.T.).....	161
Figura 64 – Concentrações de metais no testemunho 3 e sua correlação com Matéria Orgânica (M.O.) e Carbonato Total (C.T.).....	162
Figura 65 – Concentrações de metais no testemunho 5 e sua correlação com Matéria Orgânica (M.O.) e Carbonato Total (C.T.).....	162

### LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Dados do Índice de Desenvolvimento Humano – IDH.....	30
Tabela 02 – Principais empresas Instaladas atualmente em Suape.....	34
Tabela 03 – Principais bacias hidrográficas na região de Suape.....	53
Tabela 04 – Valores de amplitude de maré máxima e mínima para o Porto de Suape – PE, entre os anos de 2006 a 2008.....	57
Tabela 05 – Valores extremos observados durante o período 1980-83 e 2005.....	59
Tabela 06 – Testemunhos de sedimento de fundo coletados na área de estudo ...	79
Tabela 07 – Abertura de amostras em padrão de material certificado de sedimento em forno microondas. Fe em % e os demais metais em mg.kg <sup>-1</sup> .....	83
Tabela 08 – Condições de operação do Espectrômetro de Absorção Atômica (EAA), utilizadas para a determinação de metais em sedimento.....	84
Tabela 09 – Valores relativos das fácies sedimentares encontradas na área de estudo em Área (m <sup>2</sup> ), Hectare (ha) e Percentagem (%).....	93
Tabela 10 – Distribuição dos minerais identificados por difratometria de raios-X nas respectivas amostras coletadas durante estação chuvosa .....	115
Tabela 11 – Relação dos parâmetros físico-químicos da água, por estação de amostragem nos estuários da Região interna de Suape no período de março de 2008 .....	130
Tabela 12 – Parâmetros estatísticos dos sedimentos do testemunho 5 .....	137
Tabela 13 – Resultados da análise morfológica do testemunho 5 .....	137
Tabela 14 – Composição mineralógica das amostras obtida por DRX .....	139

Tabela 15 – Concentrações de Matéria orgânica (M.O.) e Carbonatos totais (C.T.) nos testemunhos coletados .....	142
Tabela 16 – Comparação entre as concentrações de testemunhos do rio Tatuoca e do presente estudo, localizados na região de SUAPE .....	158
Tabela 17 – Comparação de concentrações superficiais nos sedimentos de correntes do Complexo Industrial e Portuário de SUAPE, segundo diversos autores em diferentes locais de amostragem .....	159
Tabela 18 – Matriz de correlação entre a concentração de metais pesados, percentual de matéria orgânica e carbonato total e finos (<0,062 mm) no testemunho 1 - Canal retificado. (M.O = Matéria Orgânica, C.T. = Carbonato Total) .....	164
Tabela 19 – Matriz de correlação entre a concentração de metais pesados, percentual de matéria orgânica e carbonato total e finos (<0,062 mm) no testemunho 2 - Canal retificado. (M.O = Matéria Orgânica, C.T. = Carbonato Total) .....	164
Tabela 20 – Matriz de correlação entre a concentração de metais pesados, percentual de matéria orgânica e carbonato total e finos (<0,062 mm) no testemunho 3 - Estuário do rio Massangana. (M.O = Matéria Orgânica, C.T. = Carbonato Total) .....	165
Tabela 21 – Matriz de correlação entre a concentração de metais pesados, percentual de matéria orgânica e carbonato total e finos (<0,062 mm) no testemunho 5 - Riacho Ilha da Cana. (M.O = Matéria Orgânica, C.T. = Carbonato Total) .....	165
Tabela 22 – Valores de referências de diversos órgãos internacionais usados como padrão de qualidade de sedimentos. (Concentrações de metais em mg.kg <sup>-1</sup> -peso seco) .....	167
Tabela 23 – Principais fontes antrópicas de metais pesados para o ambiente marinho .....	169
Tabela 24 – Comparação da concentração de metais no sedimento da área estudada com outras regiões estuarinas no Brasil e no mundo.....	170

## LISTA DE FOTOS

Foto 01 – Vista aérea do Porto de Suape .....	32
Foto 02 – Vista parcial do terminal de cargas do porto de Suape .....	33
Foto 03 – Vista Aérea do Promontório do Cabo, Baía de Suape e o fundo o Porto de Suape .....	41
Foto 04 – Vista parcial dos <i>beachrocks</i> na Baía de Suape .....	44
Foto 05 – Vista parcial dos depósitos de mangue no estuário do rio Massangana.	46
Foto 06 – Vista parcial da praia de Suape com o hotel Caesar Park Eco Resort do Cabo ao fundo .....	47
Foto 07 – Aspecto geral do relevo da área de estudo. Em primeiro plano a planície costeira, em segundo o domínio colinoso .....	48
Foto 08 – Vegetação de mangue típico da região de Suape .....	52
Foto 09 – Vista atual do Canal Retificado, limite oeste da área de estudo .....	55
Foto 10 – Antiga ligação em 1974 do Rio Ipojuca e Merepe com a Baía de Suape, antes da construção do Porto de Suape .....	56
Foto 11 – Coleta de sedimentos de fundo realizada no período de Junho de 2006 .....	65
Foto 12 – Vista geral do dique sendo construído na desembocadura do rio Tatuoca para dar acesso entre o Porto de Suape e a Ilha de Cocaia ..	72
Foto 13 – Vista parcial da estrada construída sobre o canal natural de acesso entre o rio Tatuoca e o Riacho Ilha da Cana, impedindo a circulação natural das águas .....	73
Foto 14 – Medição dos parâmetros físico-químicos da água ( <i>in situ</i> ) com a Sonda Multi-Parâmetro Portátil .....	76
Foto 15 – Testemunhos coletados ao longo da área de estudo .....	79
Foto 16 – Espinho <i>Echoidea</i> .....	112
Foto 17 – Fragmento de concha ( <i>Bivalve</i> ) .....	112
Foto 18 – Fragmento de coral .....	113
Foto 19 – Columela de Gastrópode .....	113

Foto 20 – Espinho de ouriço (acima) e fragmento de coral (abaixo).....	113
Foto 21 – Fragmento de Gastrópode .....	113
Foto 22 – Carapaça de Gastrópode .....	113
Foto 23 – Fragmentos de conchas.....	113
Foto 24 – Foraminífero bentônico .....	114
Foto 25 – Grãos de quartzo.....	114
Foto 26 – Mineral pesado acessório .....	114
Foto 27 – Aspectos dos grãos de quartzo em lupa binocular.....	138
Foto 28 – Grão bioclasto: foraminífero bentônico ( <i>Rosalina sp.</i> ).....	138

## LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 – Parâmetros estatísticos dos sedimentos de fundo da região interna do Porto de Suape – Pernambuco .....	186
Anexo 2 – Distribuição das classes texturais dos sedimentos da Região interna de Suape .....	190
Anexo 3 – Resultados dos estudos morfoscópicos e composicionais.....	194
Anexo 4 – Difractogramas de raios – X.....	197
Anexo 5 – Concentrações de metais potencialmente biodisponíveis.....	205

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

**ANASED** – Programa de Análise de Sedimentos

**CECO/UFRGS** – Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul

**CETESB** – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

**CIPS** – Complexo Industrial e Portuário de Suape

**CONAMA** – Conselho Nacional do Meio Ambiente

**CCME** – Conselho Canadense do Ministério do Meio Ambiente

**CPTEC/INPE** – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

**DHN** – Diretoria de Hidrografia e Navegação

**DRX** – Difractometria de Raios-X

**EIA/RIMA** – Estudo de Impacto Ambiental/Relatório de Impacto Ambiental

**EMBRAPA** – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

**Eh** – Potencial de Redução-Oxidação

**GPS** – Sistema de Posicionamento Global

**ha** – Hectare

**HCl** – Ácido Clorídrico

**HF** – Ácido fluorídrico

**HNO<sub>3</sub>** – Ácido Nítrico

**IDH** – Índice de Desenvolvimento Humano

**LEPETRO** - Laboratório de Estudos do Petróleo

**LGGM** - Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha

**pH** – Potencial Hidrogeniônico

**PNUD** - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento

**PANICON** – Programa de Análise Incompleta

**PORTOBRÁS** - Empresa Portos Brasil S/A

**UTM** - Universal Transversa de Mercator

**O.D.** – Oxigênio Dissolvido

**USEPA** – Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da America

## CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

Os estuários são sistemas extremamente resilientes a ação antrópica, regidos pela interação de diversos processos físico-químicos, hidrodinâmicos, morfológicos e biológicos. Apesar de normalmente possuírem grande importância econômica e ecológica devido a sua alta complexidade, estes ecossistemas nem sempre são estudados de forma eficiente. A região estuarina de Suape, apesar de ser objeto de vários trabalhos, estes são na maioria das vezes isolados e não conseguem compreender o conjunto de processos atuantes neste ambiente, sendo assim, imprescindíveis estudos complementares.

Os estuários se destacam por sua alta produção biológica, que provém: (1) da alta diversidade de sistemas produtores, como manguezais, fanerógamas submersas, algas bentônicas e fitoplâncton, (2) do abundante suprimento de nutrientes provenientes de aportes fluviais, pluviais e antrópicos, (3) da renovação d'água nos ciclos de maré, (4) da rápida remineralização e conservação de nutrientes através de uma complexa teia trófica, que inclui organismos detritívoros e filtradores (Day Jr. *et al.*, 1989) e (5) da troca de nutrientes e outras propriedades biogeoquímicas entre o sistema bentônico e a coluna d'água estuarina, através dos processos de erosão e ressuspensão dos sedimentos de fundo (Nichols, 1986).

O elevado crescimento urbanístico nas regiões litorâneas tem tido como consequência direta a diminuição da qualidade ambiental das zonas costeiras, originando dificuldades crescentes na gestão dos recursos disponíveis. O estudo dos estuários apresenta normalmente um elevado grau de dificuldade, uma vez que estes sistemas aquáticos envolvem geometrias e padrões de circulação muito complexas e fortemente modificados por ações antropogênicas. De fato, a interface entre as águas interiores e as águas oceânicas sujeitas às ações das marés, ondas, descargas fluviais e ventos, apresentam características específicas que condicionam os padrões de transporte sedimentar que determinam a morfologia do fundo. Existe uma grande diversidade nas características destas interfaces que diferem de

estuário para estuário, dependendo das características das marés, correntes fluviais e do modo como estes fatores interagem com a batimetria (Dyer, 1997).

Os estuários são muito utilizados para construções de grandes empreendimentos aproveitando sua área abrigada, principalmente zonas portuárias.

## **1.1 – OBJETIVOS**

### **1.1.1 – GERAIS**

Efetuar um diagnóstico a respeito dos parâmetros físico-químico, sedimentológico, morfológico e geoquímico da área em estudo, bem como obter informações relevantes acerca das características ambientais da área que possibilitem subsidiar programas de gerenciamento, de proteção, defesa e aproveitamento adequado da região estuarina de Suape.

### **1.1.2 – ESPECÍFICOS**

Realizar uma avaliação dos parâmetros físico-químicos da água, determinando-se a salinidade, temperatura, oxigênio dissolvido e pH.

Determinar as características sedimentológicas e mineralógicas dos estuários estudados.

Realizar um levantamento batimétrico para definição da sua morfologia de fundo dos estuários.

Caracterizar o ambiente geoquímico do estuário do rio Massangana e seus tributários, devido à crescente ação antrópica ocorrida nas últimas décadas e sua importância para a região de estudo.

Determinar as concentrações biodisponíveis de metais pesados (Cr, Cd, Pb, Co, Ni, Zn, Mn, Cu, Al, Fe, Hg) presentes nas amostras de testemunho, comparado com trabalhos pré-existentes na área.

## 1.2 – JUSTIFICATIVA

Dentre os diversos problemas ambientais verificados na zona costeira sul do Estado de Pernambuco, podemos destacar a intensa ocupação urbana e crescimento populacional verificados nas últimas décadas. Com isso houve um aumento considerável dos impactos ambientais, tais como o lançamento de esgotos nos cursos d'água, diminuindo a sua produtividade pesqueira e também o assoreamento que faz com que os rios fiquem cada vez mais rasos, perdendo assim sua dinâmica natural.

Os problemas acima apontados requerem a necessidade de estudos mais detalhados nos estuários de Pernambuco, em especial na região estuarina de Suape, tendo em vista a sua importância ambiental e a sua localização estratégica do ponto de vista sócio-econômico, pois, é um dos portos mais importantes do país.

A região necessita de um monitoramento sistemático dos parâmetros sedimentológicos, morfológicos, batimétricos e geoquímicos nos estuários estudados, visando realizar um levantamento detalhado de sua natureza, dinâmica e processos associados, além de determinar o grau de impactos ambientais sobre os recursos naturais disponíveis na área de estudo.

## **CAPÍTULO 2 – CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO**

### **2.1 – LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DA ÁREA**

A área estudada está localizada na região do Complexo Industrial e Portuário de Suape (CIPS), situada a 40 km ao Sul da cidade do Recife entre municípios de Ipojuca e Cabo de Santo Agostinho, litoral sul de Pernambuco (Figura 01). Esta limitada entre as coordenadas (UTM): latitude sul 9.078.160 a 9.071.428 (N) e longitude norte 286.000 a 279.907 (E). Ocupa uma área de 13.500 hectares, distribuídos em Zonas Portuária, Industrial, Administrativa, Preservação Ecológica e Cultural (Suape, 2007).

O porto foi construído em um trecho retilíneo da costa ao sul da cidade de Recife, com forma aproximada de um “F”, orientado no sentido das correntes litorâneas e visando principalmente a proteção da zona de atracação em relação ao clima de ondas dominante na região. Assim como toda estrutura implantada na zona costeira e que se estenda, na direção do mar, alcançando cotas batimétricas superiores a profundidade limite, que caracteriza a zona de início do transporte longitudinal, o porto de Suape alterou a dinâmica local gerando, a sul, a acumulação de sedimentos (Soares Junior, 2006).

A construção do Complexo Industrial Portuário de Suape alterou profundamente as características ecológicas da área, sendo os maiores impactos observados no estuário do rio Ipojuca.

De acordo com Neumann (1991) as modificações ocasionadas pela sua implantação provocaram ainda um forte assoreamento e grande deposição de sedimentos em suspensão na área estuarina, aumentando a turbidez da água e transformando a foz do estuário do rio Ipojuca numa laguna costeira que, em consequência da diminuição da profundidade local, causou aumento da salinidade.

Das alterações no meio ambiente, a mais inconveniente, em termos de funcionamento do porto, é sem dúvida o assoreamento da bacia portuária provocado

pelos sedimentos, geralmente finos em forma de plumas, transportados pelos sistemas de correntes locais.

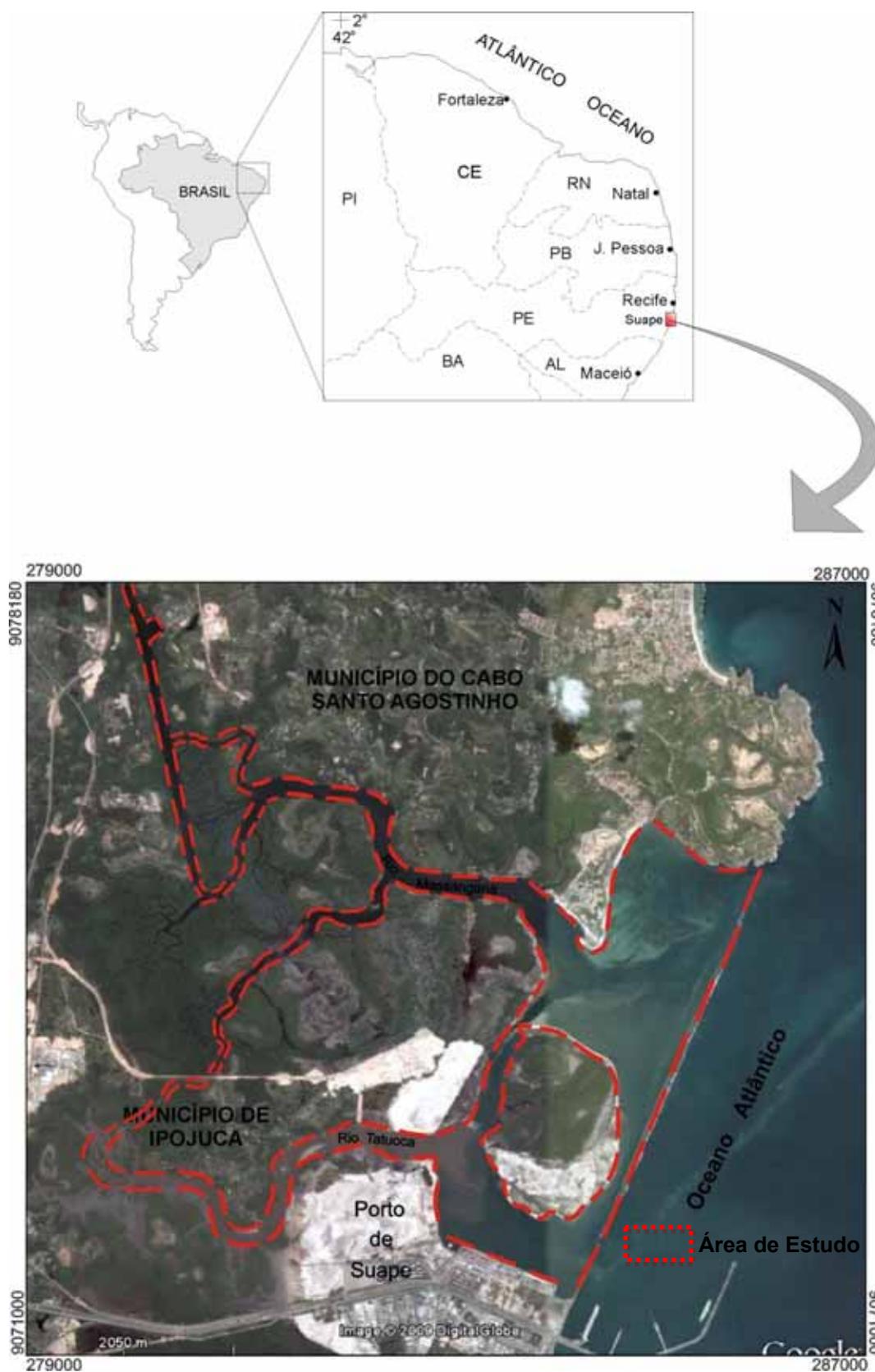


Figura 01 – Localização da área de estudo.

## 2.2 – ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS

Os municípios envolvidos na área de estudo (Ipojuca e Cabo de Santo Agostinho) de acordo com o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) elaborado pelo Programa das Nações Unidas (PNUD) são considerados de médio desenvolvimento humano, ou seja, que têm o IDH entre 0,500 e 0,800.

Em ambos os municípios a dimensão que mais contribuiu para este crescimento foi à educação, seguida pela longevidade e pela renda (Tabela 01).

Entretanto, os dados sobre renda revelam um quadro de pobreza ainda é bastante acentuado em ambos os municípios estudados, mesmo quando se considera que ocorreu uma relativa melhoria desse indicador, quando se consulta o Índice de Desenvolvimento Humano. A alteração foi, contudo, pouco significativa, com exceção de Ipojuca, onde a elevação do IDH – Renda foi mais acentuada, saindo de um nível classificado pelo PNUD como baixo, para um patamar de médio.

Tabela 01 – Dados do Índice de Desenvolvimento Humano – IDH.

<i>Município</i>	<i>IDHM 1991</i>	<i>IDHM 2000</i>	<i>IDHM Renda 1991</i>	<i>IDHM Renda 2000</i>	<i>IDHM Longev. 1991</i>	<i>IDHM Longev. 2000</i>	<i>IDHM Educação 1991</i>	<i>IDHM Educação 2000</i>
<b>Recife</b>	0,740	0,797	0,727	0,77	0,676	0,727	0,818	0,894
<b>Jaboatão dos Guararapes</b>	0,701	0,777	0,644	0,685	0,691	0,797	0,769	0,848
<b>Cabo de Santo Agostinho</b>	0,630	0,707	0,542	0,588	0,642	0,734	0,705	0,798
<b>Ipojuca</b>	0,530	0,658	0,466	0,545	0,597	0,728	0,527	0,700

Fonte: Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento – PNUD (2003).

O município do Cabo de Santo Agostinho tem um PIB maior que Ipojuca, terceiro e quarto do Estado respectivamente, mas devido à sua população que representa mais de 2,5 vezes a população deste, seu PIB *per capita* corresponde a menos da metade do PIB de Ipojuca (Ramos *et al.*, 2007).

Segundo o Censo Demográfico de 2000, é elevado o número de responsáveis pelo domicílio com rendimento mensal inferior a um salário mínimo, cerca de 34% no Cabo de Santo Agostinho e 41% em Ipojuca. Os baixos salários podem ser atribuídos a fatores diversos, dentre os quais a precariedade nas relações de

trabalho, sobretudo quando se observa a extensão do trabalho informal e a importância das atividades agrícolas na economia do município de Ipojuca.

Estabelecendo-se a separação por município, nota-se que no Cabo o emprego no setor industrial representa 40% do total contabilizado em 2003, vindo em seguida o segmento de Serviços (37%) e o Comércio (14%). Em Ipojuca, a Indústria tem uma participação menor na geração de empregos (28%), mostrando-se mais expressivo o percentual de empregos ligados ao setor de Serviços (39%), enquanto o Comércio corresponde a apenas 8% do total. As atividades relacionadas à agropecuária, à extração vegetal, à caça e à pesca concentram cerca de 21% do total de empregos formais existentes em 2003.

No tocante ao salário mensal média, reafirma-se o papel econômico das indústrias instaladas no Cabo, na medida em participam com quase 50% do total referente ao município. Do mesmo modo que a remuneração mensal média do trabalhador também se mostra mais elevada no setor industrial. Já em Ipojuca, o maior volume de recursos monetários gastos com salários da mão-de-obra empregada se concentra no setor de serviços, onde atingem 43% do total relativo ao município, merecendo destaque o fato de a indústria vir em segundo lugar, com o percentual de 23%.

Enquanto no Recife a renda média das famílias é de mais de R\$ 1.000,00, em Ipojuca, por exemplo, esta renda fica um pouco acima de R\$ 300,00 e no Cabo de Santo Agostinho é apenas levemente superior a R\$ 370,00, ou seja, a renda de Ipojuca equivale a apenas 30,1% e a do Cabo a 36,2% da renda média das famílias recifenses (Ramos *et al.*, 2007).

O Complexo Industrial e Portuário de Suape (CIPS) é um dos mais completos pólos de negócios industriais e portuários da região Nordeste (Foto 01). Dispondo de uma infra-estrutura para atender necessidades dos mais diversos empreendimentos, tem atraído um número cada vez maior de empresas interessadas em colocar seus produtos no mercado regional ou exportá-los para outros países (Lima *et al.*, 2007).



**Foto 01 – Vista aérea do Porto de Suape. Fonte: EIA/RIMA do Projeto de Ampliação e Modernização do Porto de Suape.**

Esse ritmo de atração, no entanto, traz sérias preocupações para o meio ambiente. A infra-estrutura existente, ainda não completamente implantada, precisará ser bastante expandida para abrigar os projetos previstos nos próximos anos, o que exigirá do poder público um volume significativo de recursos ainda não assegurados.

Mais de 70 empresas já se instalaram ou estão em fase de implantação no complexo industrial, representando investimentos da ordem de US\$ 1,7 bilhão. Além da infra-estrutura adequada, essas empresas contam ainda com incentivos fiscais, oferecidos pelos governos estadual e municipal, com o objetivo de estimular a geração de empregos e incrementar a economia regional (Lima *et al.*, 2007).

Principal porto da região Nordeste, Suape possui um mercado consumidor com 50 milhões de habitantes e um PIB de US\$ 110 bilhões (Foto 02). Pela sua posição geográfica (extremidade oriental da Costa Atlântica da América do Sul), tem uma localização estratégica em relação às principais rotas marítimas de navegação, conectando-se com mais de 160 portos em todos os continentes, o que o coloca em condições de ser um dos principais portos concentradores de cargas (*hub port*) no

Atlântico Sul. Sua concepção de porto-indústria oferece condições excepcionais para instalação de empreendimentos industriais. O CIPS ainda dispõe do fornecimento de gás natural, energia elétrica e água bruta e tratada (Suape, 2007).

Em relação aos investimentos públicos, foram aplicados, até 2006, cerca de R\$ 550,00 milhões. Para o período de 2007 a 2008, foram aplicados mais de R\$ 1,0 bilhão em infra-estrutura para o atendimento às necessidades dos grandes empreendimentos, como a Refinaria Abreu e Lima, o Estaleiro Atlântico Sul, a Petroquímica Suape e o moinho da Bünge.



**Foto 02 – Vista parcial do terminal de cargas do porto de Suape (Nov./2007).**

Já em relação aos investimentos privados, foram aplicados até 2006 um total de US\$ 2,5 bilhões na implantação de 81 empresas nos segmentos indústrias, terminais portuários e empresas de serviços, gerando cerca de 7.500 empregos diretos (Tabela 02). Para o período de 2007 a 2010, já foram confirmados investimentos na ordem de mais de US\$ 6,0 bilhões, em especial, na implantação dos grandes empreendimentos, como a Refinaria Abreu e Lima, o Estaleiro Atlântico Sul, a Petroquímica Suape e o moinho da Bunge, gerando cerca de 12 mil novos empregos diretos e 45 mil só na construção desses empreendimentos (Suape, 2007).

**Tabela 02 – Principais empresas Instaladas atualmente em Suape.**

<b>EMPRESA</b>	<b>ATIVIDADE</b>
Amanco Brasil S/A	Fábrica de tubos
Andaluz Logística e Transportes Ltda.	Transporte Pesado
Arcor do Brasil Ltda.	Guloseimas
Arclima	Peças para ar condicionado
Atlântico Terminais S/A	Armazenagem de Contêineres
Bahiana Distribuidora de Gás Ltda	Fornecimento de Gás
Braspac Embalagens do Nordeste S/A.	Fábrica de embalagens plásticas *
Bunge Alimentos S/A.	Moinho de Trigo
Campari	Bebidas
Caulim do Nordeste S/A	Mineração *
Cebal Brasil Ltda (Alcan)	Produção de Bisnagas Plásticas e Laminadas
Cerâmica Monte Carlo Ltda.	Fabricação de produtos cerâmicos *
Cerâmica Santo Antônio	Fabricação de produtos cerâmicos *
Cerâmica Trieste Ltda	Fabricação de produtos cerâmicos *
Companhia Brasileira de Petróleo Ipiranga	Petróleo e Derivados *
Companhia Integrada Têxtil de Pernambuco S/A - CITEPE	Têxtil
Cimec - Cia. Industrial e Mercantil de Cimentos	Cimento
Concreto Redimix do NE S/A	Concreto
Condor Nordeste Indústria e Comércio Ltda.	Higiene pessoal
Copagás Distribuidora de Gás Ltda.	Distribuidora de Gás
Decal Brasil Ltda.	Armazenagem, logística e distribuição de derivados de petróleo, produtos químicos e álcool *
Diamar	Fábrica de Barcos *
Elite Cerâmica S/A.	Fabricação de produtos cerâmicos *
Emplal - Embalagens Plásticas	Produz embalagens plásticas *
Enertec	Logística industrial
Esso Brasileira de Petróleo S/A.	Distribuidora de Combustível *
Estaleiro Atlântico Sul	Estaleiro *
Fasal	Metalmecânica *
Filmflex Ind. e Com. de Embalagens Plásticas	Embalagens Plásticas *
IGL Industrial Ltda	Produtos de Limpeza
Impel	Caixas Plásticas
Impsa	Geradores eólicos
Komboogie Transporte Ltda.	Transportadora
Máquinas Piratininga Indústria e Comércio Ltda.	Metalmecânica *
Medabil	Metalurgia *
MHAG - Serviços e Mineração S/A	Mineração *
Minasgás Participações S/A.	Distribuição de Gás
M&G Polímeros Brasil S.A.	Resinas

Multifarinha do Brasil	Trigo para mistura
Nacional Gás Butano Distribuidora S/A.	Distribuição de Gás
Nutrinor Ind. e Com. de Alimentos Ltda.	Alimentos desidratados
Pamesa	Revestimentos Cerâmicos e Porcelanatos *
Pandenor - Importação e Exportação	Importação e Exportação de produtos
Pedreira Anhanguera S/A.	Mineração *
Pedreiras do Brasil S/A.	Mineração *
Pepsico do Brasil Ltda. (Elma Chips)	Produtos Alimentícios
Pernod Ricard Brasil (Seagram)	Bebidas
Petrobras Distribuidora S/A.	Distribuidora de Combustível
Petróleo Suape Ltda.	Refinaria de Petróleo *
Petroquímica Suape S/A	Fábrica de PTA *
Prastipak	Sopradora plástica
Procinsa	Produtos Cirúrgicos
Quebecor World Recife Ltda	Atividades Gráficas
Refresco Guararapes Ltda. (Coca-Cola)	Bebidas
Rexam Beverage Can South América (Lanesa - Latas de Alumínio do NE S/A)	Fábrica de latas e tampas de alumínio *
Shell do Brasil S/A.	Distribuidora de Combustíveis *
Suape Têxtil S/A.	Fábrica de Tecidos
Sapeka Indústria e Comércio de Fraldas Descartáveis do Nordeste Ltda.	Fraldas descartáveis
Suata II	Movimentação Contêineres
Suata III	Armazenagem de Contêineres
Tecon Suape S/A	Armazenagem de Contêineres
Temape - Terminais Marítimos de PE	Armazenagem de álcool e derivados de petróleo *
Tequimar - Terminal Químico Aratu S/A	Armazenamento Especializado de Produtos Químicos e Petroquímicos *
Terranor Indústria e Comércio de Materias Gráficas Ltda.	Materiais Gráficos
Termofértil S/A	Fabricação de Fertilizantes *
Termopernambuco S/A.	Usina Termelétrica
Texaco do Brasil S/A.	Distribuidora de Combustíveis *
Thor Nordeste Ltda	Mineração *
TOC Empreendimentos Ltda	Empreendimentos Imobiliários
TRANSPAZ - Trans. Rodoviário de Cargas	Transporte Pesado
Urbano Agroindustrial	Beneficiamento de arroz
UTE Suape II	Usina Térmica 350 MW
Vitivinícola Cereser LTDA	Fábrica de bebidas

Fonte: Suape, 2007. (\* Fontes Potenciais de Metais).

### 2.3 – ASPECTOS GEOLÓGICOS REGIONAIS

A área estudada localiza-se na Bacia Pernambuco (Lima Filho, 1998), que corresponde à bacia sedimentar marginal localizada entre o Lineamento Pernambuco e o Alto de Maragogi-Barreiros (Figura 02). A referida Bacia perfaz uma área de 900 km<sup>2</sup> e anteriormente foi considerada por Rand (1976) como sub-bacia Cabo da então Bacia Pernambuco-Paraíba, que engloba várias sub-bacias ao norte e ao sul do Lineamento Pernambuco.

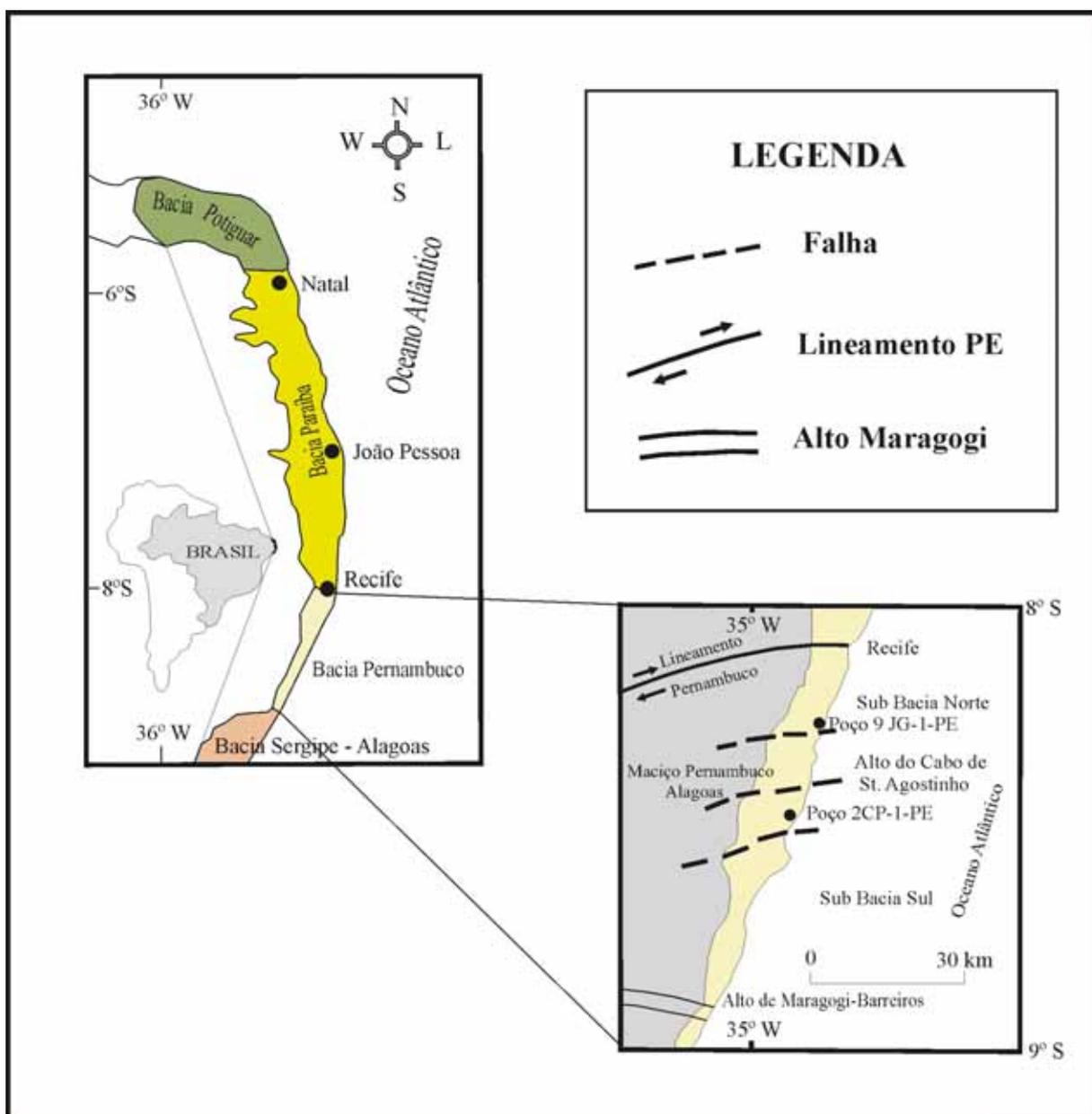


Figura 02 – Localização da Bacia Pernambuco (Simplificado de Lima Filho, 1998).

A Bacia Pernambuco ocupa toda a faixa costeira sul desse Estado e possui uma forma alongada na direção N40E, numa extensão de 80 km, sendo 12 km na porção emersa. A bacia limita-se ao sul pelo Alto de Maragogi (divisa dos Estados de Pernambuco e Alagoas), ao norte, pelo Lineamento Pernambuco (nas proximidades da cidade do Recife), e a oeste, através de falhas normais com o Maciço Pernambuco/Alagoas. O referido maciço é formado por granitos, gnaisses e migmatitos de idade pré-cambriana que, através de discordância, estão cobertos pelas rochas sedimentares que preenchem esta bacia.

Por sua vez, Lima Filho (1998) subdividiu a Bacia Pernambuco em duas sub-bacias, com bases em dados geofísicos, sedimentológicos e estruturais: Sub-Bacia Norte, confinada entre o Lineamento Pernambuco e o Alto estrutural do Cabo de Santo Agostinho e Sub-Bacia Sul, desde o Alto de Santo Agostinho até o Alto Barreiros–Maragogi (Figura 03).

Geotectonicamente, a Bacia Pernambuco é marginal do tipo atlântica e está inserida na Província Borborema definida por Almeida *et al.* (1977), estando limitada pelo Maciço Pernambuco/Alagoas ao oeste e ao sul, e ao norte, segundo Lima Filho (1998), faz limite com a Bacia Paraíba.

A Bacia Pernambuco (Lima Filho, 1998), anteriormente denominada Sub-Bacia do Cabo (Mabesoone & Alheiros, 1988) é dividida estratigraficamente em formações Cabo, Estiva e Algoduais, Suíte Vulcânica de Ipojuca e Formação Barreiras (Figura 03).

As principais unidades litológicas aflorantes na área estudada (proximidades do Complexo Portuário de Suape) serão resumidamente apresentadas a seguir.

### 2.3.1 – FORMAÇÃO CABO

A Formação Cabo é constituída por conglomerados e arenitos arcoseanos, intercalados por siltitos finamente estratificados e micáceos (Figura 03). A passagem da fácies conglomerática para a arcoseana é quase sempre gradacional e interdigitada no sentido lateral. De um modo geral, tem-se uma camada conglomerática na base e outra no topo, intercalada com uma camada arcoseana. Sua origem tem sido alvo de diversas discussões, porém, a maior parte dos autores, associa a depósitos de desmoronamentos em escarpas de falhas, com o posterior

retrabalhamento marinho ao longo das falésias. Segundo Mabesoone (1971), essa hipótese poligênica justificaria o arredondamento de grandes blocos que ocorrem no conglomerado.

Autores		Kegel 1959		Cobra 1960		Amaral & Menor 1979		Dantas 1980		Feijó 1994		Lima Filho 1998	
		Idade											
Quaternário	Superior	-----		-----		-----		-----		-----		-----	
	Inferior	Formação Barreiras		Série das Barreiras		Formação Barreiras		Formação Barreiras		Formação Barreiras		Formação Barreiras	
Terciário	Inferior	Infra-Barreiras		Arcóseos - Pós Vulcânicos								Unidade Tiriri	
		Vulcânicas		Ígneas Ácidas Rochas Básicas						Fm Calumbi		Vulcanismo Ácido Tabira	
Superior				Fm Cabo		Arcóseo						Formação Algodóais	
				Conglomerado		Formação Ipojuca Formação Estiva		Formação Ipojuca		Formação Ipojuca		Formação Estiva	
Cretáceo	Inferior	Conglomerado Cabo		Calcário Gameleira		Formação Cabo		Grupo Pernambuco Formação Ipojuca Formação Estiva Formação Cabo		Formação Estiva Formação Cabo		Suíte Vulcânica de Ipojuca Formação Cabo Parte Superior Parte Inferior	
Pré - Cambriano		Embasamento		Embasamento		Embasamento		Embasamento		Embasamento		Maciço PE/AL	

Figura 03 – Diversas proposições para a estratigrafia da Bacia Pernambuco (Simplificado de Lima Filho, 1998).

A sua distribuição restringe-se a NNW da área estudada, principalmente ao longo das margens do rio Massangana, e uma pequena ocorrência na parte central da área, na margem esquerda do rio Tatuoca conforme mostra o mapa geológico (Figura 04).

### 2.3.2 – FORMAÇÃO ESTIVA

Os calcários aflorantes e subaflorantes presentes na Bacia Cabo tem sido comumente tratados, em trabalhos mais recentes, como sendo correlatos e agrupados na chamada Formação Estiva (Figura 03).

Segundo Lima Filho (1994), com base em furos de sondagem realizados pela CPRM (Projeto SUAPE), pode-se dizer que existiram pelo menos, três ciclos transgressivos na região, caracterizados pelas camadas de calcário separadas por finas camadas de siltitos e/ou folhelho escuro.

Estudos pioneiros realizados por Morais (1928) reconheceram que estes calcários possuem ocorrência esparsa, sendo conhecidos no Engenho Gameleira (proximidades da praia de Tamandaré), na praia de Cocaia e do Outeiro Alto. Segundo os dados paleontológicos, sua idade esta atribuída ao Cenomaniano/Turoniano (Lima & Pedrão, 1994).

As rochas dessa unidade litológica afloram exclusivamente em uma pequena área a noroeste da Ilha de Cocaia, localizada dentro da Baía de Suape (Figura 04).

### 2.2.3 – SUÍTE IPOJUCA

A designação de Suíte Ipojuca foi proposta por Lima Filho (1998) referindo-se aos riolitos, traquitos, basaltos e o granito do Cabo de Santo Agostinho (Figura 03 e Foto 03). Nela também foram incluídos os depósitos piroclásticos, os ignimbritos e os de fluxos piroclásticos.

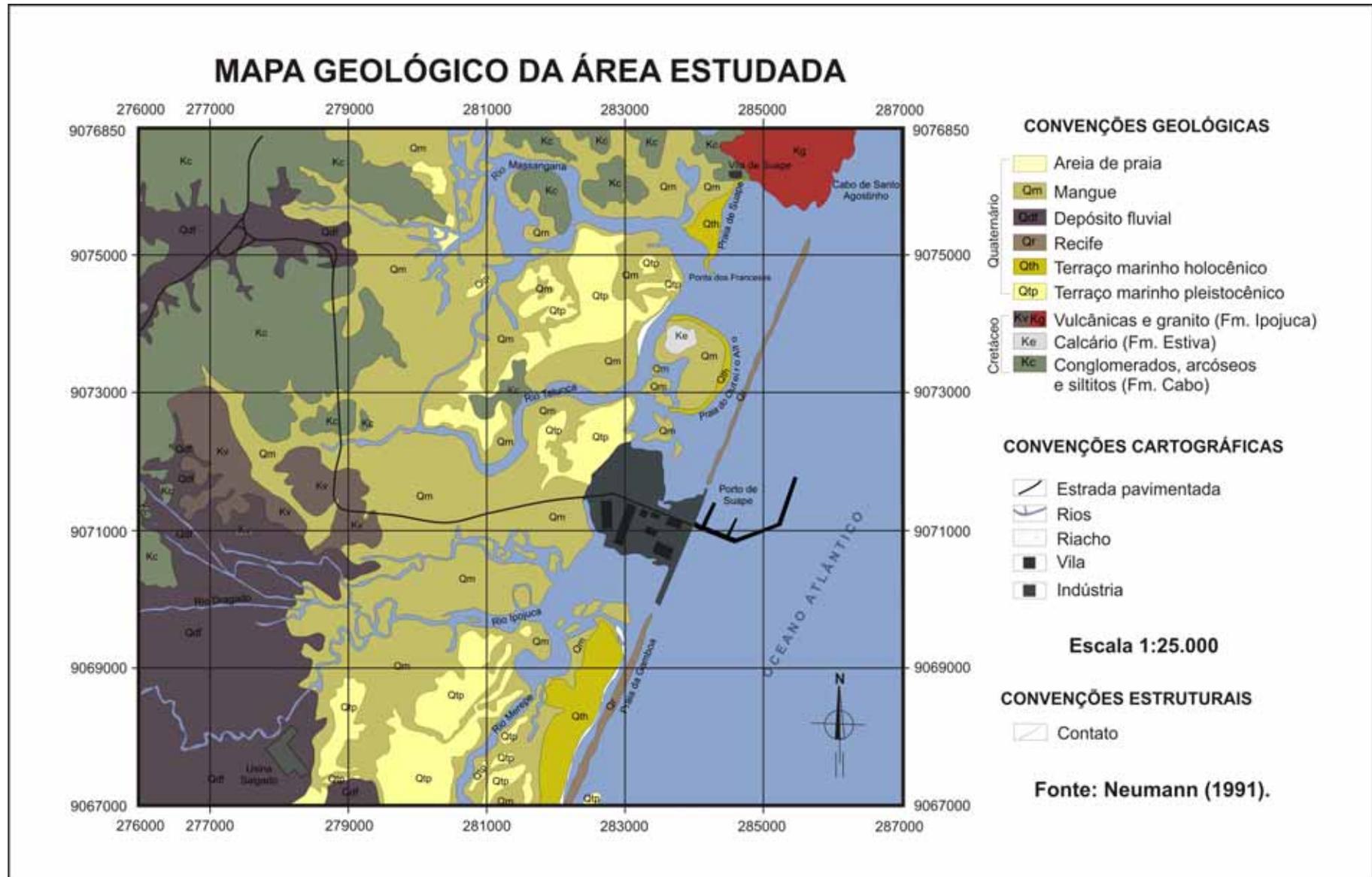


Figura 04 – Mapa geológico da região de Suape (Simplificado de Neumann, 1991).



Foto 03 – Vista Aérea do Promontório do Cabo, Baía de Suape e o fundo o Porto de Suape. Fonte: Almeida, 2003.

Amaral & Menor (1979) propuseram o termo Formação Ipojuca para designar um conjunto de rochas plutônicas (granito e dioritos) e vulcânicas (traquitos, basaltos, andesitos, riolitos, tufos, brechas e aglomerados vulcânicos) que afloram de forma irregular, na faixa costeira sul do Estado de Pernambuco (Figura 04). Segundo Borba (1975), estas rochas mostram-se com formas variadas, podendo ocorrer como derrames, diques, chaminés, intrusões subvulcânicas (*sill* e *lacólito*, *plugs* e *stocks*).

Nas rochas ígneas da região do Cabo de Santo Agostinho foram realizadas, por Vandomos *et al.* (1966), as primeiras datações radiométricas (métodos K/Ar e Rb/Sr) em basaltos, riolitos, traquitos e quartzo-pórfiros, estimando para estas rochas uma idade entre 85 Ma e 100 Ma. Posteriormente, Vandomos & Valarelli (1976) reavaliaram as datações, obtendo uma idade entre 90 Ma a 114 Ma. Posteriormente Gava *et al.* (1983) utilizando os mesmos dados para datação, determinaram uma idade de  $102,9 \pm 1,4$  Ma. Já Long *et al.* (1986) determinaram, utilizando o método Rb/Sr, uma idade de  $104,8 \pm 1,8$  Ma para o granito do Cabo.

### 2.3.4 – COBERTURA QUATERNÁRIA

Os depósitos quaternários da área estudada compõem um domínio geológico-geomorfológico de grande complexidade e resultam da variação do nível do mar, de mudanças climáticas e de processos dinâmicos costeiros.

A área estudada é representada por sedimentos dos terraços marinhos pleistocênicos e holocênicos, recifes, depósitos flúvio-lagunares, mangues e areias de praia. Do ponto de vista fisiográfico, está localizada no Setor Sul da Planície Costeira de Pernambuco (Figura 04), conforme definido por Coutinho *et al.* (1993).

O modelo de sedimentação dominante na planície costeira, durante os períodos de nível de mar alto, era o sistema de ilha barreira- laguna, onde os rios não alcançavam a plataforma e construíam deltas em ambientes protegidos (Dominguez *et al.*, 1992). Ao contrário, durante o abaixamento do nível do mar, as lagunas e baías tornam-se emergentes, a planície costeira progradou através dos cordões litorâneos, os rios retrabalharam os sedimentos da planície e da plataforma interna, favorecendo à progradação da linha de costa. Essas areias são incorporadas ao sistema de deriva litorânea e posteriormente acumuladas em alguns locais ao longo da costa, como por exemplo, na desembocadura dos rios, recifes ou reentrâncias na linha de costa.

#### 2.3.4.1 – Terraços Marinhos Pleistocênicos

Os depósitos pleistocênicos são constituídos por areias quartzosas, de granulometria variando de fina a média, com grãos subangulosos, com moderada seleção e em superfície apresentam coloração branca. Na região estudada são de uma maneira geral, descontínuos, de forma variável, geralmente paralelos à linha de costa, de largura oscilando de 0,5 a 1,0 km e com altitude máxima de 8 m (Dominguez *et al.*, 1990).

Esta unidade é observada na porção central da área sob a forma de corpos alongados de direção geral N-S, posicionando-se paralelo à linha de costa. Limita-se a oeste pelas unidades pré-quaternárias, a leste pelos depósitos flúvio-lagunares, algumas vezes pelos cordões holocênicos, bem como por depósitos de mangues. Esta faixa não contínua, de direção geral NE-SW, estende-se da Praia da Gamboa até a margem direita do Rio Massangana (Figura 04).

#### 2.3.4.2 – Terraços Marinheiros Holocênicos

Segundo Dominguez *et al.* (1990) os terraços marinhos holocênicos são constituídos por sedimentos classificados como areias médias a grossas, moderadamente a bem selecionadas, traduzindo flutuações do nível energético do agente de transporte.

Estes depósitos apresentam-se sob a forma de corpos alongados, mais ou menos contínuos, paralelos à linha de costa, com uma largura média de 500 metros. Raramente são retrabalhados pela ação eólica e podem conter conchas de moluscos em bom estado de conservação. Na superfície, geralmente ocorrem alinhamentos de cordões litorâneos (Bittencourt *et al.*, 1983).

Na área de estudo, os terraços holocênicos apresentam-se como uma faixa arenosa estreita ao longo das praias da Gamboa, Outeiro Alto e Suape (Figura 04). Estes sedimentos estão separados dos Terraços Marinheiros Pleistocênicos por regiões baixas com depósitos lagunares, acompanhando praticamente toda linha de costa.

Na praia de Suape (norte da área) ocorrem placers de minerais pesados formados por uma associação mineralógica, compreendendo monazita, ilmenita, zircão, rutilo e limonita. Estão separados dos terraços marinhos pleistocênicos por regiões baixas, com depósitos flúvio-lagunares, acompanhando praticamente toda linha de costa. A presença destes depósitos é fundamental para manter o equilíbrio morfodinâmico das praias atuais, uma vez que funcionam como um anteparo natural na dissipação da energia das ondas incidentes (Soares Junior, 2006).

Os terraços marinhos holocênicos formam áreas susceptíveis à erosão marinha, na maioria das vezes, como resultado de uma ocupação urbana desordenada. Representam o grande estoque de areia necessário à manutenção do equilíbrio morfodinâmico das praias atuais, uma vez que funciona como um anteparo natural na dissipação da energia das ondas incidentes.

#### 2.3.4.3 – Recifes

Uma das feições morfológicas mais marcantes do litoral pernambucano é a presença das rochas de praia (*beachrocks*) paralelos à costa, servindo de anteparo

contra a ação das ondas e constituindo um substrato para o desenvolvimento de corais e de algas calcárias (Foto 04).



**Foto 04 – Vista parcial dos *beachrocks* na Baía de Suape (Nov./2007).**

Na região de Suape as rochas de praia desempenham um papel fundamental na modelagem da morfologia costeira, sendo responsável pela formação e preservação do atual complexo lagunar. Sua geometria regula a energia das ondas e assegura o equilíbrio necessário ao desenvolvimento do sistema lagunar e os depósitos associados (Soares Junior, 2006). Como grande dissipador de energia de ondas, sua preservação é fundamental para que a própria estrutura portuária seja preservada juntamente com as praias adjacentes.

As rochas de praia ocorrem sob a forma de corpos lineares, descontínuos, dispostos em linhas aproximadamente paralelas entre si e à atual linha de costa. O número é variável, mas geralmente são visíveis, à baixa-mar, duas ou três exposições, sendo a primeira quase sempre emersa e próxima à praia e as demais parcialmente emersas. As rochas praias mais próximas à praia são geralmente mais friáveis, sendo que alguns deles estão se formando atualmente. Na plataforma

continental, várias linhas de rochas de praia soterradas foram evidenciadas através de registros sísmicos, enquanto, na planície costeira, recifes recobertos por depósitos arenosos foram localizados por sondagens mecânicas (Soares Junior, 2006).

São geralmente formados de areia de praia quartzosa cimentada com fragmentos orgânicos, podendo conter alguns seixos de quartzo arredondados. Os grãos quartzosos são subangulosos e subarredondados, constituindo cerca de 70 a 80 % da rocha, cimentados por carbonato de cálcio. Em geral, apresentam uma granulometria de média a grossa, às vezes, com elementos de maior calibre no topo, e alternância de níveis mais escuros com níveis mais claros, ricos em bioclastos (*Halimeda* e fragmentos de conchas).

Os recifes de arenito ou rocha de praia são considerados, por vários autores, como testemunhos de nível do mar mais alto que o atual durante o Quaternário, conforme atestam os estudos de estruturas sedimentares e as determinações cronológicas que atribui uma idade holocênica para os recifes de arenito do litoral de Pernambuco (Chaves, 1996).

#### 2.3.4.4 – Depósitos Flúvio-lagunares

Os sedimentos detríticos flúvio-lagunares são representados por sedimentos areno-argilosos e forma de grãos variada, tendo como principal componente o quartzo. Ocorrem ao longo do vale do rio Massangana, sendo o produto da erosão e do transporte fluvial ocorrido nas unidades pré-quaternárias em ocasiões de maiores precipitações pluviométricas.

Constituem ambientes altamente susceptíveis a alterações morfológicas, geralmente aquelas associadas a modificações na linha de costa como acontecem na área de Suape.

#### 2.3.4.5 – Depósitos de Mangues

Geralmente limitados às áreas inferiores dos estuários, ocupam a maior parte da superfície da planície costeira, formando uma associação vegetal e faunística típicas, colonizando substrato constituído por vasas de coloração cinza escuro e

preta. Servem de obstáculo à força das marés e ao fluxo de água doce, favorecendo a sedimentação de grandes quantidades de silte, argila e matéria orgânica, que vão formar as planícies de marés tão características desse ambiente. Os manguezais da área estudada classificam-se segundo Lugo & Snedaker (1974) *in* Coutinho & Morais (1986), como pertencentes ao tipo 1, isto é, “mangues de margens de rios”, submetidos ao fluxo lateral de água de baixa salinidade e são extremamente sensíveis as alterações no regime hidrológico. Ocupam toda área estuarina dos rios Merepe, Ipojuca, Tatuoca e Massangana (Foto 05).



**Foto 05 – Vista parcial dos depósitos de mangue no estuário do rio Massangana (Nov./2007).**

#### 2.3.4.6 – Depósitos Praiais

Formam a estreita faixa da atual zona de praia, que, por sua vez, representa a porção mais externa da planície costeira. Estes sedimentos encontram-se depositados entre a linha de baixa-mar e os terraços holocênicos. Representam depósitos de areias quartzosas inconsolidadas, bem selecionadas, que ocupam faixas estreitas ao longo da costa da região estudada (Foto 06). Estão

permanentemente submetida à ação combinada das ondas, correntes de deriva litorânea e das marés (Soares Junior, 2006).



**Foto 06 – Vista parcial da praia de Suape com o hotel Caesar Park Eco Resort do Cabo ao fundo (Nov./2007).**

Na área estudada ocorre com largura variando entre 25 a 125 m (Praia de Suape) e a sua composição mineralógica, considerando os três setores (pós-praia, praia e antepraia), apresenta-se essencialmente composta por grãos de quartzo, bioclásticos, concentrações de minerais pesados, formando os “placers” de minerais pesados (ilmenita, rutilo e zircão), além de uma significativa presença de fragmentos de rochas. O quartzo apresenta-se subanguloso à subarredondado, esfericidade variando de baixa à média e com textura superficial do tipo polida predominantemente. Já os componentes bioclásticos, mais abundantes nos setores de praia e antepraia, são representados pela presença de fragmentos de conchas, algas, carapaças de foraminíferos, briozoários, fragmentos de corais, espículas, tubos de vermes e gastrópodes.

## 2.4 – GEOMORFOLOGIA

As feições geomorfológicas de uma região são o produto da interação entre fatores litoestruturais e morfoclimáticos, que determinam a evolução geomorfológica da área (Tricart, 1959).

Segundo o trabalho de Neumann (1991), na descrição da compartimentação geomorfológica foram reconhecidos três compartimentos distintos: domínio colinoso, rampas de colúvio e planície costeira (Foto 07).



**Foto 07 – Aspecto geral do relevo da área de estudo. Em primeiro plano a planície costeira, em segundo o domínio colinoso. Fonte: Pires Advogados & Consultores (2000).**

↳ Domínio Colinoso – caracterizado pela presença de pequenas colinas, mais ou menos arredondadas, geralmente de reduzida extensão com altitudes variando de 30 a 50 m, correspondendo à seqüência vulcano-sedimentar da bacia Cabo. Suas encostas são normalmente suaves e côncavas com vales abertos. Ocupam as partes norte e oeste da área e alguns morros isolados ocorrem a nordeste.

↳ Rampas de Colúvio – correspondem ao material detrítico encontrado no sopé das colinas arredondadas, estando sua formação relacionada a processos atuais como por exemplo, o desmonte para retirada de material para construção civil.

↳ Planície Costeira – é a unidade mais representativa da área, estendendo-se desde a linha de recife até o sopé das formações mais antigas. A morfologia costeira se caracteriza pela presença de um amplo complexo lagunar separado do

mar aberto por um extenso cordão de arenito, cuja extremidade norte forma uma barra com cerca de 800 m de largura, o que assegura a ligação com o mar. No lado externo do cordão do recife a profundidade alcança a isóbata de 9 m, aumentando gradativamente para leste, atingindo cotas de 18 m.

Na planície costeira identificam-se vários ambientes deposicionais, dos quais os mais importantes são representados pelos depósitos fluviais, depósitos de mangue e os depósitos marinhos.

## **2.5 – CLIMA**

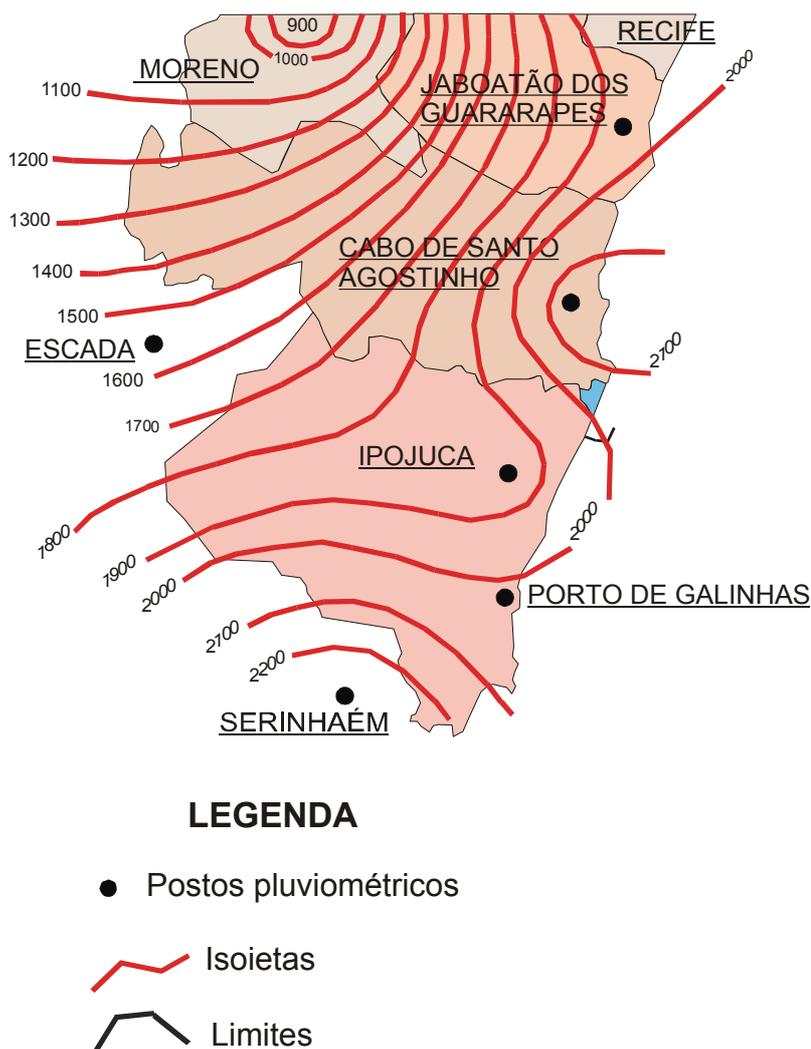
Considerando-se a classificação de *Köppen*, o clima da área estudada é do tipo As', isto é, tropical úmido, com chuvas de outono/inverno de características físicas bem definidas. Segundo Thornthwaite (1955), o clima é do tipo B1 a Aa (úmido megatérmico), no qual as chuvas são intensas e as temperaturas elevadas. A precipitação pluviométrica anual é bastante elevada, com oscilações em torno de 2.000 mm em relação às chuvas de monção (Figura 05). A umidade relativa do ar possui uma média anual de 80 %, havendo predomínio da precipitação sobre a evaporação.

Segundo Melo (1958) a área estudada está situada na região de maior pluviometria de todo o litoral nordestino. Os dados de precipitação pluviométrica, fornecido pela estação de meteorologia da Usina Salgado (Ipojuca-PE), indicam uma média anual da ordem de 1.500 a 2.500 mm, distribuídos em todos os meses do ano, com predomínio nos meses de março a junho.

Neste mês, a região leste do Nordeste, encontra-se em plena estação chuvosa. A intensidade de chuvas nessa região, durante esta época do ano, está diretamente relacionada à posição e intensidade da Alta pressão do Atlântico Sul e à temperatura do Atlântico Sul, próximo à costa brasileira. A partir de julho, final da estação chuvosa da região, as precipitações tendem a diminuir, atingindo valores em torno de 50 mm no mês de setembro, caracterizado por ser um mês seco.

De acordo com a estação da Barragem de Suape (Cabo de Santo Agostinho-PE) observou-se que, durante os últimos seis anos, houve uma distribuição irregular de precipitação (Figura 06). Destaque para o ano de 2006, que registrou um índice anual considerado baixo (1.555mm), com relação aos últimos seis anos estudados. As

amostras de sedimentos de fundo foram coletadas justamente neste ano. Outro destaque encontrado foi uma anomalia verificada no mês de março de 2008, período de coleta dos testemunhos e parâmetros físico-químicos da água, onde verificamos um recorde para o índice pluviométrico na região, com aproximadamente 456 mm de chuva, índice maior inclusive, que o último trimestre de março somado, que ficou em torno de 381 mm (2005 a 2007).



**Figura 05 – Mapa de Isoietas do Cabo de Santo Agostinho e municípios vizinhos (Alheiros, 1998).**

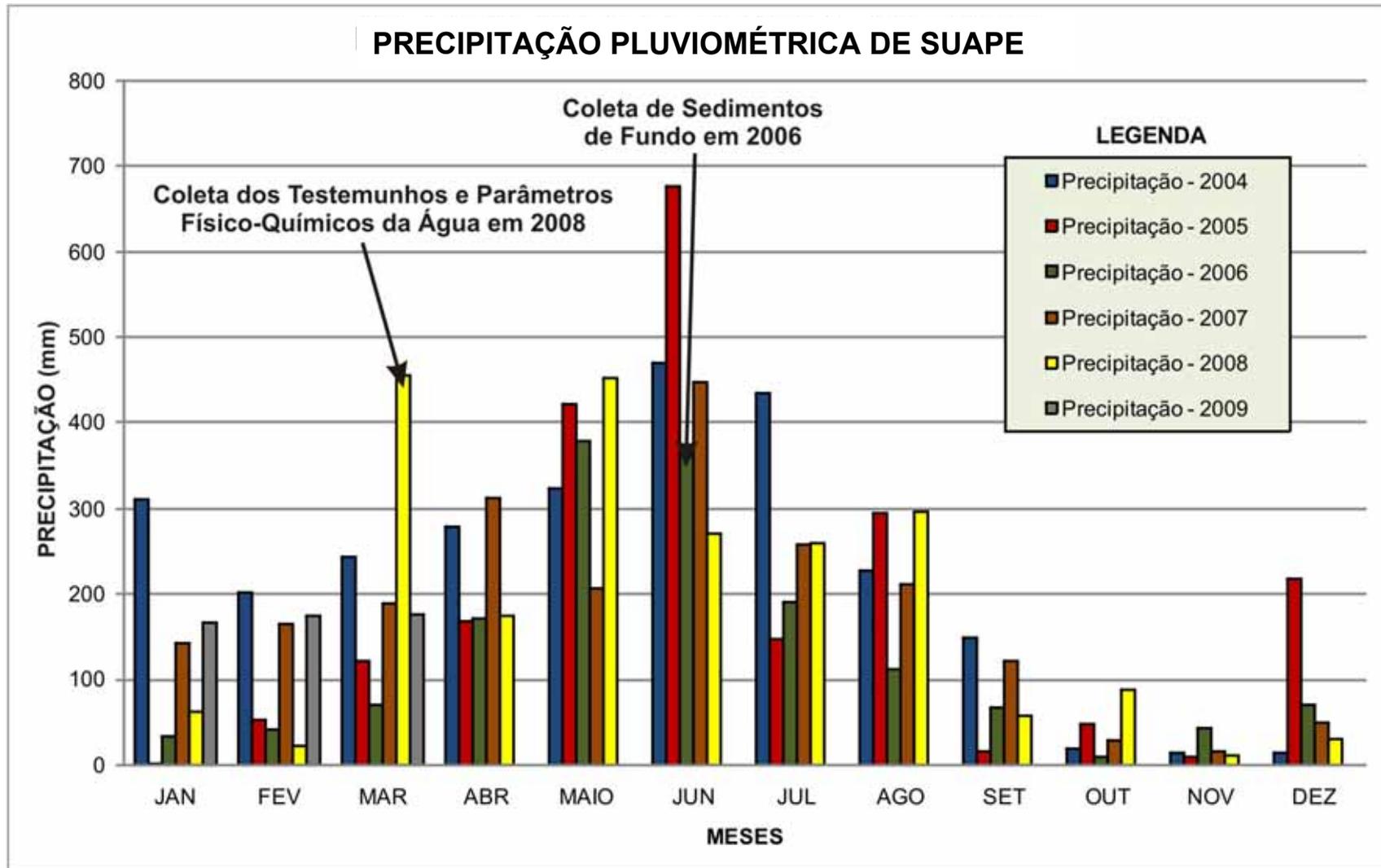


Figura 06 – Precipitação média mensal (mm) registrada na estação pluviométrica da Barragem de Suape, município de Cabo de Santo Agostinho, entre os anos de 2004 a 2009. As setas indicam os meses e os respectivos anos em que foram realizadas as coletas dos sedimentos de fundo, testemunhos e dos parâmetros físico-químicos da água. Fonte: LAMEPE (2009).

## 2.6 – VEGETAÇÃO

A região possui uma diversidade de condicionantes físicos e efetiva atuação antrópica, apresentando uma cobertura vegetal extremamente diversificada. Porém, a vegetação que mais se ressalta é a de mangue, seguida pela cana-de-açúcar, coqueiros e gramíneas. Os manguezais são formações típicas dos litorais tropicais e estão representados no Brasil por poucas espécies (*Rhizophora mangle*, *Avicennia schaueriana* e *Laguncularia racemosa*), apesar de poucas espécies, constituem um dos sistemas mais produtivos do mundo (Foto 08).

Os manguezais ocorrem em Suape nas áreas baixas, onde são banhados constantemente pelas marés. Uchoa & Braga (1989) analisando o manguezal dessa área constataram que de 1976 a 1988 foram destruídos 21,2% da sua cobertura, provocando diversos impactos ambientais, que vem sendo progressivamente agravados.



Foto 08 – Vegetação de mangue típico da região de Suape (Nov./2007).

## 2.7 – SOLOS

De acordo com Guerra (1998), na área estudada ocorrem Latossolos Amarelos, Argissolos (Amarelos, Vermelho-Amarelos), Nitossolos (Terra Roxa), Gleissolos, Espodossolos (Podzol), Organossolos (solos de mangue) e Neossolos (areias quartzosas e areias quartzosas marinhas) (Figura 07).

Os Latossolos Amarelos são distróficos, álicos, textura variando de argilosa a muito argilosa, relevo ondulado a suavemente ondulado, horizonte A moderado, fase floresta subperenifólia. Os Argissolos Vermelho-Amarelos são distróficos, atividade baixa, textura média a argilosa, relevo ondulado a fortemente ondulado, horizonte A moderado e proeminente, fase floresta subperenifólia. Os Gleissolos são distróficos e eutróficos, atividade baixa e alta, relevo plano e suavemente ondulado, horizonte A moderado e proeminente, fase floresta perenifólia de várzea. Os Organossolos são solos de mangue, indiscriminados, textura indiscriminada e fase relevo plano (Embrapa, 1999).

## 2.8 – HIDROGRAFIA

Antes da construção do Porto de Suape, quatro rios desembocavam nas proximidades da Baía de Suape entre o Cabo de Santo Agostinho e o Pontal do Cupe: Massangana, Tatuoca, Ipojuca e Merepe (Tabela 03).

**Tabela 03 – Principais bacias hidrográficas na região de Suape.**

BACIAS HIDROGRÁFICAS	ÁREA (km <sup>2</sup> )	ÁREA (%)
Merepe	87,11	12,44
Tatuoca	12,85	1,84
Massangana	102,42	14,63
Ipojuca	134,85	19,26
Estuários e bacias costeiras	30,02	4,29

Fonte: Adaptação de Neumann, 1991.

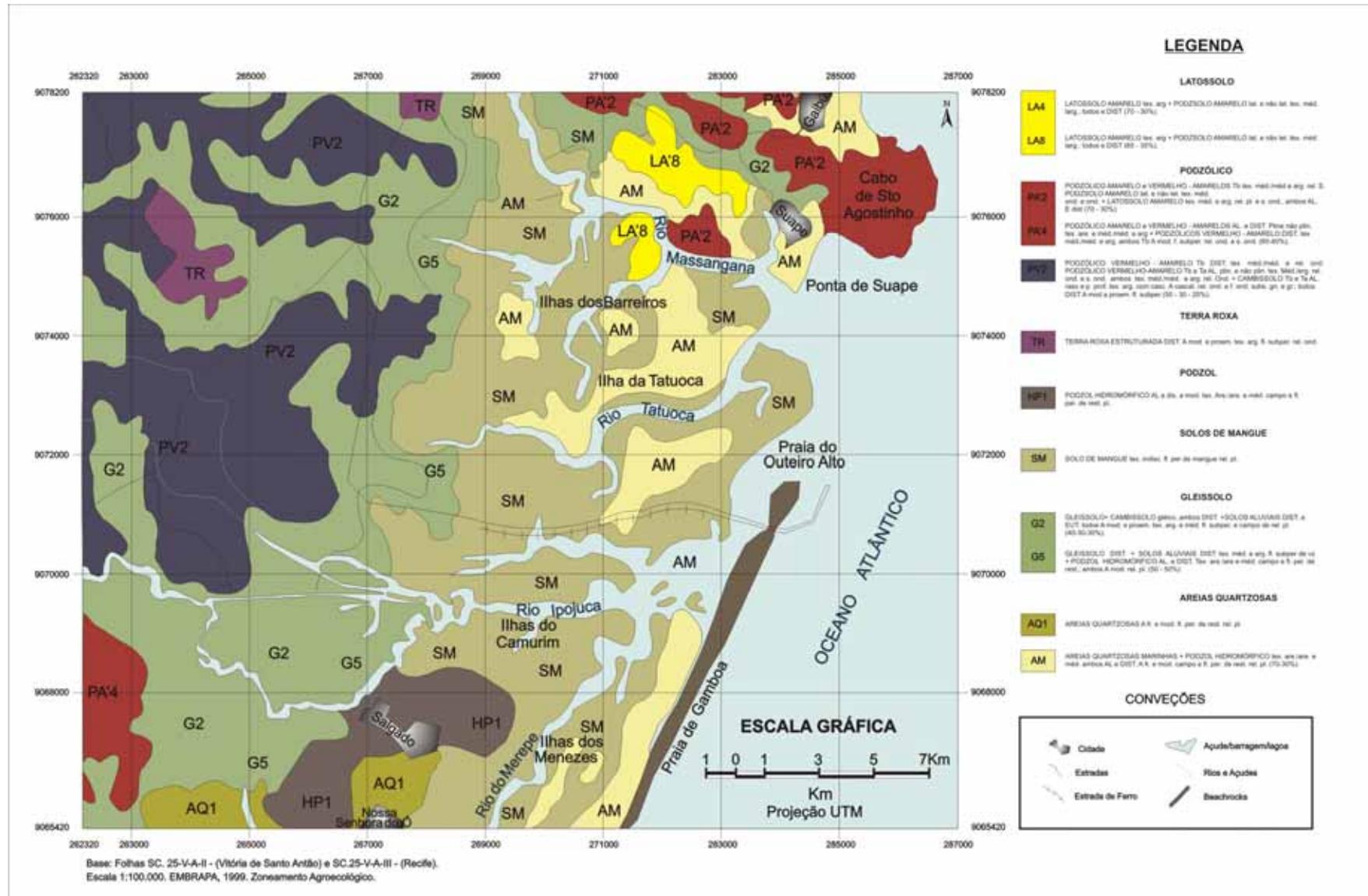
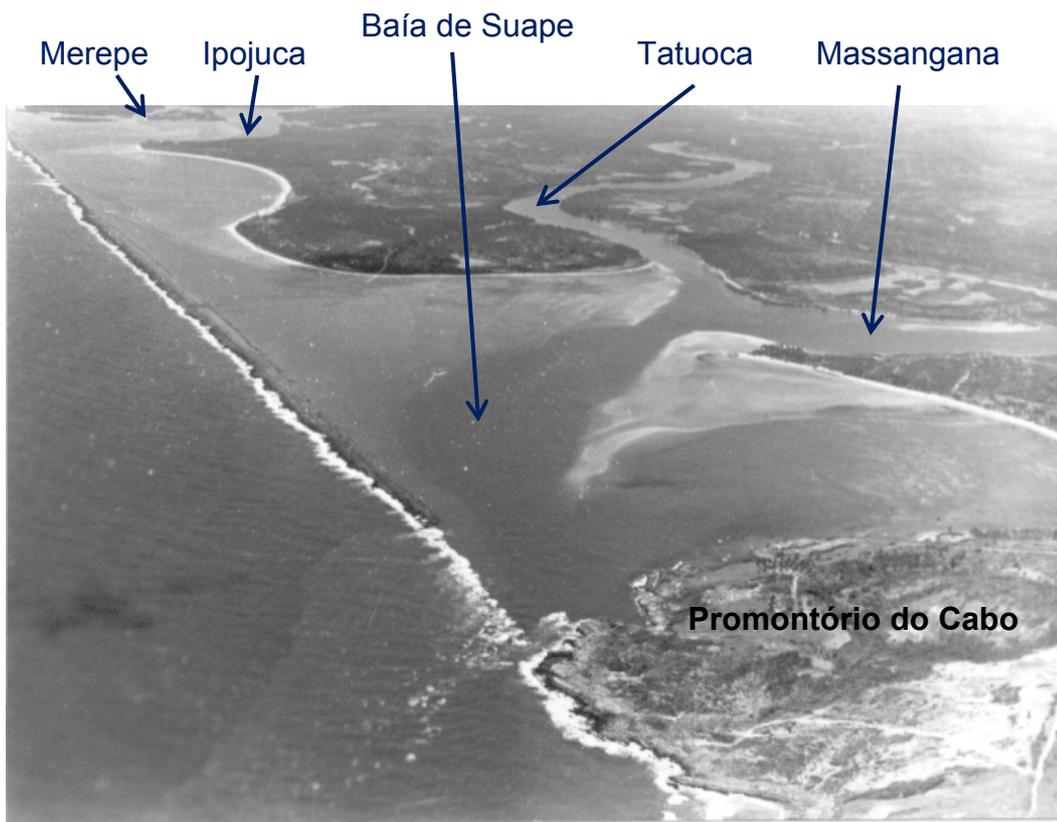


Figura 07 – Mapa de solos da região de Suape (Fonte: Embrapa, 1999).

O rio Massangana possui vários tributários, tais como o Canal Retificado (Foto 09), Riachos Ilha da Cana e Algoduais. O rio Ipojuca se caracteriza, segundo Costa & Costa (1977), como o maior da região em estudo. Todos esses rios formam no seu baixo curso uma rede irregular e dentrítica, um alinhamento geral leste-oeste. Segundo relatório da TRANSCON S.A. (1974), estes rios desaguavam num complexo lagunar separado do mar por um extenso cordão de arrecifes de arenito. Há uma barra que serve de contato com o mar e com o complexo lagunar, situada adjacente ao Cabo de Santo Agostinho, com cerca de 800m de extensão. Com o aterro para a construção do Porto e do terminal de tracagem, foi cortada a ligação dos rios Ipojuca e Merepe com a Baía de Suape por onde se comunicavam com o mar (Foto 10).



**Foto 09 – Vista atual do Canal Retificado, limite oeste da área de estudo (Nov./2007).**



**Foto 10 – Antiga ligação em 1974 do Rio Ipojuca e Merepe com a Baía de Suape, antes da construção do Porto de Suape. (Fonte: Soares Junior, 2006).**

## **2.9 – FORÇANTES GEOFÍSICAS E CIRCULAÇÃO HIDRODINÂMICA**

### **2.9.1 – MARÉS**

As marés para o litoral sul do Estado de Pernambuco são estimadas pela DHN (Diretoria de Hidrografia e Navegação – Marinha do Brasil) onde são realizadas previsões regulares da altura das marés. Atualmente, a DHN realiza previsões de marés para apenas dois pontos da costa: Porto do Recife e de Suape (Tabela 04).

A maré na região de Suape é do tipo semi-diurna, com período médio de 12 h e 30 min, apresentando duas preamares e duas baixa-mares por dia. Os valores representativos da altura da maré são: 2,40 m para sizígia máxima, 2,10 m para sizígia média, 1,10 m para maré intermediária e 0,70 m para quadratura.

Segundo Davies (1964) são mesomarés, com altura média de sizígia de 2,0m e altura média de quadratura de 0,9m, podendo atingir alturas de 2,6m durante as sizíguas equinociais. Essas marés respondem principalmente ao forçante

astronômico, sendo as contribuições das componentes não-periódicas de origem meteorológicas relativamente pequenas.

Em áreas estuarinas e costeiras as marés podem apresentar características distintas daquelas do oceano adjacente, uma vez que são grandemente modificadas pela descarga fluvial e pelas variações morfológicas locais (mudança na batimetria, estreitamento/alargamento de canais etc.). À medida que se propaga pelas baías e estuários, o sinal de maré pode sofrer redução de sua amplitude pelo efeito de fricção com as margens e/ou fundo, ou ampliação, pelo efeito de ressonância; bem como experimentar mudanças de fase ou de suas características pela modificação da proporção e fase relativa de seus componentes, a exemplo das marés ao longo do rio Ipojuca.

**Tabela 04 – Valores de amplitude de maré máxima e mínima para o Porto de Suape – PE, entre os anos de 2006 a 2008.**

<b>ANOS</b>	<b>2006</b>		<b>2007</b>		<b>2008</b>	
<b>MESES</b>	<b>Max. (m)</b>	<b>Min. (m)</b>	<b>Max. (m)</b>	<b>Min. (m)</b>	<b>Max. (m)</b>	<b>Min. (m)</b>
<b>JANEIRO</b>	2,5	0,0	2,4	0,1	2,3	0,2
<b>FEVEREIRO</b>	2,5	0,0	2,5	0,0	2,4	0,1
<b>MARÇO</b>	2,5	0,0	2,5	0,0	2,5	0,0
<b>ABRIL</b>	2,4	0,0	2,5	0,0	2,5	0,0
<b>MAIO</b>	2,2	0,3	2,3	0,1	2,4	0,1
<b>JUNHO</b>	2,2	0,3	2,2	0,2	2,3	0,2
<b>JULHO</b>	2,3	0,2	2,3	0,1	2,3	0,2
<b>AGOSTO</b>	2,4	0,0	2,5	0,0	2,4	0,1
<b>SETEMBRO</b>	2,5	0,0	2,5	0,0	2,4	0,1
<b>OUTUBRO</b>	2,5	0,0	2,5	0,0	2,4	0,1
<b>NOVEMBRO</b>	2,4	0,1	2,4	0,1	2,4	0,1
<b>DEZEMBRO</b>	2,2	0,2	2,3	0,2	2,4	0,1

Fonte: [http://www.dhn.mar.mil.br/serviços/tábuas das marés](http://www.dhn.mar.mil.br/serviços/tábuas%20das%20marés) (Acesso em: 20/01/2008).

## 2.9.2 – ONDAS

O clima de ondas na região costeira adjacente à área de estudo é principalmente governado pelos ventos ao largo e pelos ventos locais (Neumann *et al.*, 1998).

Medidas de ondas efetuadas pela PORTOBRÁS, no Porto de Suape, nos períodos de março de 1977 a fevereiro de 1978 e de janeiro de 1979 a janeiro de 1984, usando ondógrafos instalados a aproximadamente 17 m de profundidade, mostrou que as direções de ondas para condição de primavera (setembro à novembro), de verão (dezembro à fevereiro) e de outono (março à maio), existe uma predominância de ondas se propagando perpendicularmente a praia, sendo que, no outono e na primavera, ocorre uma leve tendência no sentido S–N e no verão assumem a direção N–S. Para as condições de inverno, a direção predominante é S–N.

No período de dezembro a abril, quando a precipitação pluviométrica é geralmente inferior a  $100 \text{ mm.mês}^{-1}$  e o regime dos ventos mais ameno, predominam as ondas de  $113^\circ \text{ Az}$ , com altura significativa média ( $H_s$ ) de 0,97m e período significativo médio ( $T_z$ ) de 6,4s. Já no período chuvoso e de ventos mais fortes, predominam ondulações com direção  $117^\circ \text{ Az}$ , ondas com alturas significativas ( $H_s$ ) de 1,13m e período significativo ( $T_z$ ) de 6,5s. Considerando os valores médios anuais, as ondas apresentam  $H_s = 1,05\text{m}$ ;  $T_s = 6,5\text{s}$  e direção de  $115^\circ \text{ Az}$ .

Com relação às alturas das ondas, observa-se que no outono e primavera, há uma predominância de valores em torno de 1,0 m, no verão oscilam entre 0,85 e 1,0 m e no inverno, alcançam os maiores valores anuais, em torno de 1,25 m. A altura significativa média anual na área já referida atinge 1,11 m.

Os períodos das ondas mencionadas ficam em torno de 6,5 s, para as condições de outono, inverno, primavera, e 5,0 s, no verão. O período médio é da ordem de 6,28 s.

A altura máxima ( $H_{\text{max.}}$ ) variou ao longo dos últimos anos entre 3,7 e 4,1 metros, com o maior valor ocorrendo no ano de 1983 (Tabela 05). A maior altura significativa variou entre 1,88 e 2,26 m e o maior período médio entre 9,84 e 12,24 segundos. As direções extremas variaram bastante ao longo dos anos, com a

direção mais ao norte 89° ocorrendo no ano de 1980 e a direção extrema mais ao sul 177° no ano de 1981.

Os dados do INPE/CPTEC (2005) apresentaram ondas com alturas significativas máximas nos meses de julho, agosto e setembro, respectivamente, com 2,10m, 2,15m, 2,27m, mas o valor máximo médio de altura significativa mensal atingida foi de 1,83 metros. E os maiores períodos médios, ocorrem nos meses de maio e julho, com o valor de 7,56 segundos.

**Tabela 05 – Valores extremos observados durante o período 1980-83 e 2005.**

<b>ANO</b>	<b>1980</b>	<b>1981</b>	<b>1982</b>	<b>1983</b>	<b>2005</b>
H max (m)	4.0	3.9	3.7	4.1	2.27
Hs (m)	2.17	2.26	2.12	1.88	1.83
Tz (s)	9.84	11.54	10.53	12.24	7.56
D° extremas	89-135	99-177	103-148	106-130	108-135

**Fontes: [www.tempo.cptec.inpe.br](http://www.tempo.cptec.inpe.br). (Acessado em 23/02/2005) e Soares Junior (2006).**

Segundo Medeiros *et al.* (1997), as áreas estuarinas dos sistemas Ipojuca/Merepe e Tatuoca/Massangana experimentam climas de ondas diferenciados, devido à presença de uma longa linha de arrecife que se estende desde o Cabo de Santo Agostinho até a Ponta do Cupe e separa aqueles ambientes da ação direta das ondas ao largo. Observações de curto período realizadas próximo ao Cabo de Santo Agostinho demonstraram que as ondas de superfície apresentam amplitude significativa de 0,6 m e período significativo de 4,4 s. Porém, no interior da Baía de Suape, inexistem registros de longa duração.

### 2.9.3 – VELOCIDADES DO VENTO

Dados estatísticos da área do Porto de Suape, relativos ao período de fevereiro/84 a janeiro/90, caracteriza como ventos dominantes o de direção SE No regime de inverno, a incidência maior de direção permanece a de SE, com velocidades médias elevando-se para a faixa de 5,0 a 6,1 m/s. No verão, a

predominância é caracterizada pelos ventos do quadrante E. As velocidades nestes quadrantes ficaram em torno de 5,2 m/s.

Os ventos alísios de sudeste e as brisas marinhas exercem grande influência nas condições climáticas da área, minimizando os efeitos térmicos advindos da insolação.

#### 2.9.4 – CONDIÇÕES HIDRODINÂMICAS

As correntes responsáveis pela sedimentação e pelas conseqüentes modificações morfológicas na zona costeira são: as de marés, as fluviais e as litorâneas.

Desde o início da construção do Porto de Suape em 1979, uma série de modificações foram efetuadas na área, com implicações diretas em sua hidrodinâmica local (Figuras 08 e 09). Entre elas destacamos a realização de aterro para implantação de terminais, a construção de molhes e píeres, a remoção de áreas de mangues, a abertura e rebaixamento no arrecife principal, a retificação de calhas de rios com abertura e dragagem de canais de navegação e a remoção de arrecifes submersos para aprofundamento da área externa.

Na Baía de Suape, observa-se uma predominância da corrente de deriva no sentido norte, com velocidade máxima da ordem de 0,50 m/s (setor externo da linha de *beachrocks*) e 0,8 m/s (no interior da bacia durante maré extremamente elevada) decrescendo para 0,1 m/s nas proximidades da praia. No setor interno a linha de recife, foram medidas as maiores correntes durante os estágios de marés enchentes e vazante. As correntes medidas tiveram intensidade de 0,07-0,8m/s durante o período de estiagem e entre 0,26 e 1,44 m/s durante o período chuvoso.

A circulação na área estuarina dos rios Massagana e Tatuoca atualmente é influenciada pelo fluxo e refluxo das marés. A abertura do *beachrocks* realizada no outro extremo da Baía, para dar acesso ao porto Interno, favoreceu a intrusão das águas marinhas dentro de toda área de estudo. Durante o período de estiagem, as correntes no baixo Massagana têm direção preferencial 65-260° Az e intensidade variável entre 0,14 e 0,54m/s. No baixo Tatuoca, as correntes estão preferencialmente direcionadas para a barra próxima ao Cabo de Santo Agostinho

durante a vazante, quando atingem velocidade de 0,8 m/s (Pires Advogados & Consultores, 2000).

Na região estudada as correntes de maré exercem uma substancial influência no modelamento costeiro, principalmente quando estão associadas ao período dos mais intensos ventos que sopram de SE, e às marés de sizígia. Esta associação produz intenso processo erosivo em toda a zona litorânea.

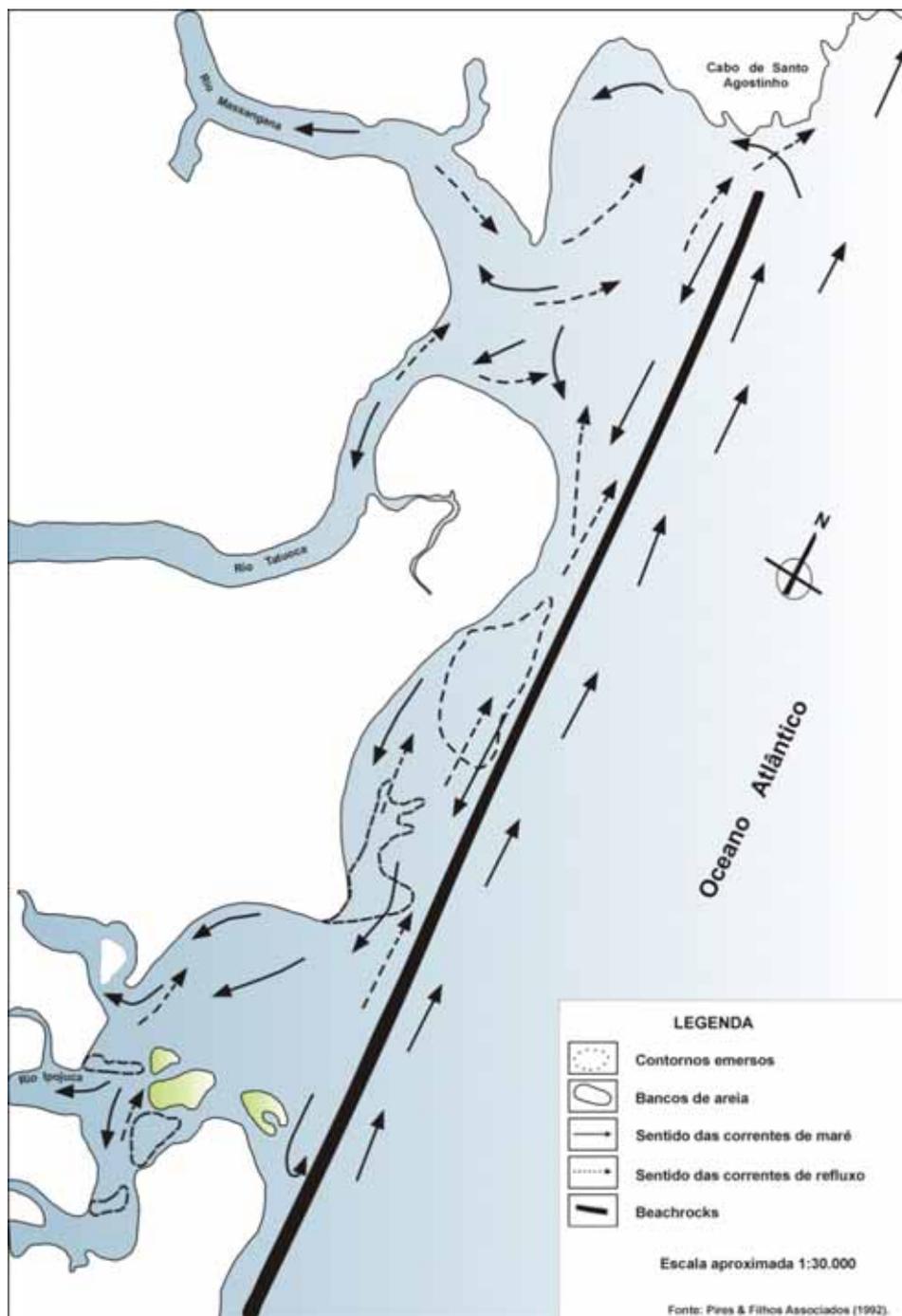


Figura 08 – Modelo de circulação da área estudada antes da construção do porto de Suape, modificado (2008). Fonte: Pires Advogados & Consultores (2000).

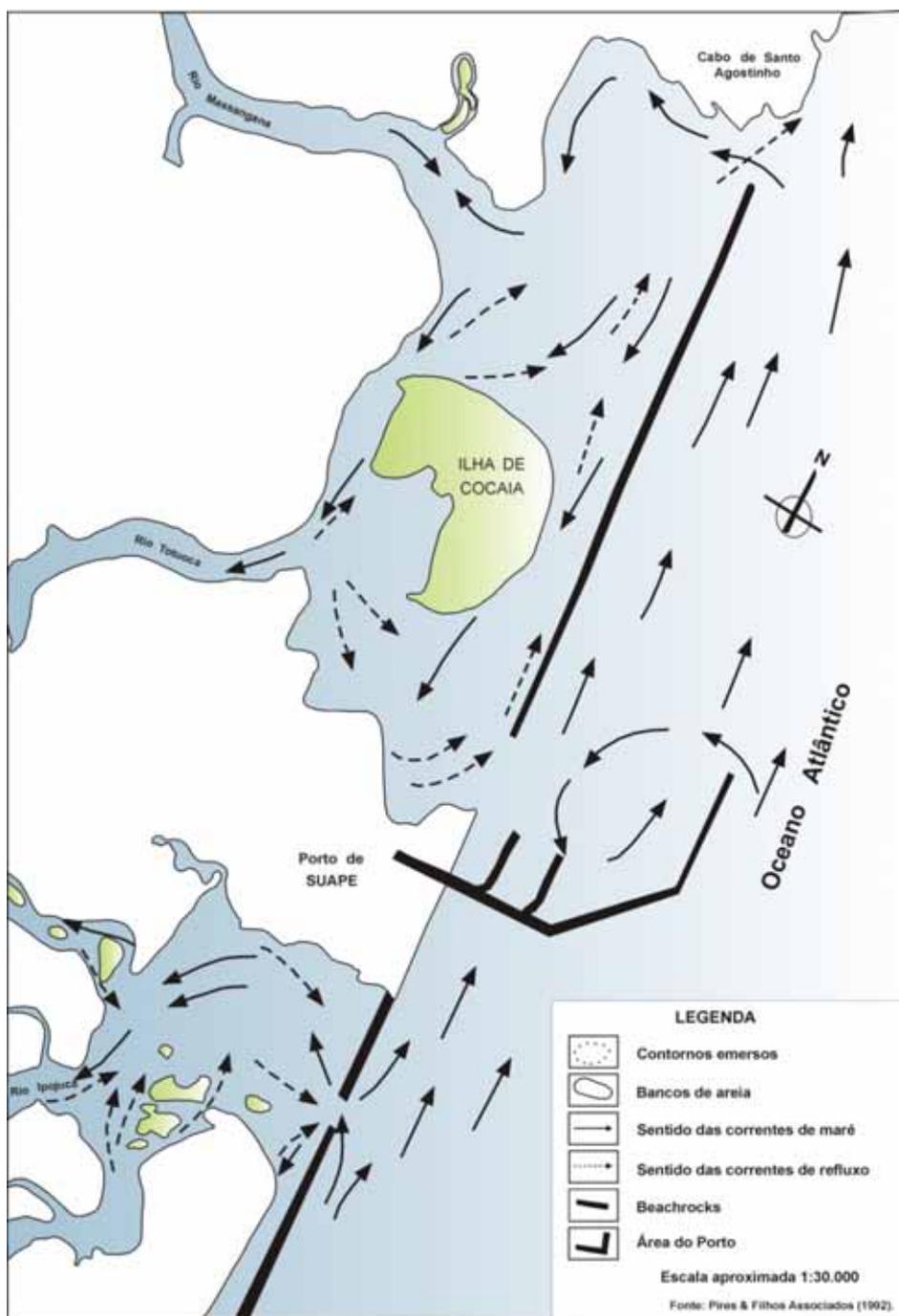


Figura 09 – Modelo de circulação da área estudada depois da construção do porto de Suape, modificado (2008). Fonte: Pires Advogados & Consultores (2000).

## **CAPÍTULO 3 – MATERIAIS E MÉTODOS**

Neste capítulo serão apresentados os métodos empregados de maneira detalhada e os principais materiais utilizados nesta tese.

Serão mostrados os subitens e subdivisões referentes à: Amostragem e Análises Sedimentológicas dos Sedimentos de Fundo, Difractometria de Raios – X, Batimetria, Parâmetros Físico-Químicos da Água, Coleta e Análise Sedimentológica e Geoquímica dos Testemunhos.

### **3.1 – AMOSTRAGEM E ANÁLISES SEDIMENTOLÓGICAS DOS SEDIMENTOS DE FUNDO**

#### **3.1.1 – AMOSTRAGEM E COLETA DOS SEDIMENTOS DE FUNDO**

O levantamento sedimentológico foi realizado durante três etapas de campo consecutivas em junho de 2006 na região interna de Suape: estuário do rio Massangana e seus tributários, estuário do rio Tatuoca e na Baía de Suape. A amostragem foi baseada em perfis transversais ao longo da área de estudo (Figura 10), utilizando um amostrador pontual de superfície do tipo *Van Veen* e posicionada através de um receptor de satélite (GPS modelo *Garmin 12*), onde foram coletadas 111 amostras de sedimentos superficiais de fundo (Foto 11).

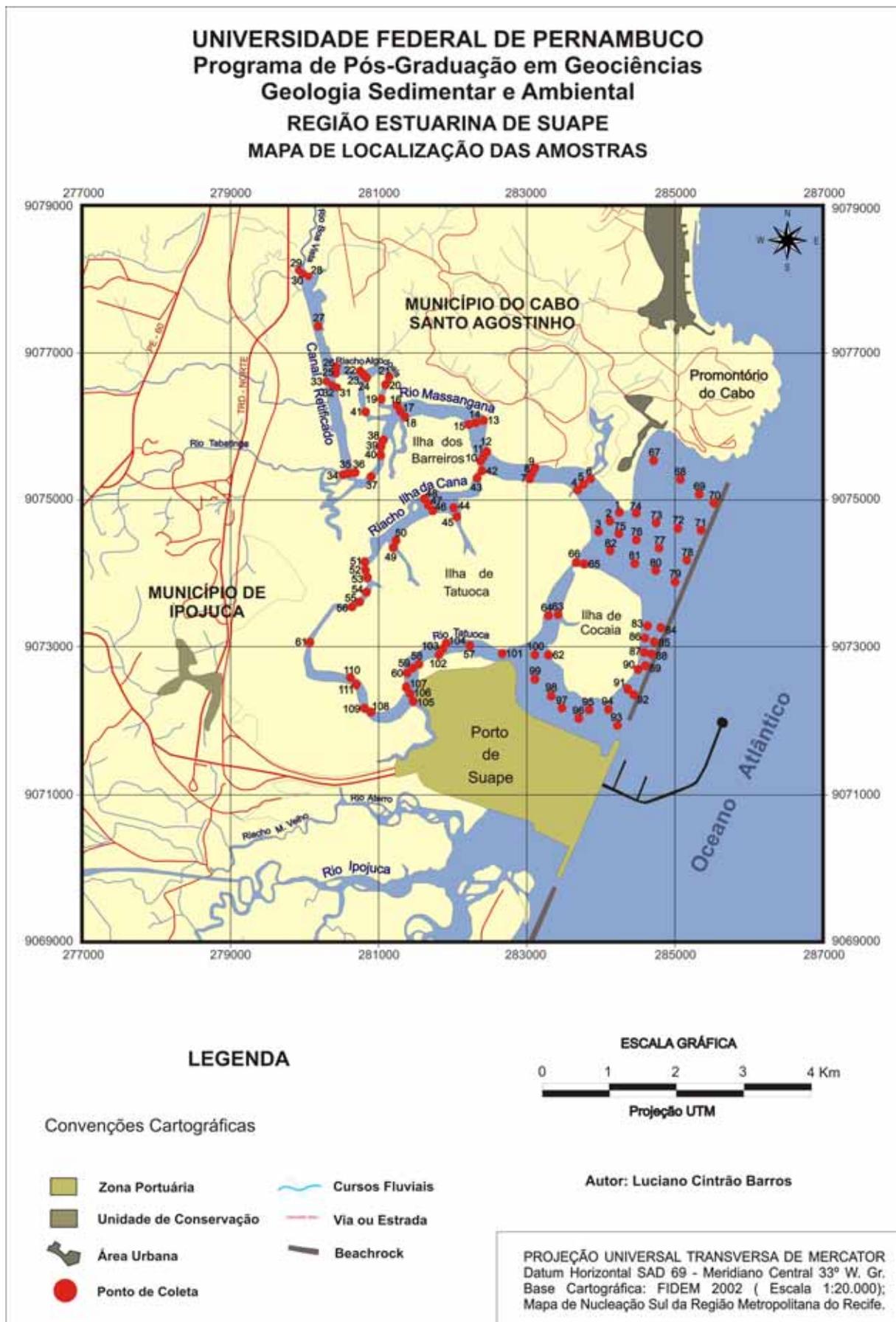


Figura 10 – Mapa de localização das amostras de sedimentos de fundo coletadas.



**Foto 11 – Coleta de sedimentos de fundo realizada no período de Junho de 2006.**

### 3.1.2 – ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

As amostras foram analisadas mecanicamente por peneiramento e técnicas de pipetagem no Laboratório de Sedimentologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (CECO/UFRGS) entre outubro a dezembro de 2006 (Figura 11).

Em laboratório, as amostras foram inicialmente lavadas com água comum (seis vezes) e realizado posteriormente um teste com água destilada e algumas gotas de nitrato de prata ( $\text{HgNO}_3$ ) para retirar o excesso de sal ( $\text{NaCl}$ ) no sedimento. Na próxima etapa são colocados na estufa em dois grupos separados, os materiais que possuem somente sedimentos grossos, a uma temperatura variando entre  $80^\circ$  a  $100^\circ$  e os materiais que contêm sedimentos grossos e finos ou apenas finos, colocados a uma temperatura em torno de  $60^\circ$ . Após a secagem, as amostras com finos (agregados) passam pelo almofariz e pistilo (desagregação preliminar). Depois de desagregadas, as amostras são quarteadas e posteriormente retiradas cerca de 20 a 40 gramas para a análise granulométrica. Após a pesagem inicial, realiza-se o peneiramento da amostra total com as peneiras de 2 mm e 0,062 mm, para separação de cascalho, areia e lama. Posteriormente são realizados peneiramento

da fração areia através de agitação manual com um conjunto de peneiras com intervalos de 1 phi. A separação de silte e argila são realizadas por pipetagem (Lei de Stokes) nas amostras com teores superiores a 5% de finos.

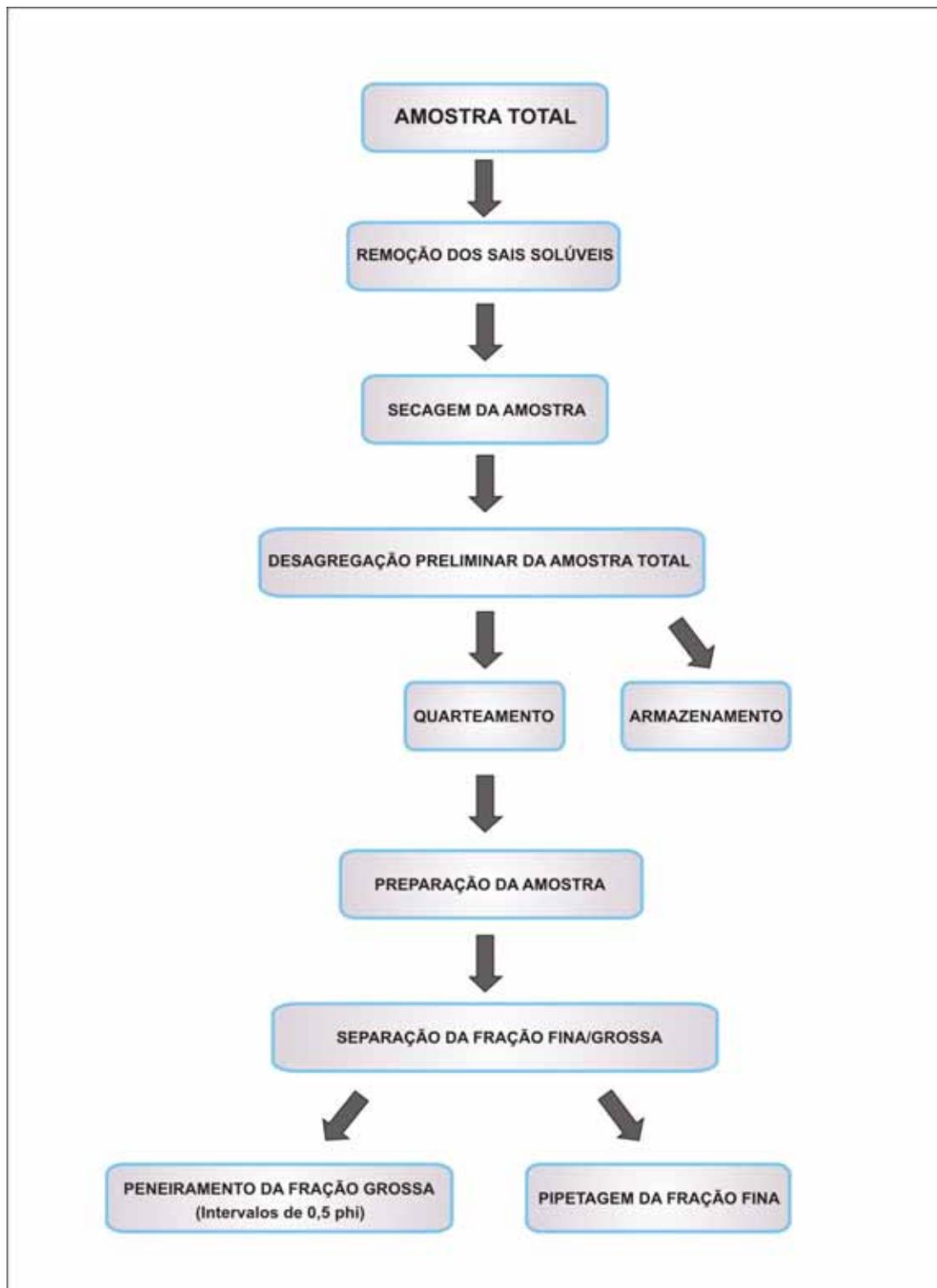


Figura 11 – Fluxograma de atividades laboratoriais referentes ao tratamento das amostras. Fonte: CECO/UFRGS.

### 3.1.3 – TRATAMENTO DOS DADOS

Os resultados obtidos nas fichas granulométricas foram processados pelo Programa de Análise Incompleta da Amostra – PANICOM (Toldo Jr. & Dorneles, 1991), que geram automaticamente a distribuição das frequências simples e acumulada fornecendo uma boa visualização das distribuições granulométricas dos sedimentos. O cálculo dos parâmetros estatísticos, segundo as fórmulas de *Folk & Ward (1957)* para interpretação das amostras foram realizados pelo programa *Sysgran 3.0* que auxiliou na confecção dos gráficos e na obtenção dos diagramas de *Shepard* e de *Pejrup* (Anexo 01). A interpolação dos dados estatísticos (média, desvio-padrão, curtose e assimetria) para a confecção dos mapas foi realizada pelo método *Krigagem linear*, que obtém uma matriz regular das informações levantadas, sendo o mais utilizado na área ambiental.

### 3.1.4 – APLICAÇÃO DO DIAGRAMA DE PEJRUP

Esse diagrama é utilizado na interpretação da sedimentação e da dinâmica de ambientes sedimentares. *Pejrup (1988)* utiliza o teor de argila presente nos sedimentos para delimitar as áreas de seu diagrama (Figura 12). Os sedimentos estuarinos com teores de argila maior que 80%, na fração lama, são pouco frequentes e caracterizam ambientes de baixa energia, este valor é utilizado para dividir um dos campos de seu diagrama. Por razão simétrica a linha que corresponde a 20% de argila, na fração lama, é utilizada para representar ambientes de energia mais elevada e, finalmente a linha de 50% de argila, na fração lama, é utilizada para dividir a seção média do diagrama em duas partes iguais. Desta maneira o diagrama proposto fica dividido em quatro seções. A seção I caracteriza ambientes com condições hidrodinâmicas muito baixas, enquanto que as seções II, III e IV, caracterizam ambientes com aumento gradativo da energia. A divisão do diagrama nas seções A, B, C e D é efetuada a partir do conteúdo de areia presente nos sedimentos. A linha de 10% de areia é escolhida por *Pejrup (1988)*, pelo motivo que tal conteúdo de areia em sedimentos lamosos é insignificante em termos de dinâmica ao passo que a linha de 90% de areia foi escolhida devido à perda do caráter coesivo por sedimentos com tais características. Finalmente a linha de 50% de areia foi escolhida para dividir o grupo central em duas partes iguais. Desta

maneira *Pejrup* (1988) divide o diagrama em 16 grupos, nomeados por letras que indicam o tipo de sedimento e por números que indicam as condições hidrodinâmicas reinantes durante a deposição (Corrêa, 2005).

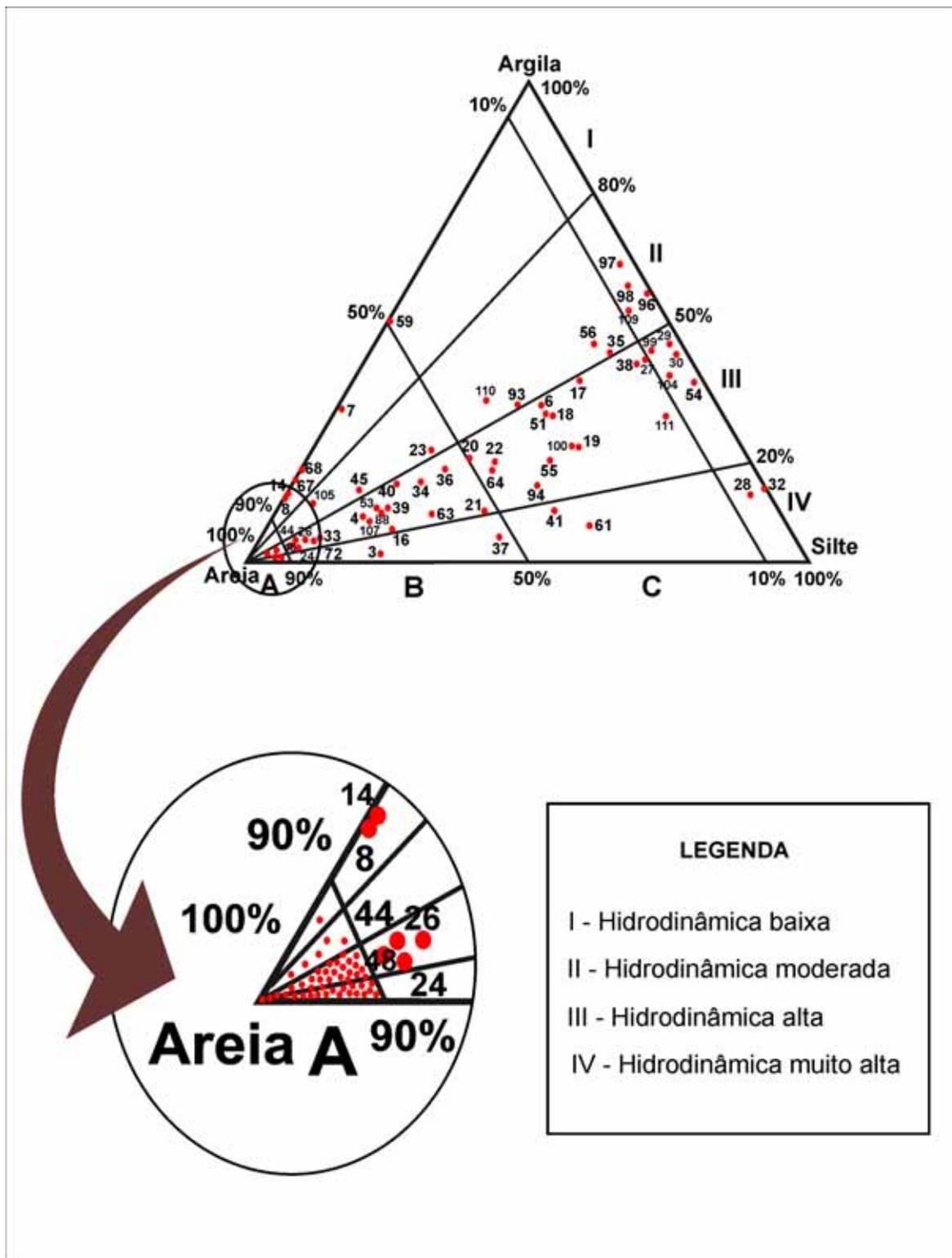


Figura 12 – Amostras plotadas no Diagrama triangular de *Pejrup* (1988).

### 3.1.5 – ANÁLISE MORFOSCÓPICA

Foram escolhidas 38 amostras ao longo da área de estudo (Figura 13) para a análise das propriedades morfoscópicas dos grãos (arredondamento, esfericidade e textura superficial). Este trabalho foi realizado com ajuda de uma lupa binocular sobre as frações de  $1\phi$  ( $\phi$ ) e  $2\phi$  ( $\phi$ ) e comparada com a tabela proposta por Krumbein & Sloss (1963) *in* Suguio (1973).

A textura superficial dos grãos de quartzo foi estudada segundo os critérios de Tricart & Cailleux (1969). Para determinação da composição foram estimados apenas a proporção de cada um dos grupos (minerais e bioclásticos) devido à pequena quantidade dos componentes bioclásticos presente nas amostras.

### 3.2 – DIFRATOMETRIA DE RAIOS – X

Para a caracterização mineralógica dos sedimentos por DRX utilizou-se amostras representativas de toda área de estudo, ou seja, três no estuário do rio Massangana, quatro no estuário do rio Tatuoca, três no Riacho Ilha da Cana e uma no Canal Retificado, no Riacho Algoduais e na Baía de Suape, respectivamente (Figura 14). A maioria destas amostras é oriunda da parte central dos canais estuarinos com predominância de lama.

As análises de DRX foram realizadas no Laboratório de Difratometria de Raios-X da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) através do método de Pó (*Debye-Scherrer*). Inicialmente a fração fina obtida da análise granulométrica foi seca, homogeneizada e moída abaixo de 230 mesh (63  $\mu$ m). Posteriormente 1g de cada amostra foi colocada em lâminas de vidro. Com as lâminas preparadas, foram realizadas as análises difratométricas no difratômetro marca Siemens modelo 5000, que dispõe do programa conhecido como EVA, com versão de 9.0 da Diffrac-AT, com velocidade de varredura  $1\phi/m$ , faixa de varredura de 2 a 50  $\phi$ , com procura automática de picos e suavização de curvas.

A técnica de difração de Raios-X (DRX) na qual um feixe de raios-X é incidido sobre a amostra, cujo impacto produz uma difração registrada em um

difratograma, que comparado com padrões pré-determinados possibilita a identificação qualitativa da composição dos minerais.

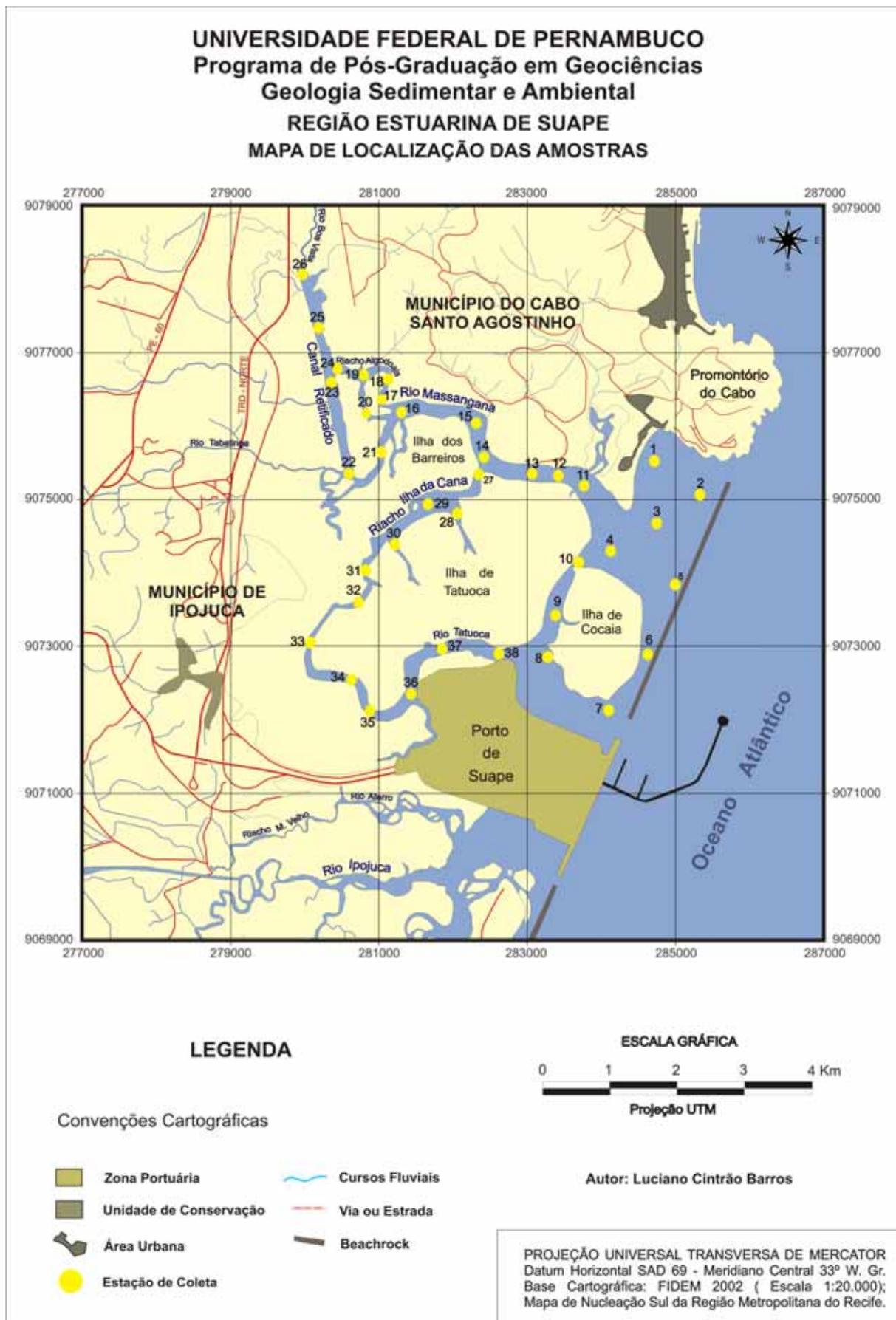


Figura 13 – Mapa de localização das amostras selecionadas para análise morfooscópica.

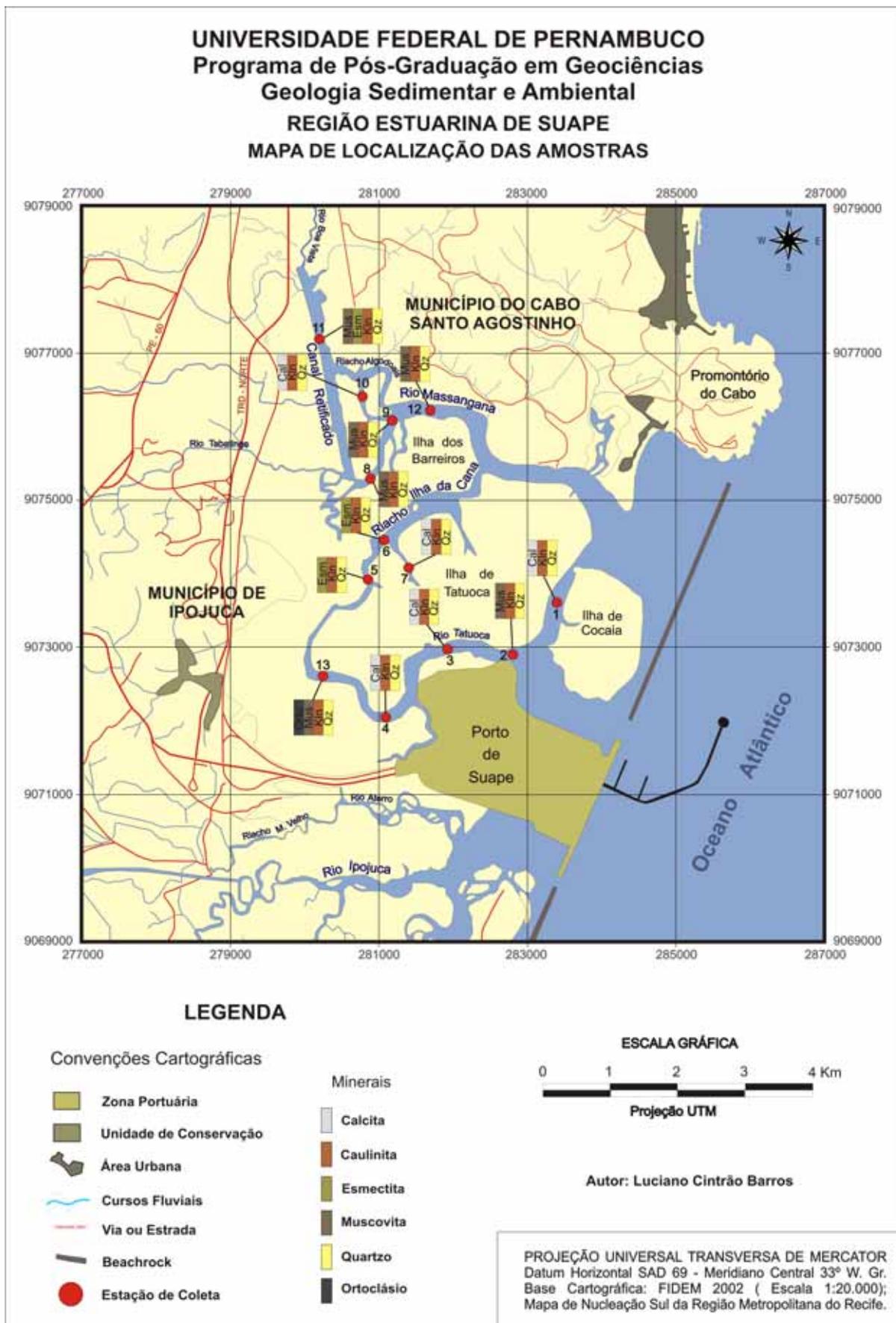


Figura 14 – Mapa de localização das amostras selecionadas para análise da difratometria de raios-X com os respectivos resultados da composição mineralógica.

### 3.3 – BATIMETRIA

#### 3.3.1 – LEVANTAMENTO BATIMÉTRICO

O levantamento batimétrico foi realizado na Baía de Suape, no estuário do rio Massangana e nos riachos da Ilha da Cana e Algodois e no Canal Retificado, no período de novembro de 2007, tendo como finalidade caracterizar com precisão, as cotas batimétricas e a morfologia de fundo da área estudada. Entretanto, não foi possível a realização da batimetria ao longo do estuário do rio Tatuoca em função do fechamento da sua desembocadura com a construção de um dique (Foto 12) e ao aterramento do canal interno, ponto de ligação entre o Riacho Ilha da Cana e o rio Tatuoca (Foto 13).



**Foto 12 – Vista geral do dique sendo construído na desembocadura do rio Tatuoca para dar acesso entre o Porto de Suape e a Ilha de Cocaia (Nov./2007).**



**Foto 13 – Vista parcial da estrada construída sobre o canal natural de acesso entre o rio Tatuoca e o Riacho Ilha da Cana, impedindo a circulação natural das águas (Jun./2006).**

Para o levantamento batimétrico foram realizados 450 perfis transversais e longitudinais ao longo da área estudada (Figura 15). O equipamento utilizado para coleta dos dados foi uma ecossonda com o sistema de posicionamento integrado *Garmim GPSMAP 185 Sounder*. Os dados da sonda foram adquiridos em tempo real, com intervalos de 2 segundos, gerando as posições (sistema geográfico) e as profundidades (metros) registradas através de um computador (notebook) conectado a sonda portátil.

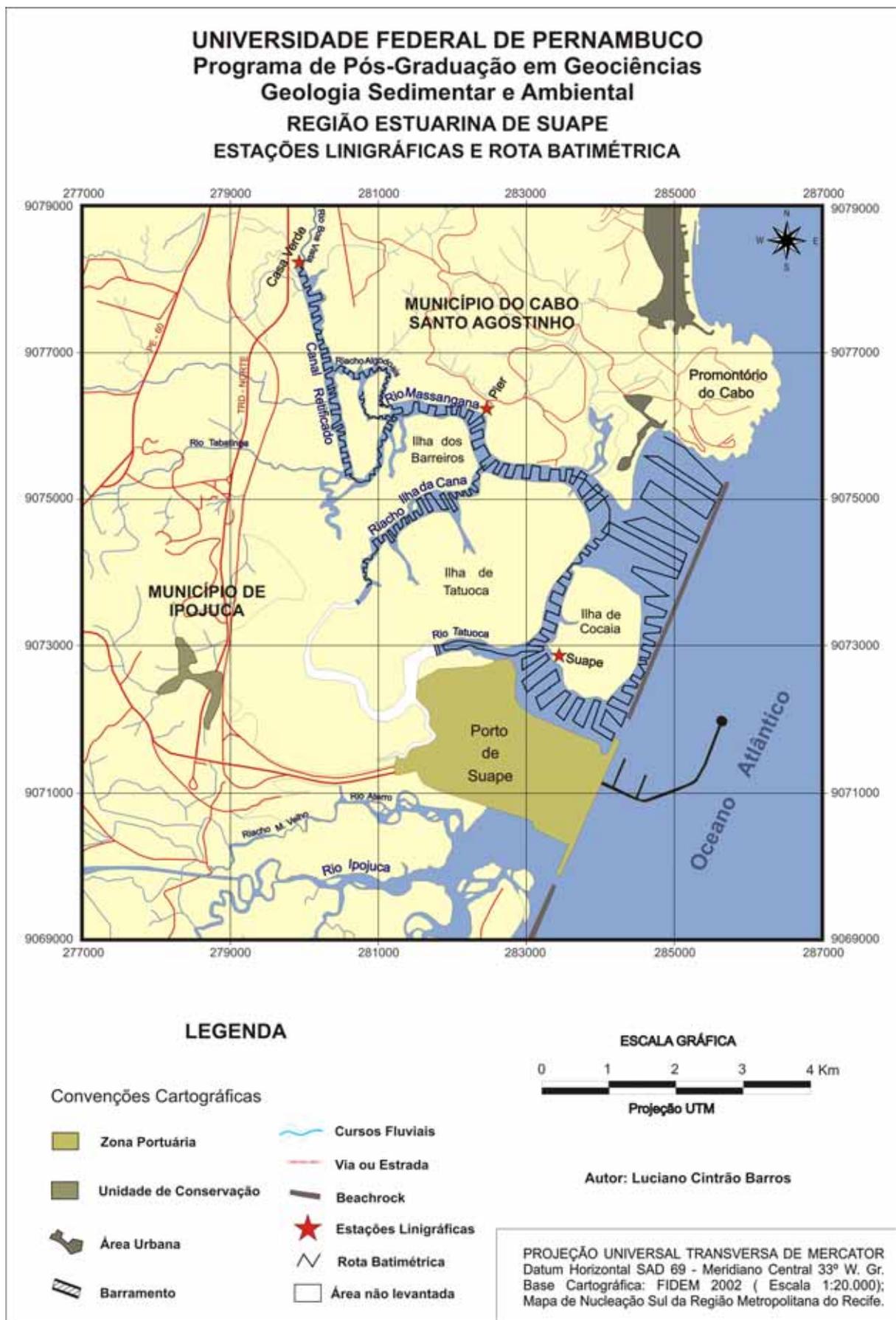


Figura 15 – Mapa com a localização das estações linigráficas e da rota batimétrica.

### 3.3.2 – TRATAMENTO DOS DADOS BATIMÉTRICOS

Os valores de profundidade foram corrigidos com base na tábua de maré do Porto de Suape, elaborada pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN, 2007), localizada nas proximidades da área de estudo. Posteriormente para uma maior precisão do trabalho foi medido o prisma de maré (diferença entre os volumes de água salgada na preamar e na baixa-mar) através da fixação de três estações linigráficas (Suape, Pier e Casa Verde) ao longo da área de estudo (Figura 16), com medições realizadas a cada 15 minutos durante o ciclo completo de maré (vazante/enchente). Em seguida efetuou-se a correção do nível de maré, tendo como base, os dados da tábua de maré do Porto de Suape e das estações linigráficas. Esses dados em seguida foram tratados em gabinete utilizando *softwares* específicos. Posteriormente foi realizada a interpolação dos pontos amostrados (*krigagem linear*), gerando uma malha retangular, que possibilitou a confecção do mapa batimétrico. Os perfis batimétricos foram confeccionados através do programa *grapher 4.0* que serviu de base para a visualização da morfologia de fundo.

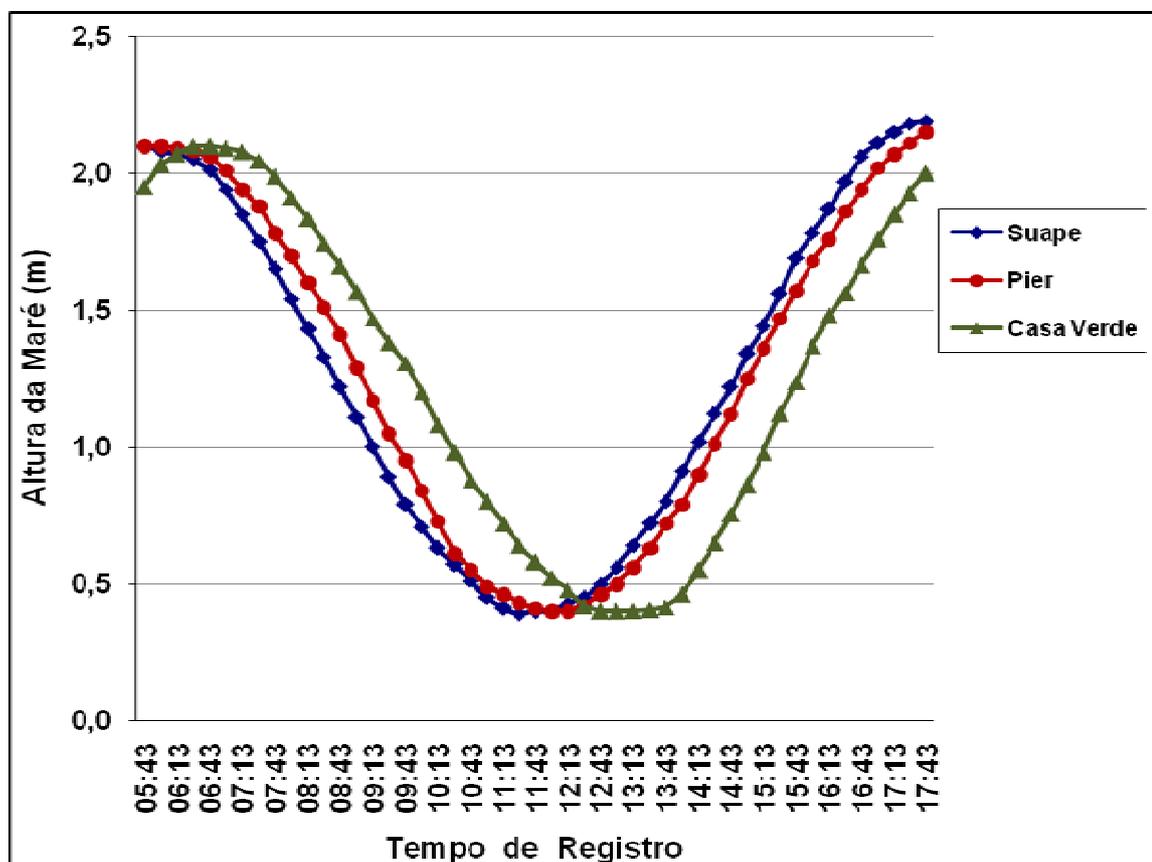


Figura 16 – Gráfico demonstrando o prisma de maré na área de estudo.

### 3.4 – PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA ÁGUA

Foram analisados diversos parâmetros físico-químicos da água (pH, Eh, temperatura, condutividade, resistividade e sólidos totais dissolvidos) em nove estações de amostragem (*in situ*) com auxílio de uma Sonda Multi-Parâmetro Portátil (Foto 14) no dia 18 de março de 2008 (Figura17). A coleta foi realizada conjuntamente com os testemunhos sedimentares. A data escolhida foi coincidentemente o terceiro dia mais chuvoso do mês de março, com aproximadamente 73 mm (Figura 18).



Foto 14 – Medição dos parâmetros físico-químicos da água (*in situ*) com a Sonda Multi-Parâmetro Portátil (Março/2008).

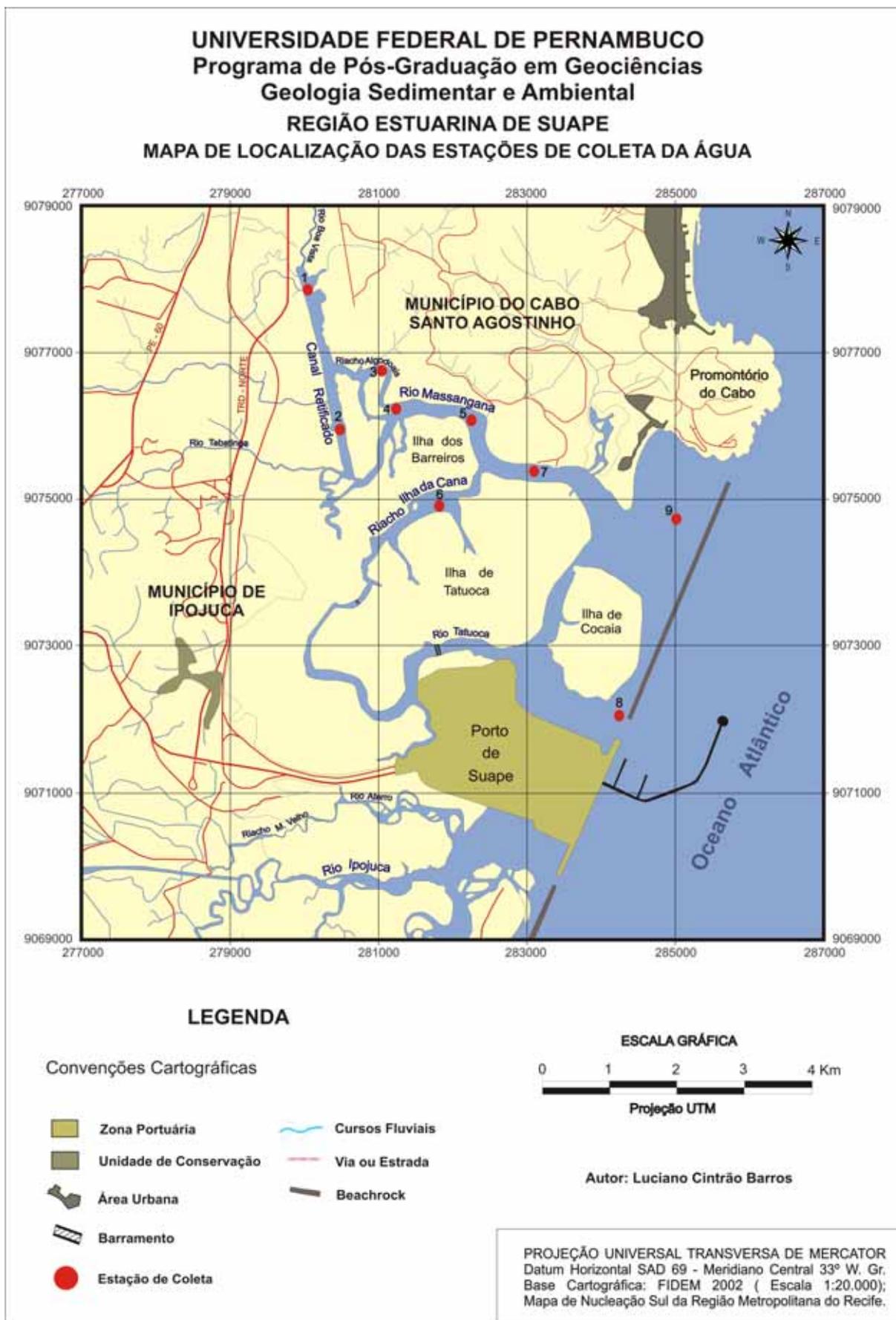


Figura 17 – Mapa de localização das estações de medição dos parâmetros físico-químicos da água.

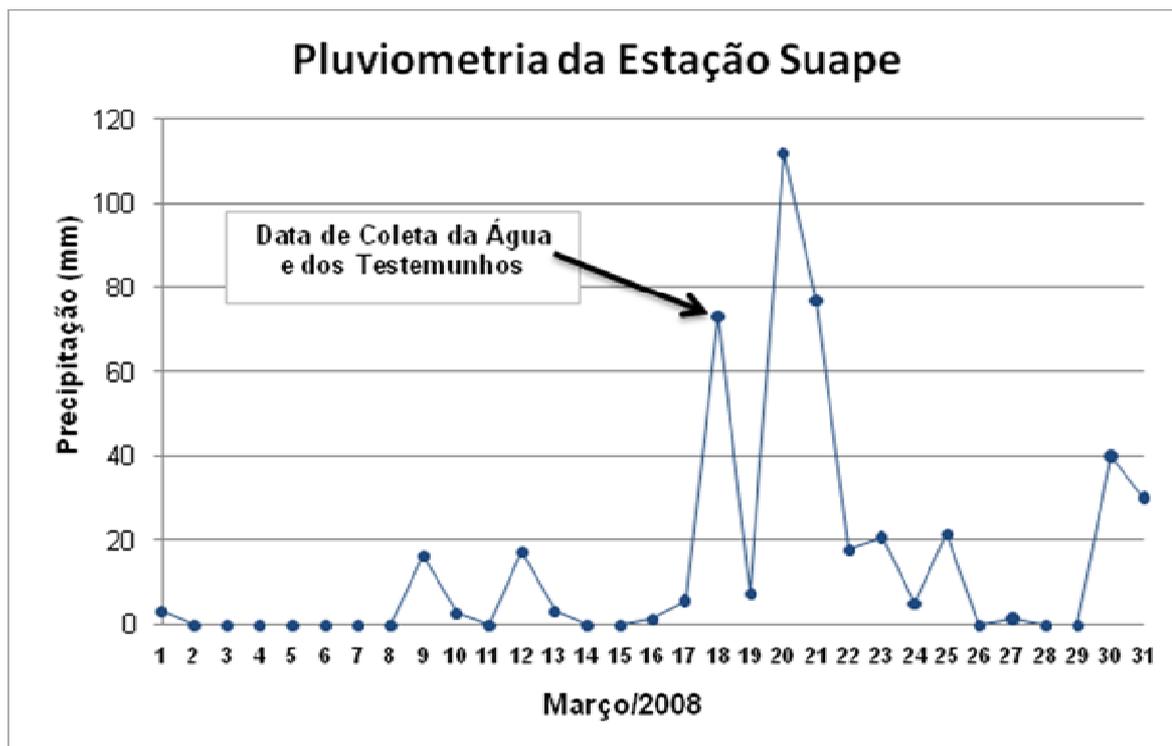


Figura 18 – Precipitação diária registrada na Estação Suape. Fonte: LAMEPE (2009).

### 3.5 – COLETA E ANÁLISE SEDIMENTOLÓGICA E GEOQUÍMICA DOS TESTEMUNHOS

#### 3.5.1 – TESTEMUNHAGEM

A amostragem dos testemunhos foi realizada em março de 2008 com auxílio de um testemunhador (cerca de 1 metro de profundidade e em tubo de PVC; Honorato, 2002) em cinco estações, distribuídos ao longo do canal retificado, rio Massangana e riacho Ilha da Cana (Foto 15). Em cada estação de amostragem foram retirados 2 testemunhos, sendo um para estudos sedimentológicos e outro para análises geoquímicas (Fe, Mn, Al, Cu, Pb, Co, Zn, Cd, Cr, Ni e Hg) (Tabela 06). Estas estações estão estrategicamente dispostas de modo a registrar o aporte dos principais tributários da região estudada (Figura 19).



Foto 15 – Testemunhos coletados ao longo da área de estudo (Março/2008).

Tabela 06 – Testemunhos de sedimento de fundo coletados na área de estudo.

Estação	Local	PROFUNDIDADE AMOSTRADA	
		Sedimentologia	Geoquímica
1	Canal Retificado	52,5 cm	36 cm
2	Canal Retificado	45 cm	48 cm
3	Rio Massangana	46 cm	39 cm
4	Riacho Ilha da Cana	36 cm	***
5	Riacho Ilha da Cana	20 cm	33 cm

( \*\*\*) Não recuperado.

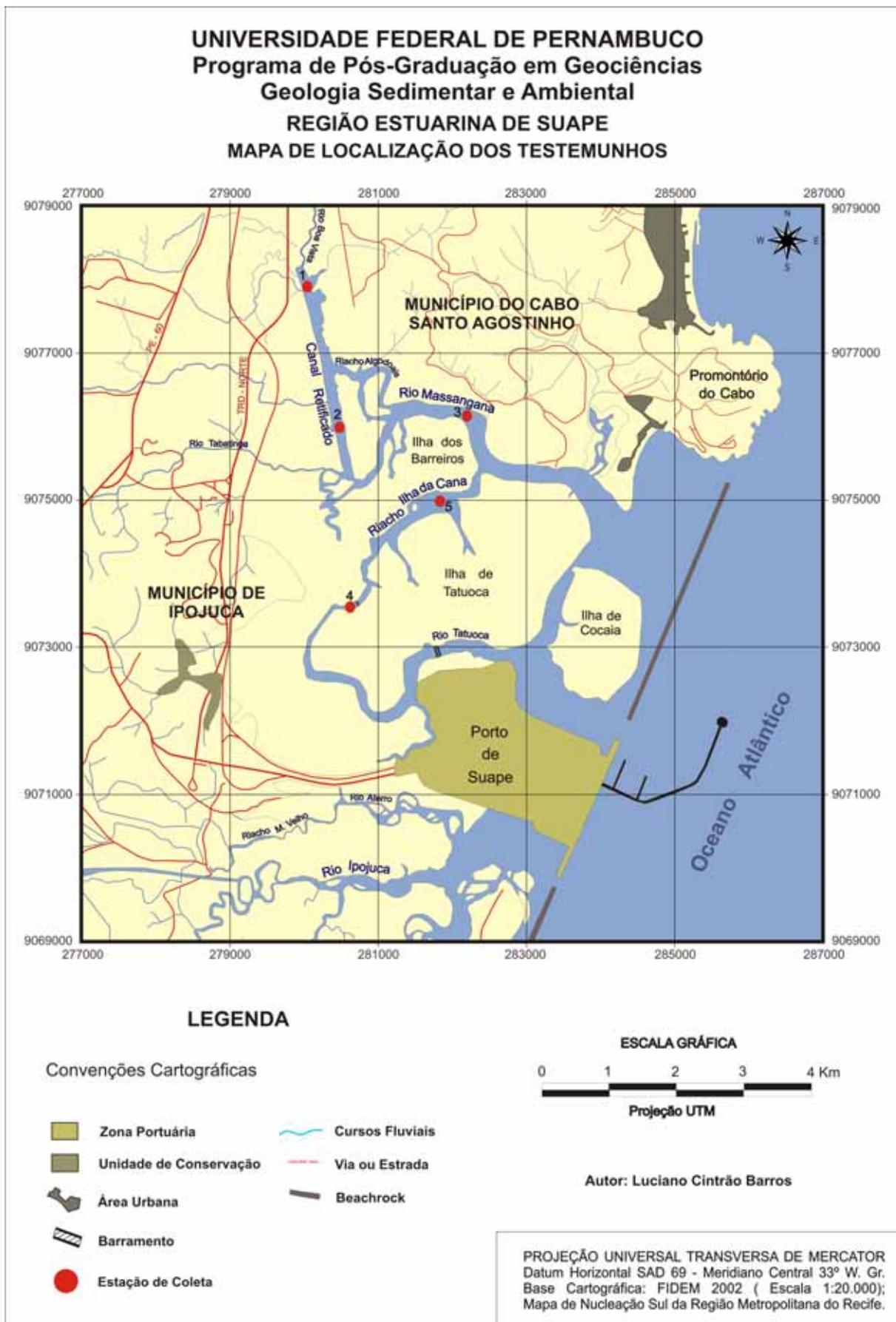


Figura 19 – Mapa de localização dos testemunhos coletados.

### 3.5.2 – ANÁLISES SEDIMENTOLÓGICAS

Após a coleta na área de estudo, os testemunhos foram congelados para preservação das suas características físico-químicas. Em laboratório, foram descongelados, medidos, seccionados, fotografados e descritos, sendo observadas variações granulométricas, cor, utilizando o Rock Color Chart (Goddard *et al.*, 1948), estruturas primárias e/ou biogênicas, grau de bioturbação e natureza dos contatos entre as principais fácies sedimentares.

#### 3.5.2.1 – Análise granulométrica

Dos cinco testemunhos coletados apenas o testemunho 5 foi utilizado para análise granulométrica em função do seu conteúdo predominantemente arenoso. As amostras P-5/1 e P-5/2 oriundas deste testemunho foram tratadas no Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha (LGGM).

As frações areia e cascalho obtidas pelo peneiramento úmido foram postas a secar na estufa a uma temperatura de 60° C. O peso das duas frações (cascalho + areia) subtraído dos 100g iniciais representa a quantidade da fração lama (silte + argila).

Posteriormente a fração areia foi colocada em um jogo de peneiras com aberturas de: 1,00mm, 0,500mm, 0,250mm, e 0,125mm, e um fundo onde são retidas as partículas do tamanho entre 0,125mm e 0,063mm. As amostras de areia foram agitadas em *rot-up* (agitador de peneiras), durante 10 minutos. As partículas retidas correspondem às frações areia muito grossa (acima de 1,00mm), areia grossa (entre 1,00mm e 0,500mm), areia média (entre 0,500mm e 0,250mm), areia fina (entre 0,250mm e 0,125mm) e areia muito fina (entre 0,125mm e 0,063mm). Com as frações areias separadas, pesou-se cada fração, as quais foram acondicionadas em sacos plásticos e devidamente identificadas.

Os dados resultantes das análises granulométricas foram convertidos em informações numéricas ou gráficas que caracterizam as amostras analisadas e servem para descrições texturais, comparações entre amostras, desenvolvimento ou teste de comportamento dos sedimentos durante o transporte e deposição, interpretação das condições de gênese para o mapeamento das variações das características sedimentológicas (Ponzi, 1995). Os pesos de cada classe textural foram utilizados para o cálculo dos parâmetros estatísticos utilizados segundo Folk e

Ward (1957). Para tal foi utilizado o programa *Anased 5.0* (Lima, 1999) que fornece os valores do diâmetro médio, desvio padrão, curtose e assimetria para cada amostra. A obtenção das frações granulométricas permitiu a classificação das amostras segundo o diagrama de Shepard (1954).

#### 3.5.2.2 – Morfoscopia

A análise morfoscóptica foi realizada com ajuda de uma lupa binocular sobre as frações areia (de 2mm a 0,062mm) das amostras P-5/1 e P-5/2.

#### 3.5.2.3 – Difratometria de raios-X

Para esta análise utilizou-se as amostras da fração fina nos testemunhos 1, 2, 3 e 5. As análises foram também realizadas no departamento de Física de Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), em um equipamento Siemens modelo D5000 como descritos anteriormente.

### 3.5.3 – ANÁLISES GEOQUÍMICAS DE METAIS

Apenas quatro testemunhos foram utilizados para análise geoquímica, tendo em vista que a estação quatro não possuía condições favoráveis para coleta, por se tratar de uma área próxima a aterramentos. Os pontos coletados foram previamente conhecidos, preferencialmente em locais com maior proporção relativa de lama, onde tendem a ocorrer as concentrações de metais pesados. Após a coleta do material, o mesmo foi imediatamente congelado ( $-20^{\circ}\text{C}$ ), com a finalidade de preservar-se sua estrutura interna e evitar atividades biológicas que altere a composição química da amostra. A etapa seguinte foi seccionamento dos testemunhos a cada 3 cm e secagem a temperatura ambiente. Posteriormente, as amostras foram desagregadas e homogeneizadas. A última etapa foi o peneiramento para obtenção dos sedimentos finos ( $<0,063\text{mm}$ ), ou seja, a fração que concentra a maior parte dos metais pesados encontrados nos sedimentos.

### 3.5.3.1 – Extração de Metais Pesados

Para a determinação dos metais Cr, Cd, Co, Pb, Ni, Zn, Mn, Cu, Hg, Al e Fe utilizou-se a técnica de extração parcial com ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$  1:1) em forno microondas (Marca Provecto, modelo DGT 100 plus) segundo a metodologia D 5258-92 do Standard Pratic for Acid - Extraction of Elements from Sediments Using Closed Vessel Microwave Heating (ASTM, 1992).

O método consiste em pesar 1,0g de sedimento (peso seco), diretamente na camisa de teflon, adicionar 10mL de  $\text{HNO}_3$  1:1 e 10 ml de água deionizada. Todas as amostras foram analisadas em duplicata para cada estação, além da utilização da prova em branco e do padrão de referência internacional “STSD-4” (*Stream Sediment Sample*). Após a extração, as amostras foram passadas em filtro quantitativo (0,80 $\mu\text{m}$ ), avolumados em balão volumétrico de 50 ml e armazenadas em frascos plásticos de 100 ml para posterior determinação das concentrações de metais. Para o processo de abertura das amostras, o controle de qualidade foi satisfatório, pois atingiu de 80-117% de recuperação dos teores em relação ao padrão de referência STSD-4 (Tabela 07) para todos os metais Mn, Fe, Al, Cu, Co, Zn, Ni, Cd, Pb e Cr, Hg das amostras.

**Tabela 07 – Abertura de amostras em padrão de material certificado de sedimento em forno microondas. Fe em % e os demais metais em  $\text{mg.kg}^{-1}$**

<b>Elemento</b>	<b>Padrão STSD-4 * Valor Certificado</b>	<b>Padrão (média do valor encontrado)</b>	<b>Recuperação %</b>
<b>Mn</b>	1200	1413,15	117,8
<b>Fe</b>	2,6	2,4	91,7
<b>Cu</b>	66	52,2	79,1
<b>Zn</b>	82	68,7	83,8
<b>Ni</b>	23	20,6	89,6
<b>Cd</b>	0,6	0,7	109,2
<b>Pb</b>	13	12,7	98,0
<b>Cr</b>	30	28,9	96,2

As concentrações dos metais foram determinadas por Espectrometria de Absorção Atômica com chama (EAA-Chama), usando-se um espectrômetro da marca VARIAN, modelo AA 220FS e corretor de fundo com lâmpada de deutério. As condições de operação do aparelho estão citadas na Tabela 08. O limite de detecção ( $LD_m$ ) foi definido com a média aritmética (MA) de análise de triplicatas dos brancos, mais três vezes o desvio padrão (DP) dessas replicatas, vezes o volume ( $V_{ml}$ ) e dividido pela massa ( $M_g$ ) conforme fórmula:

$$LD_m = \frac{MA + DP \times 3 \times V_{ml}}{M_g} \text{ (Melo Júnior, 1997)}$$

**Tabela 08 – Condições de operação do Espectrômetro de Absorção Atômica (EAA), utilizadas para a determinação de metais em sedimento.**

<b>Elemento</b>	<b><math>\lambda</math> (nm)</b>	<b>Oxidante / Combustível</b>	<b>Limite de Detecção (<math>mg.kg^{-1}</math>)</b>
<b>Al</b>	309,3	N <sub>2</sub> O/acetileno	0,10
<b>Mn</b>	279,5	ar/acetileno	0,13
<b>Fe</b>	372,0	ar/acetileno	0,03
<b>Cu</b>	324,8	ar/acetileno	0,35
<b>Zn</b>	213,9	ar/acetileno	0,47
<b>Ni</b>	232,0	ar/acetileno	0,19
<b>Cd</b>	228,8	ar/acetileno	0,14
<b>Pb</b>	217,0	ar/acetileno	0,18
<b>Cr</b>	357,9	ar/acetileno	0,45
<b>Co</b>	240,7	ar/acetileno	0,20
<b>Hg</b>	253,7	Gerador hidreto	0,025

### 3.5.3.2 – Concentração de Carbonatos Totais e Matéria Orgânica

Para obtenção das concentrações de matéria orgânica e de carbonatos totais nas amostras dos testemunhos foi utilizado o método de perda ao fogo descrito por Kralik (1999). Os 4 testemunhos foram fatiados a cada 3 cm, totalizando 49 amostras. Posteriormente cada amostra foi homogeneizada e retirada um 1,0 g de cada amostra. As amostras foram em seguida colocadas em cadinhos de porcelana previamente pesados. Na primeira etapa, as amostras foram levadas a estufa a 100° C por aproximadamente 16 horas para obtenção do peso seco. Na segunda etapa foram levados a mufla por 2 horas a uma temperatura a 360°C. Posteriormente foram levadas para o dessecador para resfriamento, evitando assim a acumulação de umidade. Os cadinhos foram novamente pesados e a diferença de peso obtido foi considerado igual à perda da quantidade de matéria orgânica calcinada.

Após a obtenção da concentração de matéria orgânica, os cadinhos contendo as amostras retornaram novamente para a mufla, alcançando desta vez a temperatura de 1.000°C por uma hora. Posteriormente obteve-se a diferença de peso entre 360° e 1.000°C, encontrando-se assim a quantidade de carbonatos totais perdido na amostra.

## CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 – SEDIMENTOLOGIA

A determinação das propriedades físicas dos sedimentos é fundamental para estudar os depósitos sedimentares e a dinâmica sedimentar que os originou. No entanto, a propriedade mais importante dos sedimentos é a dimensão das partículas que os compõem, pois permite deduzir indicações preciosas, tais como: proveniência, transporte e ambientes deposicionais.

#### 4.1.1 – DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA

Através da análise granulométrica por peneiramento seco de todas as amostras, obteve-se as seguintes frações: cascalho, areia e lama (Anexo 02).

Foi observado o predomínio da fração arenosa sobre as demais (cascalho e lama), indicando um ambiente com elevadas condições hidrodinâmica.

##### 4.1.1.1 – Fração Cascalho

Corresponde a fração grossa, ou seja, com granulometria superior a 2 mm, com pouca distribuição e representatividade na área estudada, apresentando proporções que variaram entre 0,1% a 50,4%. Esta fração é constituída basicamente por sedimentos bioclásticos, tais como *Halimeda*, conchas, moluscos e subordinadamente por grãos de quartzo. Com relação à sua distribuição espacial, observa-se que os teores de cascalho são muito baixos (inferiores a 10%). Os teores entre 10 e 20% estão localizados nos setores médio e superior do estuário do rio Massangana (Figura 20).

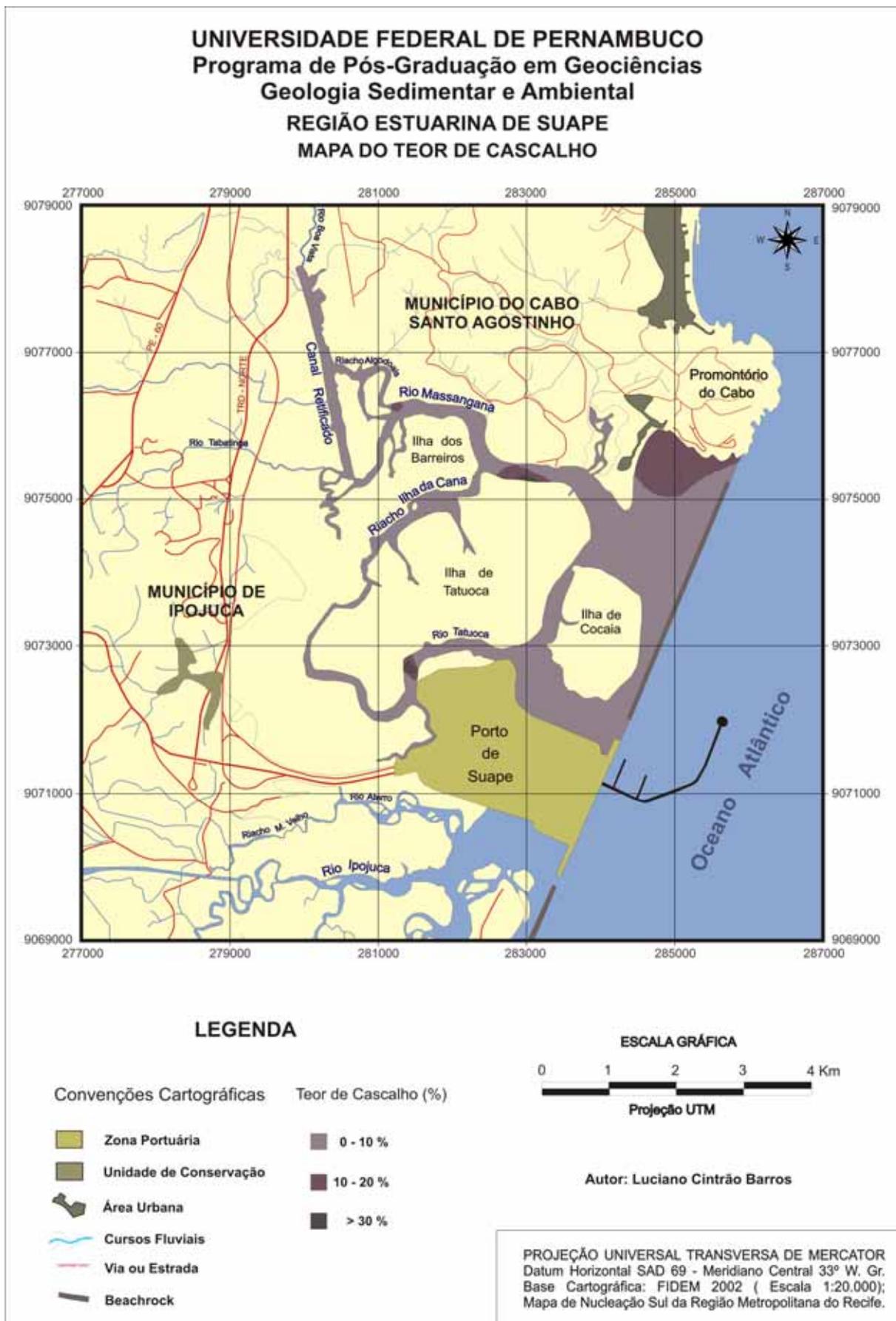


Figura 20 – Mapa de distribuição dos teores de cascalho na área estudada.

Teores acima de 20% são pouco representativos, ocorrendo apenas nos setores médio do estuário do rio Massangana e Tatuoca e ao norte da Baía de Suape. Esses valores mais significativos mencionados acima estão possivelmente relacionados a zonas de despejo de conchas pelos pescadores locais, não caracterizando assim uma deposição natural de sedimentos estuarinos.

#### 4.1.1.2 – Fração Areia

Esta fração é predominante em toda área estudada (Figura 21). Das amostras analisadas, todas apresentam teores de areia em suas frações, com valores que variaram de 1,1% a 100%. Esta fração é constituída principalmente por grãos de quartzo e subordinadamente por sedimentos bioclásticos.

A maioria das amostras possui percentuais de areia superiores a 80% e estão localizados principalmente na Baía de Suape com exceção da região nas proximidades do porto de Suape onde os teores são inferiores a 45%.

Os valores percentuais de 60 a 80% distribuem-se de maneira pontual na Baía de Suape, nos setores inferior, médio e superior do estuário do rio Massangana, nos setores médio e inferior do estuário do rio Tatuoca e no riacho Ilha da Cana.

Os valores percentuais de 40 a 60% são encontrados na confluência do estuário do rio Massangana com o riacho Algoduais e o Canal Retificado, e pontualmente no estuário do rio Tatuoca, riacho Ilha da Cana e nas proximidades da Ilha de Cocaia.

Os valores entre 20 a 40% estão distribuídos nas confluências do estuário do rio Massangana com o riacho Algoduais e estuário do rio Tatuoca com o riacho Ilha da Cana, e pontualmente no setor inferior do Massangana e nas proximidades da Ilha de Cocaia.

Os valores abaixo de 20% estão localizados principalmente nas proximidades do Porto de Suape, no estuário do rio Tatuoca e sua confluência com o riacho Ilha da Cana e também no canal retificado.

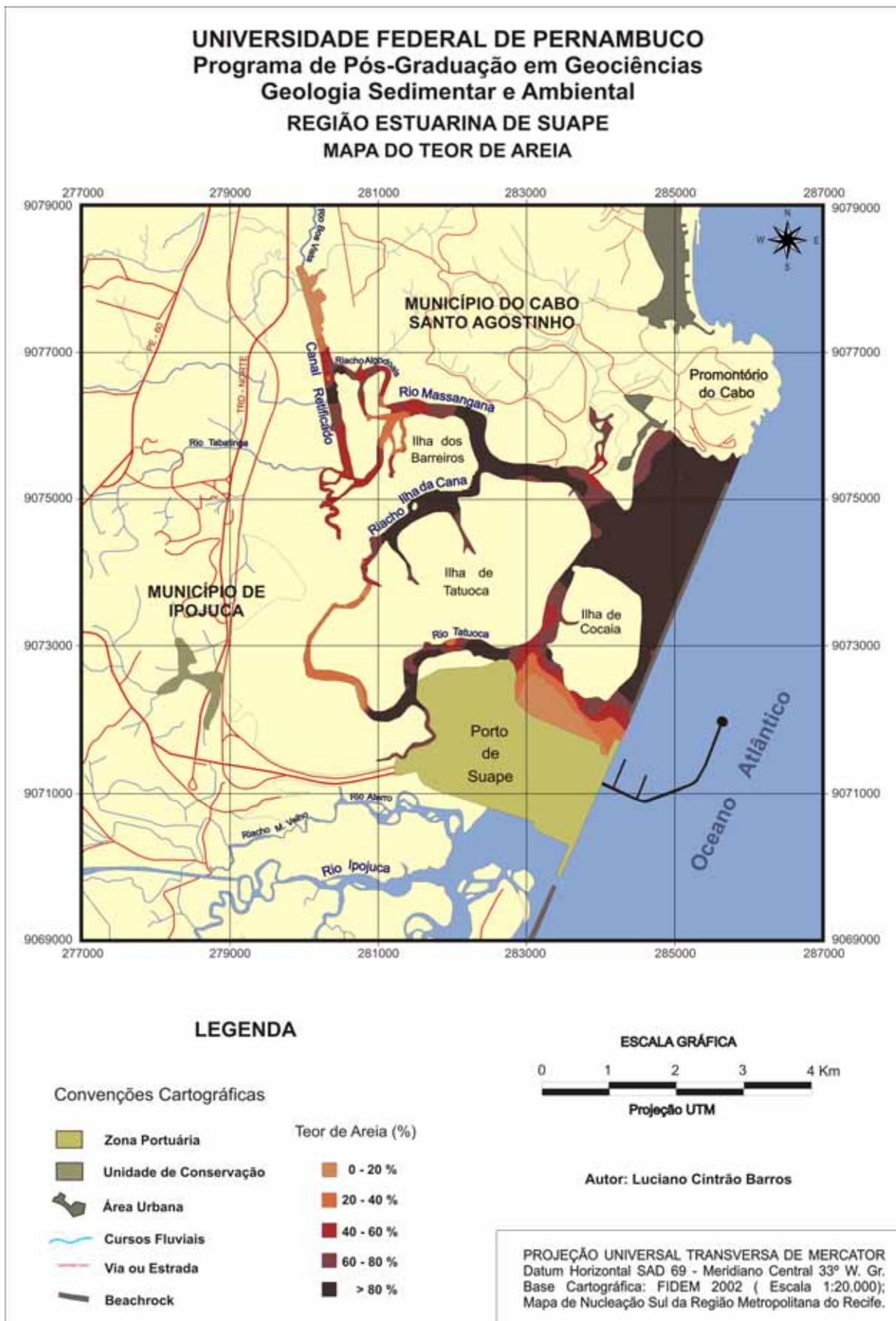


Figura 21 – Mapa de distribuição dos teores de areia na área estudada.

#### 4.1.1.3 – Fração Lama

Fazem parte desse grupo os sedimentos muito finos, ou seja, com granulometria inferior a 0,062mm. Observa-se que os teores de lama são muito diversificados. Os teores percentuais abaixo de 10% de lama predominam na área estudada, distribuídos principalmente na Baía de Suape até as imediações da Ilha de Cocaia, no setor médio do estuário do rio Massangana, na maior parte do riacho da Ilha da Cana e também em diversos trechos do estuário do rio Tatuoca (Figura 22).

Os teores percentuais entre 10 a 30% de lama distribuem-se predominantemente no setor inferior e superior do estuário do rio Massangana, em diversos trechos do estuário do rio Tatuoca e riacho Ilha da Cana, no riacho Algoduais, no setor médio do Canal retificado e nas imediações da Ilha de Cocaia.

Os teores percentuais entre 30 a 50% possuem pouca representatividade, distribuindo-se principalmente no setor superior estuário do rio Massangana, no riacho Algoduais, ao sul do canal retificado e também nas imediações da Ilha de Cocaia.

Os maiores teores percentuais de lama (acima de 50%), são encontrados principalmente no setor superior do estuário do rio Massangana e sua confluência com o riacho Algoduais, na maior parte do canal retificado, na confluência do estuário do rio Tatuoca com o riacho da Ilha da Cana e nas proximidades do Porto de Suape.

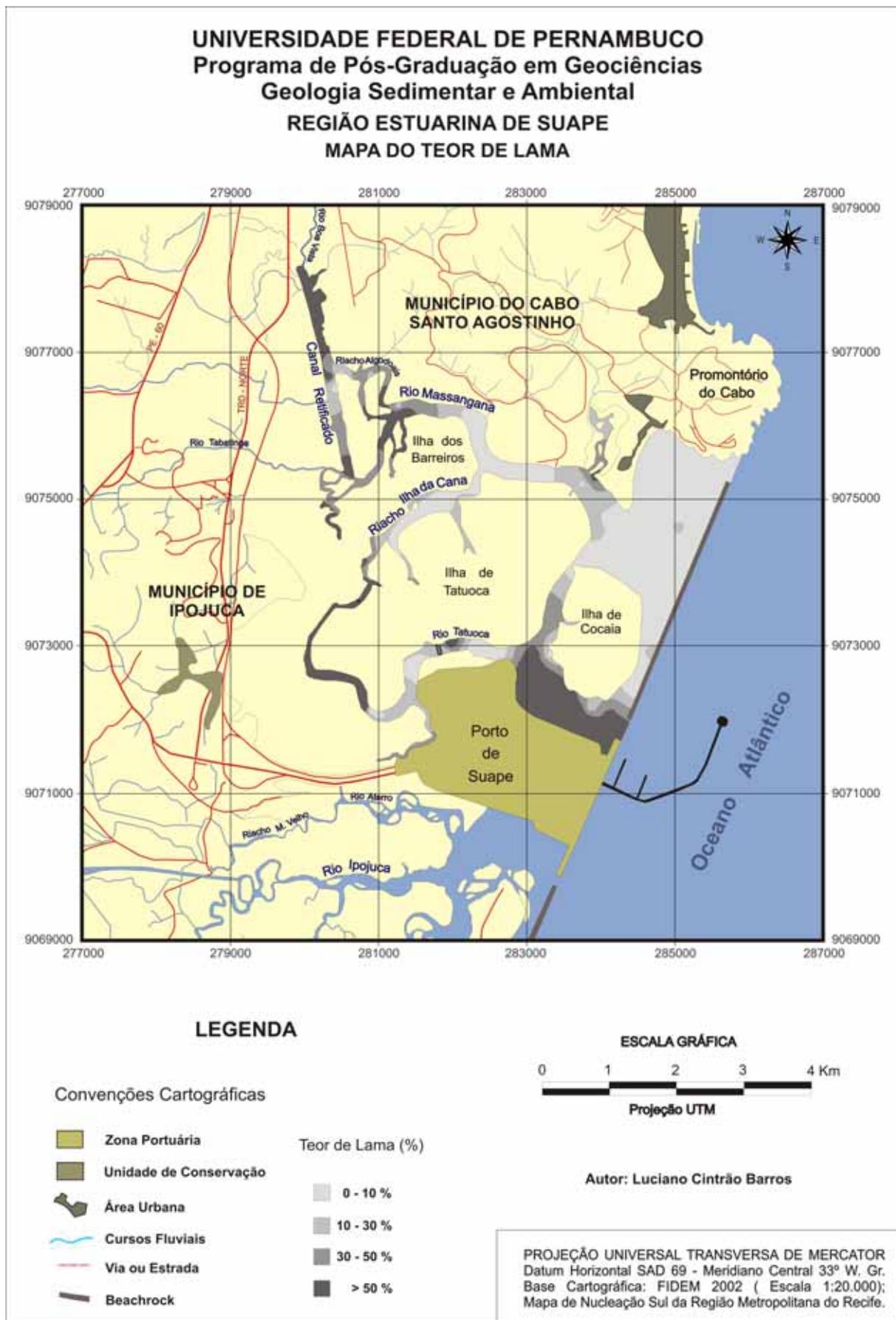


Figura 22 – Mapa de distribuição dos teores de lama na área estudada.

#### 4.1.2 – DISTRIBUIÇÃO DE FÁCIES SEDIMENTARES

Através dos valores percentuais das classes texturais mais representativas plotados no diagrama triangular de Shepard (1954), obteve-se a presença de seis fácies sedimentares predominantes: areia, areia cascalhosa, areia lamosa, lama, lama arenosa e cascalho arenoso (Figura 23).

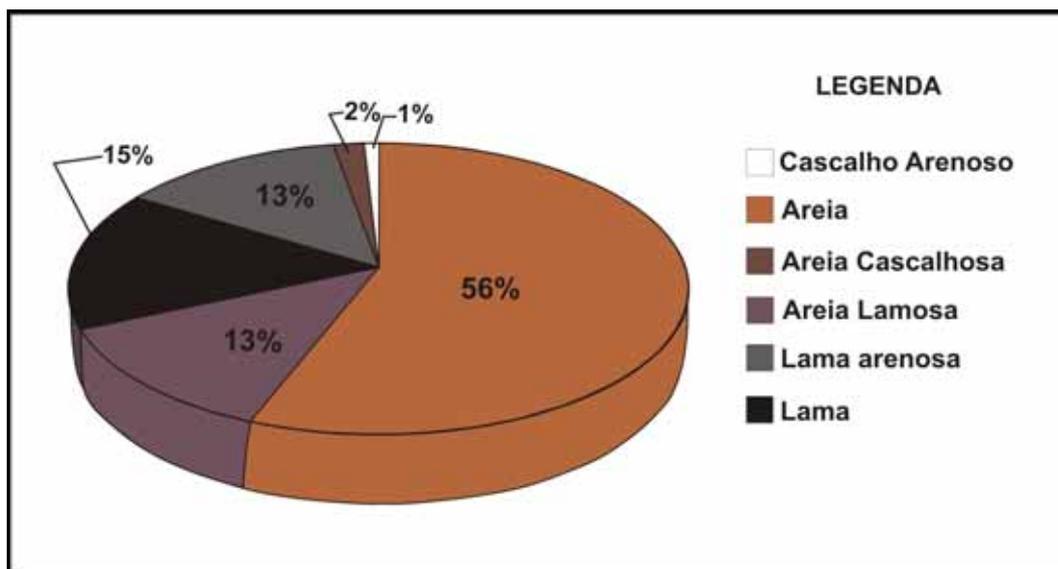


Figura 23 – Valores percentuais das classes texturais nas amostras.

A quantificação das fácies texturais realizada através de interpolação, revelou o predomínio das fácies areia, areia cascalhosa e areia lamosa com aproximadamente 72% da área total com 5.307.312,4 m<sup>2</sup>, nos indicando uma elevada energia hidrodinâmica em todos os estuários analisados. Enquanto as fácies lama e lama arenosa obtiveram apenas 28% da área de estudo com 2.074.150,8 m<sup>2</sup>. Já a fácies cascalho arenoso representou apenas 0,2%, com aproximadamente 12.361 m<sup>2</sup> de área, considerado insignificante para a presente pesquisa (Tabela 09 e Figura 24).

Tabela 09 – Valores relativos das fácies sedimentares encontradas na área de estudo em Área (m<sup>2</sup>), Hectare (ha) e Percentagem (%).

FÁCIES	Área (m <sup>2</sup> )	Hectare (ha)	Percentagem (%)
Cascalho Arenoso	12.361,0	1,2	0,2%
Areia	4.859.997,0	486,0	65,7%
Areia Cascalhosa	57.984,9	5,8	0,8%
Areia Lamosa	389.330,5	38,9	5,3%
Lama Arenosa	979.649,8	98,0	13,2%
Lama	1.094.501,0	109,5	14,8%
Total	7.393.824,31	739,4	100%

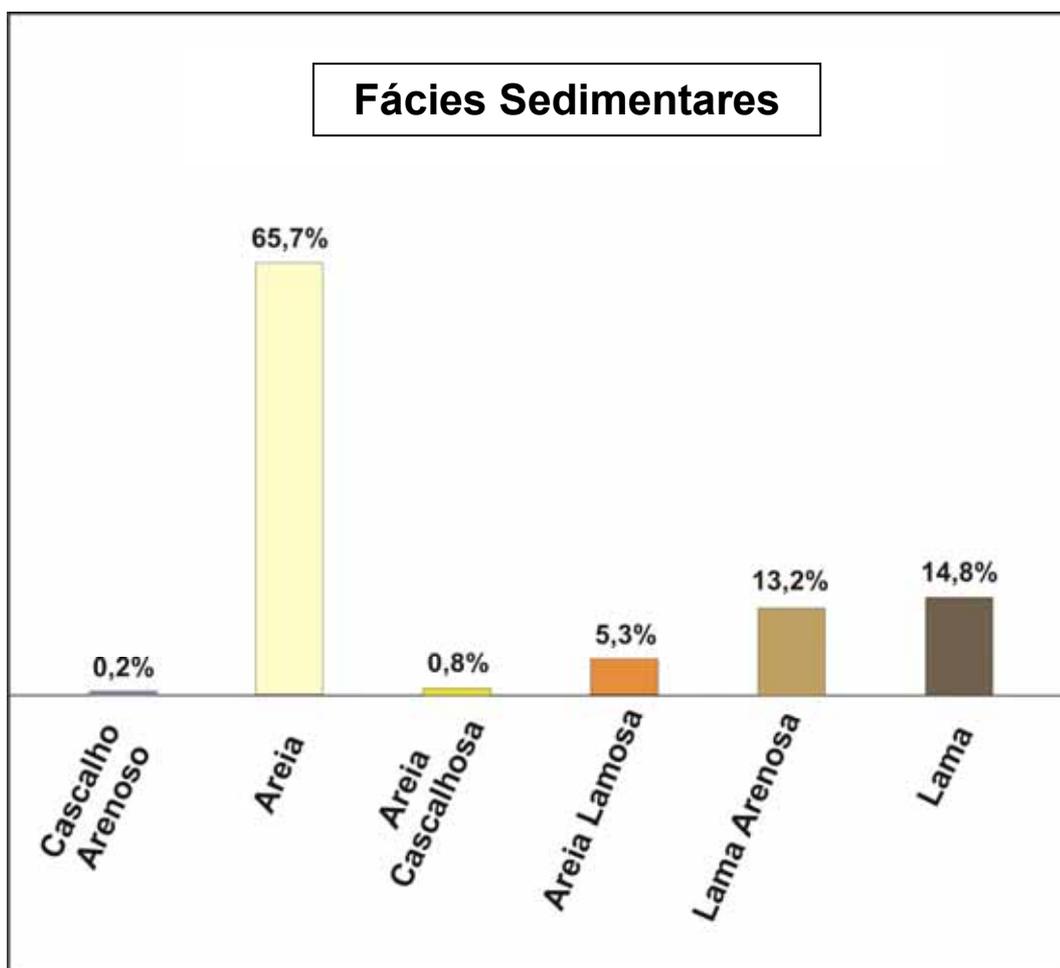


Figura 24 – Distribuição percentual das áreas de fácies sedimentares encontradas nas regiões estuarinas estudadas.

A distribuição dos sedimentos superficiais resultou no mapa de fácies sedimentares da região interna do Porto de Suape (Figura 25), que demonstrou claramente que as fácies sedimentares estão dispostas segundo a hidrodinâmica e a profundidade local. Na medida em que nos afastamos da Baía de Suape e da desembocadura dos estuários do rio Massangana e Tatuoca, a intensidade das correntes de maré diminui conseqüentemente, começam a depositar sedimentos finos associados ou não com outras classes sedimentares. Nas porções média e distal dos estuários, verifica-se uma maior mistura de classes texturais, podendo está associada a valores intermediários de correntes hidrodinâmicas.

A presença da fácies lamosa nas proximidades do porto de Suape é uma questão particular, pois esta diretamente relacionada com as constantes dragagens efetuadas na região, retirando principalmente o substrato arenoso, deixando depositar o material mais fino adjacente oriundo dos manguezais ali existentes.

#### 4.1.2.1 – Fácies Areia

A fácies areia predomina com aproximadamente 66% área estudada, compreendendo 56% das amostras. Distribui-se principalmente no setor norte da Baía de Suape, na maior parte dos estuários do rio Massangana, Tatuoca e riacho da Ilha da Cana e na confluência do riacho Algodoads e canal retificado (Figura 25). Sua área total compreendeu aproximadamente da região de Suape.

#### 4.1.2.2 – Fácies Areia Cascalhosa

A fácies areia cascalhosa possui pouca representatividade, com apenas 0.8% da área estudada e 2% das amostras analisadas. Ocorre pontualmente nos setores médio e superior do estuário do rio Massangana (Figura 25).

#### 4.1.2.3 – Fácies – Areia Lamosa

A fácies areia lamosa esta presente em apenas 5,3% da área estudada, representando 13% das amostras, distribuindo-se na confluência do estuário do rio Massangana com o canal retificado e localmente em diversos trechos da área de estudo (Figura 25).

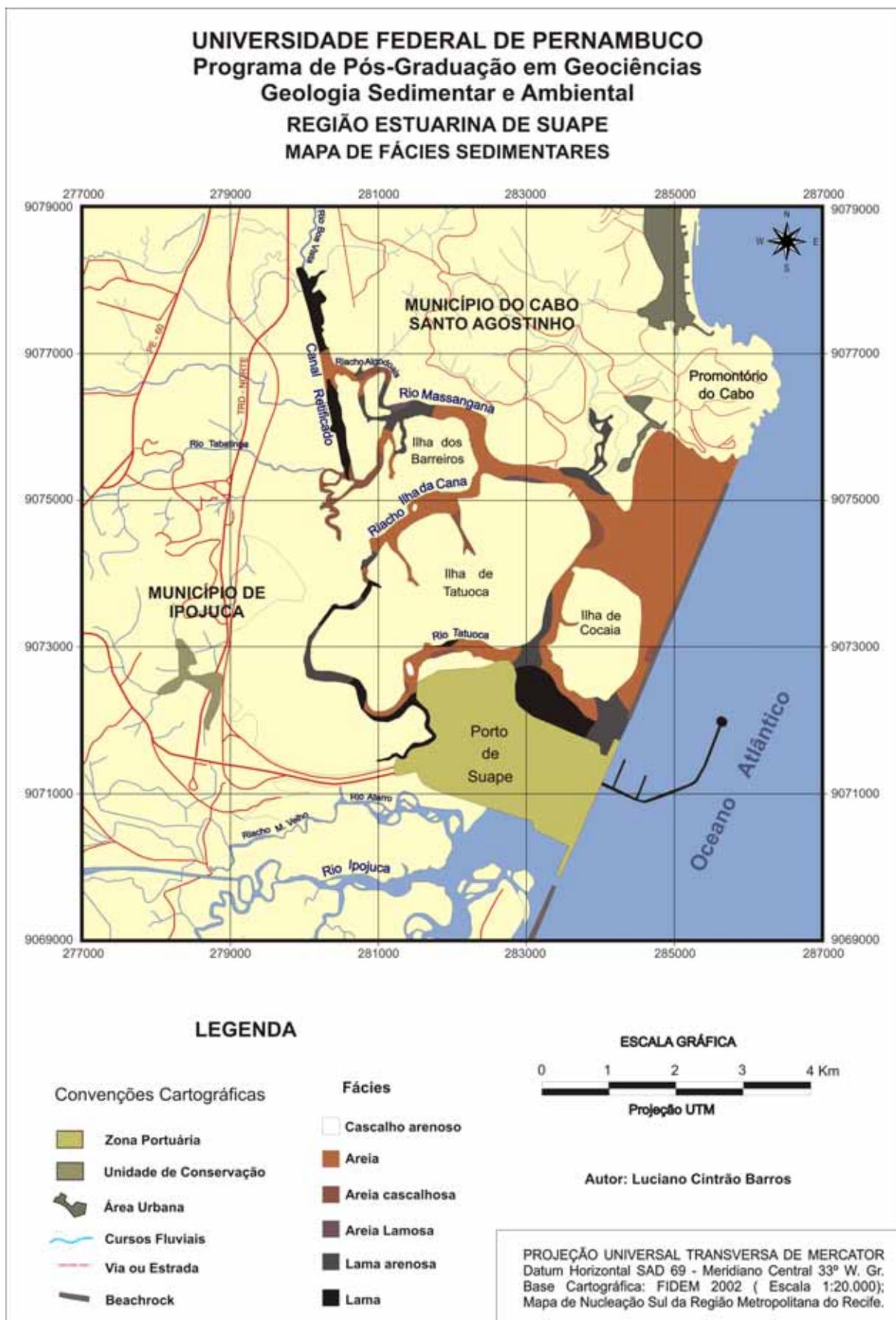


Figura 25 – Mapa de distribuição das fácies sedimentares na área estudada.

#### 4.1.2.4 – Fácies Lama

A fácies lama predomina em 15% da área de estudo e das amostras analisadas, distribuindo-se nas imediações do Porto de Suape, em trechos do rio Tatuoca e Riacho da Ilha da Cana e também na maior parte do canal retificado. São constituídos predominantemente pela fração silte (Figura 25).

#### 4.1.2.5 – Fácies Lama Arenosa

A fácies lama arenosa predomina com aproximadamente 13% da área total estudada quanto das amostras analisadas, localizando-se principalmente nas confluências do estuário do rio Massangana com o riacho algodoais e do estuário do rio Tatuoca com o Riacho Ilha da Cana. São encontradas também nas imediações da Ilha de Cocaia (Figura 25).

#### 4.1.2.6 – Cascalho Arenoso

A fácies cascalho arenoso possui pouca representatividade na área estudada com aproximadamente 0,2% da área estudada e somente 1% do total das amostras. Distribuí-se no setor médio do estuário do rio Tatuoca (Figura 25).

### 4.1.3 – PARÂMETROS ESTATÍSTICOS

#### 4.1.3.1 – Diâmetro Médio

O mais significativo parâmetro estatístico em sedimentologia é certamente o diâmetro médio. No que se refere à geologia, esse parâmetro revela a média do tamanho dos grãos dos sedimentos que estão correlacionados com a fonte de suprimento de material, processo de deposição e velocidade da corrente.

Os percentuais do diâmetro médio nas amostras coletadas indicaram a existência de nove classes texturais distintas na área, que variaram desde areia grossa a argila grossa. Os valores percentuais de areia média a grossa predominaram, compreendendo 50% das amostras, enquanto que os menores índices foram de silte médio e argila grossa com aproximadamente 3% individualmente (Figura 26).

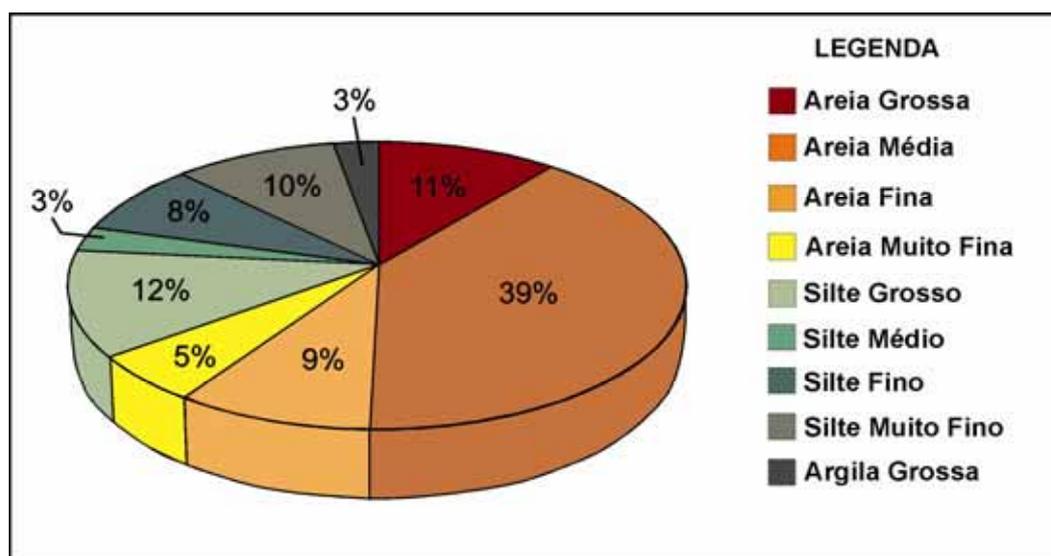


Figura 26 – Valores percentuais do diâmetro médio nas amostras.  
Fonte: Wentworth (1922).

Com relação ao mapa de distribuição na região interna de Suape, observou-se que as frações de areia grossa estão localizadas na entrada da Baía de Suape, em frente ao promontório do Cabo de Santo Agostinho, estando relacionado à hidrodinâmica mais intensa principalmente pela ação de ondas e associada à fragmentação do substrato recifal. Foi encontrada também uma quantidade considerável na porção média do rio Massangana estando em parte relacionados à presença de bioclásticos. Verificou-se também uma distribuição pontual em outros locais dentro da Baía de Suape e no riacho Ilha da Cana (Figura 27).

As areias médias predominam ao norte da Baía de Suape até as imediações da Ilha de Cocaia. São encontrados também em proporções variadas no estuário do rio Massangana (Figura 27).

As areias finas a muito finas ocorrem na parte sul da Baía de Suape, nas proximidades da Ilha de Cocaia principalmente na região abrigada onde verifica-se a presença de vegetação de mangue. Encontram-se ainda distribuídas ao longo dos estuários dos rios Massangana e Tatuoca, no riacho Ilha da Cana e pontualmente no canal retificado (Figura 27).

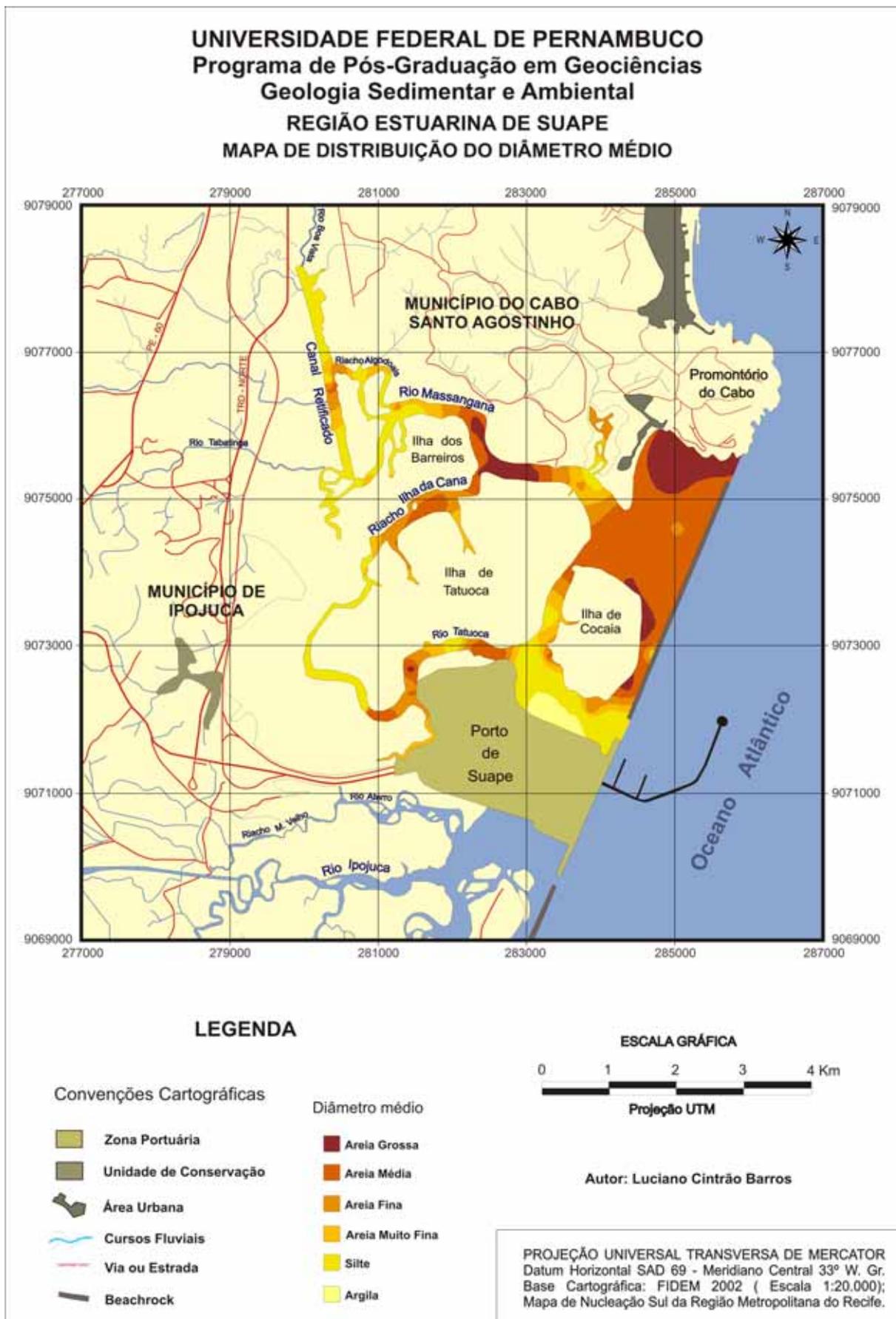


Figura 27 – Mapa de distribuição dos valores de diâmetro médio nos sedimentos superficiais.

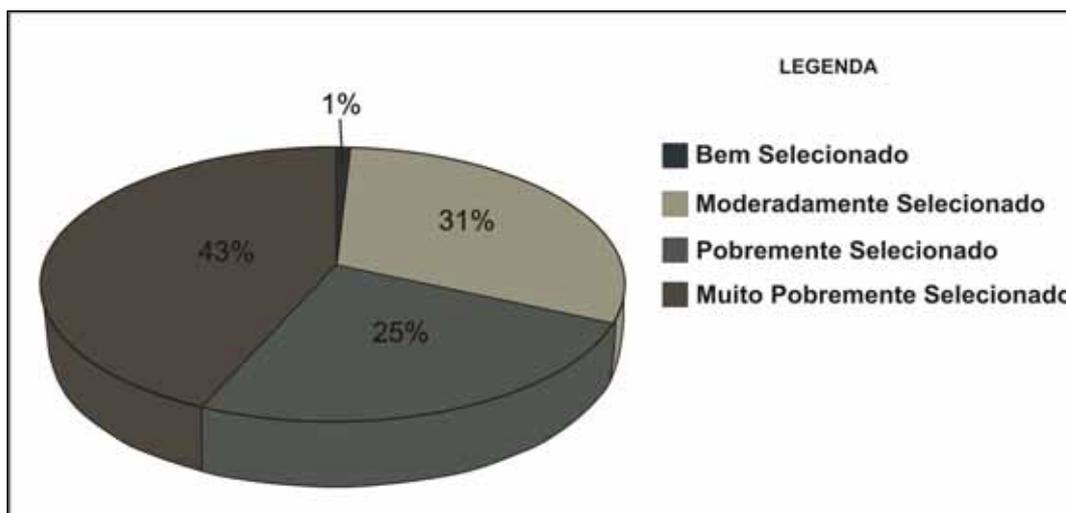
Os sedimentos sílticos distribuem-se formando uma grande mancha em frente ao porto de Suape. Ocorrem de forma mais pontual nos trechos superior e inferior do estuário do rio Massangana e na confluência do estuário do rio Tatuoca com o riacho Ilha da Cana. Sua presença foi observada também nos mangues localizados na parte inferior do estuário do rio Massangana. Predominam também no canal retificado e confluência (Figura 27).

Os sedimentos argilosos formam um bolsão no setor interno do cais do porto de Suape, num ambiente historicamente marcado por constantes dragagens (Figura 27).

#### 4.1.3.2 – Desvio Padrão

O desvio padrão mede o grau de seleção de um sedimento e indica a flutuação do nível energético do ambiente deposicional. O mesmo está relacionado com a capacidade de diferentes agentes geológicos em selecionar, com maior ou menor competência, um determinado grão, refletindo o índice da variação das condições atuais do fluido transportador (Ponçano, 1986). Porém, se não existir, na área fonte, material disponível entre as diferentes populações granulométricas, as flutuações de energia do meio deposicional não serão registradas geologicamente (Sahu, 1964).

Os valores percentuais do desvio padrão nas amostras analisadas da área de estudo, apresentaram a maior predominância das classes pobremente a muito pobremente selecionados com 68% do total, seguidos da categoria moderadamente selecionada com 31% e bem selecionada com pouca representatividade, apeas 1%. (Figura 28).



**Figura 28 – Valores percentuais do desvio padrão nas amostras.**

O mapa de distribuição espacial dos valores de desvio-padrão nos mostrou que os sedimentos pobremente a muito pobremente selecionados predominam em toda área de estudo. Os sedimentos pobremente selecionados estão presentes em toda parte norte da Baía de Suape com algumas manchas nas proximidades da ilha de Cocaia, nos setores superior e inferior do estuário do rio Massangana, em quase toda a extensão do riacho da Ilha da Cana e também nos setores médio e inferior do estuário do rio Tatuoca. Os sedimentos muito pobremente selecionados estão localizados na área de influência do porto de Suape estendendo-se até a parte interna da ilha de Cocaia e também nas regiões mais distais tanto do rio Tatuoca quanto do rio Massangana (Figura 29).

Os sedimentos moderadamente selecionados estão distribuídos no setor médio da baía de Suape e também uma mancha no setor médio do rio Massangana. Outras ocorrências são verificadas no rio Tatuoca e no riacho da Ilha da Cana (Figura 29).

Apenas uma amostra localizada na desembocadura do estuário do rio Massangana apresentou boa seleção (Figura 29).

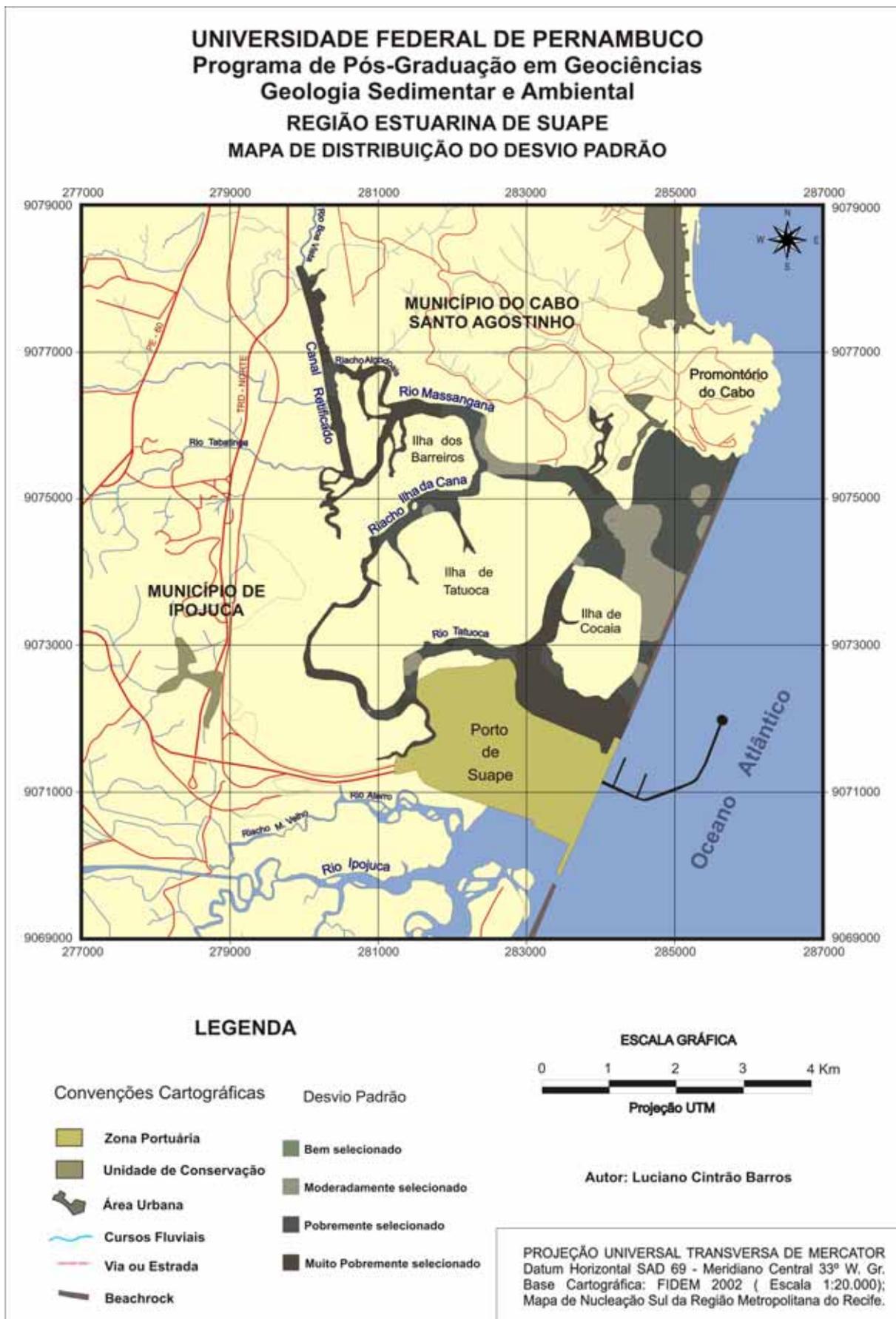
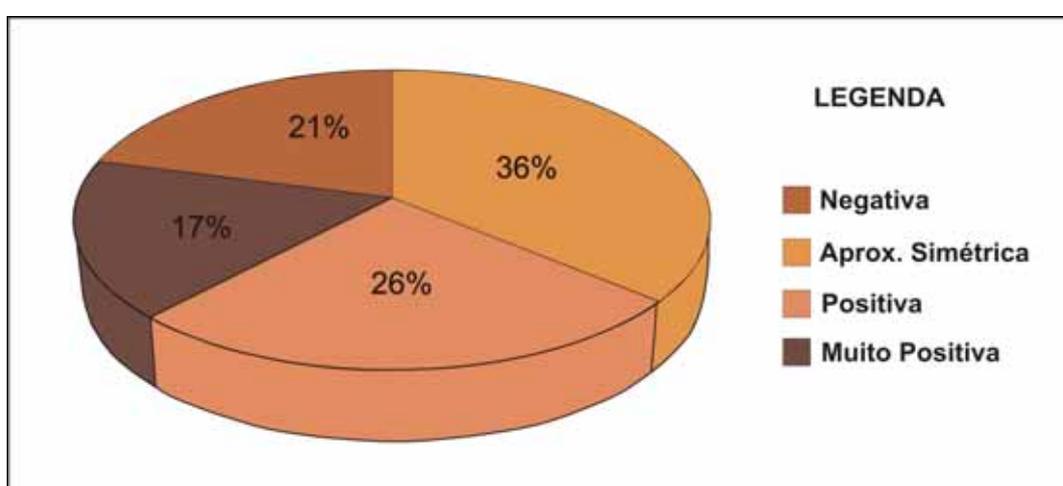


Figura 29 – Mapa de distribuição dos valores de desvio padrão nos sedimentos superficiais.

#### 4.1.3.3 – Assimetria

De acordo com Suguio (1973) a assimetria é controlada mais pelo processo deposicional do que por condições de transporte. Vários autores consideram a assimetria como sendo o parâmetro granulométrico mais sensível para caracterizar um ambiente, principalmente com relação ao nível energético do mesmo.

Os valores percentuais de assimetria nas amostras analisadas apresentaram a predominância das classes assimetria positiva a muito positiva (43%), seguidos de aproximadamente simétrica (36%) e negativa (21%) (Figura 30).



**Figura 30 – Valores percentuais de assimetria nas amostras.**

A distribuição espacial revelou que os valores de assimetria positiva a muito positiva dominam principalmente nas proximidades da Ilha de Cocaia, no setor inferior do estuário do rio Massangana, no trecho do Riacho Algodoads e na maior parte do canal retificado. Ocorre também em vários trechos tanto no riacho da Ilha da Cana quanto no estuário do rio Tatuoca. Os sedimentos aproximadamente simétricos distribuem-se no setor norte e sul da Baía de Suape e na porção oeste da ilha de Cocaia. Dominam no trecho superior e médio do estuário do rio Massangana, na maior parte do riacho da Cana e diversos trechos do Tatuoca. Os valores de distribuição de assimetria negativa dominam principalmente em três locais da área estudada: no setor norte da baía de Suape (promontório do Cabo), no setor sul da baía de Suape, em frente ao terminal do porto de Suape e também na interseção entre o riacho da Cana e o rio Tatuoca (Figura 31).

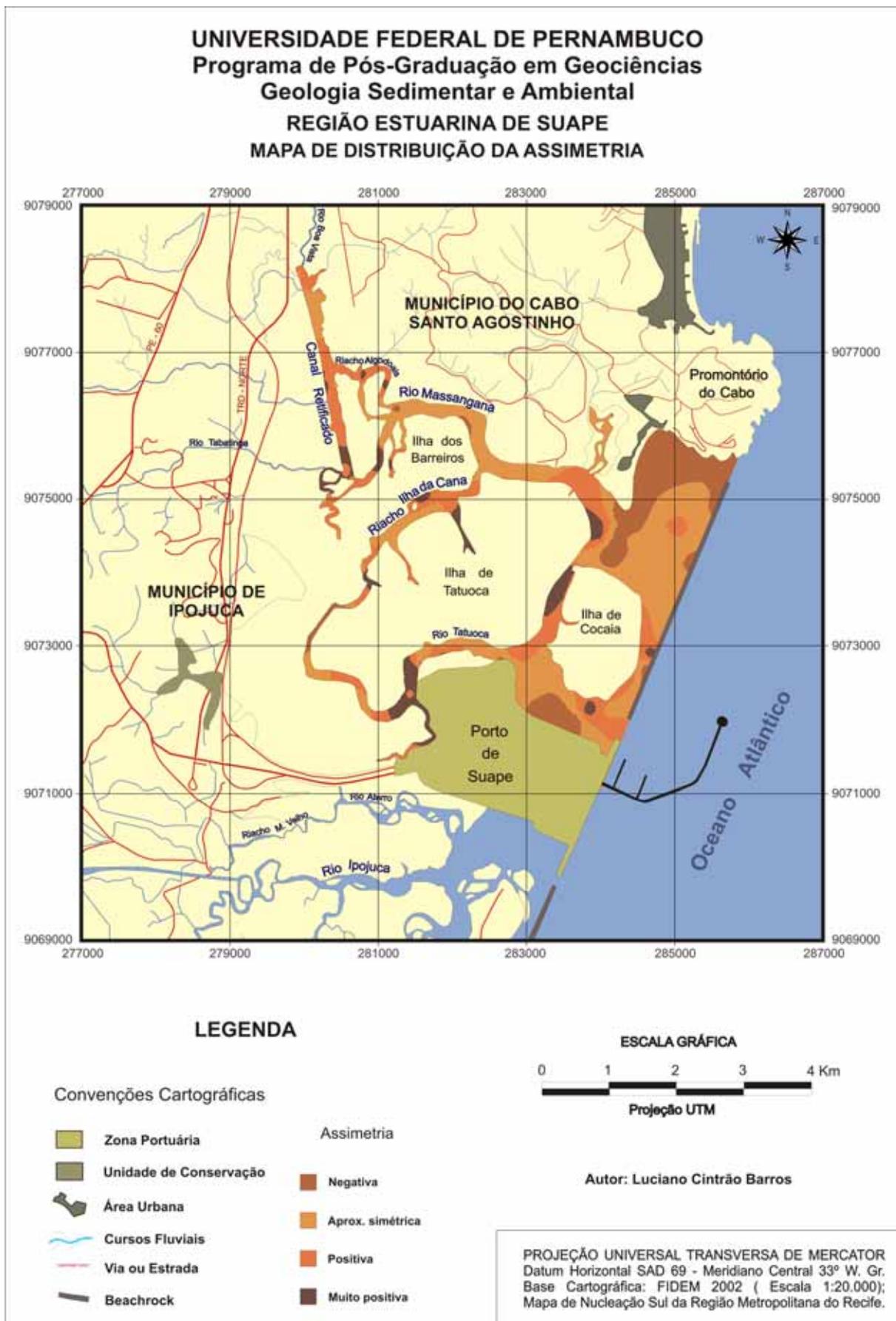


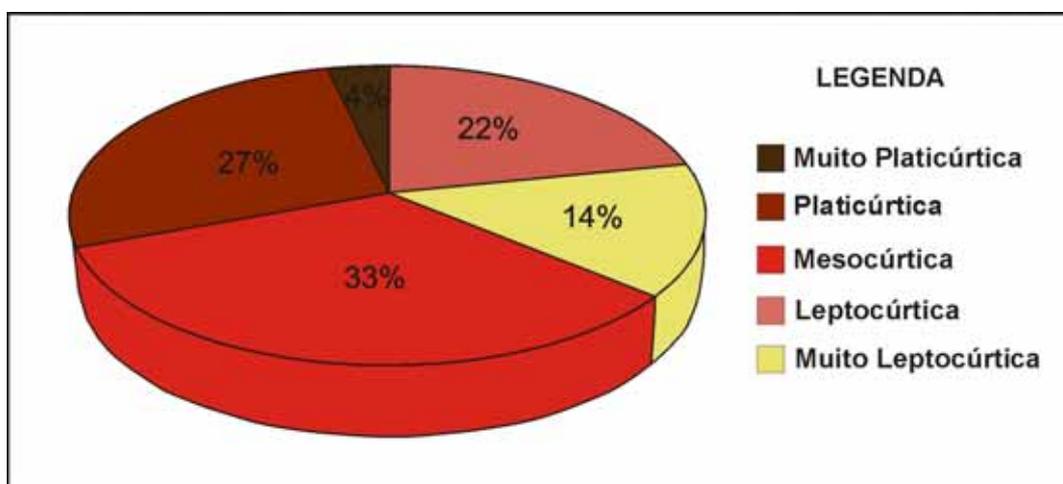
Figura 31 – Mapa de distribuição dos valores de assimetria nos sedimentos superficiais.

#### 4.1.3.4 – Curtose

Segundo Folk & Ward (1957) a análise da variação da curtose permite determinar o grau de mistura de diferentes populações dentro de um mesmo ambiente sedimentar.

A curtose pode ser utilizada como parâmetro para diferenciação de ambientes, sugerindo que exista um processo agindo no sentido de alterar as caudas de distribuição. Ela mede o grau de agudez dos picos nas curvas de distribuição de frequência. As distribuições leptocúrticas representam sedimentos unimodais, ou seja, um sedimento relativamente bem selecionado na parte central da distribuição, representando um ambiente de maior movimento, enquanto as distribuições platicúrticas correspondem a sedimentos bimodais ou polimodais, ou seja, indicando baixa movimentação (Barros, 2003).

Os sedimentos analisados apresentaram um equilíbrio entre os percentuais leptocúrticas a muito leptocúrticas (36%) e mesocúrticos (33%), enquanto as platicúrticas a muito platicúrticas representam 31% (Figura 32).



**Figura 32 – Valores percentuais de curtose nas amostras.**

O mapa distribuição de curtose (Figura 33) revelou que as distribuições leptocúrticas a muito leptocúrticas, ocorrem de maneira expressiva no setor médio da Baía de Suape, ao sul da Ilha de Cocaia e setores superior e inferior do estuário do Massangana. Pontualmente são observados nos riachos Algoduais e Ilha da Cana, no canal retificado, setores médio e inferior do Tatuoca.

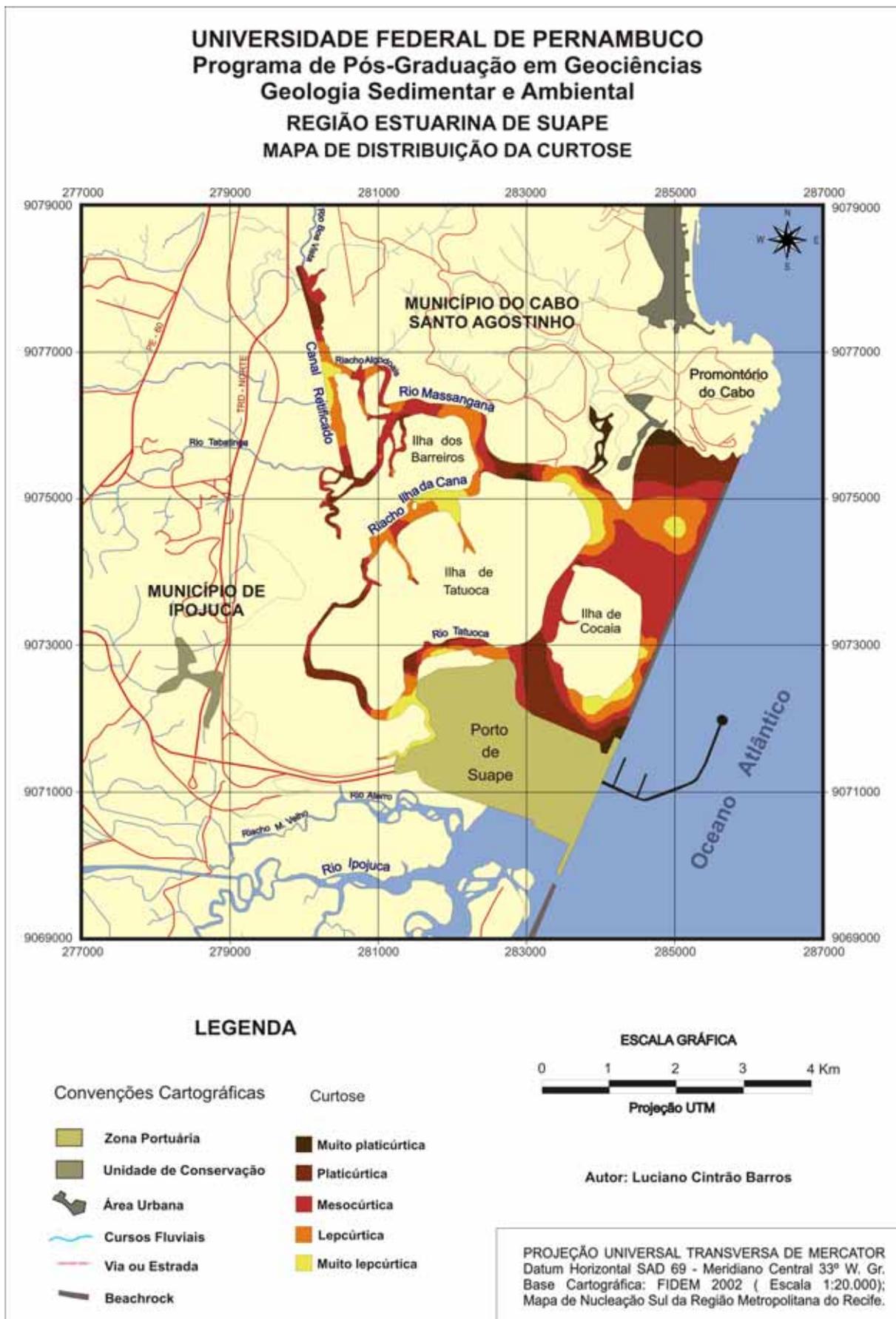


Figura 33 – Mapa de distribuição dos valores de curtose nos sedimentos superficiais.

Os sedimentos mesocúrticos encontram-se na porção média da Baía de Suape e também no setor leste-oeste da Ilha de Cocaia. Verificam-se manchas de diferentes tamanhos em todos os estuários da região interna de Suape (Figura 33).

Os sedimentos platicúrticos a muito platicúrticos representam pouca relevância na área, distribuindo-se principalmente nos setores mais extremos da Baía de Suape, tanto ao norte (promontório do Cabo) quanto ao sul (zona portuária) onde possivelmente há uma mistura maior entre as populações em função das distintas direções de fluxos atuante (Figura 33).

#### 4.1.4 – DIAGRAMA DE PEJRUP

A partir das análises granulométricas efetuadas nos sedimentos da região interna de Suape, foram plotados seus valores (areia, silte e argila) no diagrama de Pejrup (1988) e posteriormente seus resultados foram espacializados dentro da área de estudo, onde se delimitou as áreas representativas da hidrodinâmica.

De acordo com os resultados (Figura 34) observou-se que há predomínio das seções IV, de hidrodinâmica muito alta (50% das amostras), III, de hidrodinâmica alta (37%) e II, de hidrodinâmica moderada (13%).

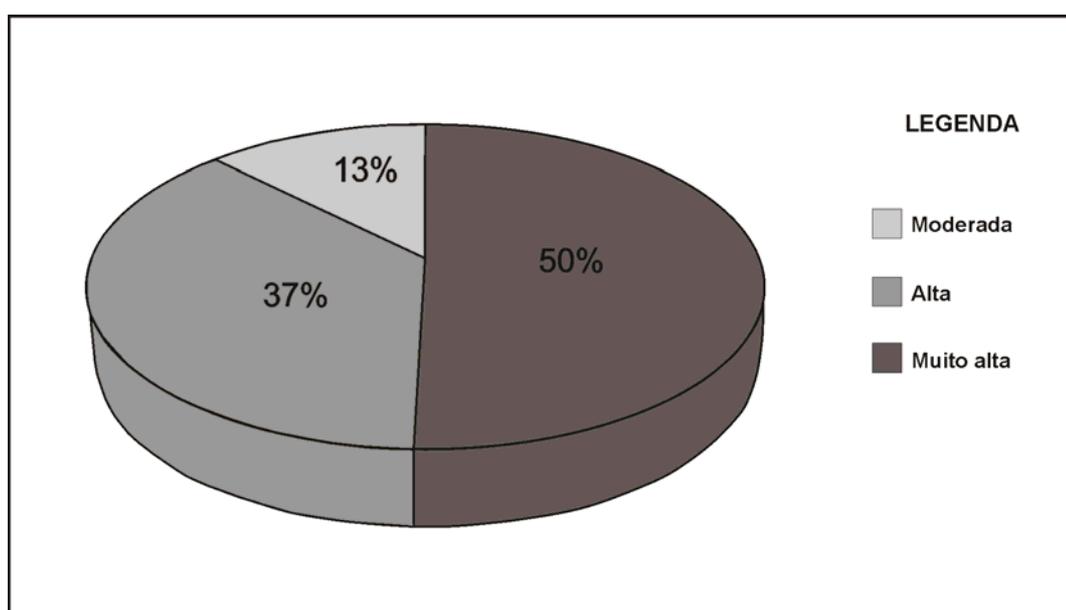


Figura 34 – Percentuais das amostras com valores do Diagrama de Pejrup.

Na figura 35 pode-se observar que a zonas de maior hidrodinâmica encontram-se localizadas, principalmente, na porção norte da Baía de Suape, até as imediações da ilha de Cocaia, onde as amostras caem dentro do grupo (IV-A), o qual corresponde a sedimentos que contém entre 90 e 100% de areia, depositados em condições de hidrodinâmica muito alta, com exceção da uma amostra que possui uma classificação de intensidade alta (III-B). Esta área correlaciona-se à região dos bancos e canais arenosos, que sofrem a ação direta das correntes de maré, das correntes fluviais e das ondas, onde ação destes agentes é muito intensa e dinâmica modelando a morfologia da região de acordo com as condições reinantes.

Ao sul da Baía, nas proximidades do porto de Suape predominam os grupos (III-B, II-C, III-C, II-D e III-D) caracterizando ambientes com condições hidrodinâmicas de moderada a altas os quais apresentam sedimentos com 50 a 90%, 10 a 50% e 0 a 10% respectivamente, por se tratar de uma região de constantes dragagens e com profundidades altas alcançando até 17 metros (Figura 35).

No estuário do rio Massangana, até as imediações da Ilha dos Barreiros e do riacho da Ilha da Cana, onde as profundidades são mais altas do que na Baía de Suape, não ultrapassando 5 metros, as amostras encontram-se preferencialmente nos grupos (IV-A e III-B) os quais correspondem a sedimentos com conteúdo de areia entre 90 a 100% e 50 a 90% o que caracteriza áreas sob influência de uma hidrodinâmica muito alta a alta (Figura 35).

Na confluência do Massangana com o riacho Algoduais e também no canal retificado predominam amostras do grupo (III-C), as quais apresentam sedimentos com conteúdo de areia entre 10 e 50%, o que caracteriza área sob influência de uma hidrodinâmica alta. Localmente encontramos pontos com grupo (B-II), com valores de areia entre 50 a 90% com hidrodinâmica moderada. Apesar de a região sofrer com a intensa ação antrópica, os resultados se mostraram válidos para o presente trabalho (Figura 35).

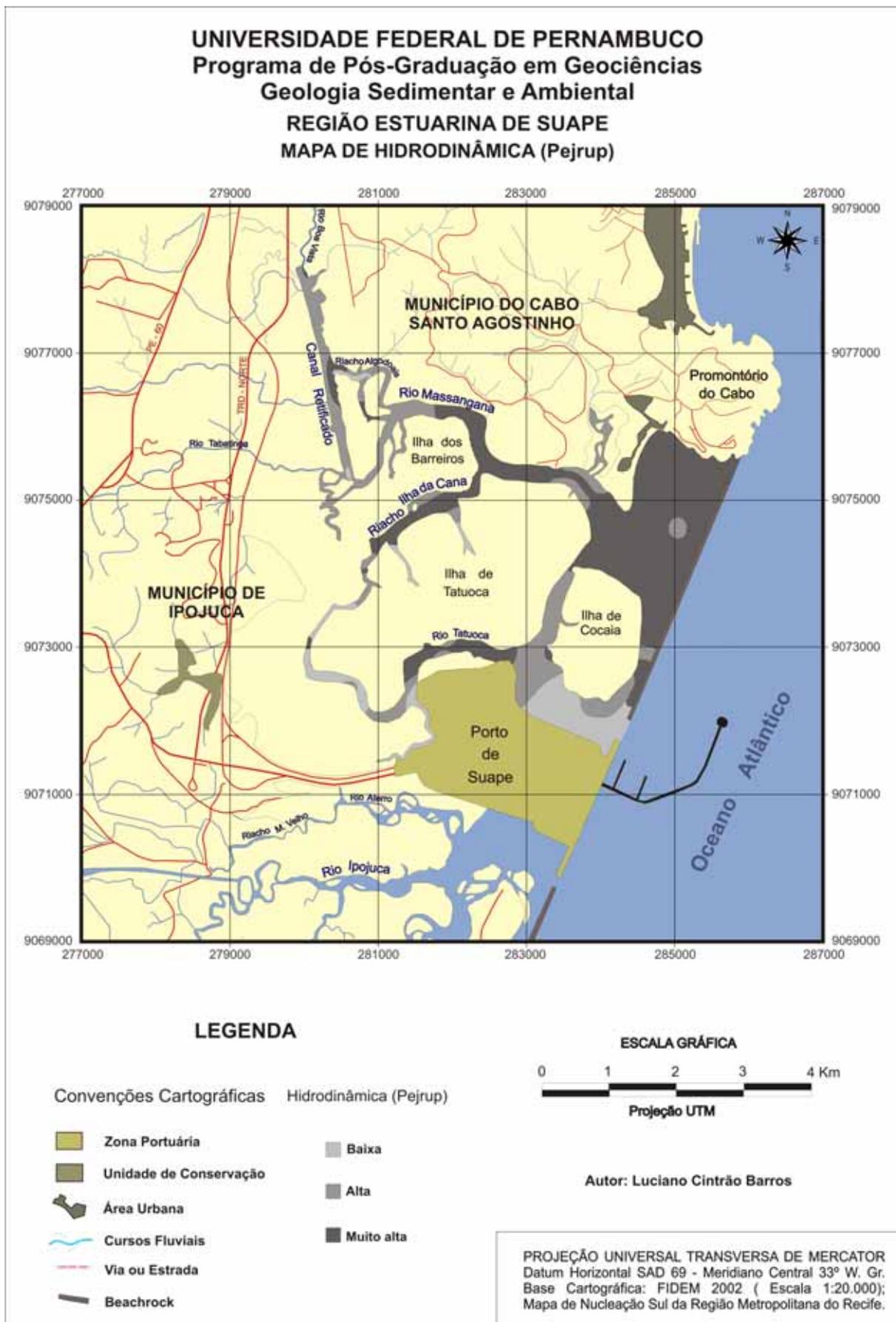


Figura 35 – Mapa de distribuição hidrodinâmica (Diagrama de Pejrup).

No estuário do rio Tatuoca verifica-se a predominância grupo (IV-A), da sua desembocadura até o setor médio, com conteúdo de areia entre 90 a 100%, indicando uma hidrodinâmica muito alta. A partir deste ponto observamos uma diminuição da energia hidrodinâmica, onde podemos encontrar amostras dos grupos (II-A, III-A, II-B, III-B, II-C e III-C), as quais apresentam sedimentos que variam de 10 a 50%, 50 a 90% e 90% a 100% respectivamente, caracterizando uma hidrodinâmica moderada a alta. A montante deste estuário até o limite com o riacho da Cana predomina os grupos (II-B e II-C) que são valores hidrodinâmicos moderados, com valores de areia variando de 10 a 50% e 50 a 90% respectivamente, onde as profundidades devem ser baixas (Figura 35).

#### 4.1.5 – ANÁLISE MORFOSCÓPICA E COMPOSICIONAL

A análise morfoscópica é o estudo das propriedades físicas: forma, esfericidade, arredondamento e textura superficial das partículas sedimentares. Essa propriedade depende da mineralogia, do grau de intemperismo e do grau de abrasão durante o transporte (Gregório, 2004).

Segundo Dias (2004) é na superfície dos grãos de quartzo fica registrada grande parte da história da vida desse grão. A observação atenta das marcas existente nessa superfície permite, com freqüência, deduzir se o grão se encontra ou não há muito tempo no ciclo sedimentar, quais foram os agentes de transporte a que foi sujeito.

As frações granulométricas estudadas foram as correspondentes a areia grossa e média, que em geral produzem bons resultados. As frações menores exigem ampliações maiores e lupas de melhor qualidade, produzindo resultados pouco satisfatórios. Em suma, as partículas maiores são constituídas por partículas mais roladas do que as mais finas.

Os resultados obtidos da análise morfoscópica e composicional foram resumidos no Anexo 03 referentes ao período chuvoso.

O arredondamento indica um bom índice de maturidade de um sedimento. De uma maneira geral, o grau de arredondamento aumenta com a duração do transporte e retrabalhamento (Suguio, 1973). Com relação ao grau de arredondamento, as amostras analisadas apresentaram a predominância de grãos de quartzo angulosos a muito angulosos, em toda área de estudo com 92% do total, indicando que esses grãos podem ter sido submetidos a uma intensa abrasão podem que conduziu ao fraturamento dos mesmos, formando grãos angulosos (Figura 36). O restante das amostras (8%) apresentaram características subangulares (5%) e arredondados (3%) nos levando a acreditar numa menor exposição dos grãos a abrasão. Esses grãos estavam localizados na parte mais interna dos estuários.

Leão & Bittencourt (1977) estudando partículas bioclásticas do fundo de Aratu (BA), reconheceram graus de arredondamento maiores em partículas de maiores diâmetros encontradas em áreas mais energéticas, enquanto que os de diâmetro menores seriam mais angulosos devido à fragmentação. O maior arredondamento em partículas de menores diâmetros ocorreria em ambientes de baixa energia.

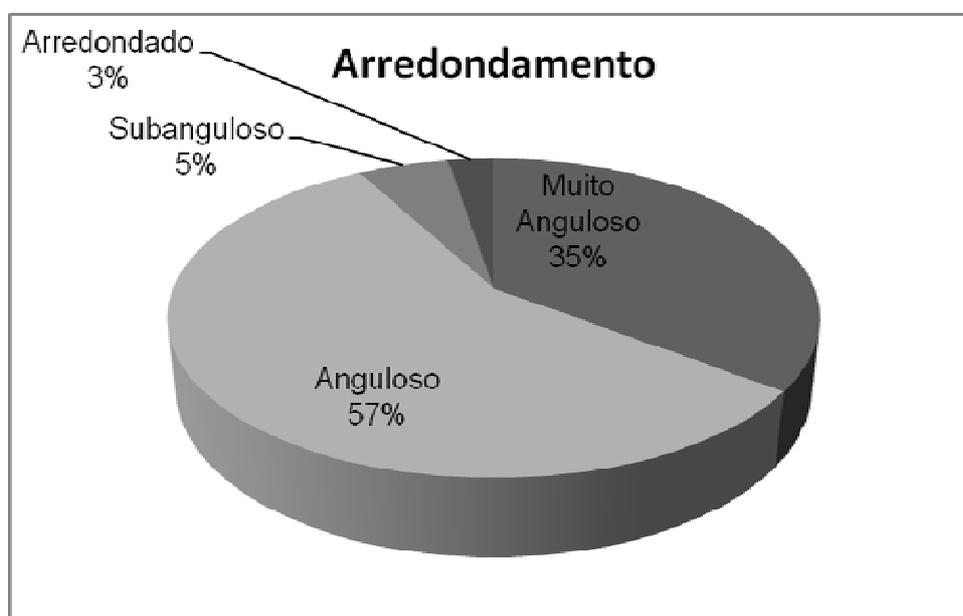
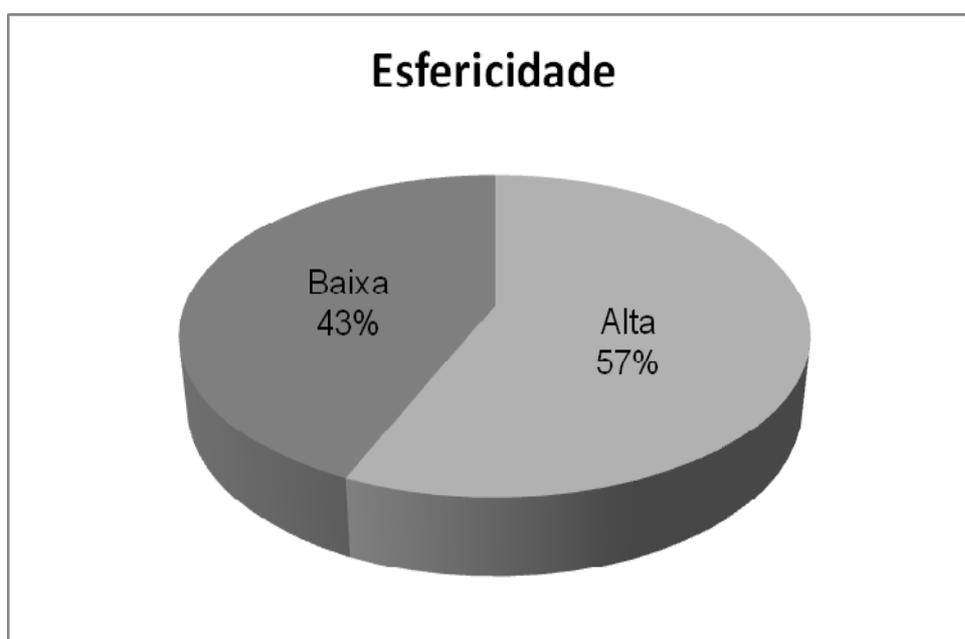


Figura 36 – Percentual do grau de arredondamento dos grãos nas amostras.

De acordo com Suguio (1973), a esfericidade é a relação entre a forma do grão (tamanho areia) com uma esfera perfeita. Foi observado que a maioria dos sedimentos apresentou a predominância de grãos quartzosos com esfericidade alta (57%) enquanto grãos com baixa esfericidade apresentaram valores de aproximadamente 43% (Figura 37). Isso pode ser explicado pela tese de que os grãos arenosos tendem a tornarem mais esféricos com o aumento do desgaste e da quebra durante o transporte.



**Figura 37 – Percentual do grau de esfericidade dos grãos nas amostras.**

A textura superficial refere-se às feições na superfície dos grãos e que por serem tão pequenas, não afetam significativamente a forma dos mesmos, sendo expressa pela ornamentação das faces dos grãos e pela presença ou ausência de brilho (Mclane, 1995).

Os sedimentos analisados são caracterizados por grãos de quartzo brilhantes, indicando um transporte de origem fluvial ou marinha. Algumas amostras apresentaram oxidação nos grãos próximo ao oceano.

Com relação à composição os sedimentos analisados são constituídos por dois grupos principais: grãos detríticos e bioclásticos (Fotos 16 a 26). O quartzo hialino e opaco representam a maior parte detrítica, complementada, por alguns

minerais pesados (ilmenita, rutilo e zircão) e fragmentos de rocha. Os valores de quartzo alcançaram quase 100% na maioria das amostras. Secundariamente são encontrados grãos bioclásticos, porém, com pouca representatividade. A diversidade desses organismos depende das condições físico-químicas e da dinâmica das águas no ambiente marinho associado. Na maior parte das amostras não alcançam 5% do total de cada amostra analisada, com exceção de apenas três amostras localizadas na Baía de Suape, onde se obteve respectivamente, valores de 10%, 12% e 25%. Os bioclásticos são representados por foraminíferos, fragmentos de conchas e corais, espinhos de ouriço, espinhos de esponjas silicosas, algas calcárias, gastrópodes, cefalópodes, tubos de poliquetas, etc.

Devido à grande diversidade de composição biológica e à ação de vários processos de fragmentação, os bioclastos apresentam as mais diferentes formas, que serão determinantes na velocidade de decantação, na capacidade do grão ser colocado em movimentação e no transporte e deposição seletivos (Albino, 1999).

Observamos nas amostras manchas de óleo, resíduos de petróleo e outros resíduos sólidos no rio Tatuoca e da Baía de Suape, comprovando assim a intensa poluição oriunda do porto de Suape.

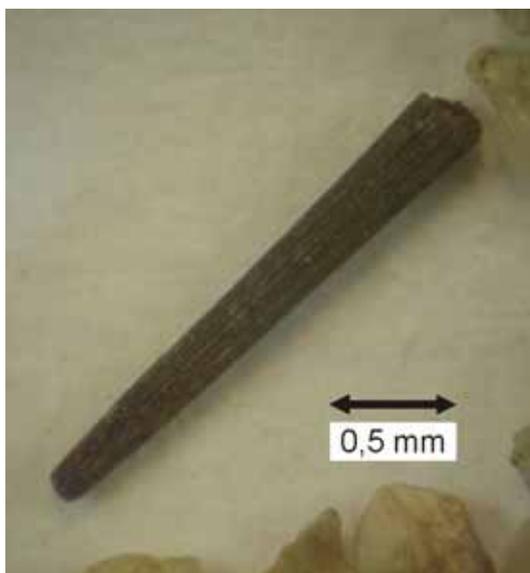


Foto 16 – Espinho *Echoidea*.

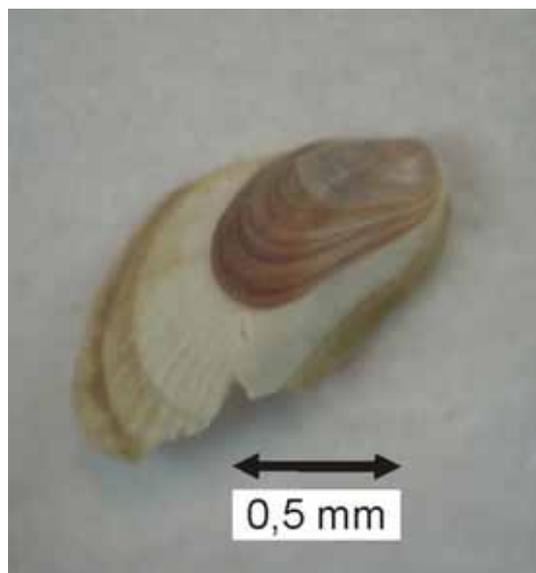


Foto 17 – Fragmento de concha (*Bivalve*).

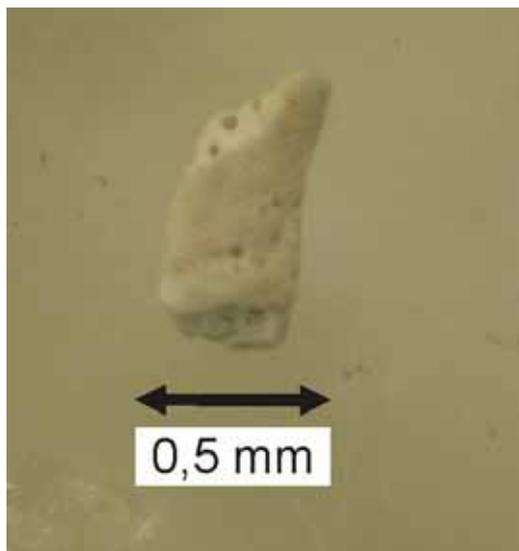


Foto 18 – Fragmento de coral.

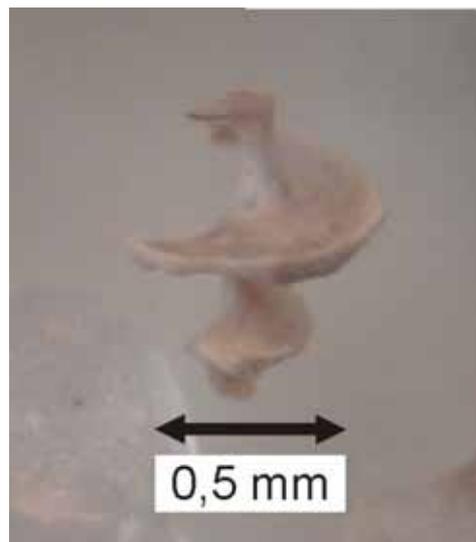


Foto 19 – Columela de Gastrópode.

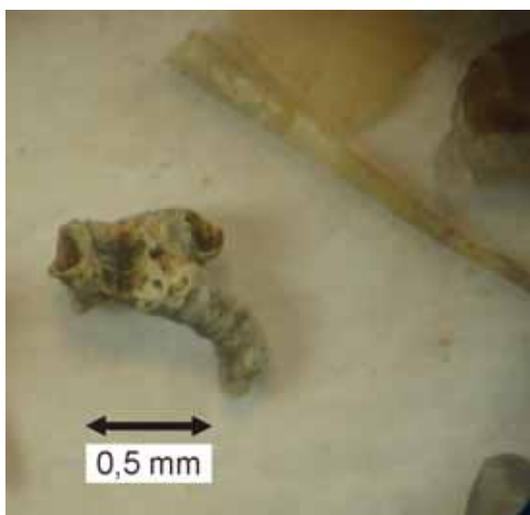


Foto 20 – Espinho de ouriço (acima) e fragmento de coral (abaixo).



Foto 21 – Fragmento de Gastrópode.

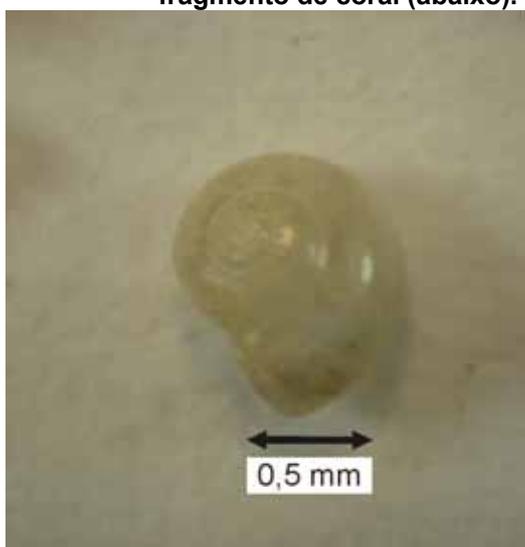


Foto 22 – Carapaça de Gastrópode.



Foto 23 – Fragmentos de conchas.

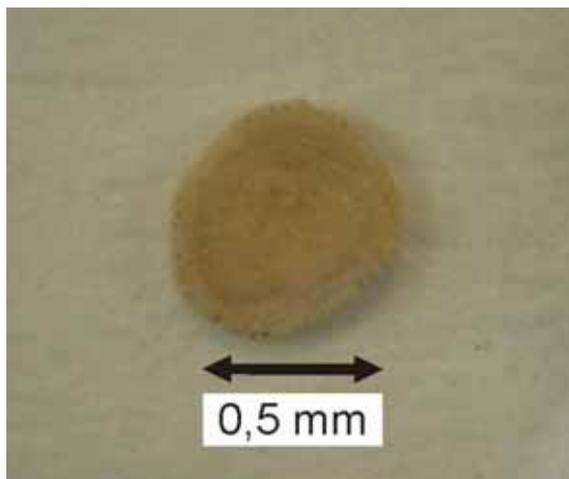


Foto 24 – Foraminífero bentônico.



Foto 25 – Grãos de quartzo.

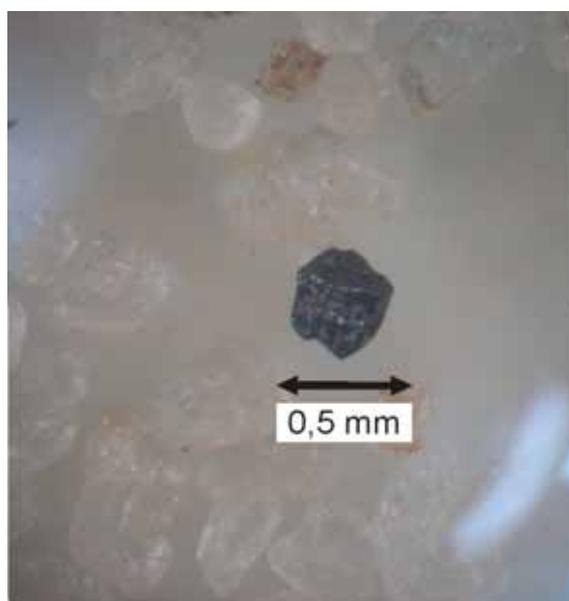


Foto 26 – Mineral pesado acessório.

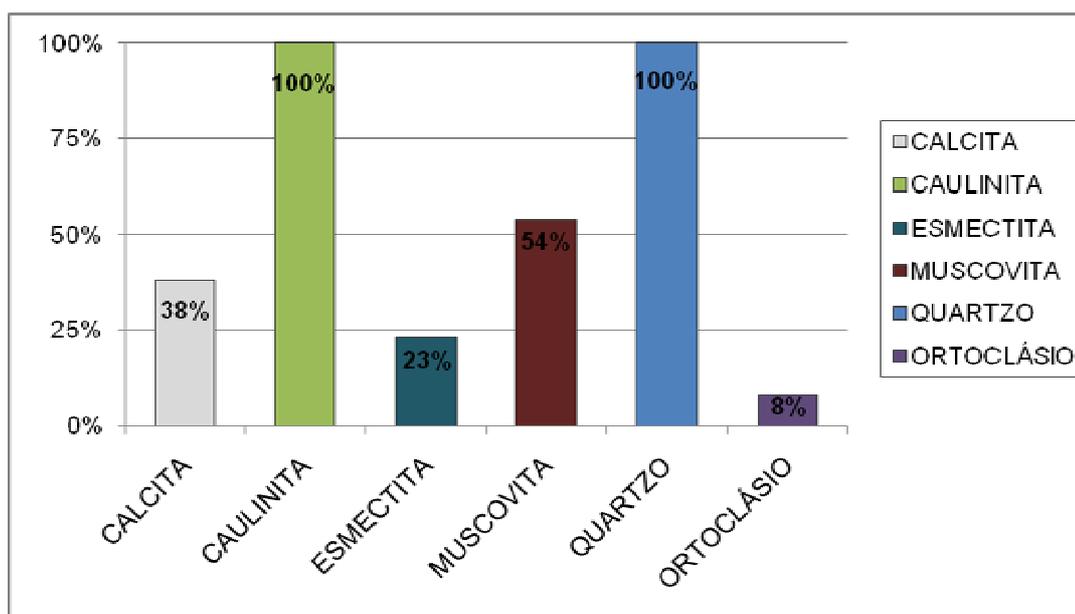
## 4.2 – DIFRATOMETRIA DE RAIOS-X

De acordo com Arrais (1991) em trabalho realizado na região de Suape, próximo à área estudada, com auxílio de uma lupa binocular e da técnica de difratometria de raios-X, identificou a seguinte associação mineralógica de minerais pesados: ilmenita, limonita, zircão, monazita, rutilo, silimanita, magnetita e turmalina. Acessoriamente, a presença de: anfibólio, epidoto, estauroлита, cianita, andaluzita, granada e topázio. Fazendo-se uma análise das fases mineralógicas referidas acima, pode-se concluir que a fonte mais provável para os minerais pesados dos depósitos estudados pelo referido autor são rochas metamórficas.

Os resultados mostraram que as amostras possuem pouca heterogeneidade entre as estações amostradas. As distribuições dos minerais que foram identificados por estação de coleta estão agrupadas na tabela 10 e são vistas na figura 38.

**Tabela 10 – Distribuição dos minerais identificados por difratometria de raios-X nas respectivas amostras coletadas durante estação chuvosa.**

<i>Mineral</i>	<i>Calcita</i>	<i>Caulinita</i>	<i>Esmectita</i>	<i>Muscovita</i>	<i>Quartzo</i>	<i>Ortoclásio</i>
<b>Amostra</b>						
Estação 01 – Baía de Suape	X	X			X	
Estação 02 – Baía de Suape/Rio Tatuoca		X		X	X	
Estação 03 – Rio Tatuoca	X	X			X	
Estação 04 – Rio Tatuoca	X	X			X	
Estação 05 – Riacho Ilha da Cana		X	X		X	
Estação 06 – Riacho Ilha da Cana		X	X		X	
Estação 07 – Rio da Ilhota	X	X			X	
Estação 08 – Rio Massangana		X		X	X	
Estação 09 – Rio Massangana		X		X	X	
Estação 10 – Riacho Algodois	X	X			X	
Estação 11 – Canal Retificado		X	X	X	X	
Estação 12 – Rio Massangana		X		X	X	
Estação 13 – Rio Tatuoca		X		X	X	X



**Figura 38 – Proporção absoluta dos principais grupos de minerais encontrados nas amostras analisadas.**

Os difratogramas resultantes das 13 amostras coletadas durante o período úmido de 2006 revelaram a presença de quartzo, calcita, muscovita, ortoclásio, caulinita e esmectita (Anexo 04). Segundo Kralik (1999) a presença de quartzo, feldspato e carbonatos indicam pouca capacidade de absorção de poluentes, sendo considerados mal indicadores de poluição. Entretanto, a presença dos argilominerais no ambiente, pode indicar um local propício à concentração de poluentes, tais como os metais pesados.

Os minerais identificados por difratometria de raios-X têm possivelmente sua origem nas rochas que afloraram na área de estudo, composta principalmente por arenitos, folhelhos e conglomerados. Eles chegam às regiões estuarinas através dos cursos d' água oriundos do interior das zonas continentais ou através de mecanismos antropogênicos.

O quartzo ( $\text{SiO}_2$ ) é um dos minerais mais comuns nas rochas e por sua resistência ao intemperismo encontra-se normalmente na fração areia do sedimento. Foi identificado em todas as estações, ou seja, em 100% das amostras analisadas (Figura 38), indicando sua grande resistência ao intemperismo químico mantendo-se inalterado.

A calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) é um mineral comum em sedimentos estuarinos. Sua presença pode estar relacionada à ocorrência dos sedimentos carbonáticos da Formação Estiva (Ilha de Cocaia) ou de origem bioclástica em amostras localizadas nas proximidades da Baía de Suape e do rio Tatuoca. Nas regiões mais distais, sua presença pode estar associada a fontes antrópicas, tais como o despejo de restos de conchas, por parte dos pescadores da região em diversos locais dentro dos estuários. Sua ocorrência ficou em torno de 38% nas amostras estudadas (Figura 38).

A muscovita ( $\text{KAl}_3\text{SiO}_{10}(\text{OH})_2$ ) presente nos sedimentos pode ser um produto do intemperismo das rochas granítico-gnáissicas do embasamento cristalino presente a oeste da área de estudo o que caracterizaria uma origem alóctone. A muscovita pode ser encontrada na fração fina, visto que a falta de Fe em sua composição não favorece as reações de oxidação tornando-a mais resistente ao intemperismo. Na biotita, a oxidação de  $\text{Fe}^{2+}$  para  $\text{Fe}^{3+}$  e lixiviação parcial do  $\text{K}^+$ , altera o balanço de cargas na estrutura e formando a vermiculita com liberação de óxido férrico. Foi encontrada principalmente nas imediações da Formação Cabo no estuário do rio Massangana e Canal Retificado, com 54% do total das estações de coleta (Figura 38).

O ortoclásio ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ) silicato de potássio e alumínio, é o principal feldspato monoclinico, importante na formação de rochas ígneas, também conhecido por feldspato alcalino, é comum nos granitos e rochas relacionadas. Constituinte comum da maioria dos granitos e outras rochas ígneas félsicas, ocorrem freqüentemente na forma de macrocristais ou massas em veios pegmatíticos. É considerado o grupo de feldspato mais resistente ao intemperismo. Foi encontrado em apenas uma amostra (8%), justamente nas áreas mais próximas ao embasamento cristalino (Figura 38).

Os argilominerais identificados na área de estudo foram a caulinita e a esmectita.

A origem dos argilominerais em ambientes costeiros com influência constante dos aportes marinhos e fluviais pode ser de dois tipos: detrital (alóctone) ou autóctone. Argilominerais de origem detrital são trazidos de outros ambientes pela ação hídrica e, ou, eólica, enquanto os argilominerais autóctones são formados *in situ*. A origem autóctone de argilominerais, por sua vez, pode ter dois caminhos: a

precipitação direta, a partir de íons presentes na solução (halmirólise), e a transformação, a partir de um mineral precursor (Hillier, 1995).

A caulinita é um argilomineral estável comum em sedimentos marinhos de baixas latitudes (Schulz & Zabel, 2006). Sua presença foi constatada em todas as amostras analisadas, ou seja, 100% do total (Figura 38). Isso pode estar associada à intensa precipitação pluviométrica que ocorre na região e sua distribuição regular ao longo do ano o que levaria, nos solos continentais que cercam a área de estudo, à existência de soluções de solo desprovidas de sílica e bases, favorecendo a formação deste argilomineral (Righi & Meunier, 1995). A caulinita seria então transportada pelos sistemas fluviais e marinhos incorporando-se aos sedimentos de fundo adjacentes. Este processo define uma origem alóctone da caulinita. De acordo com Millot (1964) a presença deste argilomineral é indicativa de intensas modificações sofridas pelos minerais. As possíveis fontes deste argilomineral na área de estudo seriam os sedimentos da Formação Cabo, Formação Barreiras, Embasamento Cristalino e Rochas Vulcânicas (Valença, 1993).

Já a esmectita é considerado um argilomineral instável, ou seja, sofre constantes alterações ao longo do tempo. As esmectitas, segundo Borchardt (1989), podem se formar a partir da transformação de micas ou então diretamente da solução do solo (neogênese). O autor destaca que, para que haja a transformação da mica em esmectita, o meio deve ter baixas concentrações de  $K^+$ , o que não é observado nas condições do estudo em questão. Segunda fonte geradora da esmectita, neste caso, o ambiente de alteração, caracterizado por um meio halomórfico e hidromórfico, estaria priorizando um processo salinolítico de alteração que é marcado pela remoção parcial de sílica e bases da água do rio e do mar, permitindo a bissialitização, e conseqüentemente, a formação de argilominerais do tipo 2:1. Outra fonte de esmectita seria o aporte deste argilomineral por meio dos sistemas hídricos atuantes (rio e maré) o que definiria as esmectitas detritais (Fanning *et al.*, 1989; Kelly & Webb, 1999; Harris & Whiting, 2000). A esmectita foi encontrada nas imediações do canal retificado e no riacho Ilha da Cana, perfazendo aproximadamente 23% das amostras (Figura 38). Suas possíveis fontes na área de estudo segundo Valença (1993) estão relacionadas à Formação Cabo, Formação Barreiras e Embasamento Cristalino.

### 4.3 – BATIMETRIA

O mapa batimétrico da região interna de Suape apresenta diferentes profundidades (0 – 16 m) como também variações em sua morfologia de fundo (Figura 39).

Na Baía de Suape, as isóbatas variaram de 1 a 5 m, com a profundidade predominante em torno de 1 metro, evidenciando uma região extremamente rasa, com muitos bancos arenosos, com exceção da região nas proximidades do porto de Suape que, devido às constantes dragagens para manutenção do calado dos navios, mantém uma profundidade média em torno de 16 metros.

Ao longo do estuário do rio Massangana as isóbatas não ultrapassaram 4 metros, mantendo-se em torno de 2 a 4 metros, destacando-se pela ausência bancos arenosos encontrados na Baía de Suape. As maiores cotas ocorrem no setor médio do Massangana, justamente na chamada zona de talvegue.

No trecho inicial do estuário do rio Tatuoca, encontramos isóbatas inferiores a 3 metros, com predominância de cotas de 1 metro apenas. Por valores estimados através de interpolação, observações de campo e análise dos trechos adjacentes a região, acreditamos que a montante do rio Tatuoca as isóbatas tendem a ser baixas não ultrapassando os 3 metros. No riacho Algoduais verificamos a presença de um extenso banco arenoso que fica totalmente emerso com a maré baixa e no restante da área a profundidade não passa de 3 m. No riacho da Ilha da Cana a isóbata predominante é de apenas 1 metro, com alguns trechos com profundidade média em torno de 2 m e apenas uma porção com profundidade de 3 m. No canal retificado verificamos a predominância da isóbata de 1 metro em toda área, com alguns pontos com profundidades superiores a 2 metros e apenas dois locais com profundidades de 3 metros.

De uma maneira geral, podemos concluir que as baixas profundidades encontradas em praticamente toda a região interna de Suape, estão possivelmente relacionadas aos processos de assoreamento em função dos desmatamentos em ocorridos em sua bacia hidrográfica e também um reflexo dos impactos gerados pela construção do porto de Suape que alterou significativamente a dinâmica natural de seus estuários.

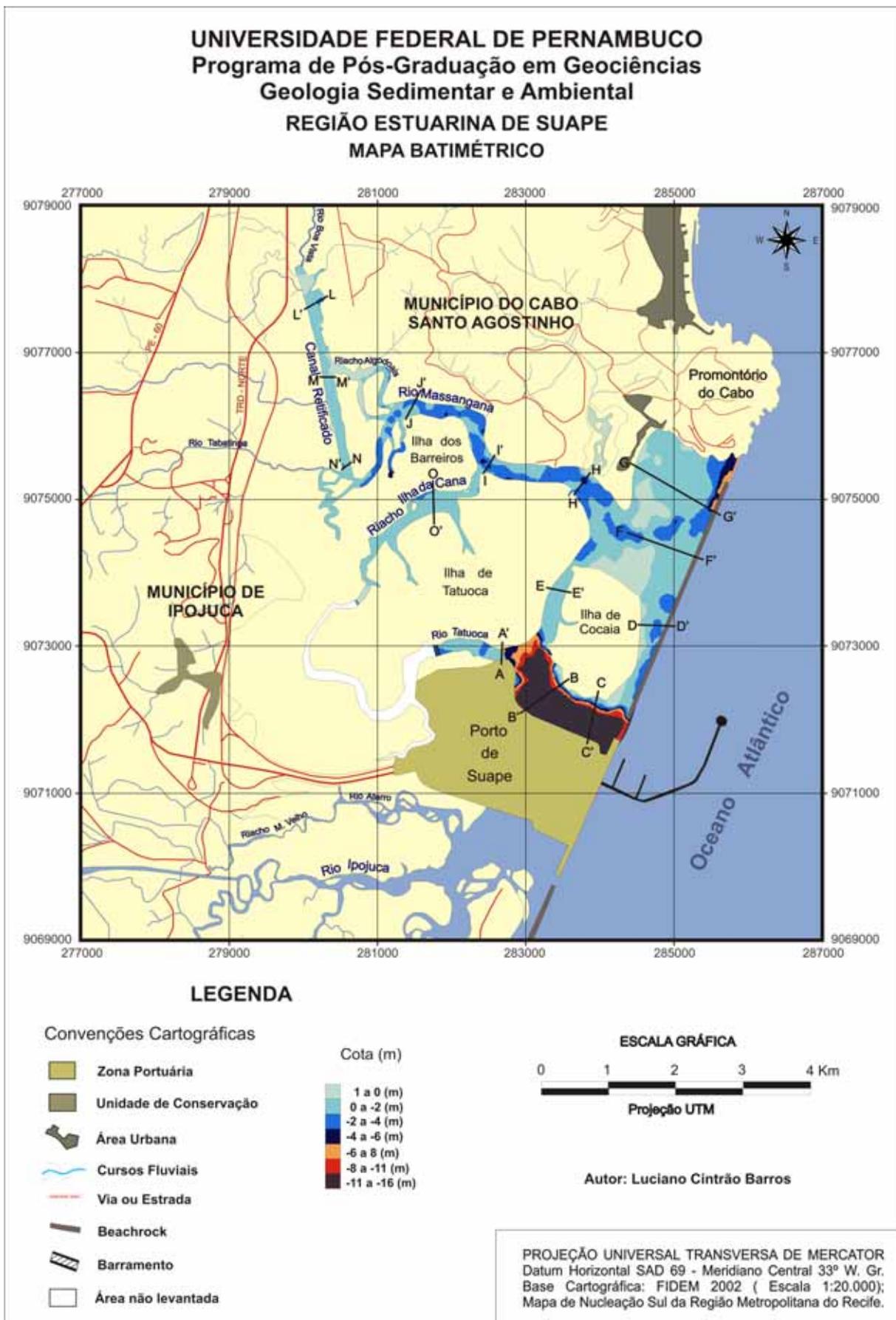
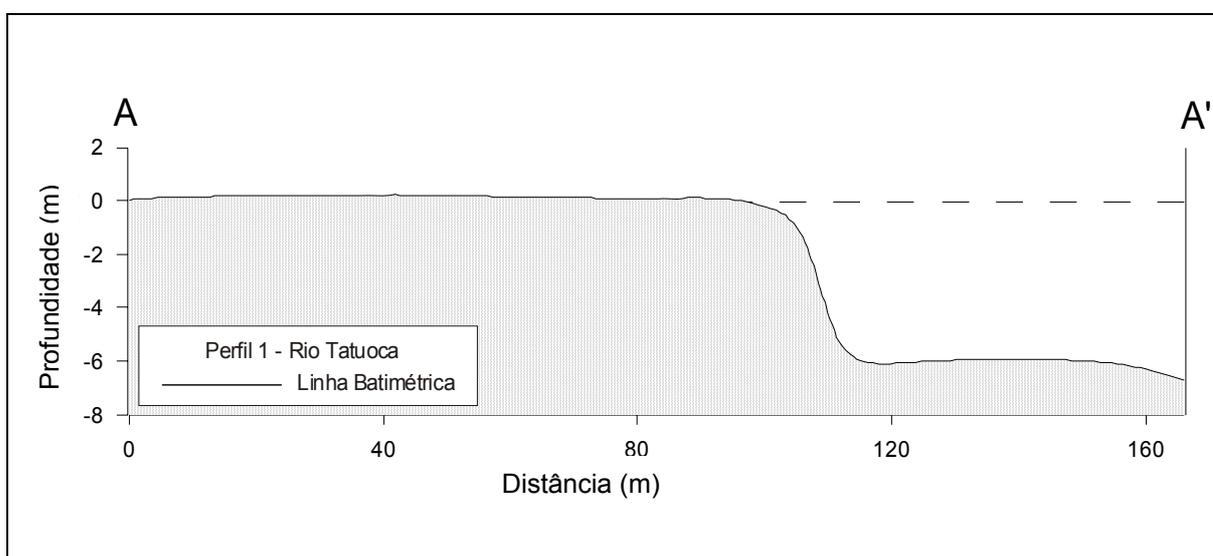


Figura 39 – Mapa batimétrico da região interna de Suape.

#### 4.3.1 – PERFIS BATIMÉTRICOS

Visando caracterizar as feições da morfologia de fundo da região interna de Suape foram realizados 14 perfis ao longo da área (Figura 39).

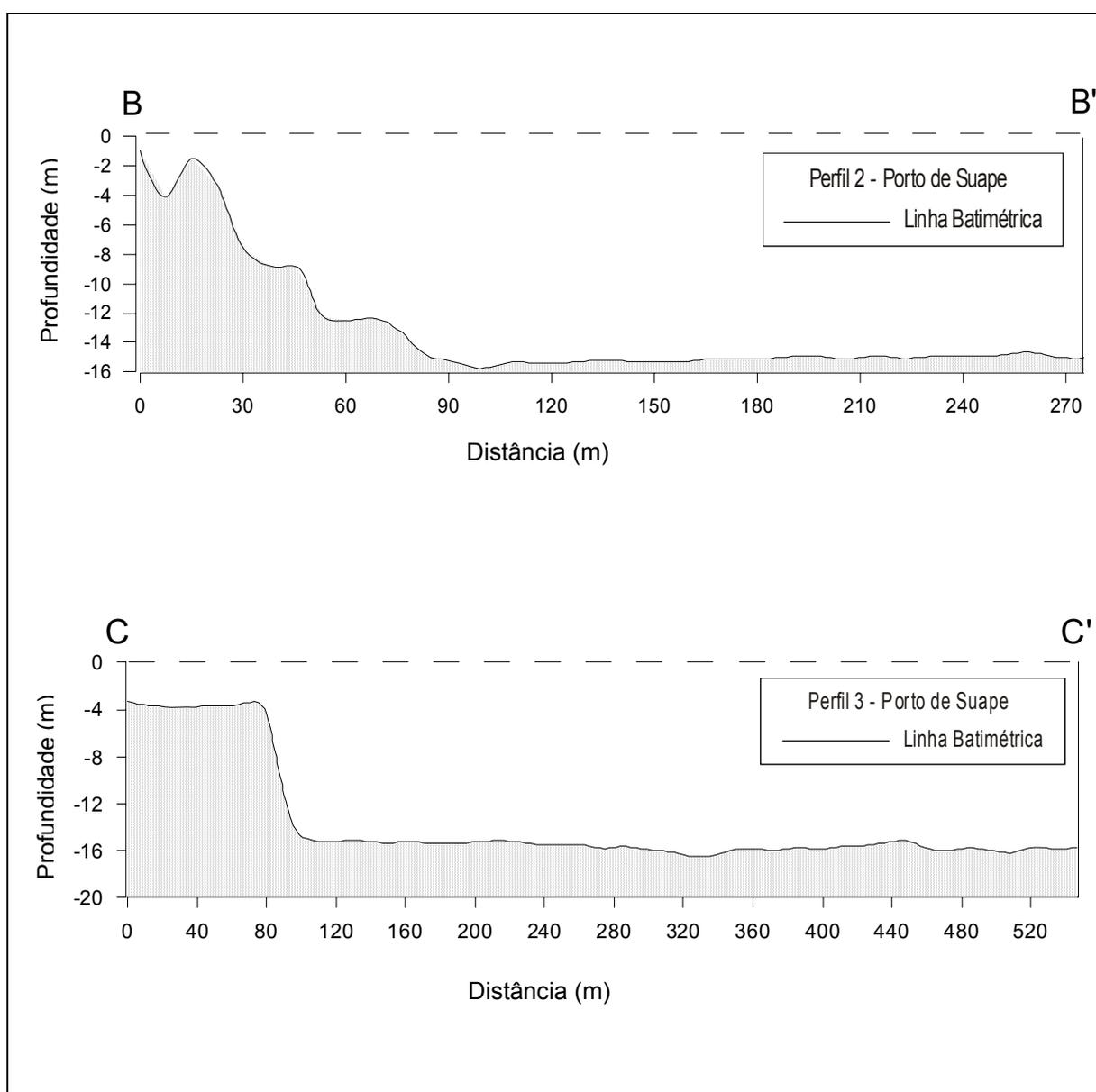
O perfil AA', esta localizado na desembocadura do estuário do rio Tatuoca apresentando direção geral S-N (Figura 40). O referido perfil apresenta duas áreas distintas, separados por uma escarpa com um desnível batimétrico da ordem de aproximadamente 6 m. O perfil possui uma distância de pouco mais de 160 m, ficando sua maior parte emersa na maré baixa, ou seja, relevo com valores positivos apresentando bancos arenosos, possivelmente relacionados ao muro recentemente construído que alterou toda sua dinâmica fluvial. Nos últimos 50 metros do perfil, verificamos uma quebra acentuada do mesmo (6 metros), representando uma provável área de dragagem uma vez que a profundidade se mantém constante. Os sedimentos do perfil são constituídos por areias médias nas zonas rasas e de areia fina nas áreas mais profundas.



**Figura 40 – Perfil batimétrico da desembocadura do estuário do rio Tatuoca.**

Os perfis BB' e CC' localizados em frente ao Porto de Suape, possuindo direção geral SW-NE (Figura 41). O primeiro possui largura em torno de 270 metros, apresentando uma topografia de fundo bem contrastante, com um relevo inicialmente acentuado, formado por bancos e cavas nos primeiros 90 metros do

perfil (margem adjacente a ilha de Cocaia) evidenciando provavelmente atividades de dragagem com deposição do material dragado na Ilha de Cocaia. Os sedimentos são constituídos por areias finas a muito finas gradando para lama nas partes mais profundas. A maior profundidade encontrada foi em torno de 16 metros. Já o perfil CC' apresentou uma extensão de 540 metros, caracterizado por uma topografia abrupta. É relativamente plano nos oitenta metros iniciais, com média de 4 metros de profundidade. A partir deste ponto, observa-se um declive muito acentuado alcançando a profundidade de aproximadamente 16 metros onde se torna novamente plano. Os sedimentos aí presentes são lamosos com baixo percentual de areia.



**Figura 41 – Perfis batimétricos adjacente ao Porto de Suape.**

Os perfis DD' e EE' estão ambos localizados na Baía de Suape, na região dos canais laterais da Ilha de Cocaia, com direção geral W-E (Figura 42). Possuem morfologias bem diferenciadas. O primeiro (DD') situado do lado direito da Ilha de Cocaia, apresenta apenas 7 m de largura, declive suave e na parte central uma zona mais profunda com um metro de extensão e 4,5 metros de profundidade. É constituído basicamente por areia grossa a média. O segundo (EE') com aproximadamente 120 m de largura, apresentando morfologia extremamente complexa com bancos e cavas alternadas. Sua profundidade é muito rasa chegando no máximo até a 1,2 m, representando uma possível zona de deposição por se tratar de uma região abrigada da ação de ondas. O perfil é constituído por areias finas a muito finas.

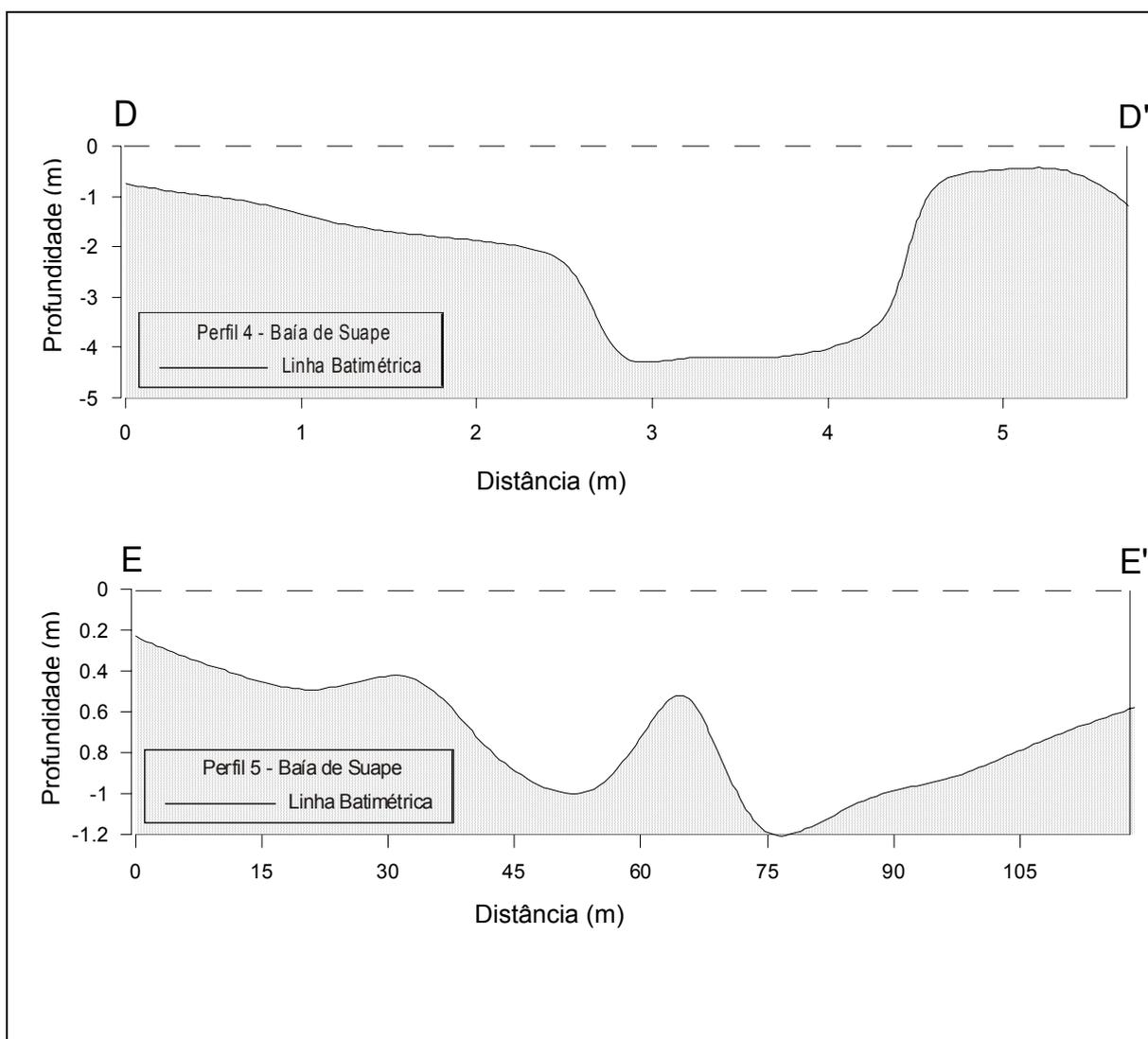
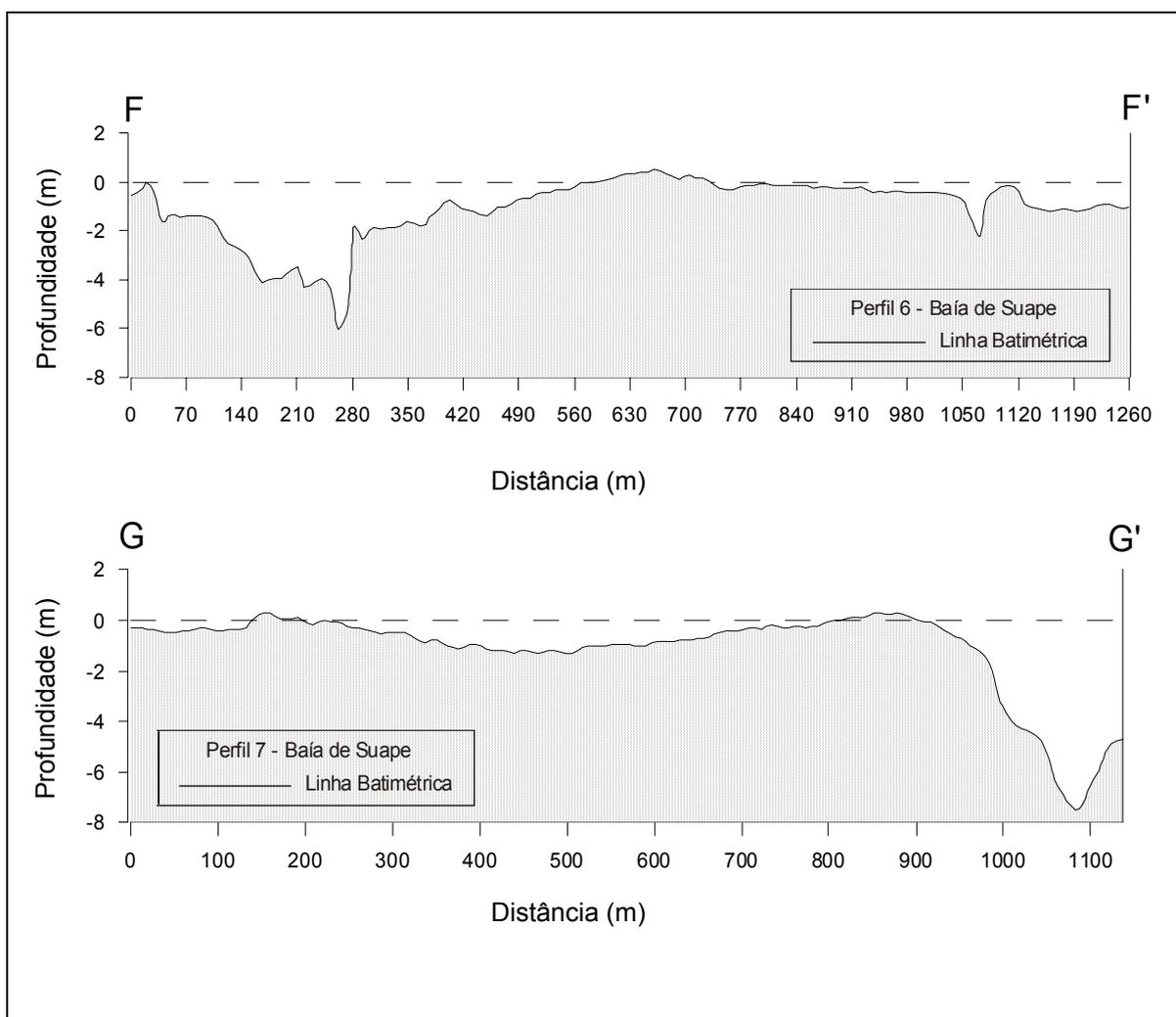


Figura 42 – Perfis batimétricos na Baía de Suape adjacente a Ilha de Cocaia.

Os perfis FF' e GG' estão localizados na Baía de Suape, em frente à praia do mesmo nome, com direção geral NW-SE (Figura 43). O primeiro perfil (FF') mede 1.260 metros, começando no final do talvegue do rio Massangana, com profundidades que variam de 1 até 6 metros aproximadamente e vão diminuindo novamente com a continuação do perfil em direção ao oceano, atingindo até a cota acima do nível do mar (zero) em alguns trechos, mantendo um relevo relativamente plano. São constituídos por areia média. O segundo perfil (GG') possui uma extensão de aproximadamente 1.150 metros, com um relevo relativamente plano e uma leve concavidade de 1,5 m de profundidade. No final do perfil verificamos uma declividade acentuada chegando até 7,5 de profundidade, próximo ao limite com o *beachrock*. É constituído por areia grossa a média.



**Figura 43 – Perfis batimétricos na Baía de Suape adjacente a desembocadura do estuário do rio Massangana e da praia de Suape.**

Os perfis HH', II' e JJ' estão localizados ao longo do estuário do rio Massangana, respectivamente nos setores inferior (NE-SW), médio (SW-NE) e superior (SW-NE) sendo bem distintos em morfologia (Figura 44).

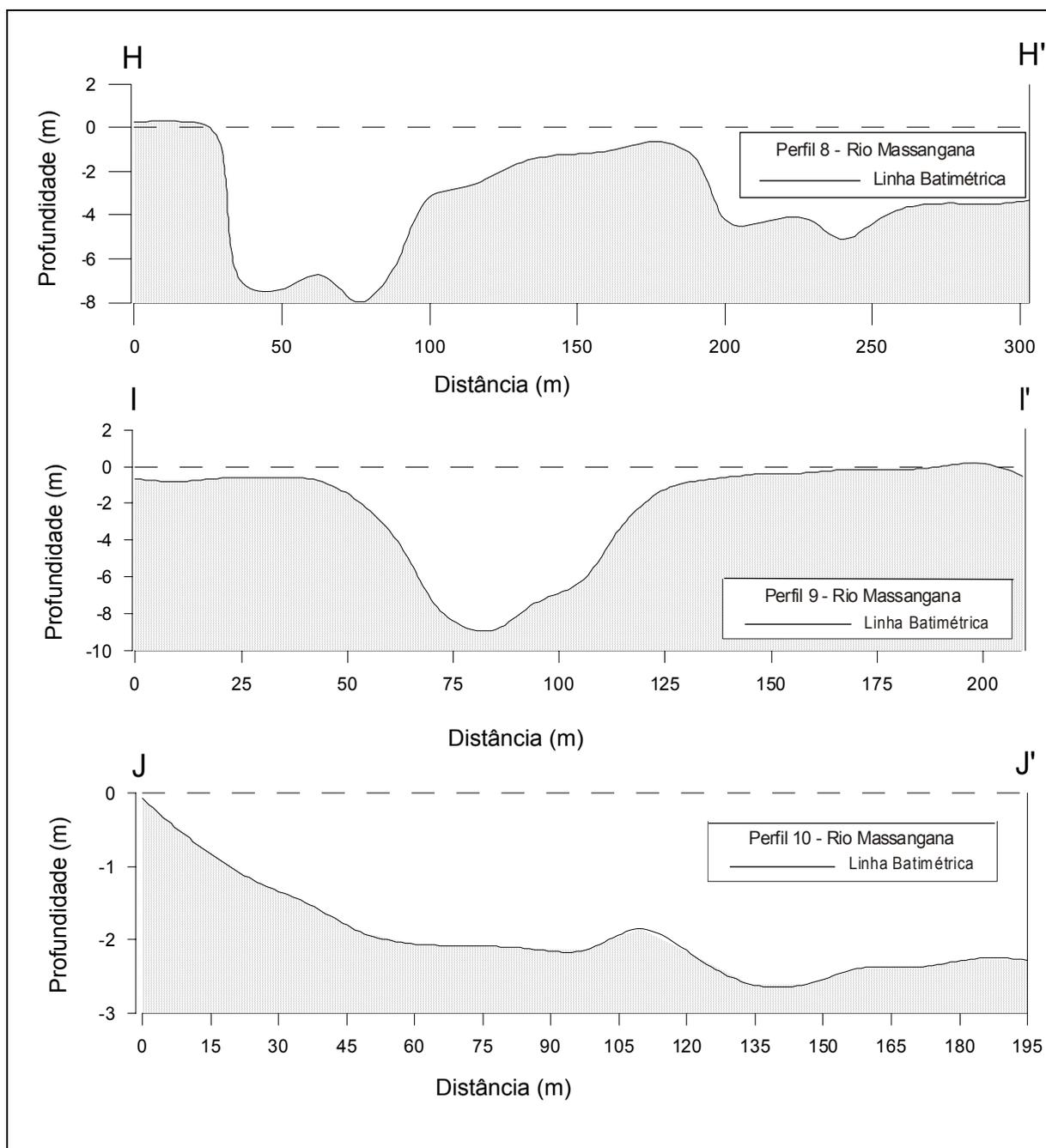


Figura 44 – Perfis batimétricos na Baía de Suape adjacente a desembocadura do estuário do rio Massangana e da praia de Suape.

O primeiro perfil (HH') com largura média de 300 m, constituído por bancos e cavas, com profundidade máxima em torno de 8 metros. Possui declives bem abruptos, com distintas cotas dentro do perfil. Predominam lama ao longo do perfil até aproximadamente a quebra do talude (7 m) onde prevalecem as areias finas a muito finas no restante do perfil. O perfil II' representa uma morfologia em forma de "V" com predomínio de areia grossa em todo perfil. Seu comprimento fica em torno de 210 metros com uma cota máxima de quase 9 metros na parte mais profunda. Já o perfil JJ' é caracterizado pela declividade mais suavizada, onde se verifica na parte central uma topografia mais acentuada em forma de "berma", apresentando posteriormente a continuação da declividade anterior até a cota de aproximadamente 2,5 m. Seu comprimento é de 195 metros. A granulometria predominante é lama, com predominância da fração silte e no final do perfil areia muito fina.

Os perfis LL', MM' e NN' encontram-se localizados dentro do canal retificado, com suas direções NEE-SWW, W-E e NE-SW respectivamente (Figura 45). O perfil LL' possui aproximadamente 220 metros de largura. É caracterizado por apresentar uma morfologia relativamente suave com presença de elevações discretas. Sua cota batimétrica máxima é de 2,5 m. O leito fluvial é composto por sedimentos lamosos. O perfil MM' apresenta uma morfologia suave e um leve declive. Sua cota batimétrica é extremamente rasa, não ultrapassando 1,6 metros. Sua largura é de pouco mais de 70 metros. É constituído principalmente por areia, devido a confluência com o riacho Algoduais, mas com a presença de lama na parte central do perfil. O perfil NN' apresenta uma morfologia bem movimentada, com alternâncias de bancos e cavas. Sua largura é bem extensa com aproximadamente 700 metros. Constituído por sedimentos lamosos.

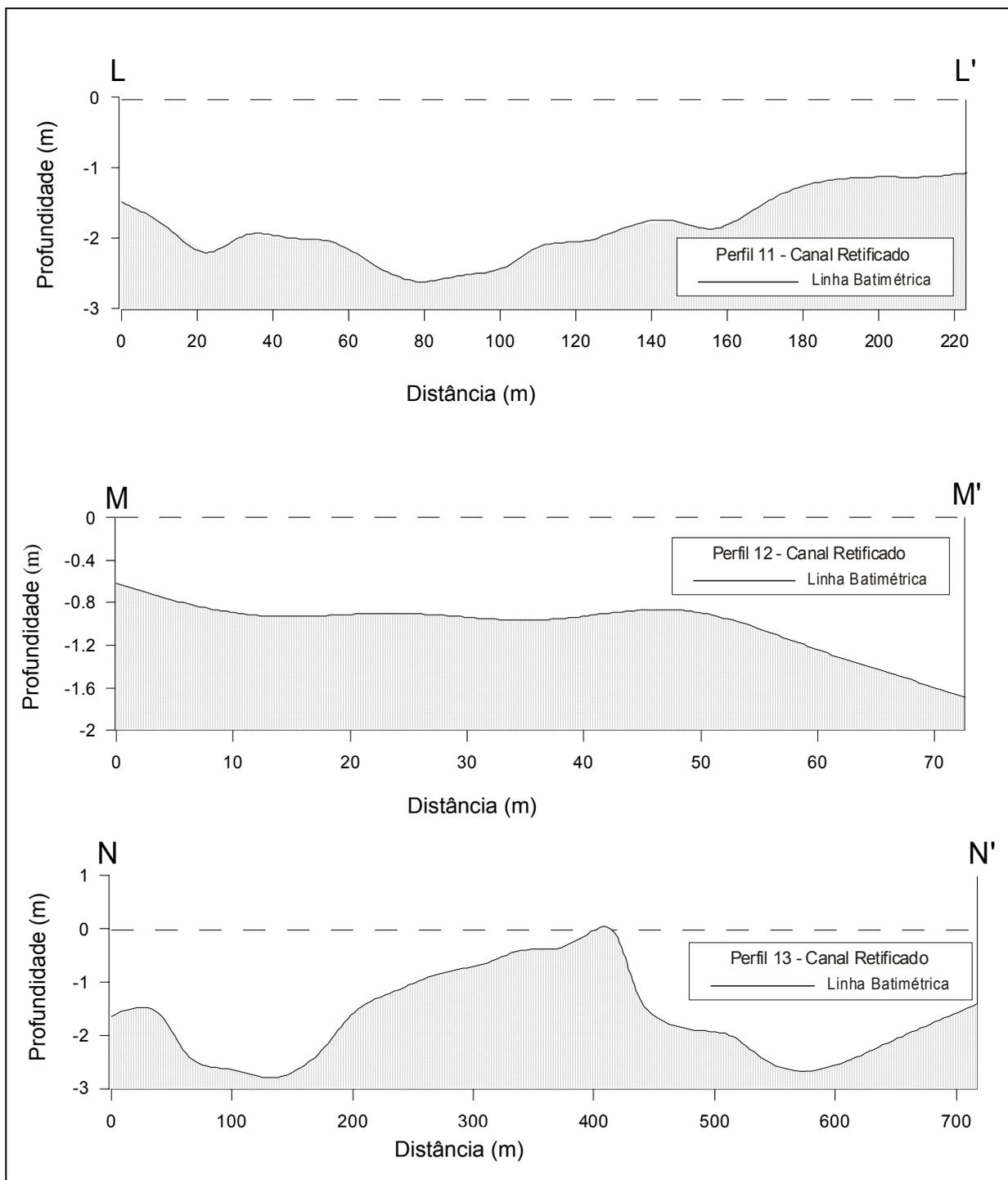


Figura 45 – Perfis batimétricos na porção superior, média e inferior do canal retificado.

O perfil OO' está localizado no riacho Ilha da Cana, afluente do rio Massangana. Sua direção é NNE-SSW (Figura 46). É caracterizado por apresentar uma morfologia bem movimentada, com escarpas acentuadas e relevo plano, porém com baixa cota batimétrica, atingindo nas partes mais profundas 2 metros apenas. Seu perfil possui aproximadamente 250 metros. A composição do fundo é predominantemente constituída por areia média.

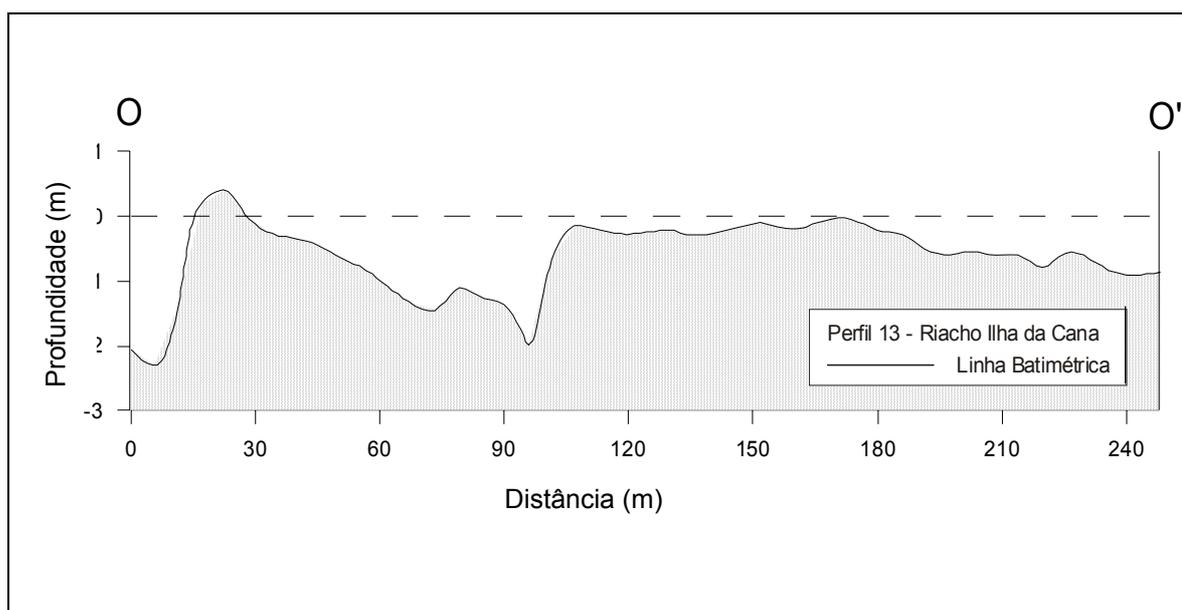


Figura 46 – Perfil batimétrico no leito principal do riacho da Ilha da Cana.

#### 4.4 – PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA ÁGUA

De acordo com os resultados obtidos para os valores de pH, nenhuma estação apresentou valores em desacordo com os padrões estabelecidos pela Resolução nº 357 do CONAMA (2005). A oscilação dos valores de pH para o conjunto das amostras esteve compreendida entre 6, 7 a 8, estabelecendo condições de pH levemente ácidos a moderadamente alcalinos, provavelmente correlacionados com a influência da maré (Tabela 11).

Utilizando como nível de referência a resolução do CONAMA nº 357/2005 e sua classificação de uso, as águas do sistema estuarino de Suape podem ser classificadas como pertencentes à categoria de águas salobras correspondendo à classe 1, utilizadas para recreação de contato primário, turismo e proteção das comunidades aquáticas e atividades pesqueira, ambas com limite de pH entre 6,5 e 8,5.

Observou-se que a temperatura d'água na superfície variou entre 28,5 a 32,1° C, valor esse considerado acima da média esperada para essa região, segundo os dados pretéritos disponíveis. Ainda levando em consideração a elevada taxa pluviométrica durante o dia de coleta, estes valores podem estar associados à falta de precisão do eletrodo portátil contido no equipamento utilizado para esta análise (Tabela 11).

O aumento da temperatura na água tem uma importância fundamental, pode ocasionar uma série alterações, entre as quais podemos citar: diminuição da solubilidade de gases e aumento da taxa das reações químicas e biológicas que se desenvolvem na faixa usual de temperatura (catalisador) e aumento da taxa de transferência para a coluna d'água de gases produzidos na camada sedimentar e dissolvidos na água intersticial aos sedimentos, o que pode gerar mau cheiro, no caso da liberação de gases reduzidos com odores desagradáveis, como o metano, o gás sulfídrico e o amoníaco (Baumgarten, 2001).

A condutividade elétrica é a medida da capacidade de uma solução aquosa de transmitir uma corrente elétrica. Esta capacidade depende da presença de íons. Soluções da maioria dos compostos inorgânicos são relativamente bons condutores. Conseqüentemente, moléculas de compostos orgânicos que não se dissociam em solução aquosa, conduzem corrente elétrica muito pobre (APHA, 1998).

**Tabela 11 – Relação dos parâmetros físico-químicos da água, por estação de amostragem nos estuários da Região interna de Suape no período de março de 2008.**

<b>Estação</b>	<b>Hora</b>	<b>Coleta</b>	<b>pH</b>	<b>Eh (mV)</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Condutividade (mS/cm)</b>	<b>Resistividade (Ω.cm)</b>	<b>Maré</b>	<b>Distância do Oceano (km)</b>
E1	10:20	Superfície da água	6,7	191	32,1	10,99	89,8	Enchente	7,9
E2	10:45	Superfície da água	7,2	183	31,4	16,50	61,3	Enchente	7,1
E3	11:10	Superfície da água	7,2	177	30,9	16,76	60,2	Enchente	5,9
E3	11:17	1 m de profundidade	7,0	200	31,9	16,44	61,6	Enchente	5,9
E3	11:23	2 m de profundidade	7,2	210	31,6	16,52	61,5	Enchente	5,9
E4	11:30	Superfície da água	7,4	196	30,6	16,76	60,1	Enchente	5,1
E4	11:40	1 m de profundidade	7,3	193	30,9	16,69	60,9	Enchente	5,1
E4	11:50	2 m de profundidade	7,3	195	30,8	16,79	60,2	Enchente	5,1
E5	13:08	Superfície da água	7,6	184	30,0	17,06	59,3	Enchente	4,1
E6	14:53	Superfície da água	7,7	174	30,4	16,81	60,1	Vazante	4,33
E7	15:30	Superfície da água	7,9	202	29,8	19,94	59,6	Vazante	2,85
E8	16:00	Superfície da água	8,0	206	28,5	17,36	58,2	Vazante	0,93
E9	16:30	Superfície da água	7,9	210	29,5	17,02	59,4	Vazante	0,2

A condutividade elétrica ao longo da área de estudo oscilou entre 10,99 a 19,94 S/cm. Esse baixo índice encontrado pode também estar associado à elevada quantidade de chuvas ocorridas durante a coleta, com maior diluição da maré salina em toda área e conseqüentemente ocasionado à diminuição dos teores de sais no interior do estuário (Tabela 11).

Os valores de Eh variaram entre 174 a 210 mV (Tabela 11), apresentando uma média de 194 mV, caracterizando assim condições oxidantes em suas águas (Eh >150).

Com relação à resistividade, observamos que há presença de uma homogeneidade nos dados, com exceção da primeira estação, que apresentou um valor bem acima dos demais (89,8  $\Omega$ .cm) enquanto os demais apresentaram valores oscilando entre 58,2 a 61,6  $\Omega$ .cm (Tabela 11).

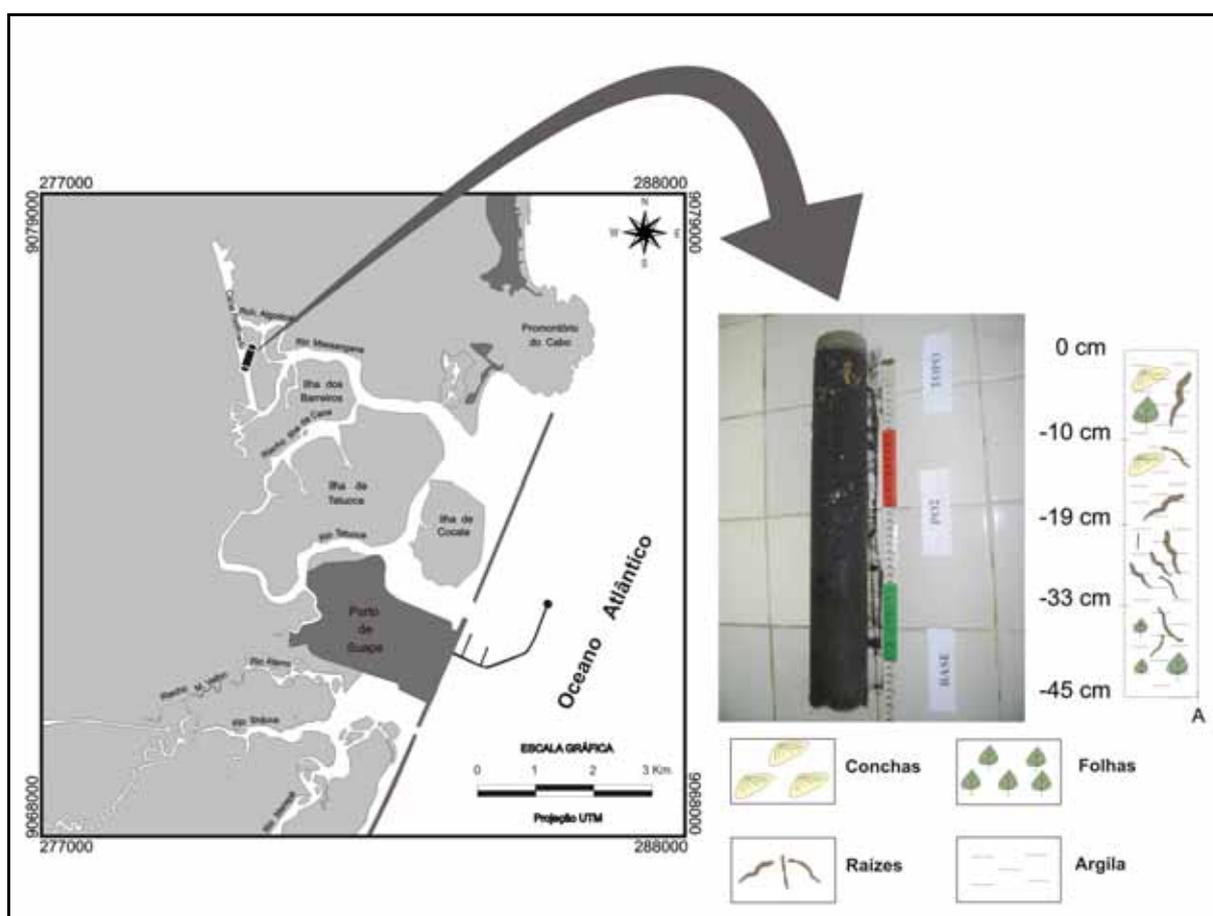
Os valores dos sólidos totais não foram apresentados por ficarem todos acima do limite de detecção do equipamento (>10.000 ppm).

De acordo com Braga (1989), Neumann (1991) e Macedo *et al.* (2001) observou-se um processo do aumento de salinidade no estuário do rio Massangana devido a intensa evaporação e a diminuição do aporte de água doce em função da interrupção do fluxo do rio Tatuoca que margeava os recifes para o norte antes da construção do Porto de Suape. O rio Tatuoca também passou a apresentar elevadas salinidades no seu setor mais interno pelo maior aporte da água salgada.

Os resultados dos parâmetros físico-químicos da água mostraram claramente que os níveis de pH permanecem elevados no estuário do rio Massangana, Riacho Ilha da Cana e na Baía de Suape, indicando assim uma elevada influência marinha na região estuarina de Suape. A facilidade da penetração do mar na Baía de Suape e nos estuários adjacentes deve-se à interrupção do fluxo de água doce proveniente do rio Ipojuca e a maior facilidade de entrada das correntes de maré nos estuários.



O testemunho 2 foi coletado na parte mais interna e ao sul no Canal Retificado, com 45 cm de comprimento (Figura 48). Após o descongelamento, ele foi seccionado em 4 partes na busca de estruturas sedimentares, as quais não foram encontradas. Foi identificada a presença de conchas nas secções superficiais; restos de vegetação (no primeiro e último segmento) e raízes espalhadas por todo o testemunho o qual é predominantemente argiloso. Apresenta na sua porção basal coloração preto oliva (5Y2/1) e preto amarronzado (5YR2/1) no topo.



**Figura 48 – Testemunho sedimentológico 2.**

O testemunho 3 foi coletado na parte intermediária do estuário do Rio Massangana. Seus 46 cm de comprimento (Figura 49) são compostos por argila com raízes e conchas (inteiras e fragmentadas) nos últimos 25,5 cm, e folhas na última secção. A coloração do testemunho varia de preto amarronzado (5YR2/1), na base, a preto acinzentado (N2), no topo.

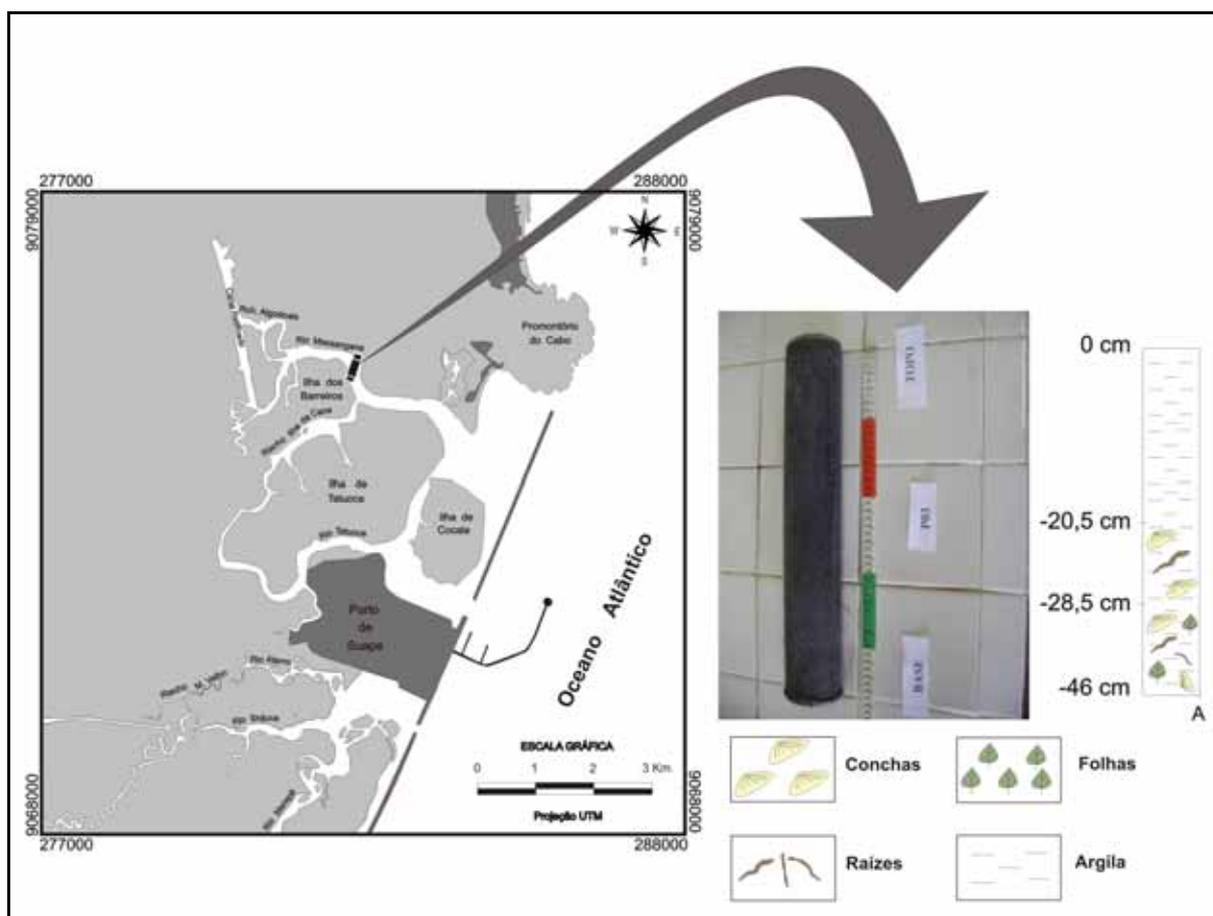


Figura 49 – Testemunho sedimentológico 3.

O testemunho 4 foi coletado próximo ao ponto de encontro dos estuários dos rios Massangana e Tatuoca. Com 36 cm de comprimento (Figura 50), tem a coloração variando de preto (N1) a preto acinzentado (N2), é composto litologicamente por sedimento argiloso. Possui ainda, folhas e raízes espalhadas por toda a sua extensão.

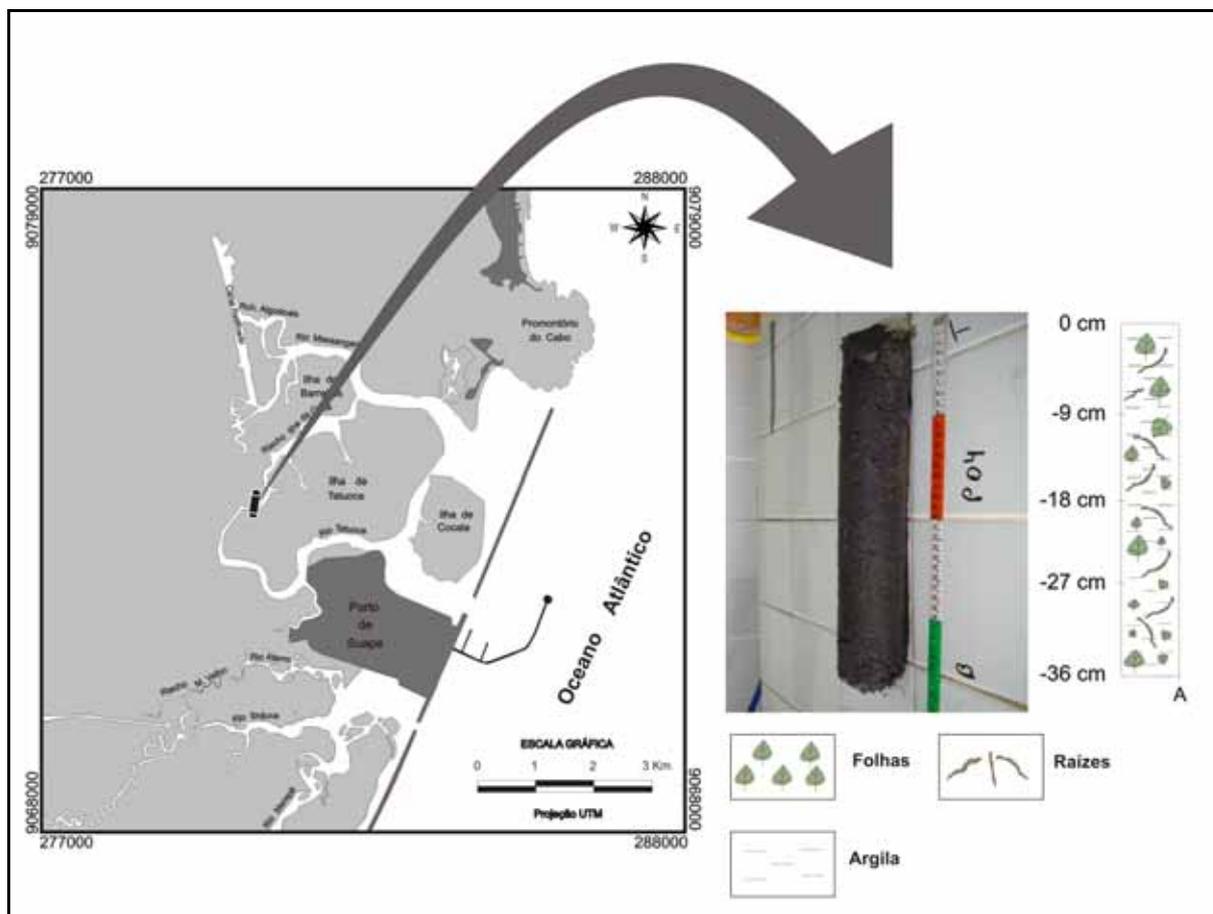
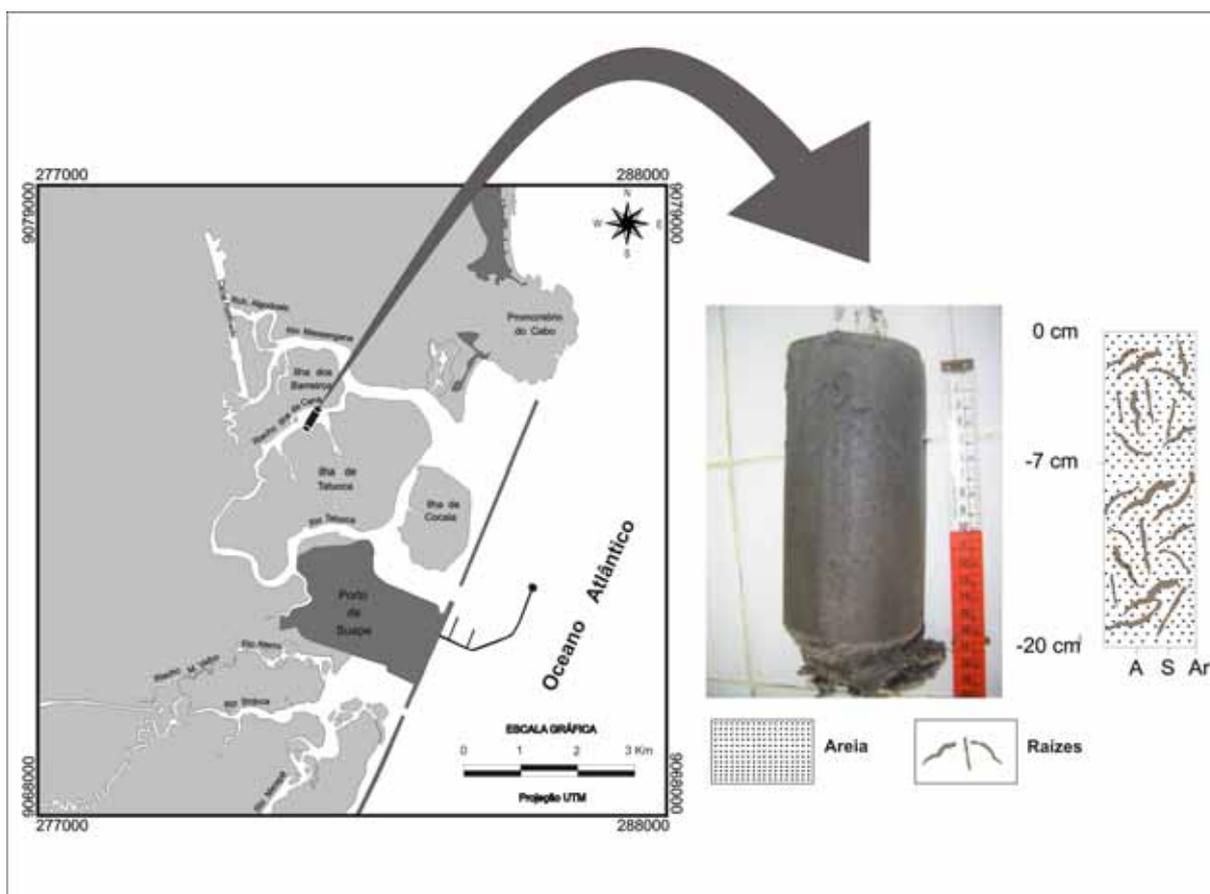


Figura 50 – Testemunho sedimentológico 4.

O testemunho 5 foi coletado próximo à desembocadura do Riacho Ilha da Cana, com 20 cm de comprimento (Figura 51). Sua coloração varia de preto oliva (5Y2/1), na base, passando a preto amarronzado (5YR2/1) na porção intermediária, chegando ao preto acinzentado (N2) no topo. Litologicamente é constituído por areia fina.



**Figura 51 – Testemunho sedimentológico 5.**

#### 4.5.1.2 – Análise granulométrica

De acordo com os resultados da análise granulométrica obtida no testemunho 5 verificou-se o predomínio de areia fina (Tabela 12) evidenciando um transporte predominantemente por saltação.

Com relação ao desvio padrão, os sedimentos do testemunho 5 apresentaram-se moderadamente selecionados, confirmando características de intensa energia no ambiente de deposição.

Os valores de assimetria predominantemente negativa nas amostras do testemunho 5 caracterizam um ambiente de sedimentação ligada a uma intensa hidrodinâmica.

Os valores de curtose dos sedimentos analisados no testemunho 5 indicaram zonas de alta e intermediária movimentação.

**Tabela 12 – Parâmetros estatísticos dos sedimentos do testemunho 5.**

<b>Amostra</b>	<b>Média</b>	<b>Assimetria</b>	<b>Curtose</b>	<b>Desvio Padrão</b>
P-5/1	Areia fina	Assimetria negativa	Mesocúrtica	Moderadamente selecionado
P-5/2	Areia fina	Assimetria negativa	Leptocúrtica	Moderadamente selecionado

#### 4.5.1.3 – Análise morfoscóptica e composicional

Os dados obtidos nas amostras do testemunho 5 apontaram a predominância de grãos muito angulosos a sub-arredondados indicando, assim, uma intensa abrasão e/ou um transporte pouco eficiente (Tabela 13).

A esfericidade detectou a presença de alta e baixa esfericidade nos grãos de areia nas amostras, resultando assim, em informações pouco significativas na interpretação do ambiente.

As observações sobre a textura superficial da fração arenosa nas amostras estudadas mostrou a presença de grãos não desgastados e subordinadamente desgastados com brilho. Os grãos não desgastados evidenciam pouco transporte, enquanto que os brilhantes indica o retrabalhamento em ambiente sub-aquoso (Tabela 13).

Composicionalmente as amostras do testemunho 5 observadas em lupa binocular, são predominantemente quartzosas (Tabela 13), apresentando subordinadamente grãos bioclásticos (foraminíferos, tubos de vermes, etc.) (Fotos 27 e 28).

**Tabela 13 – Resultados da análise morfoscóptica do testemunho 5.**

<b>Amostra</b>	<b>Composição</b>	<b>Arredondamento</b>	<b>Esfericidade</b>	<b>Textura superficial</b>
P-5/1	Quartzo, restos vegetais e bioclastos (foraminífero bentônico, provavelmente uma Rosalina; e provável tubo de verme)	Muito anguloso a sub-arredondado.	Baixa	Desgastados (brilhantes) a não desgastados
P-5/2	Quartzo restos de vegetais e bioclastos (fragmento de concha)	Muito anguloso a sub-arredondado.	Alta	Desgastados (brilhantes) a não desgastados

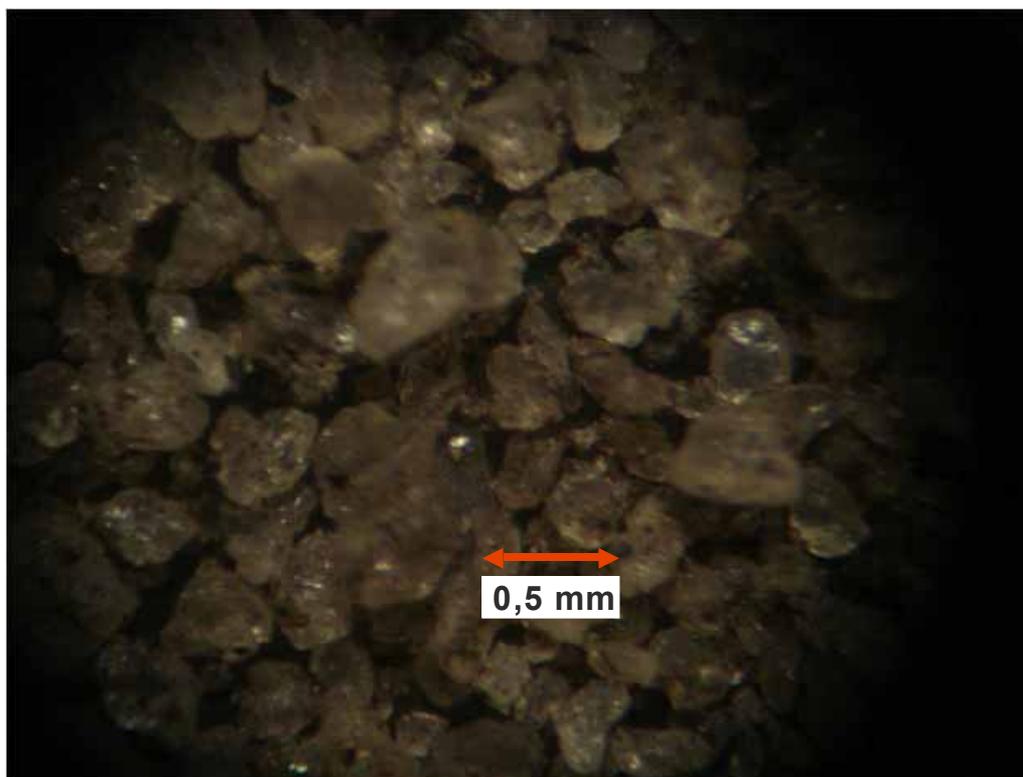


Foto 27 – Aspectos dos grãos de quartzo em lupa binocular.



Foto 28 – Grão bioclasto: foraminífero bentônico (*Rosalina* sp.).

#### 4.5.1.4 – Difratometria de Raios-X

A identificação dos minerais presentes nas amostras dos testemunhos, através do método de difratometria de Raios-X encontra-se na Tabela 14. A composição mineral da maioria das amostras analisadas consistiu de quartzo e caulinita. No entanto, foi identificada a presença de esmectita e illita nos testemunhos 1 e 5, respectivamente.

**Tabela 14 – Composição mineralógica das amostras obtida por DRX.**

<b>Testemunho</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>Mineralogia</b>	<p><b>Esmectita</b></p> <p><b>Caulinita</b></p> <p><b>Quartzo</b></p>	<p><b>Caulinita</b></p> <p><b>Quartzo</b></p>	<p><b>Caulinita</b></p> <p><b>Quartzo</b></p>	<p><b>Illita</b></p> <p><b>Caulinita</b></p> <p><b>Quartzo</b></p>

Segundo Eisma (1993) as partículas minerais em rios, lagos e estuários, como também na plataforma e no oceano, constituem uma assembléia de partículas de diferentes tipos, que refletem os tipos de rochas e condições de intemperismo na área fonte. As partículas minerais presentes em suspensões e nos sedimentos são aquelas resistentes aos agentes intempéricos. Os argilominerais são produtos do intemperismo em feldspatos e outros minerais presentes em rochas e solos. Pelo fato desses minerais estarem sendo formados agora, durante o intemperismo de rochas e em solos, eles refletem muito mais zonas climáticas do que o quartzo e o feldspato. A caulinita provém, predominantemente, de áreas tropicais e subtropicais. Illitas ocorrem em uma grande variedade de ambientes, dominando onde as caulinitas e cloritas estão presentes em menor quantidade, isto é, em latitudes médias. As esmectitas são formadas em solos de clima úmido de média a baixa temperatura, pelo intemperismo direto da rocha, ou pela transformação de illitas ou cloritas (através da substituição do  $K^+$  interfoliar por moléculas de água).

Millot (1964) com base em pesquisas realizadas por vários autores sobre argilas marinhas, afirma a substituição das esmectitas por illitas e cloritas à medida que os aportes fluviais caminham para o mar. O autor confirma a unanimidade sobre a origem continental das argilas marinhas, as quais imitam as características das

rochas, das alterações e dos solos do continente vizinho. No entanto, apesar de não haver dúvida sobre o fato de que as argilas marinhas são repetições das argilas herdadas pelos rios, a maior parte dos autores mostra que essas repetições podem ser alteradas seja por transformações ou por floculação diferencial ou preferencial.

A presença de caulinita em todas as amostras analisadas está associada às condições climáticas reinantes na área, confirmando sua origem como produto de intenso intemperismo químico. As esmectitas e ilitas estão relacionadas, possivelmente, a atuação de processos intempéricos de natureza química, mais amenos, e/ou a transformações ou floculação diferencial ou preferencial.

#### 4.5.1.5 – Discussão geral dos testemunhos sedimentológicos

O processo clássico na circulação desse estuário é a mistura da água salgada com a água doce, em um ambiente parcialmente restrito. Esse processo é controlado pelos fatores essenciais, que são as marés e as correntes fluviais residuais, associadas aos efeitos das ondas e diferenças de densidade entre a água doce e salgada.

A descrição dos testemunhos forneceu elementos básicos para a interpretação da hidrodinâmica no estuário do rio Massangana, Canal Retificado e riacho Ilha da Cana. Foi evidenciada a predominância de sedimentos argilosos (testemunhos 1, 2, 3, 4) caracterizando um ambiente ligado a uma baixa hidrodinâmica nos locais de coleta dos testemunhos, principalmente favorecendo a decantação das partículas finas transportadas em suspensão.

A presença de areia fina no testemunho 5 (Riacho Ilha da Cana) está provavelmente relacionada a uma hidrodinâmica mais intensa, onde o processo de transporte está associado ao processo de saltação dos grãos. Esta relação pode ser facilmente comprovada pela presença de grãos quartzosos sub-angulosos e sub-arredondados, apresentando certo desgaste.

Os argilominerais identificados ao longo do estuário do rio Massangana são influenciados pelas rochas-mães, as alterações e os solos das bacias hidrográficas. A presença dominante da caulinita está relacionada às condições climáticas da área, sujeita a um clima tropical quente e úmido com alternância de estações chuvosa e seca, favorecendo a atuação do intemperismo químico.

A atuação desse clima também propicia a formação de esmectitas na porção mais interna do estuário, como visto no testemunho 1. Enquanto a illita, presente no testemunho 5, pode estar relacionada às possíveis mudanças mineralógicas influenciadas pela passagem da água doce para água marinha.

#### 4.5.2 – ANÁLISES GEOQUÍMICAS

##### 4.5.2.1 – Matéria orgânica e carbonatos totais

Dentre as amostras coletadas para análises geoquímicas foi separada uma alíquota para a determinação da matéria orgânica e dos carbonatos totais. Na tabela 15 estão as concentrações de matéria orgânica e carbonatos totais encontrados nos testemunhos coletados.

As concentrações de matéria orgânica em todos os testemunhos estudados tiveram uma variação entre 0,3% e 26,4%, enquanto que os carbonatos totais variaram entre 0,5% a 19%.

As distribuições dessas concentrações podem ser vista em detalhe na descrição detalhada de cada testemunho sedimentar a seguir.

##### 4.5.2.1.1 – Testemunho 1

As concentrações de matéria orgânica no testemunho 1 ficaram entre 10 a 15%, enquanto os carbonatos variaram em torno de 11 a 14%.

O material constituinte deste testemunho é formado por sedimento predominantemente argiloso, de acordo com avaliação tátil e visual. A concentração de matéria orgânica mostra oscilações irregulares da base para o topo ao longo do perfil. Já a concentração de carbonatos totais teve também diversas oscilações ao longo do perfil, com distribuição irregular da base para o topo. A matéria orgânica e os carbonatos totais neste perfil possuem uma relação inversamente proporcional do topo até a profundidade de 24 cm, sendo que a partir deste ponto até 36 cm não possuem nenhuma correlação (Figura 52).

**Tabela 15 – Concentrações de Matéria orgânica (M.O.) e Carbonatos totais (C.T.) nos testemunhos coletados.**

Profundidade (cm)	Testemunho 1		Testemunho 2		Testemunho 3		Testemunho 5	
	M.O. (%)	C.T. (%)	M.O. (%)	C.T. (%)	M.O. (%)	C.T. (%)	M.O. (%)	C.T. (%)
0-3	10,5	13,5	10,3	13,3	9,7	11,6	0,3	1,6
3-6	12,3	12,0	14,8	12,6	8,8	11,8	2,1	2,1
6-9	11,9	12,6	14,0	15,1	9,8	12,2	1,2	1,8
9-12	11,1	12,8	12,3	13,8	7,3	11,3	1,7	1,6
12-15	10,0	13,9	16,0	13,2	7,0	10,5	1,0	1,3
15-18	12,0	12,8	10,4	17,6	8,6	12,8	0,9	1,0
18-21	10,0	13,9	13,2	15,2	7,1	11,1	0,4	0,9
21-24	12,4	10,7	13,8	14,4	9,1	12,6	0,7	0,9
24-27	15,3	11,3	14,8	14,1	4,1	6,0	3,8	3,5
27-30	14,9	10,9	14,5	13,8	6,8	7,6	2,8	0,7
30-33	11,0	11,5	14,7	11,3	6,3	8,8	0,8	0,4
33-36	14,4	10,6	14,6	12,1	5,8	8,8	–	–
36-39	–	–	15,5	13,9	26,4	19,1	–	–
39-42	–	–	18,8	13,4	–	–	–	–
42-45	–	–	16,0	14,6	–	–	–	–
45-48	–	–	16,9	16,5	–	–	–	–

A simbologia significa “-“ na tabela significa que não houve recuperação de amostras nesta profundidade.

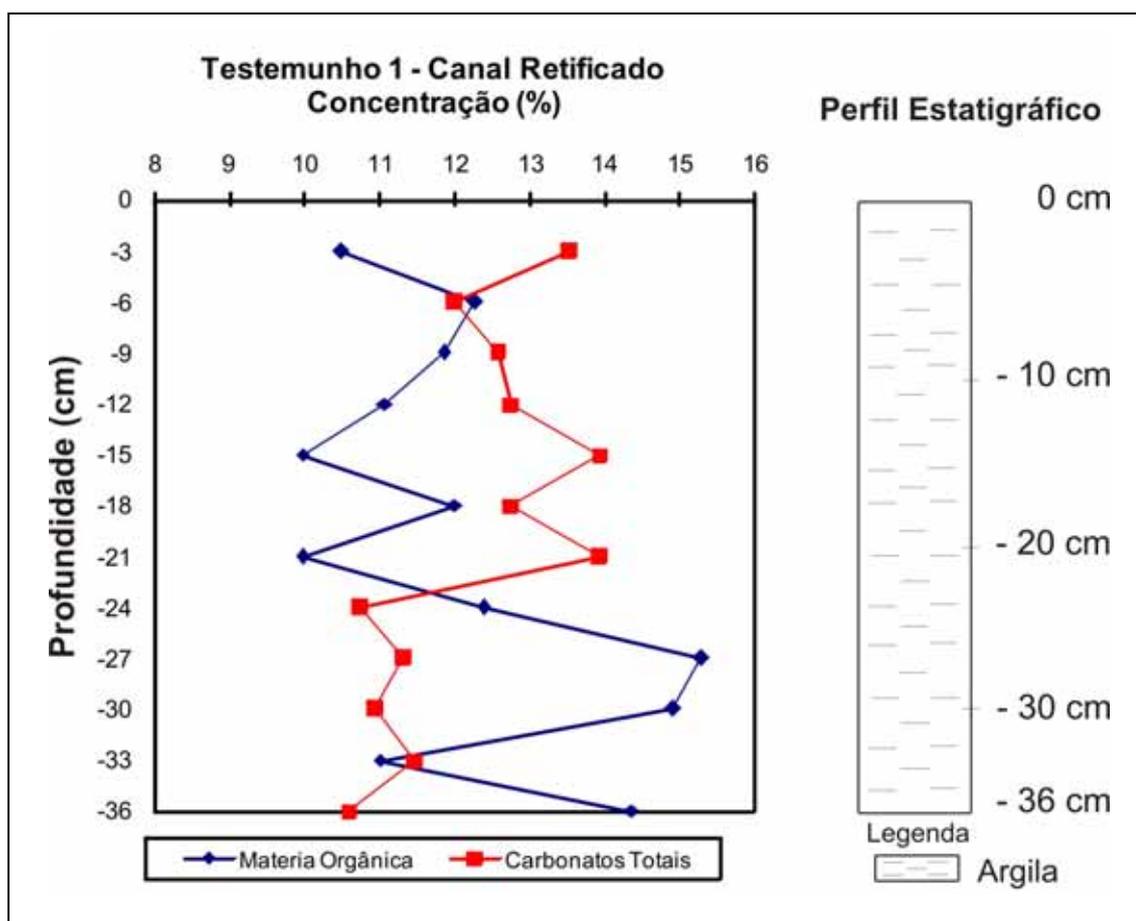
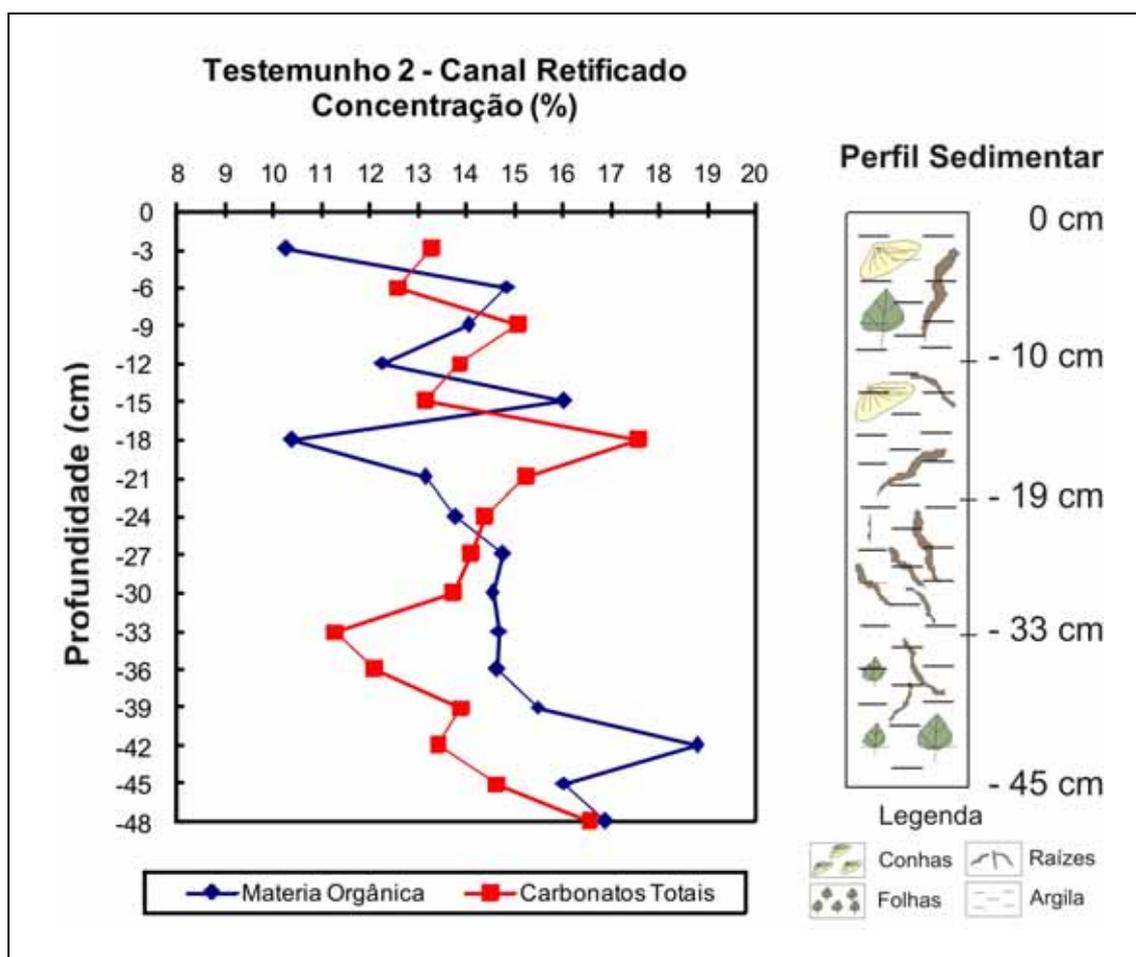


Figura 52 – Concentrações de matéria orgânica e carbonatos totais do testemunho 1 e sua correlação com o testemunho sedimentológico.

#### 4.5.2.1.2 – Testemunho 2

Neste testemunho foi identificada a presença de conchas até 15 cm superficiais, além de raízes de mangues espalhadas por todo o testemunho o qual é predominantemente argiloso. Os teores de matéria orgânica no testemunho 2 orgânica ficaram entre 10 a 19%, enquanto os teores de carbonatos totais variaram em torno de 11 a 18%. O perfil indicou uma correlação inversa entre carbonatos totais e matéria orgânica nas profundidades de 6 cm, 18 cm e 42 cm deste testemunho. A concentração de matéria orgânica diminui da profundidade de 18 cm até a base com pequenos acréscimos ao longo do perfil. Esta concentração pode estar possivelmente associada ao maior conteúdo de raízes, folhas e restos vegetais presentes na base do perfil. Já a concentração de carbonatos totais decresce do topo para a base, voltando a aumentar novamente estabilizando próxima à base (Figura 53).



**Figura 53 – Concentrações de matéria orgânica e carbonatos totais do testemunho 2 e sua correlação com o testemunho sedimentológico.**

#### 4.5.2.1.3 – Testemunho 3

É composto por argila em todo o perfil com incremento de raízes e conchas (inteiras e fragmentadas) no compartimento final do perfil. Os teores de matéria orgânica no testemunho 3 ficaram entre 4 a 26%, enquanto os teores de carbonatos totais variaram em torno de 6 a 19%. Isso nos indica uma correlação proporcional entre ambos. As concentrações de matéria orgânica e de carbonato totais apresentaram o mesmo comportamento de distribuição ao longo do testemunho, tanto de aumento como de decréscimo, evidenciando uma notória correlação positiva neste testemunho. A matéria orgânica e os carbonatos totais mostram um relativo decréscimo no intervalo de profundidade de 24 cm a 27 cm, com um aumento relativamente anômalo no intervalo de profundidade entre 36 cm e 39 cm, sendo da ordem de 26,4 e 19,1 %, respectivamente. Estes últimos valores são

significativamente elevados em relação aos demais testemunhos encontrados, provavelmente refletiu um setor do estuário onde o ambiente de sedimentação era diferente do atual onde a disponibilidade de matéria orgânica era mais abundante (há aproximadamente 80 anos) e a influência marinha mais significativa (Figura 54).

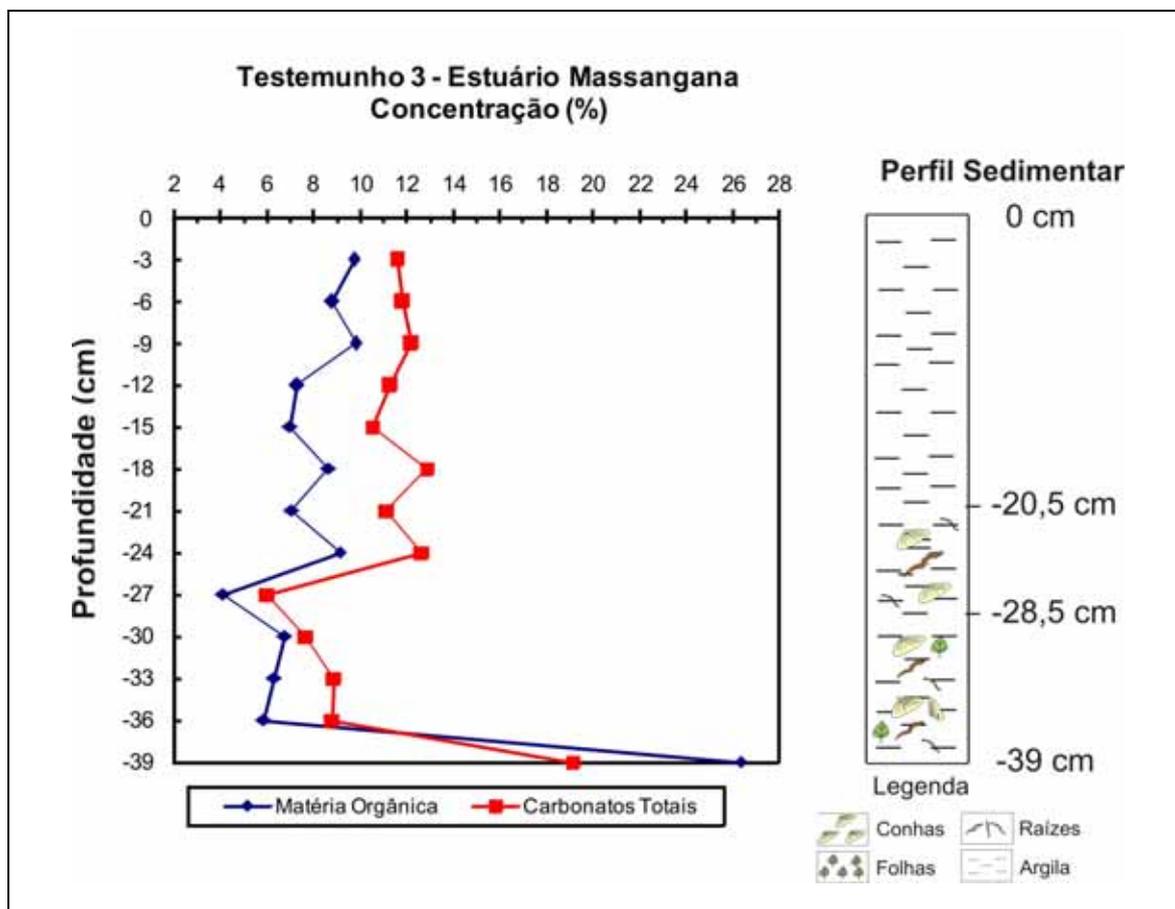


Figura 54 – Concentrações de matéria orgânica e carbono totais do testemunho 3 e sua correlação com o testemunho sedimentológico.

#### 4.5.2.1.4 – Testemunho 5

O testemunho sedimentológico não apresenta material similar com o coletado para a geoquímica, apesar da proximidade espacial, pois apresentou menos influência dos restos de vegetação do que o primeiro, porém manteve seu conteúdo sedimentar, com a predominância de areia fina. Os teores de matéria no testemunho 5 orgânica ficaram entre 0,3 a 3,8%, enquanto os teores de carbonatos variaram em torno de 0,4% a 3,5%. É o testemunho que apresenta as menores concentrações de matéria orgânica e de carbonatos totais da área, não ultrapassando 4%, com uma

nítida correlação positiva entre ambas (Figura 55). As baixas concentrações tanto de matéria orgânica quanto de carbonato total neste perfil devem estar relacionadas à constituição arenosa do testemunho. A região coletada foi considerada estratégica em função de ser mais abrigada da influência antrópica do que as demais.

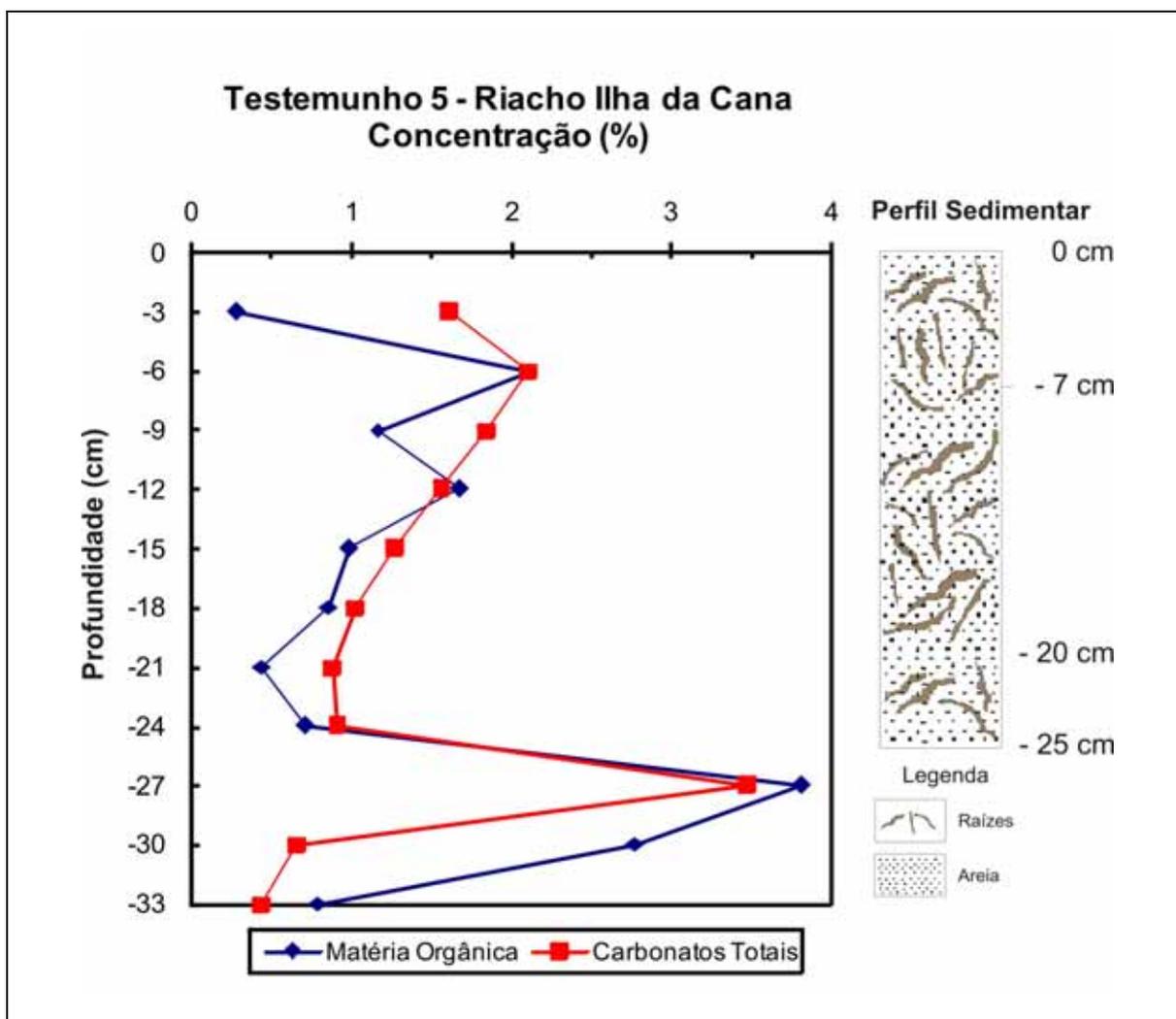


Figura 55 – Concentrações de matéria orgânica e carbonato do testemunho 5 e sua correlação com o testemunho sedimentológico.

#### 4.5.2.1.5 – Discussão geral dos testemunhos analisados

Segundo Barcellos (2005) vários processos condicionam a deposição da matéria orgânica, tais como, fatores hidrológicos, químicos e biológicos da coluna d'água, aportes de material marinho e continental e características sedimentológicas do ambiente.

Verificou-se que as maiores concentrações de matéria orgânica podem estar relacionadas à decomposição da vegetação proveniente das áreas de entorno, principalmente os manguezais. Esse fato propicia de maneira geral, um maior acúmulo de sedimentos finos, aos quais se relacionam a matéria orgânica. Os teores de matéria orgânica se apresentaram relativamente elevados em todos os testemunhos, com exceção do testemunho 5 que predomina da fração arenosa (Figura 56).

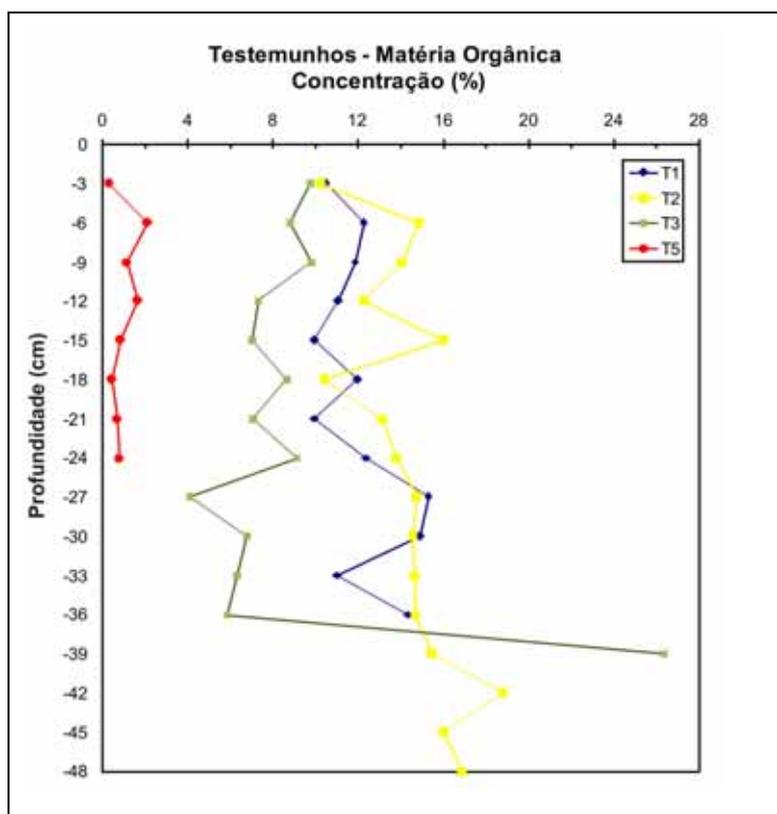


Figura 56 – Concentrações de matéria orgânica nos testemunhos.

A presença de carbonatos em depósitos de ambientes costeiros pode ocorrer na forma de partículas biodetríticas, como fragmentos de conchas, corais ou algas calcárias, na forma de cimento, ou ainda sob a forma de lama carbonática (Fritzen,

2007). As condições alcalinas das águas, também propiciaram a precipitação de carbonatos.

As elevadas concentrações de carbonatos totais encontradas nos testemunhos 1, 2 e 3 (Figura 57) não estão relacionadas a presença de material biogênico nos sedimentos, como comprovado através das análises de DRX nos testemunhos. Seu conteúdo sugere um enriquecimento de compostos carbonáticos no sedimento ao longo do tempo, provavelmente por fontes externas. Sua concentração sofre influência direta da hidrodinâmica local através do aporte fluvial e das oscilações das marés.

Entretanto, as concentrações de carbonato total nos testemunhos estudados não tiveram relação com a profundidade e a granulometria, pois a fração cascalho, que normalmente concentra mais carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) do que as demais frações, não foi encontrada de maneira significativa nos níveis dos testemunhos analisados.

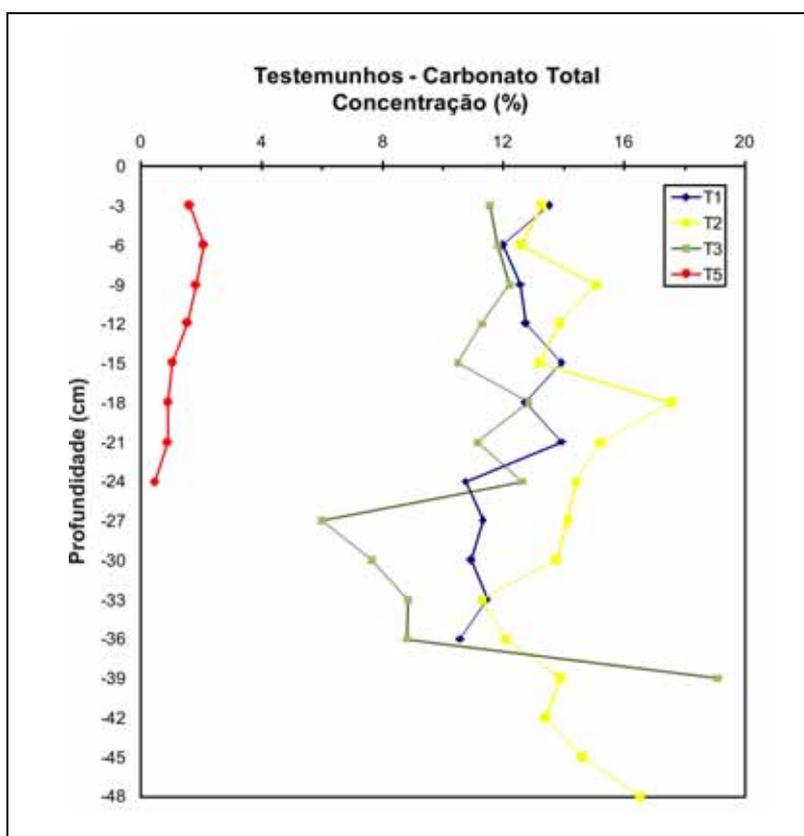


Figura 57 – Concentrações de carbonato total nos testemunhos.

#### 4.5.2.2 – Concentração de Metais Pesados

As reações que controlam a disponibilidade de metais em solos e sedimentos compreendem *adsorção* e *dessorção*, *precipitação*, *dissolução* e *complexação*. Esses processos são influenciados por diferentes parâmetros, sendo o pH e o potencial de oxi-redução (Eh) os mais relevantes (Stumm & Morgan, 1996).

Os metais traços foram extraídos em amostras dos testemunhos 1, 2, 3 e 5 coletados na área de estudo. Entretanto, o testemunho 4 não foi recuperado para análise geoquímica, em função da elevada influência antrópica (aterramentos e dragagens) observada no local de coleta. A extração parcial quantificou as concentrações potencialmente biodisponíveis dos seguintes metais: Cr, Cd, Co, Pb, Ni, Zn, Mn, Cu, Al, Fe, Hg. Suas respectivas concentrações estão representadas em tabelas no anexo 05.

##### 4.5.2.2.1 – Testemunho 1

O ponto de coleta do testemunho 1 foi o setor norte do Canal Retificado, onde atualmente se observa visualmente poucas intervenções antrópicas na região.

A partir dos valores analisados, observa-se que apenas o Pb teve um enriquecimento significativo em direção aos estratos mais recentes do perfil sedimentar, podendo estar associado a uma fonte de contaminação antropogênica localizada nas proximidades, ou seja, uma antiga fábrica desativada (DIAMAR) que usava o chumbo como matéria prima para construção de barcos. Os demais metais deste testemunho obtiveram diversas oscilações ao longo do perfil, sem indícios de considerável enriquecimento (Figura 58).

O testemunho sedimentológico 1 coletado no mesmo local que o testemunho geoquímico 1 foi o único a apresentar esmectita na sua mineralogia, um argilo-mineral recente do ponto de vista geológico, com pouco tempo de exposição ao intemperismo químico, que tende a concentrar mais metais do que os demais. Isso possivelmente contribuiu para as maiores concentrações destes metais (Cr, Co, Pb, Ni, Zn, Mn, Cu, Fe) no testemunho estudado.

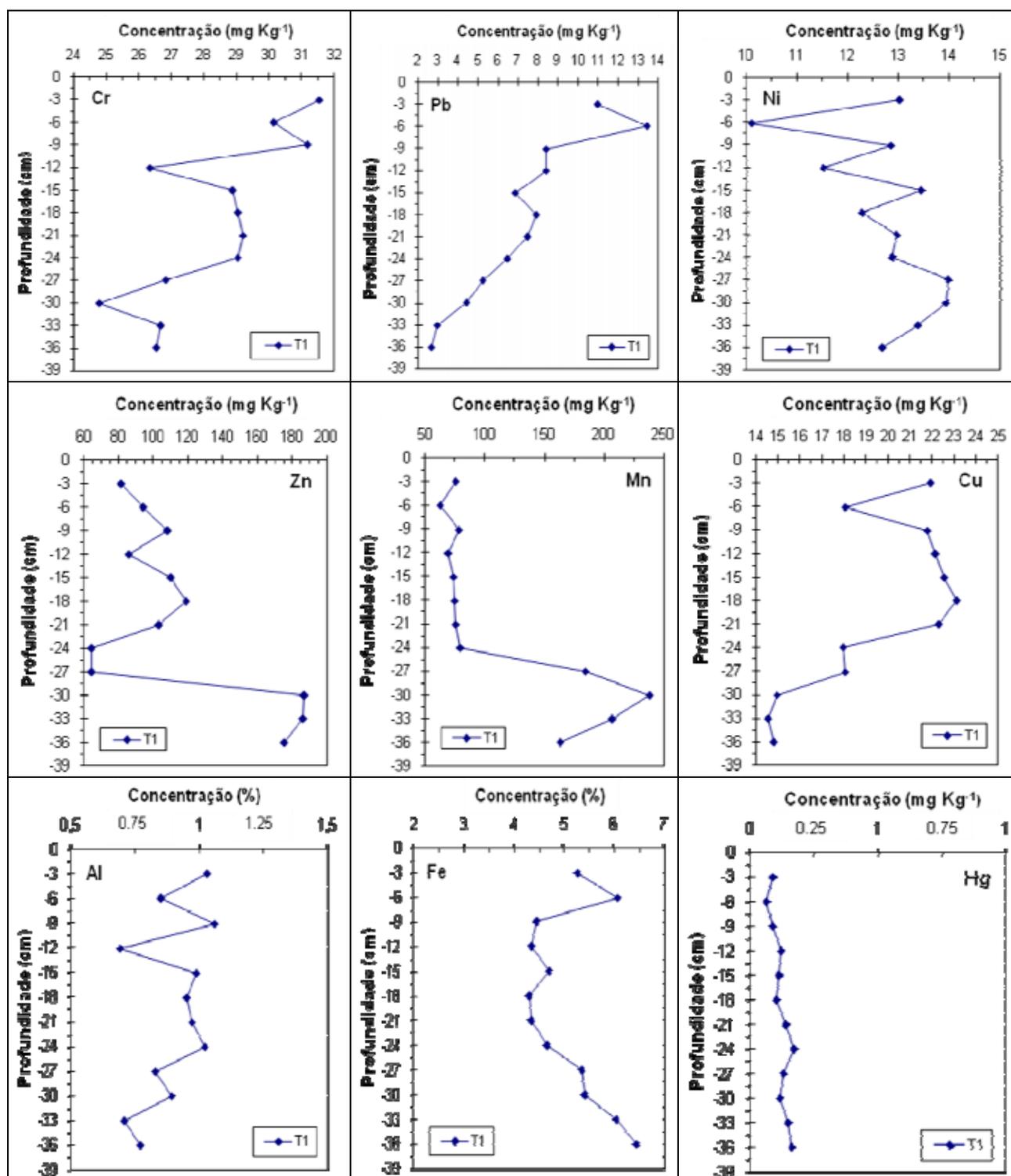


Figura 58 – Concentração de metais no testemunho 1 (fração < 63  $\mu$ m) localizado no Canal Retificado.

Os elementos Cr–Pb e Cr–Fe tiveram uma correlação negativa no intervalo 0 a 6 cm, enquanto o Pb–Fe–Zn obtiveram uma correlação positiva entre 0–9 cm de profundidade. A partir deste ponto em diante a correlação do Pb–Fe foi inversamente proporcional no intervalo de 9–36 cm.

As datações de Lima (2008) e Silva (2008) realizadas em regiões estuarinas similares a área de estudo (Rio Botafogo – PE e Laguna do Roteiro – AL, respectivamente) estimaram uma taxa de sedimentação média linear em torno de 3 mm/ano.

Esses valores se aplicados ao testemunho em questão (Testemunho 1), poderiam explicar em parte essa inversão de correlação negativa para positiva, ou seja, o limite de transição (9 cm) que coincide com o início das instalações do Complexo de Suape (1979), onde houve construções, aterramentos e abertura de estradas e ferrovias, em vários trechos do entorno de Suape, ocasião que poderia ter iniciado a passagem da concentração natural (*background*) para a antropogênica.

Foi observada uma correlação positiva entre Ni–Zn–Mn nas profundidades em torno de 30 cm, onde estão as maiores concentrações destes elementos no testemunho estudado. Entretanto, em função de sua provável idade, essas associações podem ser de origem geogênica.

Podemos ainda destacar as anomalias apresentadas no testemunho 1 com os elementos Cu (9–24 cm) e Fe (33–36 cm).

#### 4.5.2.2.2 – Testemunho 2

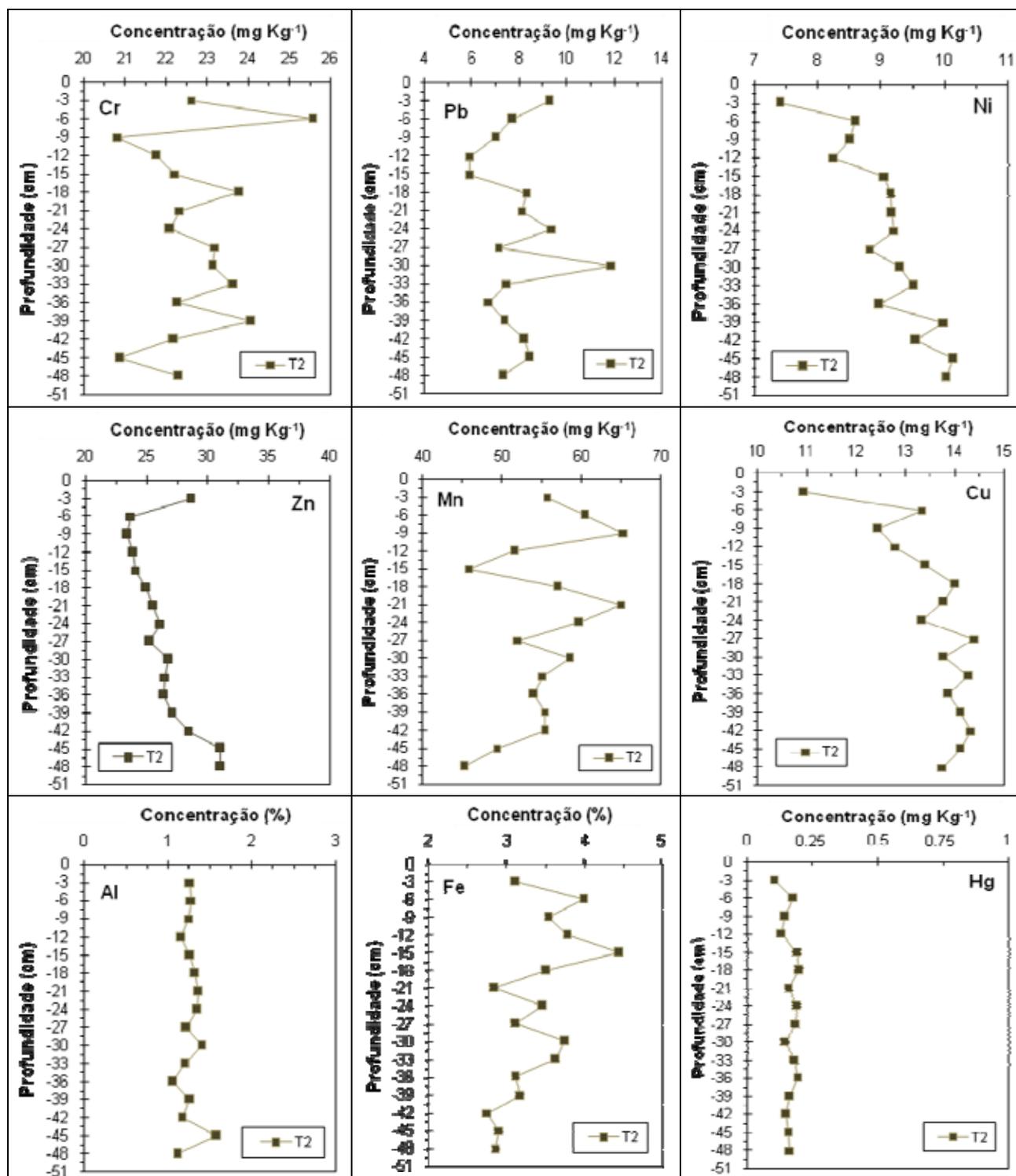
O segundo ponto de coleta (Testemunho 2) foi o setor sul do Canal Retificado, região que também atualmente possui aparentemente poucas intervenções antrópicas.

Entre os metais estudados apenas o Zn teve uma diminuição significativa da base para o topo, enquanto os demais obtiveram sucessivas oscilações ao longo do testemunho (Figura 59).

Neste testemunho Pb–Mn tiveram uma correlação positiva entre 9–18 cm, idade que segundo a datação média utilizada por Lima (2008) e Silva (2008) seria estimada entre 30 a 60 anos atrás, período anterior a construção do Porto de Suape, o que possivelmente seriam correlações geogênicas.

Podemos destacar também as anomalias apresentadas pelo Cr (6 cm), Pb (30 cm), Ni (39 e 48 cm) e Mn (9 e 21 cm) e Fe (15 cm). Dentre os metais supracitados acima, apenas o Cr pode ter provável relação com atividades antropogênicas oriundas do CIPS, em função da sua maior concentração esta situada

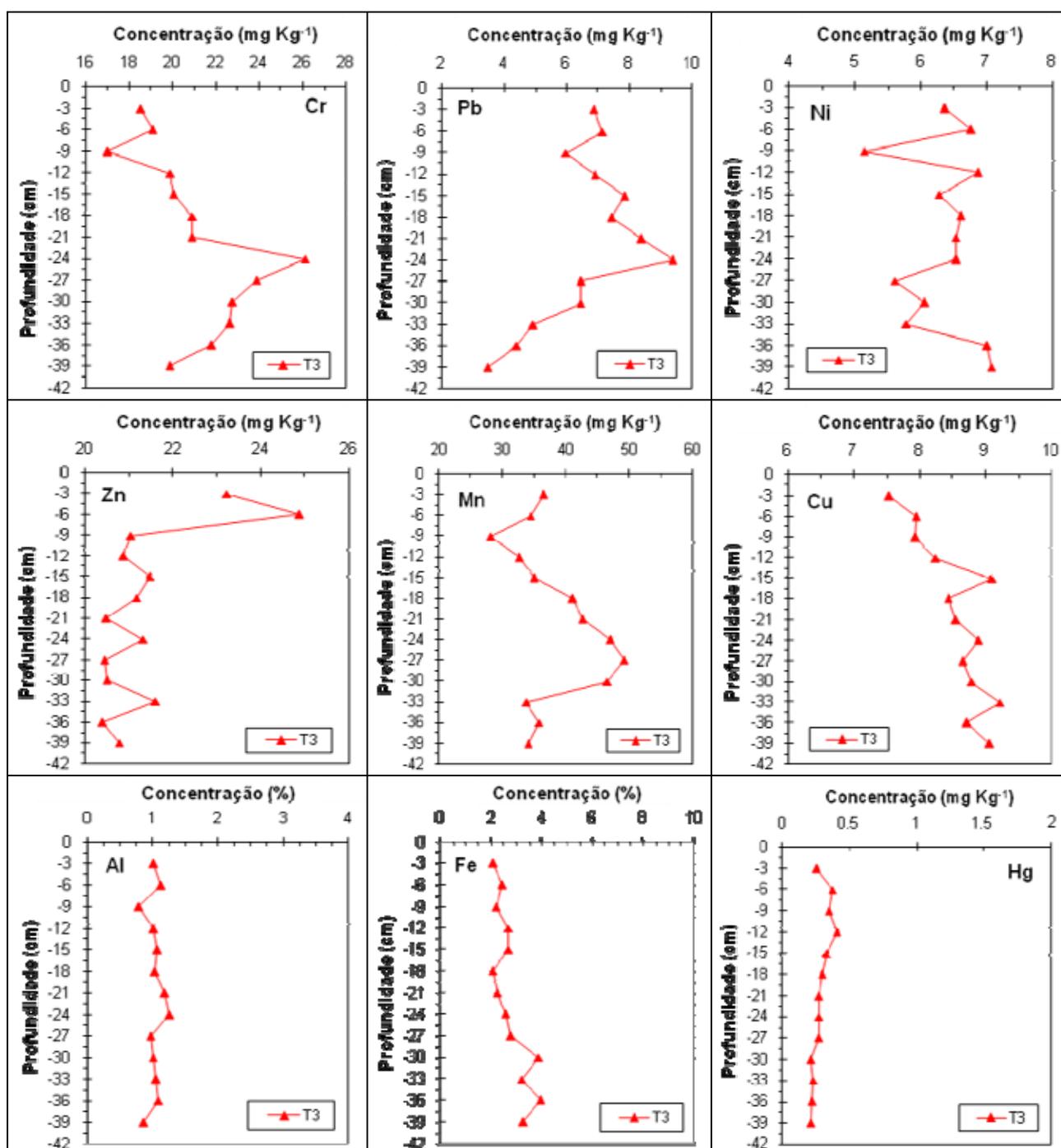
há aproximadamente 20 anos atrás de acordo com as idades descritas por Lima (2008) e Silva (2008), período de construção da infra-estrutura de Suape.



Figuras 59 – Concentração de metais no testemunho 2 (fração < 63 μm) localizado no Canal Retificado.

## 4.5.2.2.3 – Testemunho 3

A terceira estação de coleta (Testemunho 3) está situada no setor médio do rio Massangana, região próxima da área urbana do município do Cabo de Santo Agostinho - PE. Com relação aos metais analisados praticamente todos obtiveram variadas oscilações ao longo do perfil (Figura 60).



Figuras 60 – Concentração de metais no testemunho 3 (fração < 63 μm) localizado no estuário do rio Massangana.

Entre os metais analisados apenas o Cr–Pb teve uma significativa correlação positiva com tendência ao enriquecimento da base para o topo do testemunho, no intervalo 39 a 24 cm (130 a 80 anos atrás, segundo as idades descritas por Lima, 2008 e Silva, 2008). Podemos destacar nos metais anteriormente citados (Cr–Pb) outra correlação positiva entre 21 a 27 cm, com idade estimada entre 70 a 90 anos. Isso possivelmente pode estar associado ao substrato geológico, tendo em vista a ausência de atividades antrópicas relevantes neste período. Outras anomalias que podem ser citadas no testemunho 3 são o Zn (6 cm) e o Mn (27 cm). A primeira pode estar associada à presença de atividades industriais nas proximidades, enquanto a segunda, parece não ter nenhuma relação com a primeira.

#### 4.5.2.2.4 – Testemunho 5

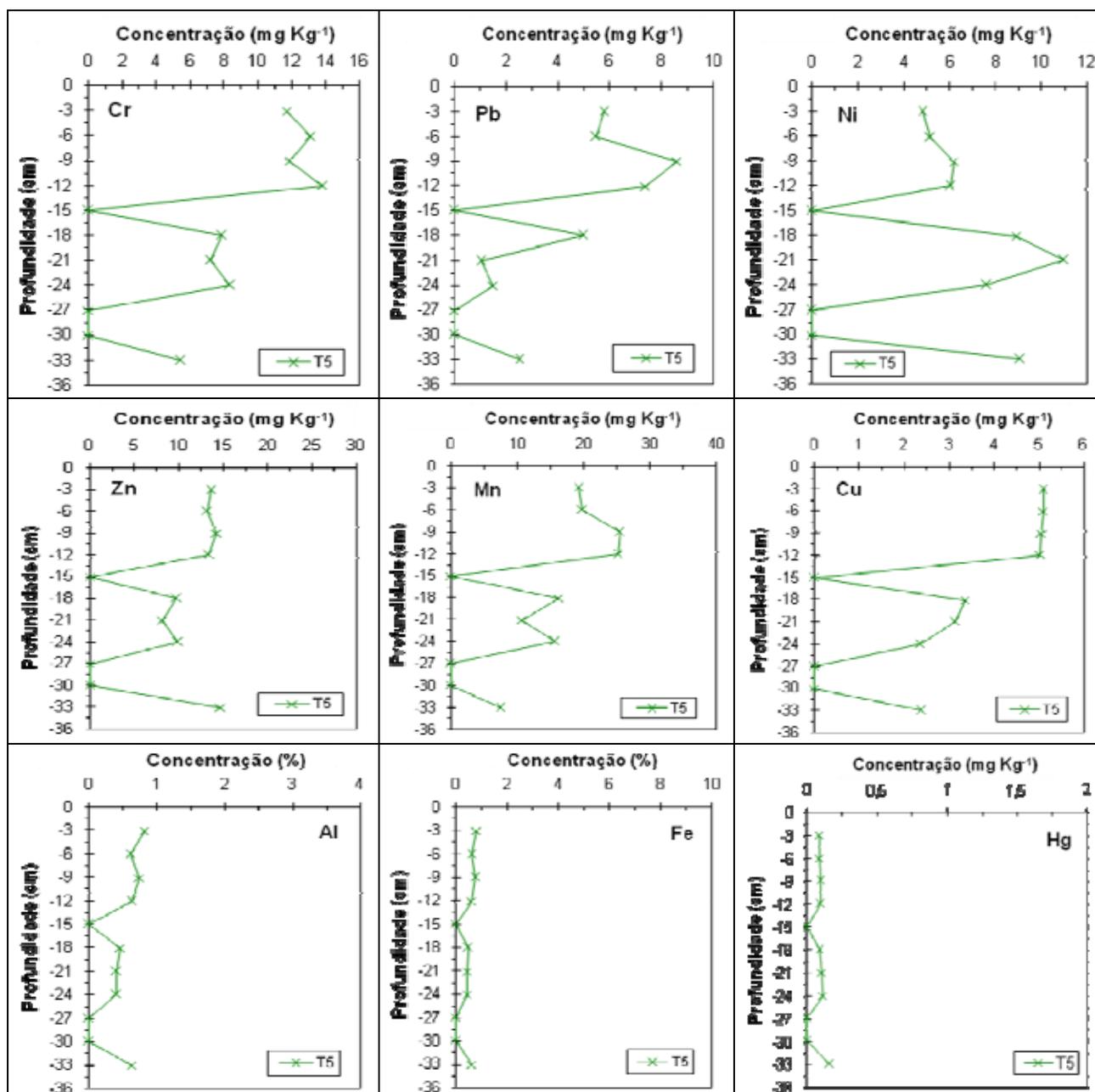
A quarta estação de coleta (Testemunho 5) localiza-se no Riacho Ilha da Cana, região mais afastada das áreas urbanas. Dentre os testemunhos investigados nesta pesquisa merece o testemunho 5 que apresentou a melhor distribuição de concentrações de elementos químicos notadamente preservada do ponto de vista de assinatura geogênica (Figura 61).

O testemunho 5 possui características predominantemente arenosas, contribuindo de maneira significativa para os baixos valores na concentração dos metais, uma vez que estes se associam preferencialmente às frações finas, de tamanho silte e argila (sedimentos lamosos), favorecida pelas reações de absorção, devido à sua elevada área de superfície específica. O valor médio da matéria orgânica (1,43%) e carbonato total (1,44%) neste testemunho foram considerados baixos por se tratar de um ambiente estuarino tropical.

A análise do perfil do testemunho 5 para os elementos metálicos estudados (Cr, Pb, Ni, Zn, Mn, Cu, Al, Fe e Hg) não permitiu encontrar concentrações elevadas desses metais que caracterizassem o enriquecimento ao longo do tempo, demonstrando de maneira geral, a ausência de uma fonte de contaminação antropogênica. Outra característica marcante é o elevado número de correlações entre os metais com elevada similaridade química. Entre as principais correlações podemos destacar as positivas: Cr–Mn, Cu–Cr, M.O.–Cr, Mn–Pb, Cu–Pb, Fe–Ni, Zn–Al, Mn–Cu, Mn–C.T., Cu–C.T. e negativas: Ni–Cr, Ni–Cu, Ni–C.T.

No testemunho 5 os únicos metais que possivelmente apresentam características antropogênicas são Ni–Pb–Zn–Mn (9 cm), que de acordo com as idades descritas por Lima (2008) e Silva (2008), podem estar relacionados com o início das obras do Porto de Suape (30 anos atrás), como as construções de vias e aterramentos na região de entorno do CIPS.

Merece destaque a anomalia negativa em todos os metais nos intervalos 15 e 28,5 cm (50 e 100 anos atrás, de acordo com as idades descritas por Lima, 2008 e Silva, 2008).



Figuras 61 – Concentração de metais no testemunho 5 (fração < 63 μm) localizado no estuário do Riacho Ilha da Cana.

#### 4.5.2.3 – Comparação com outros trabalhos na área de estudo

Cabe destacar a importância das pesquisas anteriores realizadas na área estudada, visto que, podemos ter uma idéia geral da distribuição da concentração de metais ao longo dos anos.

Embora os métodos utilizados sejam diferentes (extração total e parcial) é importante a necessidade de uma comparação entre as concentrações para se ter uma idéia da contaminação atual encontrada nos sedimentos e avaliar quais os métodos mais representativos para cada pesquisa.

Com exceção de Teódulo (2003), que possui amostras de solos e sedimentos de corrente conjuntamente, os demais autores analisaram apenas amostras de sedimentos de corrente (superficiais e testemunhos).

Moraes (2009) analisou a concentração de alguns metais (Pb, Cr, Ni e Zn) em quatro diferentes testemunhos no estuário do rio Tatuoca. Segundo o mesmo autor, apenas o Pb e o Cr obtiveram enriquecimento, indicando um provável aporte de origem antrópica, configurando assim um estuário impactado, porém não contaminado, de acordo com os valores de referências adotados nesta pesquisa.

De acordo com Teódulo (2003) as amostras de solos e sedimentos de corrente analisadas nos estuários dos rios Massangana, Tatuoca e Ipojuca, indicaram que a contribuição antrópica de metais (Ti, V, Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, Ag, Cd e Pb) no estágio atual ainda é pequena, não apresentando risco ambiental significativo para a região.

Segundo Chagas (2003) os sedimentos de corrente localizados em diversos pontos de Suape não apresentaram variações entre as estações nos diferentes grupos, exceto para Pb e Ni. As concentrações dos metais (Zn, Mn, Cr, Co, Pb, Ni e Cu) foram consideradas inferiores aos limites indicados para a caracterização de solos contaminados, com exceção do Cr e Pb em algumas estações.

Relacionando as amostras analisadas nos testemunhos coletados nas proximidades da região do Porto de Suape pelos pesquisadores citados, pode-se verificar de uma maneira geral que os metais analisados não apresentam discrepâncias significativas em suas concentrações entre os trabalhos realizados.

Comparando os elementos (Fe, Al, Pb, Zn, Cr e Ni) nos testemunhos desta pesquisa (extração parcial) com os elementos dos testemunhos realizado por Moraes (2009) no rio Tatuoca (extração total), podemos verificar que as concentrações de metais são relativamente baixas de modo geral em ambos os trabalhos (Tabela 16), com destaque apenas ao elevado índice para o Zn no testemunho 1 da presente tese. Os metais Fe (6,44%) e Zn ( $187 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) tiveram seu maior valor nos testemunhos desta pesquisa, enquanto Cr (35 ppm), Pb (15 ppm) e Ni (15 ppm) tiveram valores mais elevados no trabalho de Moraes (2009).

A tabela 17 nos mostra uma comparação de modo genérico, entre os trabalhos anteriores com a presente pesquisa, nos sedimentos de fundo realizados na área de estudo. Foram comparados apenas os sedimentos superficiais (até 5 cm) visando caracterizar as diferentes concentrações.

Apesar do seu caráter biodisponível, Fe e Zn tiveram suas concentrações médias acima dos outros autores citados, enquanto o Pb, Cd e Co ficaram abaixo da média das outras pesquisas. Os demais metais (Mn, Al, Cu, Cr e Ni) tiveram seus índices intermediários, ou seja, alguns valores superiores outros inferiores entre as pesquisas supracitadas.

Tabela 16 – Comparação entre as concentrações de testemunhos do rio Tatuoca e do presente estudo, localizados na região de SUAPE.

AUTOR	MÉTODO	ESTUÁRIOS (SUAPE)	Fe (%)	Al (%)	Pb (mg.kg <sup>-1</sup> )	Zn (mg.kg <sup>-1</sup> )	Cr (mg.kg <sup>-1</sup> )	Ni (mg.kg <sup>-1</sup> )
Esta Tese	Extração Parcial Ácido Nítrico (HNO <sub>3</sub> )	Canal Retificado - Testemunho 1	4,3 – 6,44	0,69 – 1,06	3-13	64-187	25 - 32	10-14
		Canal Retificado - Testemunho 2	2,67 – 4,44	1,06 – 1,58	7-12	23-31	21 - 26	7-10
		Rio Massangana - Testemunho 3	2,03 – 3,92	0,79 – 1,26	3-9	20-25	17 - 26	5-7
		Riacho Ilha da Cana - Testemunho 5	0,92 – 1,35	0,4 – 0,81	1-9	8-15	5 - 14	5-11
Moraes <sup>1</sup> 2009	*Extração Total HCl:HNO <sub>3</sub> ; HNO <sub>3</sub>	<b>RIO TATUOCA</b>	<b>Fe (%)</b>	<b>Al (%)</b>	<b>Pb (ppm)</b>	<b>Zn (ppm)</b>	<b>Cr (ppm)</b>	<b>Ni (ppm)</b>
		Testemunho 1	0,49 - 0,92	0,41 – 0,73	4,3 – 8,1	3,2 – 7,2	13 - 16	3,8 – 6,1
		Testemunho 2	0,77 – 1,7	0,43 – 0,72	3,4 – 9,5	8,5 – 18	14 – 35	4,7 – 14
		Testemunho 3	0,57 – 2,4	0,92 – 1,6	9,1 – 15	15 – 55	21 – 33	8,3 – 15
		Testemunho 4	0,58 – 1,3	0,42 – 0,79	3,9 - 12	10 – 18	15 – 20	6,2 – 8,1

Fonte: <sup>1</sup>Moraes, A.S., (2009). \* Extração realizada na fração total da amostra.

Tabela 17 – Comparação de concentrações superficiais nos sedimentos de correntes do Complexo Industrial e Portuário de SUAPE, segundo diversos autores em diferentes locais de amostragem.

AUTOR	MÉTODO	LOCAL	Fe (%)	Mn ( $mg.kg^{-1}$ )	Al (%)	Cu ( $mg.kg^{-1}$ )	Pb ( $mg.kg^{-1}$ )	Co ( $mg.kg^{-1}$ )	Zn ( $mg.kg^{-1}$ )	Cd ( $mg.kg^{-1}$ )	Cr ( $mg.kg^{-1}$ )	Ni ( $mg.kg^{-1}$ )
Esta Tese	Extração Parcial Ácido Nítrico ( $HNO_3$ ; 1:1)	*Canal Retificado	5,25	75,38	1,03	21,92	10,98	0,20	81,61	0,14	31,55	13,03
		*Canal Retificado	3,11	55,62	1,26	10,9	9,23	0,20	28,58	0,14	22,59	7,39
		*Rio Massangana	2,05	36,48	1,02	7,53	6,89	0,20	23,23	0,14	18,51	6,35
		*Riacho Ilha da Cana	0,94	19,18	0,81	5,08	5,77	0,20	13,63	0,14	11,65	4,80
**Teódulo <sup>1</sup> 2003	Extração Parcial (MgCl; 0,1N HCl; $HNO_3/HCl$ )	***CIPS	--	131	--	12,6	11	--	22	1,57	12	7
**Teódulo <sup>1</sup> 2003	Extração Total HF/ $HClO_4$	***CIPS	--	484,6	--	43,1	61,9	--	41,8	3,3	39,4	15,3
Chagas <sup>2</sup> 2003	Extração Total $HNO_3$ ; $HClO_4$ , HF	***CIPS	--	37,1	--	2,8	19,2	2,4	15,3	--	13	2,9

Fonte: <sup>1</sup>Teódulo *et al* (2003); <sup>2</sup>Chagas (2003).

\* Amostra na camada superficial do testemunho \*\* Estão incluídos nestes valores algumas amostras de solos juntamente como sedimentos superficiais, porém não discriminados separadamente. \*\*\* CIPS – Complexo Industrial e Portuário de Suape.

#### 4.5.2.4 – Correlação dos metais nos testemunhos com Matéria Orgânica e Carbonato Total

De acordo com os resultados apresentados, verificamos de modo geral nos quatro testemunhos estudados não há significativa correlação entre os metais e o teor de matéria orgânica (M.O.) e carbonato total (C.T.), com exceção do Mn e o C.T. no testemunho 2.

Observou-se apenas no testemunho 1 que o Mn–M.O. possuem comportamento similar em algumas profundidades (9–12 cm), (24–27cm) e (30–33cm), ou seja, uma relativa correlação positiva. O Zn–M.O. apresentaram apenas uma correlação entre as profundidades de 21–24 cm. Enquanto que o Mn–C.T. apresentaram uma correlação positiva nas profundidades de 3–9 cm (Figura 62).

No testemunho 2 (Figura 63) o Mn–M.O. apresentou correlação positiva nas profundidades (3–12 cm) e (42–45). O Mn também apresentou correlação positiva com o C.T. nas profundidades (6–18 cm).

No testemunho 3 apenas Cr–M.O. apresentou correlação positiva (21–24 cm) (Figura 64).

No testemunho 5 podemos destacar as correlações e suas respectivas profundidades Cr–M.O. (0– 9cm), Pb–C.T. (9–12 cm), Zn–C.T. (9–12 cm), Mn–C.T. (9–12cm), Cu–C.T. (9–12 cm) e Cr–C.T. (9–12 cm), Cr–C.T. e Cr–M.O. (18–21 cm), Zn–M.O. (18–21 cm), Cr–M.O. (18–24 cm) e Zn–M.O. (18–24 cm) (Figura 65).

Destaque pode ser dado a correlação entre Pb–Zn–Mn, ou seja, as maiores concentrações no testemunho 5 para estes metais apontados, que coincide com a provável época da instalação do porto de Suape.

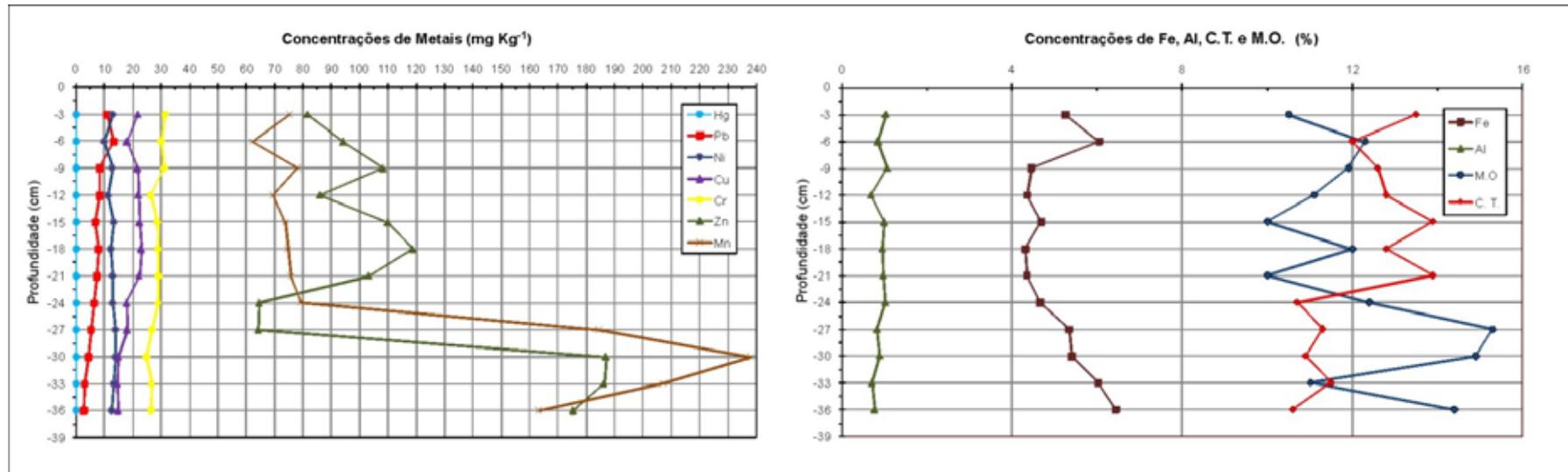


Figura 62 – Concentrações de metais no testemunho 1 e sua correlação com Matéria Orgânica (M.O.) e Carbonato Total (C.T.).

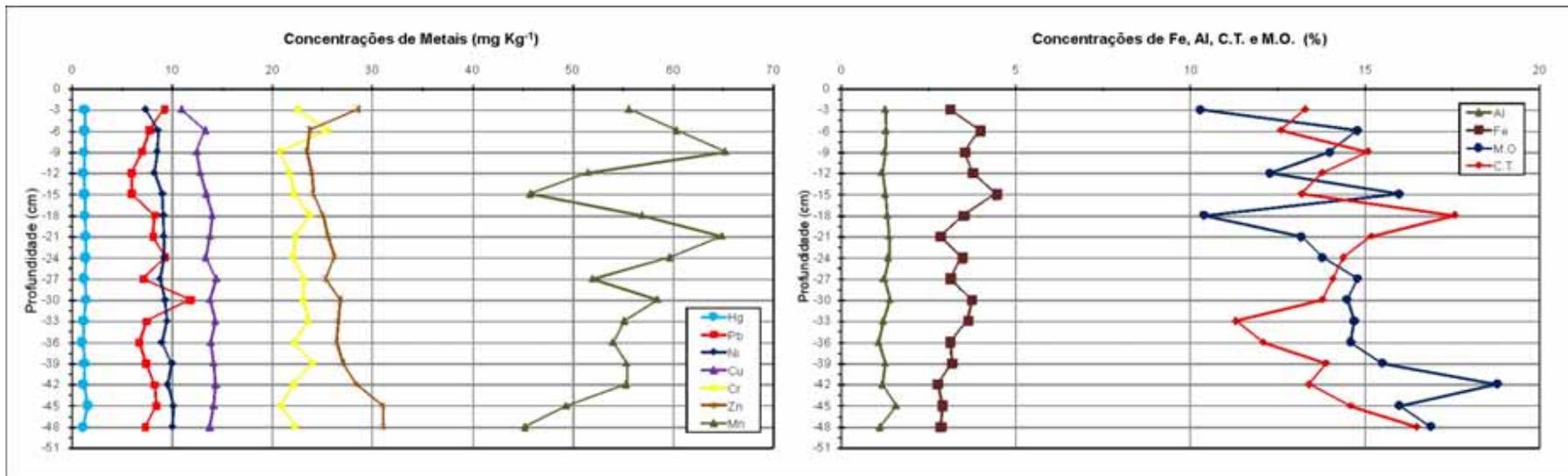


Figura 63 – Concentrações de metais no testemunho 2 e sua correlação com Matéria Orgânica (M.O.) e Carbonato Total (C.T.).

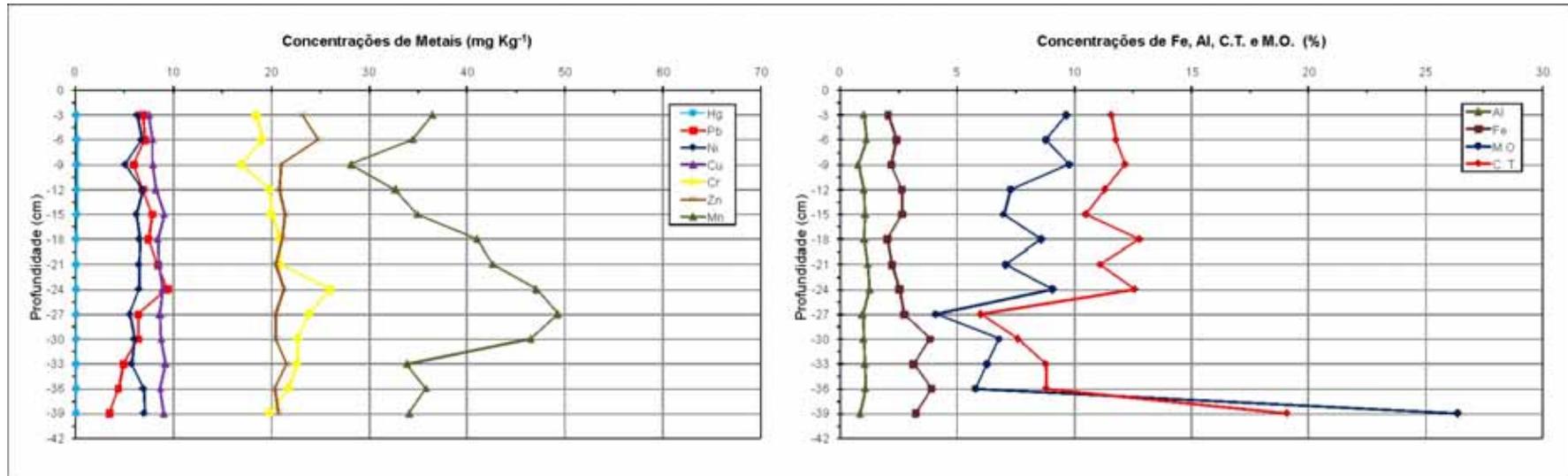


Figura 64 – Concentrações de metais no testemunho 3 e sua correlação com Matéria Orgânica (M.O.) e Carbonato Total (C.T.).

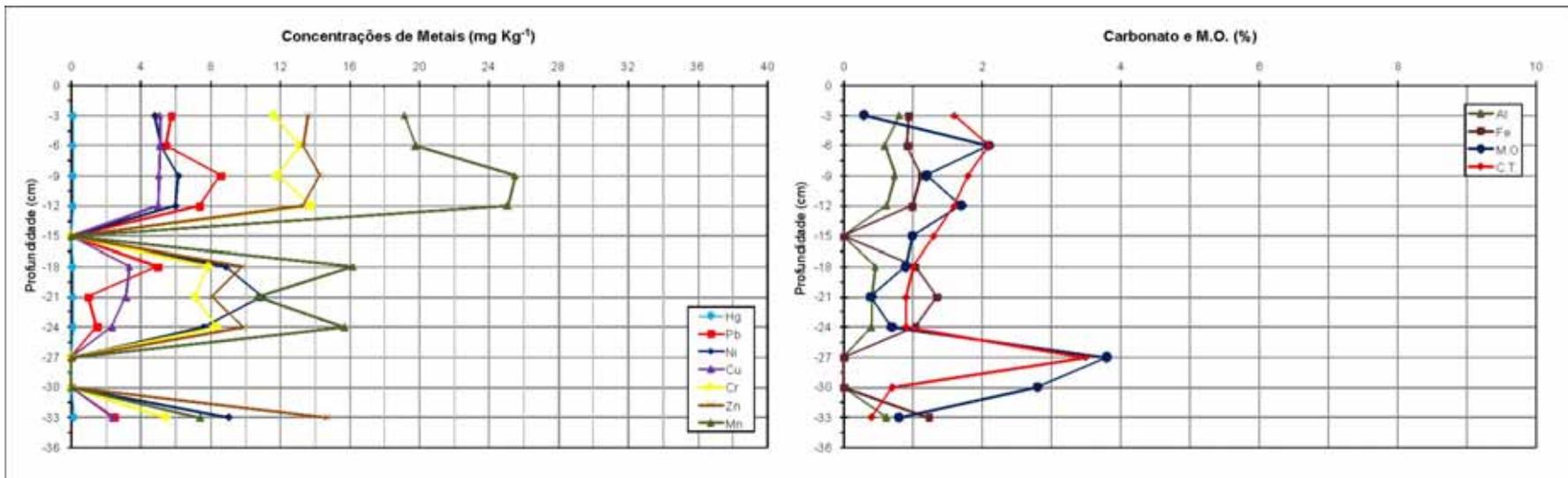


Figura 65 – Concentrações de metais no testemunho 5 e sua correlação com Matéria Orgânica (M.O.) e Carbonato Total (C.T.).

#### 4.5.2.5 – Matriz de Correlação entre Fração Fina, Matéria Orgânica, Carbonatos Totais e Metais Pesados

De acordo com os dados obtidos na matriz de correlação são evidenciados grupos de elementos químicos que possuem fortes ( $\pm 0,8 \leq R \leq \pm 1$ ) ou medianas ( $\pm 0,6 \leq R \leq \pm 0,79$ ) correlações, selecionadas em função de suas expressividades atinentes a interpretações geoquímicas ambientais, com reflexos na qualidade dos sedimentos (Lima, 2008).

Os resultados das análises granulométricas e da concentração de matéria orgânica (M.O), carbonato total (C.T.) e de metais pesados no testemunho 1 demonstrou o predomínio das correlações negativas: Cr–Mn, Pb–Mn, Pb–Hg, Mn–Cu, Cu–Fe e M.O.–C.T. Já as correlação positiva só apresentou uma correlação C.T.–Cu. Este perfil é caracterizado pela considerável concentração de Zn e Mn. Não houve correlação de finos com matéria orgânica, carbonato e metais, apesar de possuir elevada percentagem de finos (Tabela 18).

O testemunho 2 foi observado um correlação positiva apenas entre os metais M.O.–Pb, Ni–Cu (Tabela 19). Neste perfil também não houve correlação de finos com matéria orgânica, carbonato e metais, apesar do elevado percentual de finos.

O testemunho 3 que também apresentou baixa concentração de metais, houve apenas correlação positiva entre M.O.–C.T. (Tabela 20).

Já o testemunho 5, caracterizado pelo elevado conteúdo arenoso e baixa concentração de metais, mostrou tanto correlações positivas: Cr–Mn, Cu–Cr, M.O.–Cr, Mn–Pb, Cu–Pb, Fe–Ni, Zn–Al, Mn–Cu, Mn–C.T., Cu–C.T. como correlações negativas: Ni–Cr, Ni–Cu, Ni–C.T. (Tabela 21). Neste perfil também não houve correlação de finos com matéria orgânica, carbonato e metais.

Posteriormente observou-se que as amostras não foram devidamente desagregadas durante o processo de peneiramento seco (obtenção da fração fina), comprometendo assim a qualidade da informação obtida, representando assim apenas uma estimativa aproximada dos valores da fração fina.

**Tabela 18 – Matriz de correlação entre a concentração de metais pesados, percentual de matéria orgânica e carbonato total e finos (<0,062 mm) no testemunho 1 - Canal retificado. (M.O = Matéria Orgânica, C.T. = Carbonato Total).**

	<i>Cr</i>	<i>Cd</i>	<i>Co</i>	<i>Pb</i>	<i>Ni</i>	<i>Zn</i>	<i>Mn</i>	<i>Cu</i>	<i>Hg</i>	<i>Fe</i>	<i>Al</i>	<i>M.O.</i>	<i>CaCO3</i>	<i>Finos</i>
<i>Cr</i>	1.0													
<i>Cd</i>	0.0	1.0												
<i>Co</i>	-0.5	0.0	1.0											
<i>Pb</i>	0.7	0.0	-0.3	1.0										
<i>Ni</i>	-0.3	0.0	0.5	-0.7	1.0									
<i>Zn</i>	-0.5	0.0	-0.1	-0.6	0.2	1.0								
<i>Mn</i>	-0.8	0.0	0.6	-0.8	0.6	0.7	1.0							
<i>Cu</i>	0.6	0.0	-0.5	0.6	-0.2	-0.6	-0.8	1.0						
<i>Hg</i>	-0.5	0.0	0.3	-0.8	0.5	0.2	0.4	-0.4	1.0					
<i>Fe</i>	-0.3	0.0	0.0	-0.3	-0.1	0.5	0.6	-0.8	0.1	1.0				
<i>Al</i>	0.7	0.0	0.0	0.4	0.2	-0.4	-0.5	0.5	-0.3	-0.5	1.0			
<i>M.O.</i>	-0.6	0.0	0.7	-0.4	0.2	0.2	0.7	-0.6	0.2	0.5	-0.3	1.0		
<i>C.T.</i>	0.6	0.0	-0.6	0.5	-0.1	-0.4	-0.7	0.9	-0.5	-0.6	0.4	-0.8	1.0	
<i>Finos</i>	-0.3	0.0	0.1	-0.7	0.6	0.5	0.6	-0.5	0.7	0.4	-0.2	0.0	-0.3	1.0

**Tabela 19 – Matriz de correlação entre a concentração de metais pesados, percentual de matéria orgânica e carbonato total e finos (<0,062 mm) no testemunho 2 - Canal retificado. (M.O = Matéria Orgânica, C.T. = Carbonato Total).**

	<i>Cr</i>	<i>Cd</i>	<i>Co</i>	<i>Pb</i>	<i>Ni</i>	<i>Zn</i>	<i>Mn</i>	<i>Cu</i>	<i>Hg</i>	<i>Fe</i>	<i>Al</i>	<i>M.O.</i>	<i>CaCO3</i>	<i>Finos</i>
<i>Cr</i>	1.0													
<i>Cd</i>	0.0	1.0												
<i>Co</i>	0.0	0.0	1.0											
<i>Pb</i>	0.1	0.0	0.0	1.0										
<i>Ni</i>	0.0	0.0	0.0	0.1	1.0									
<i>Zn</i>	-0.2	0.0	0.0	0.3	0.5	1.0								
<i>Mn</i>	0.1	0.0	0.0	0.4	-0.3	-0.4	1.0							
<i>Cu</i>	0.2	0.0	0.0	-0.1	0.8	0.1	-0.2	1.0						
<i>Hg</i>	0.3	0.0	0.0	-0.3	0.4	-0.3	-0.1	0.7	1.0					
<i>Fe</i>	0.3	0.0	0.0	-0.2	-0.3	-0.7	0.0	-0.2	0.2	1.0				
<i>Al</i>	-0.1	0.0	0.0	0.5	0.2	0.2	0.2	0.1	-0.1	0.0	1.0			
<i>M.O.</i>	-0.1	0.0	0.0	0.8	0.7	0.4	-0.4	0.6	0.2	-0.2	-0.1	1.0		
<i>C.T.</i>	-0.2	0.0	0.0	0.1	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	-0.3	0.2	-0.2	1.0	
<i>Finos</i>	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.3	0.1	0.0	-0.2	-0.2	-0.2	0.1	-0.3	1.0

**Tabela 20 – Matriz de correlação entre a concentração de metais pesados, percentual de matéria orgânica e carbonato total e finos (<0,062 mm) no testemunho 3 - Estuário do rio Massangana. (M.O = Matéria Orgânica, C.T. = Carbonato Total).**

	<i>Cr</i>	<i>Cd</i>	<i>Co</i>	<i>Pb</i>	<i>Ni</i>	<i>Zn</i>	<i>Mn</i>	<i>Cu</i>	<i>Hg</i>	<i>Fe</i>	<i>Al</i>	<i>M.O.</i>	<i>CaCO<sub>3</sub></i>	<i>Finos</i>
Cr	1.0													
Cd	0.0	1.0												
Co	0.0	0.0	1.0											
Pb	0.2	0.0	0.0	1.0										
Ni	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0									
Zn	-0.4	0.0	0.0	0.2	0.1	1.0								
Mn	0.8	0.0	0.0	0.4	0.0	-0.3	1.0							
Cu	0.6	0.0	0.0	-0.2	0.1	-0.5	0.3	1.0						
Hg	-0.4	0.0	0.0	0.4	0.0	0.4	-0.4	-0.5	1.0					
Fe	0.4	0.0	0.0	-0.6	0.2	-0.4	0.1	0.6	-0.6	1.0				
Al	0.6	0.0	0.0	0.6	0.4	0.2	0.5	0.2	0.0	-0.1	1.0			
M.O.	-0.3	0.0	0.0	-0.3	0.4	0.0	-0.3	0.1	-0.2	0.0	-0.4	1.0		
CaCO <sub>3</sub>	-0.4	0.0	0.0	-0.4	0.5	0.1	-0.4	0.0	0.0	-0.3	-0.4	0.9	1.0	
Finos	-0.1	0.0	0.0	0.3	0.4	-0.2	0.1	0.0	-0.2	-0.4	0.1	0.5	0.6	1.0

**Tabela 21 – Matriz de correlação entre a concentração de metais pesados, percentual de matéria orgânica e carbonato total e finos (<0,062 mm) no testemunho 5 - Riacho Ilha da Cana. (M.O = Matéria Orgânica, C.T. = Carbonato Total).**

	<i>Cr</i>	<i>Cd</i>	<i>Co</i>	<i>Pb</i>	<i>Ni</i>	<i>Zn</i>	<i>Mn</i>	<i>Cu</i>	<i>Hg</i>	<i>Fe</i>	<i>Al</i>	<i>M.O.</i>	<i>CaCO<sub>3</sub></i>	<i>Finos</i>
Cr	1.0													
Cd	0.0	1.0												
Co	0.0	0.0	1.0											
Pb	0.8	0.0	0.0	1.0										
Ni	-0.9	0.0	0.0	-0.7	1.0									
Zn	0.4	0.0	0.0	0.6	-0.7	1.0								
Mn	0.9	0.0	0.0	0.9	-0.8	0.4	1.0							
Cu	0.9	0.0	0.0	0.9	-0.8	0.5	0.8	1.0						
Hg	-0.7	0.0	0.0	-0.5	0.5	0.2	-0.7	-0.7	1.0					
Fe	-0.7	0.0	0.0	-0.6	0.9	-0.4	-0.6	-0.6	0.6	1.0				
Al	0.5	0.0	0.0	0.7	-0.7	0.9	0.5	0.7	-0.1	-0.4	1.0			
M.O.	0.6	0.0	0.0	0.5	-0.5	0.4	0.5	0.5	-0.2	-0.5	0.1	1.0		
CaCO <sub>3</sub>	0.9	0.0	0.0	0.8	-0.8	0.4	0.8	0.9	-0.7	-0.7	0.5	0.6	1.0	
Finos	0.5	0.0	0.0	0.4	-0.2	0.0	0.4	0.4	-0.5	-0.5	-0.1	0.7	0.4	1.0

#### 4.5.2.6 – Avaliação da qualidade dos sedimentos investigados

Foram avaliados 4 testemunhos nas imediações do estuário do rio Massangana e seus tributários (Estuários Suape) visando caracterizar o ambiente. Os resultados das concentrações encontradas foram comparados com parâmetros usados para se avaliar a qualidade dos sedimentos em outros países, tais como as agências ambientais canadense (CCME, 1999) e norte-americana de meio ambiente (USEPA, 1998).

O Conselho Canadense do Ministério do Meio Ambiente, órgão de proteção ambiental do Canadá, estabelece como valores de referência, para contaminação por metais pesados, os limites TEL (*Threshold Effect Level* ou nível de efeito limiar) e PEL (*Probable Effect Level* ou nível de efeito provável). O TEL consiste em um valor de concentração abaixo da qual não são esperados efeitos adversos sobre organismos aquáticos, enquanto que o PEL representa o teor acima da qual são esperados efeitos adversos severos na saúde dos seres vivos.

Outra agência ambiental importante adotada nesta pesquisa (USEPA, 1998) denomina de *Effects Range-Low* (ERL) ou Intervalo de Efeito Baixo, que corresponde às concentrações metálicas abaixo das quais efeitos adversos raramente acontecem, e de *Effects Range - Median* (ERM) ou Intervalo de Efeito Médio, que esta relacionado às concentrações metálicas acima das quais efeitos adversos freqüentemente ocorrem. As concentrações entre estes valores (ERL e ERM) indicam um possível nível de toxicidade para os sedimentos.

Segundo Jesus (2009) esses critérios (recomendações) existentes se baseiam em aproximações da concentração de *background*, dos critérios de qualidade de águas, dos dados de bioensaio e do nível básico de concentração de efeito aparente nos testes ecotoxicológicos, entre outros.

Este tipo de análise faz-se necessário porque no Brasil ainda não há legislação federal específica tratando dos limites máximos da concentração de metais admitidos para sedimentos estuarinos e poucos dados existem para regiões isentas de poluição e praticamente inexitem para áreas tropicais.

De acordo com os resultados obtidos, pode-se concluir que, com relação à referência do CCME, a maioria das amostras apresenta concentrações inferiores valores estabelecidos (Tabela 22).

Tabela 22 – Valores de referências de diversos órgãos internacionais usados como padrão de qualidade de sedimentos. (Concentrações de metais em mg/kg<sup>-1</sup>-peso seco).

REFERÊNCIA		Zn	Cd	Pb	Cu	Cr	Ni	Hg
<b>CCME – SEDIMENTOS MARINHOS</b> <sup>1</sup>	ISQG – SEM EFEITO À BIOTA	124	0,7	30,2	18,7	52,3	--	0,13
	PEL – PROVÁVEL EFEITO A BIOTA	271	4,2	112	108	160	--	0,70
<b>GUIA DE CLASSIFICAÇÃO DA USEPA</b> <sup>2</sup>	NÃO POLUÍDO	90	n.a	40	25	24	20	--
	MODERADAMENTE POLUÍDO	90-200	n.a	40-60	25-50	25-75	20-50	--
	ALTAMENTE POLUÍDO	>200	>6	>60	>50	>75	>50	--
<b>GUIA DE QUALIDADE DE SEDIMENTOS</b> <sup>3</sup>	ERL (PPM)	150	1,2	46,7	34	81	20,9	0,15
	ERM (PPM)	410	9,6	218	270	370	51,6	0,71
<b>CLASSIFICAÇÃO HOLANDESA DE QUALIDADE</b> <sup>4</sup>	BOM	150	0,25	<30	<35	<70	<30	--
	RAZOÁVEL	150-650	0,25-1	30-120	35-150	70-300	30-120	--
	POBRE	650-3000	1-5	120-600	150-700	300-1500	120-600	--
	RUIM	3000-10000	5-10	600-1500	700-1500	1500-5000	600-1500	--
	MUITO RUIM	>10000	>10	>1500	>1500	>5000	>1500	--
<b>ÁREA DE ESTUDO (SUAPE) *</b>	<b>TESTEMUNHO 1 - CANAL RETIFICADO</b>	<b>64-187</b>	<b>0,14</b>	<b>3-13</b>	<b>15-23</b>	<b>25-32</b>	<b>10-14</b>	<b>0,06-0,17</b>
	<b>TESTEMUNHO 2 - CANAL RETIFICADO</b>	<b>23-31</b>	<b>0,14</b>	<b>7-12</b>	<b>11-14</b>	<b>21-26</b>	<b>7-10</b>	<b>0,1-0,2</b>
	<b>TESTEMUNHO 3 - RIO MASSANGANA</b>	<b>20-25</b>	<b>0,14</b>	<b>3-9</b>	<b>7-9</b>	<b>17-26</b>	<b>5-7</b>	<b>0,11-0,2</b>
	<b>TESTEMUNHO 5 - RIACHO ILHA DA CANA</b>	<b>8-15</b>	<b>0,14</b>	<b>1-9</b>	<b>2-5</b>	<b>5-14</b>	<b>5-11</b>	<b>0,08-0,16</b>

1 – Canadian Council of Ministers of the Environment, 1999. 2 – USEPA 1977 e 2001. 3 – Long. *et al.*, 1995. 4 – IADC/CEDA, 1997.

\* Valores máximo e mínimo de todas as profundidades.

Entretanto, Zn, Cu e Hg no testemunho 1 e Hg em todos os testemunhos analisados apresentaram valores acima do Guia Provisório de Qualidade de Sedimentos (ISQG), ou seja, um nível de contaminação baixo, que pode ter um leve efeito sobre a biota.

De acordo com Guia de Classificação da USEPA (1977 e 2001), foi verificado que o Zn no testemunho 1 e o Cr nos testemunhos 1, 2 e 3 estão acima deste valor de referência (Tabela 22). O Zn foi considerado moderadamente poluído (90-200 mg.Kg<sup>-1</sup>) em boa parte das suas amostras no testemunho 1, enquanto o Cu foi considerado moderadamente poluído de fato no testemunho 1, visto que, apresentou diversas amostras acima do valor considerado contaminado. Já nos demais testemunhos 2 e 3, houve somente anomalias, ou seja, apenas uma amostra esteve acima do limite considerado poluído.

Segundo a classificação de *Long et al.* (1995), observou-se que apenas o Zn no testemunho 1 obteve concentração registrada acima do ERL, ou seja, que podem indicar um possível nível de toxicidade para os sedimentos. O mesmo testemunho contaminado por Zn foi encontrado na Classificação Holandesa (1997) em que segundo a citada referência o considera como razoavelmente contaminado (Tabela 22).

Como possíveis fontes antropogênicas destes metais levantadas nos estuários da região interna de Suape, torna-se difícil uma conclusão pontual e definitiva, tendo em vista que a região apresenta importantes fontes potenciais de contaminação por metais traços, resultantes de atividades industriais e portuárias (resíduos industriais, efluentes, etc.), apresentando grandes riscos para a qualidade dos ecossistemas locais. Entretanto, essa interferência antrópica relacionada à construção e instalação do CIPS é relativamente recente, com aproximadamente 30 anos, como registrado nas anomalias encontradas nos metais (Ni-Pb-Zn-Mn) analisados do testemunho 5. Outra provável fonte antropogênica são as proximidades com os núcleos urbanos, com possíveis lançamentos de efluentes domésticos *in natura* nos estuários e a disposição dos resíduos sólidos em suas áreas adjacentes (lixão). As atividades agrícolas podem ser consideradas uma fonte geradora de metais em longo prazo, tendo em vista o uso agrotóxico, utilizados principalmente na cultura da cana-de-açúcar. O próprio substrato litológico pode ser

uma possível fonte de metais, tendo em vista a proximidade do embasamento cristalino presente a montante nesta região.

De modo geral pode-se concluir a área estudada possui as mais diversas fontes potenciais de contaminação, sendo, portanto muito difícil indicar as origens. Portanto, pesquisas em áreas industrializadas apresentam-se sempre em ameaça potencial ao ambiente, em função da constante presença de metais pesados (Tabela 23).

Contudo, tendo em vista os resultados da pesquisa em comparação com os valores de referencias adotados, podemos afirmar que as áreas analisadas, possuem um relativo panorama de sanidade ambiental, principalmente se levar em consideração a proximidade com o CIPS.

**Tabela 23 – Principais fontes antrópicas de metais pesados para o ambiente marinho.**

Fontes	Cu	Cr	Zn	Mn	Co	Pb	Ni
<b>Indústria química</b>	x	x	x		x	x	x
<b>Indústria Petroquímica</b>		x	x			x	
<b>Atividade Agrícola</b>	x	x	x	x	x	x	x
<b>Indústria de Plásticos</b>		x	x			x	x
<b>Indústrias de eletro-eletrônico</b>	x	x	x			x	x
<b>Indústria Têxtil</b>		x	x				
<b>Indústria de Papel</b>	x	x	x			x	x
<b>Indústria Gráfica</b>	x	x	x			x	
<b>Indústria de Bebidas</b>	x		x				
<b>Emissão de Veículos</b>	x	x	x				x
<b>Curtume</b>		x					
<b>Esgotos</b>	x		x				
<b>Petróleo Refinado</b>	x	x	x			x	x
<b>Portos</b>							x

Fonte: Modificado por Förstner & Wittmann (1981); Pereira & Soares-Gomes (2002) *in* Chagas (2003).

Outra comparação realizada no presente estudo foi relacionada com outros ambientes costeiros. De acordo com os resultados obtidos nos testemunhos, foram selecionados os valores mínimos e máximos e correlacionados com 20 diferentes regiões estuarinas no Brasil e no mundo, nas mais diversas condições ambientais possíveis (Tabela 24).

Tabela 24 – Comparação da concentração de metais no sedimento da área estudada com outras regiões estuarinas no Brasil e no mundo. LD: Limite de Detecção.

LOCALIDADE	Al		Cd		Co		Cr		Cu		Fe		Mn		Zn	
	(% )		<sup>-1</sup> (mg.kg )		<sup>-1</sup> (mg.kg )		<sup>-1</sup> (mg.kg )		<sup>-1</sup> (mg.kg )		(% )		<sup>-1</sup> (mg.kg )		<sup>-1</sup> (mg.kg )	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
BRASIL																
Este Estudo (Suape)	0,4	1,58	0,14	0,14	0,20	2,61	5,43	31,55	2,36	23,09	0,92	6,44	7,42	238,1	8,09	187
Ilha do Cardoso – Cananéia – SP	0,11	1,62	<L.D	30,9	4,4	47,3	<.LD	88,0	<LD	27,2	0,15	2,26	11,2	320	5	50,4
Estuário de Santos - Cubatão	1,34	4,08	<0,2	1,6	--	--	--	--	13	109	--	--	--	--	53	476
Estuário de Santos - SP	--	--	<0,05	1,7	--	--	6,2	70	4,4	100	--	--	29	1561	15,5	957
Estuário de São Vicente – SP	--	--	<0,05	1	--	--	1,7	40	0,68	23	--	--	7,9	458	7,4	65
Baía de Santos – SP	--	--	<0,05	0,59	--	--	1,5	26	0,41	19	--	--	7,8	435	5,2	42
Porto de Niterói - RJ	--	--	--	--	--	--	75	230	35	1450	--	--	--	--	115	850
Enseada Jurujuba - RJ	--	--	--	--	--	--	10	223	5	213	0,1	2,13	10	414	15	337
Delta do Rio São Francisco – SE/AL	--	--	--	--	--	--	--	--	0,2	23,2	--	--	--	--	0,7	49,8
EXTERIOR																
Porto de Rodes (Grécia)	--	--	0,03	0,1	--	--	19,4	118	38,3	101	1,42	9,38	138	208	59	242
Porto de Mitiłini (Grécia)	1,86	5,26	0,05	0,5	--	--	44,6	154	9,39	67,6	0,77	2,81	201	360	38,8	230
Laguna Veneza (Itália)	--	--	0,5	70,2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	113	8295
Enseada de São Simón (Espanha)	3,40	8,0	1	1,4	1	15	2	61	2	58	0,33	3,6	39	270	22	161
Estuário de Tees (Inglaterra)	--	--	2,6	9,8	16	56	36	577	25	262	--	--	--	--	65	777
Estuário do Rio Pearl (China)	--	--	--	--	--	--	--	--	18,5	50,2	--	--	--	--	57,4	187
Laguna Madre (EUA)	0,50	4,14	<1,2	2,7	--	--	<1,5	35,4	<0,60	18,5	0,07	1,7	9,7	150	4,11	69,8
Laguna Índia River	0,15	5,66	<0,01	0,75	0,6	6,3	5,1	104	0,6	206	0,14	4,26	30	446	2,6	277
Laguna La Paz (México)	--	--	1,96	5,73	--	--	2,5	30,4	--	--	--	--	--	--	2,7	125
Enseada Port-Heitz (Quênia)	--	--	nd	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Manguezais de Hong Kong (China)	--	--	--	--	--	--	--	--	1,1	41,2	--	<0,1	103	--	23	56
Baía de Mareton (Austrália) – Pré- Industrial	0,53	1,47	<0,4	0,6	<1,2	5	7	72	1	12	0,11	11,72	<0,1	103	23	56
Baía de Mareton (Austrália) - Recente	0,10	1,47	<0,4	0,4	<1,2	11	2	24	<0,5	13	0,22	3,27	4	397	15	118

Fonte: <sup>1</sup>Matos (2002); <sup>2</sup>CETESB (2001); <sup>3</sup>Vilela *et al.* (2004); <sup>4</sup>Baptista-Neto *et al.* (2000); <sup>5</sup>Semensatto-Jr. (2006); <sup>6</sup>Angelidis & Aloupi (1995); <sup>7</sup>Aloupi & Angelidis (2001); <sup>8</sup>Bellucci *et al.* (2002); <sup>9</sup>Evans *et al.* (2003). <sup>10</sup>Jones & Turki (1997); <sup>11</sup>Li *et al.* (2001); <sup>12</sup>Sharma *et al.* (1999); <sup>13</sup>Trocine & Trefry (1996); <sup>14</sup>Shumilin *et al.* (2001); <sup>15</sup>Kamau (2002); <sup>16</sup>Tam & Wong (1995); <sup>17</sup>Preda & Cox (2002) *in* Semensatto-Jr *et al.*, 2007

Dos onze metais analisados, apenas o Pb, Hg e Ni não foram comparados em função de não existirem valores de referências de outros ambientes costeiros para sua comparação.

Comparativamente a concentração máxima do Al (1,58%) ficou abaixo em praticamente todos os estuários citados com exceção da Baía de Mareton – Austrália (1,47%), onde as concentrações são quase similares. O elemento Cd teve como valor considerado seu limite de detecção ( $0,14 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), onde apenas a região do Porto de Rodes na Grécia ficou abaixo deste valor ( $0,1 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), também com valores praticamente semelhantes.

O Cr teve seu valor máximo bem inferior à maioria dos estuários ( $31,55 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), ficando acima apenas na Baía de Santos ( $26 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), Laguna da Paz no México ( $30,4 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) e na Baía de Mareton na Austrália ( $24 \text{ mg.kg}^{-1}$ ). O Cu teve seu maior índice abaixo da maioria dos estuários, com exceção da Baía de Santos ( $19 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), da Laguna Madre nos Estados Unidos ( $18,5 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) e da Baía de Mareton na Austrália ( $12$  e  $13 \text{ mg.kg}^{-1}$ ).

O Fe foi que apresentou os maiores valores ( $6,44 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) dentre os metais estudados comparados com outras regiões apresentadas. Apesar de poucos trabalhos envolverem este elemento na literatura consultada, sua concentração máxima só esteve abaixo de duas regiões, Porto de Rodes na Grécia ( $9,38 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) e Baía de Mareton na Austrália na fase pré-industrial. As demais regiões ficaram abaixo do valor citado. Apesar deste metal não ser considerado um contaminante significativo no mar, devido a sua baixa toxicidade, entretanto, seus sais de Fe precipitam como óxidos hidratados de ferro, que permanecem na fase particulada e se depositam acumulando metais.

O Mn teve sua concentração máxima abaixo da maioria das regiões comparadas, com exceção do Porto de Rodes ( $208 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), da Laguna Madre ( $150 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) e da Baía de Mareton na fase pré-industrial ( $103 \text{ mg.kg}^{-1}$ ).

O Zn teve a maioria das regiões acima do seu valor máximo ( $187 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), entretanto diversas regiões ficaram abaixo do seu limite máximo (8 regiões) que sugere um relativo nível de contaminação em comparação outros ambientes considerados não poluídos (Tabela 24).

De maneira geral os resultados comparativos demonstraram que os valores de concentração de metais (Zn, Cd, Pb, Cu, Cr, Ni, Co e Hg) foram inferiores aos valores de outras regiões estuarinas do Brasil e do mundo. Entretanto, verifica-se que a região de estudo apresenta concentrações relativamente baixas de metais pesados (Al, Cd, Co, Cr, Cu, Fe e Mn), principalmente se levar em consideração a proximidade com o Complexo Industrial e Portuário de Suape (CIPS). Mesmo aquelas concentrações consideradas mais elevadas apresentaram valores relativamente baixos, ficando abaixo dos índices da maioria das regiões analisadas, o que pode ser sugerido ainda como um estuário ainda com baixo nível de interferência antropogênica. (Tabela 24).

## CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

A região estuarina de Suape foi objeto deste trabalho em função da necessidade de constantes pesquisas a respeito de suas características físicas, químicas e biológicas, visando preservar e recuperar os ecossistemas ainda existentes, apesar dos graves impactos ambientais que vem sofrendo ao longo de décadas.

Com relação à sedimentologia foi observado que a área de estudo possui uma distribuição heterogênea de sedimentos de fundo, onde se verifica a predominância da fácies areia (66%), principalmente na Baía de Suape, estuário do rio Massangana e riacho Ilha da Cana e secundariamente da fácies lamosa (15%) nas regiões mais distais (Canal Retificado) e nas proximidades do Porto de Suape, variando de acordo com os diferentes níveis de energia hidrodinâmica presente nos estuários.

Os sedimentos arenosos que atapetam o fundo dos estuários de Suape são constituídos predominantemente por grãos siliciclásticos (quartzo), com uma contribuição secundária de componentes bioclásticos (foraminíferos, fragmentos de conchas e algas, gastrópodes, etc.). Os sedimentos lamosos são constituídos por quartzo, muscovita, calcita, ortoclásio, argilo-minerais e de matéria orgânica oriunda dos manguezais. Entre os argilo-minerais foi detectada a presença da caulinita e a esmectita.

O mapeamento batimétrico revelou isóbatas variando de 0 a 16 metros de profundidade, predominando as regiões de baixa profundidade (< 4 m), onde constatou-se o surgimento de processos de assoreamento, em função da retirada da cobertura vegetal a montante da área de estudo e também dos impactos ambientais decorrentes da instalação, reforma e ampliação do CIPS. A única exceção é a região de entorno ao porto de Suape que, devido às constantes dragagens para manutenção do calado dos navios, mantém uma profundidade média em torno de 16 metros.

A morfologia do fundo estuarino apresentou-se bem movimentada, com alternâncias de bancos e depressões ao longo da área de estudo, com larguras bem distintas, constituídos por sedimentação arenosa e/ou lamosa.

De uma maneira geral, podemos concluir que as baixas profundidades encontradas em praticamente toda a região estuarina de Suape, estão possivelmente relacionadas aos processos de assoreamento, em função da retirada da cobertura vegetal de sua bacia hidrográfica e também um reflexo direto dos impactos ambientais decorrentes da instalação, reforma e ampliação do CIPS.

A presente pesquisa auxiliou no mapeamento e quantificação de áreas susceptíveis a concentração de contaminantes no ambiente estuarino de Suape, em especial os metais pesados, que concentram-se nos bolsões de lama. De acordo com os resultados, as áreas de maior risco de contaminação possuem aproximadamente 2.074 Km<sup>2</sup> em área, ou seja, apenas 28% do total.

As concentrações de metais potencialmente biodisponíveis não apresentam efeitos adversos à biota significativos, segundo os valores de referência internacionais adotados (americana, canadense e holandesa) e os trabalhos anteriores realizados no CIPS (Teódulo *et al*, 2003, Chagas, 2003 e Moraes, 2009), comprovando assim, que a sua biodisponibilidade para as águas estuarinas ainda é considerada baixa. Entre os metais analisados, apenas o Zn (187 mg.kg<sup>-1</sup>) e o Mn (238 mg.kg<sup>-1</sup>) presentes no testemunho 1 apresentaram valores considerados elevados. A disponibilidade destes metais sugere uma incipiente contribuição antrópica associado com condições ambientais favoráveis.

Avaliando as interpretações realizadas nesta pesquisa, verifica-se que as concentrações médias dos metais presentes nos sedimentos da área estudada, apresentaram níveis que, no geral são menos elevados do que outras regiões portuárias encontradas no mundo, principalmente em se tratando de uma zona portuária e industrial. Entretanto, isso não significa que as concentrações encontradas nos sedimentos sejam totalmente desprezíveis, tendo em vista que, os metais podem formar espécies químicas potencialmente assimiláveis aos seres vivos, que vão se acumulando ao longo dos anos.

Foi constatado no testemunho 5 que a concentração dos metais biodisponíveis apresentaram valores que podem ser considerados como *background*

natural para a região estuarina de Suape (CIPS), caracterizado por uma assinatura geogênica relativamente bem preservada, sem o revolvimento das camadas sedimentares e predominantemente arenoso.

As únicas anomalias consideradas possivelmente antropogênicas no testemunho 5 (Pb-Ni-Mn) foram registradas apenas nos primeiros 9 cm, ou seja, nos últimos 30 anos, segundo as idades descritas por Lima (2008) e Silva (2008), período que coincide com o início da construção de Suape.

As concentrações de metais encontradas nesta pesquisa poderão servir como parâmetro para futuras comparações nos sedimentos visando quantificar o nível de contaminação encontrado nos atuais ecossistemas da região.

Entre as recomendações sugeridas para os próximos trabalhos na região estuarina de Suape, podemos destacar:

- Mensurar medidas de direção e velocidade das correntes ao longo de toda área estudada, conhecendo melhor o mecanismo de deposição e remoção dos sedimentos estuarinos.
- Avaliar o tempo de residência da água, visando conhecer a qualidade do ambiente em função de contaminantes presentes.
- Avaliar os níveis de concentrações de metais nos seres vivos e na água, correlacionando com as concentrações obtidas nos sedimentos.
- Avaliar a taxa de sedimentação dos testemunhos e sua geocronologia, relacionando a deposição com as concentrações de metais.
- Quantificar as espécies químicas (especiação) orgânicas e inorgânicas do ambiente visando compreender o comportamento e a mobilidade dos metais no ambiente estuarino.
- Analisar com mais detalhes novos testemunhos, principalmente na área do testemunho 5, para metais, C.T., M.O. e teor da fração argilosa.

## REFERÊNCIAS

Albino, J., 1999. Morfodinâmica e processo de sedimentação atual das praias de Bicanca à Povoação, ES. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geologia Sedimentar. Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 178p.

Alheiros, M.M., 1998. Riscos de escorregamentos na Região Metropolitana do Recife. Tese de Doutorado. Programa de Pós-graduação em Geologia. Instituto de Geociências. Universidade Federal da Bahia (UFBA), Salvador, 135p.

Almeida, F.F.M., Hasui, Y., Neves, B.B.B., Fuck, R.A., 1977. Províncias estruturais brasileiras. In: *Simp. Geol. Nordeste*, 8, Campina Grande: SBG, 363-391p.

Almeida, L.P., 2003. Análise da Efetividade dos Estudos Ambientais: O Caso do Complexo Industrial Portuário de Suape. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife, 105p.

Amaral, A.J.R. & Menor, E.A., 1979. A Seqüência Vulcano-Sedimentar Cretácea da Região de Suape (PE): interpretação faciológica e considerações metalogenéticas. In: *Simp. Geol. Nordeste*, 9, Natal: SBG, 251-269 p.

APHA. 1998. Standard Methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation, 20th ed. Washington.

Arrais, M.S.M.C., 1991. Estudos geoeconômicos dos “placeros” praias da Ponta da Gamboa, Litoral Sul de Pernambuco. Relatório de Graduação. Curso de Geologia. Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife. 87p.

Assis, H.M.B., 1999. Cartografia geomorfológica do município do Cabo de Santo Agostinho/PE. Recife: CPRM/FIDEM. *Sér. Cart. Tem.* Volume 04. 32p.

ASTM. American Society for Testing and Materials. 1992. Standard practice for Extraction of Trace Elements From Sediments, Vol.11 (02).

Barcellos, R.L., 2005. Distribuição da matéria orgânica sedimentar e o processo sedimentar atual no Sistema Estuarino-Lagunar de Cananéia-Iguape (SP). Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geologia Sedimentar. Instituto Oceanográfico. Universidade de São Paulo, São Paulo (USP), 2v.

Barros, L.C., 2003. Estudos sedimentológicos na plataforma continental interna adjacente às desembocaduras sul do canal do canal de Santa Cruz e do rio Timbó, norte do Estado de Pernambuco. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geociências. Departamento de Geologia. Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife, 86p.

Baugarten, M.G.Z., 2001. Qualidade de águas: descrição de parâmetros químicos referidos na legislação ambiental. Ed. FURG, Rio Grande, 166p.

Bittencourt, A.C.S.P.; Martins, L., Dominguez, J.M.L., Ferreira, Y.A., 1983. Evolução Paleogeográfica quaternária da costa do Estado de Sergipe e da costa sul do estado de Alagoas. *Rev. Bras. Geoc.*, 13(2): 93-97.

Borba, G.S., 1975. Rochas vulcânicas da faixa costeira sul de Pernambuco: aspectos petrográficos e geoquímicos. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Geologia. Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, 134p.

Borchardt, G. Smectitas. 1989. In: Dixon, J.B. & Weed, S.B., eds. Minerals in soils environments. 2.ed. Madison, Soil Science Society of America, 675-718p.

Braga, R.A.P., Silva, A.L.N., Moreira, I.L., Uchoa, T.M.M., 1989. Avaliação de impactos ambientais na zona estuarina de Suape - PE. Relatório de avaliação de impactos ambientais nas zonas estuarinas de Pernambuco. Recife, p. 32 - 102.

CCME. 1999. Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life – Protocol for the derivation of Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life. Canadian Council of Ministers of the Environment. 35p.

CCME. Canadian Council of Ministers of the Environmental. 1999. Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life. 1999. Disponível em: <[http://www.ccme.ca/publications/can\\_guidelines.html](http://www.ccme.ca/publications/can_guidelines.html)>. Acesso em: 08 de Set. 2008.

Chagas, A.C.O., 2003. Níveis de metais pesados e hidrocarbonetos em sedimentos do Complexo Industrial Portuário de Suape. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Oceanografia. Departamento de Oceanografia. Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife, 80p.

Chaves, N.S., 1996. Beachrocks do litoral pernambucano: Estudo sedimentológico e análise de isótopos estáveis. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-

Graduação em Geociências. Departamento de Geologia. Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife, 80p

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. 2005. Resolução nº 357 de 17 de Março, Brasília, 23p.

Corrêa, I.C.S. 2005. Aplicação do diagrama de Pejrup na interpretação da sedimentação e da dinâmica do estuário da Baía de Marajó - PA. *Pesq. em Geoc.*, 32 (2): 109-118.

Costa, W.D. & Costa, W.D., 1977. Estudos Geológicos – Geotecnológicos da Área Portuária. Relatório Final. SEPLAN, Recife.

Coutinho, P.N. & Morais, J.O., 1986. Problemas de gerenciamento de zonas úmidas. In: *Simp. Geol. Nordeste*, 12, João Pessoa: SBG, 228-234p.

Coutinho, P.N., Lima Filho, M.F., Lima, A.T.O., Martins, M.H.A., Pedrosa, F.J.A., Manso, V.A.V., Medeiros, A.B., Menezes, M.O.B., Chaves, N.S., Kater, K., Lira, A.R.A., Oliveira, L.A., 1993. Análise ambiental do setor costeiro entre Recife - PE e Pitimbú (PB). Recife: *Reun. Anual Soc. Bras.*

Day Jr, J. W., Hall, C. A. J., Kemp, W. M., Yáñez-Arancibia, A., 1989. Zooplankton, the Drifting Consumers. In: *Estuarine Ecology*. Willey-Interscience Publication. cap. 8: 311-337.

Davies, J.L., 1964. A Morphogenic Approach to World Shoreline. *Z. Geomorphology*, 8:127-142.

Dias, J. A., 2004. A análise sedimentar e os conhecimentos dos sistemas marinhos. Disponível em <[w3.ualg.pt/~jdias/JAD/ebooks/Sedim/SedimD\\_ADG.pdf](http://w3.ualg.pt/~jdias/JAD/ebooks/Sedim/SedimD_ADG.pdf)>. Acesso em 27 nov. 2008.

DHN. Diretoria de Hidrografia e Navegação (tábuas das marés). Disponível em: <[http://www.dhn.mar.mil.br/serviços/tábuas das marés](http://www.dhn.mar.mil.br/serviços/tábuas%20das%20marés)>. Acesso em: 14 out. 2007.

DHN. Diretoria de Hidrografia e Navegação (tábuas das marés). Disponível em: <[http://www.dhn.mar.mil.br/serviços/tábuas das marés](http://www.dhn.mar.mil.br/serviços/tábuas%20das%20marés)>. Acesso em: 20 jan. 2008.

Dominguez, J.M.L., Bittercourt, A.C.S.P., Leão, Z.M.S.N., Azevedo, A.E.G., 1990. Geologia do Quaternário Costeiro do Estado de Pernambuco. *Rev. Bras. de Geoc.*, 20: 208-215.

Dominguez, J.M.L., Bittencourt, A.C.S.P., Martin, L., 1992. Controls on Quaternary coastal evolution of the east-northeastern coast Brazil: roles of sea-level history, trade winds and climate. *Sediment. Geol.*, 80: 213-232.

Dyer, K.D., 1997. *Estuaries - A physical introduction*. Chichester, J Wiley & Sons, 195p.

Eisma, D., 1993. *Suspended Matter in the Aquatic Environment*. Springer-Verlag, Berlin, 315p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 1999. Zoneamento Agroecológico do Estado de Pernambuco. Mapa de Reconhecimento de Baixa e Média intensidade de solos. Escala 1:100.000.

Fanning, D. S., Keramidas, V. Z. & EL-Desoky, M. A., 1989. Micas. In: Dixon, J.B. & Weed, S.B., eds. *Minerals in soils environments*. 2.ed. Madison, Soil Science Society of America, 551-634p.

Fritzen, L.B., 2007. Composição, origem e grau de enriquecimento do material orgânico sedimentar no setor norte do Sistema Estuarino-Lagunar do rio Itapocu, SC. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geografia. Departamento de Geociências. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 99p.

Folk, R.L. & Ward, W.C., 1957. Brazos rives bar: A study in the significance of grain size parameters. *Journ. Sed. Petrol.*, Tulsa, Okla, 27: 3-27.

Gava, A., Nascimento, D.A., Vidal, J.L.B., Ghignone, J.I., Oliveira, E.P., Santiago Filho, A.L., Teixeira, W., Stanfort, W.J.P., Ribeiro, J.H.M., 1983. Geologia. In: PROJETO RAMBRASIL. Folha SC-24/25. Aracajú/Recife. Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação e o Uso Potencial da Terra. Rio de Janeiro, MME/Secretaria Geral, 27-376p.

Goddard. E.N., Trask, P.D., Ford, R.K., Rove, O.N, Singewald, J.T., Overbeck, R.M., 1948. *Rock Color Chart*. Geological Society of America, Boulder, Colorado.

Gregório, M.D.N. Sedimentologia e morfologia das praias do Pina e da Boa Viagem, Recife (PE) – Brasil. 2004. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Oceanografia. Departamento de Oceanografia. Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife, 92p.

Guerra, S.M.S., 1998. Cartografia Geológico-Geotécnica de Áreas Costeiras: O Exemplo de Suape - PE. Tese de Doutorado. Instituto de Ciências Exatas. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), Rio Claro, São Paulo, 2v, 212p.

Harris, L.C. & Whiting, B.M., 2000. Sequence-stratigraphic significance of Miocene to Pliocene glauconite-rich layers, on-and offshore of the US mid - atlantic margin. *Sed. Geol.*, 34: 129-147.

Hillier, S. Erosion, sedimentation and sedimentary origin of clays. 1995. In: Velde, B., ed. Origin and mineralogy of clays: clays and de environment. Berlin, Springer, 162-214p.

Honorato. E.V., 2002. Sedimentos da Lagoa Olho D'Água: geocronologia e acumulação de metais-traços. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares. Departamento de Energia Nuclear. Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife, 120p.

IADC/CEDA, 1997. Guide 2. Conventions, Codes and Conditions, Marine Disposal and Land Disposal. International Association of Dredging Companies/Central Dredging Association, 72p.

INPE/CPTEC. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. Disponível em <http://www.tempo.cptec.inpe.br/ondas>. Acesso em 23 fev. 2005.

Jesus, H.C., Santana, E.J., Belo, M.J., Silva, L.B., Ceotto, C.S., Castro Neves, D.M., Castro, L.B., 2009. Avaliação da poluição ambiental dos rios Piraquê-açu e Piraquê-mirim (Santa Cruz – ES) através da análise de águas, biomonitorios e sedimentos. Relatório Técnico- Projeto Aracruz Celulose, Processo UFES nº 034373/2007-80.

Kelly, J.C. & Webb, J.A., 1999. The genesis of glaucony in the Oligo - Miocene Torquay group, southeastern Australia: petrographic and geochemical evidence. *Sedim. Geol.*, 125: 99-114.

Kralik, M., 1999. A rapid procedure for environmental sampling and evaluation of polluted sediments. *Appl. Geoch.*, v. 14, p. 807-816.

LAMEPE. Laboratório de Meteorologia de Pernambuco. 2009. Dados de Pluviometria Diária por Município - Cabo de Santo Agostinho - 2004 a 2009 (no prelo).

Leão, Z.M.A.N. & Bittencourt, A.C.S.P., 1977. A fração biodetrítica dos sedimentos de fundo da Baía de Aratu (BA). *Rev. Brasil. Geoc.*, 7: 115-130.

Lima, E.A.M., 2008. Avaliação da qualidade dos sedimentos e prognóstico geoquímico ambiental da zona estuarina do rio Botafogo, Pernambuco. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geociências, Departamento de Geologia. Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife, 187p.

Lima Filho, M.F., 1994. Geologia e Tectônica Sedimentar da Bacia Cabo-PE (Relatório Integrado Final Submetido à FACEPE). 108p.

Lima Filho, M.F., 1998. Análise Estratigráfica e estrutural da bacia Pernambuco. Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2-20p.

Lima, J.P.R., Sicsu, A.B., Padilha, M.F.F.G., 2007. Economia de Pernambuco: transformações recentes e perspectivas no contexto regional globalizado. *Rev. Econ. Nordeste*, v. 38, n.4, p.525-541.

Lima, M.R. & Pedrão, E., 1994. The Cabo Basin. In: Beurlen, G., Campos, D.A.S., Vivers, M.C., ed. Stratigraphic Range of Cretaceous Mega and Microfossils of Brazil, Rio de Janeiro. UFRJ/CCMN/IG. p.232-244.

Lima, S.F., 1999. Programa Anased 5.0. Laboratório de Geologia Marinha e Aplicada. Universidade Federal do Ceará.

Long, E.R., MacDonald, D.D., Smith, S.L., Calder, F.D., 1995. Incidents of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. *Environ. Manag.*, 19: 81-97.

Long, L.E., Sial, A.N., Nekvanil, H.E., Borba, G.S., 1986. Origin of granit at Cabo de Santo Agostinho-Northeast Brazil, *Contr. Mineral. Petrol.*, 92:341-350.

Mabesoone, J.M., 1971. O conglomerado da Formação Cabo: origem múltipla? *Rev. Trim. Assoc. Geól. Pern.* Recife, v.1, p.25-32.

Mabesoone, J.M. & Alheiros, M.M., 1988. Origem da Bacia Sedimentar Costeira Pernambuco-Paraíba. *Rev. Bras. Geoc.*, v.18, n.4, p.476-482.

Macedo, S.J., Montes, M.J.F., Muniz, K., Lins, I. 2001. Aspectos hidrológicos da área estuarina do Complexo Industrial e Portuário de Suape, Pernambuco, Brasil. Resúmenes Ampliados. IX Colacmar Noveno. Congresso Latino Americano sobre Ciencias Del Mar. San Andrés Isla, Colômbia, 83p.

Maclane, M., 1995. Sedimentology. Oxford University Press, New York, 423p.

Medeiros, C., Menezes, M.O.B., Redondo, J.M., 1997. Utilização de imagens de vídeo para caracterização do campo de ondas de superfície. In: 2º Congresso sobre ondas e marés. Arraial do Cabo. Rio de Janeiro: IEAPM.

Melo, M.L., 1958. Paisagens do Nordeste em Pernambuco e Paraíba. Ed. Nacional, Rio de Janeiro, 325p.

Melo Junior, G., 1997. Variabilidade de Amostragem e Analítica: Aplicação à Prospecção Geoquímica e ao Monitoramento Ambiental. Apostila do curso de

variabilidade de Amostragem e Analítica: Aplicação à Prospecção Geoquímica e ao Monitoramento Ambiental, ministrado no VI *Congr. Bras. Geol.*, Salvador. 200p.

Millot, G., 1964. *Géologies des argiles*. Masson et Cie, Paris, 499p.

Moraes, A.S., 2009. Geoestatística aplicada à geoquímica ambiental no estudo da qualidade dos sedimentos do rio Tatuoca, Complexo Industrial Portuário de Suape. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geociências. Departamento de Geologia. Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife, 60p.

Moraes, L.S., 1928. Estudos Geológicos do Estado de Pernambuco. *Bol. Serv. Geol. Min. Brasil*. DNPM. Rio de Janeiro, 32: 69-70.

Neumann, H., Medeiros, C., Parente, L., Neumann Leitão, S., Koenig, M.L., 1998. Hydrodynamism, sedimentology, geomorphology and Plancton changes at Suape area (PE-Brasil) after a Port Complex Implantation. In: *Anais Acad. Bras., Ciên.*, 70, 2: 313-323.

Neumann, V.H.M.L., 1991. Geomorfologia e sedimentologia quaternária da área de Suape, Pernambuco (Brasil). Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geociências. Departamento de Geologia. Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife, 95p.

Nichols, M.M., 1986. Effects of fine sediment resuspension in estuaries. Lecture Notes on Coastal and Estuarine Studies - Estuarine Cohesive Sediment Dynamics. A.J. Mehta (Ed.), Spring-Verlag, New York, vol. 14, p. 5-42.

Pejrup, M., 1988. The triangular diagram used for classification of estuarine sediments: a new approach. In: Boer, P.L., Van Gelder, A., Nio, S.D., (Ed). Tide influenced Sedimentary Environments and Facies. D. Reidel. p. 289-300.

Pires Advogados & Consultores. 2000. Avaliação de Impacto Ambiental. Modernização e Ampliação do Porto de Suape. Recife.

Pires Advogados & Consultores. 2005. Estudo de Impacto Ambiental do Projeto da Indústria de PTA da MGBRBA. Recife. cap.5. 134p.

PNUD. Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. 2003. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). Fundação João Pinheiro. Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil. CD-Rom.

Ponçano, W. L. 1986. Sobre a interpretação ambiental de parâmetros estatísticos granulométricos: exemplos de sedimentos quaternários da costa brasileira. *Rev. Bras. Geoc.*, 16(2):157-170.

Ponzi, V.R.A., 1995. Métodos de análises sedimentológicas de amostras marinhas. Representação de resultados através de gráficos e mapas. UFF. Nota de aula. 52p.

Ramos, M.H.A., Melo, A.S.S.A., Ramos, F.S., 2007. A implantação de uma refinaria de petróleo em SUAPE-PE: uma avaliação dos impactos sócio-econômico-ambientais a partir da interpretação de Agendas 21 Locais. Disponível em: <[http://www.ecoeco.org.br/conteudo/publicacoes/encontros/vii\\_en/mesa2/trabalhos/uma\\_avaliacao\\_qualitativa\\_dos\\_impactos\\_da\\_implantacao\\_de\\_uma\\_refinaria.pdf](http://www.ecoeco.org.br/conteudo/publicacoes/encontros/vii_en/mesa2/trabalhos/uma_avaliacao_qualitativa_dos_impactos_da_implantacao_de_uma_refinaria.pdf)>. Acesso em 07 fev. 2009.

Rand, H.M., 1976. Estudos geofísicos na faixa litorânea sul de Recife. Tese de Livre Docência. Departamento de Engenharia de Minas. Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife, 112p.

Righi, D. & Meunier, R., 1995. Origin of clays by rock weathering and soil formation. In: Velde, B., Ed. Origin and mineralogy of clays: clays and de environment. Berlin, Springer, p. 43-161.

Sahu, B.K., 1964. Depositional mechanisms from the size analysis of clastic sediments. *Journ. Sedimentol.* Tulsa, Okla, 34: 73-83.

Schulz, H.D. & Zabel, M., 2006. Marine Geochemistry, 2nd revised, updated and extended edition. Editora Springer, 4, 125-168p.

Semensatto-Jr, D.L., Araujo, G.C.L., Funo, R.H.F., Santa-Cruz, J., Brito, D.D., 2007. Não metais e metais em um manguezal não poluído, Ilha de Cardoso, Cananéia (SP). *Pesq. Geoc.*, 34, (2):25-31.

Shepard, F.P., 1954. Depositional mechanisms from the size analysis of clastic sediments. *Journ. Sedim. Petrol*, Tulsa, Okla, 34: 73-83.

Shepard, F.P., 1954. Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. *Journ. Sedim. Petrol.*, 24, (3): 151-158.

Silva, A.P.L., 2008. Diagnóstico geoquímico e geocronologia do sistema estuarino - lagunar do Roteiro - Alagoas. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geociências. Departamento de Geologia. Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife, 120p.

Soares Junior, C.F.A., 2006. Sedimentologia, morfodinâmica e aspectos geoambientais da baía de Suape, Cabo de Santo Agostinho – PE (Brasil). Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geologia. Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, 117p.

Strickland, J.D. & Parsons, T.R., 1965. A manual of sea water analysis. *Bull. Fish. Res. Canadá*, Ottawa, 125: 1-185.

Stumm, W. & Morgan, J.J., 1996. Aquatic Chemistry. Chemical Equilibria and Rates in Natural Waters. New York, John Wiley & Sons, 3<sup>rd</sup> ed., 1022p.

SUAPE. Complexo Industrial Portuário. 2007. Relatório da Administração. Disponível em <<http://www.suape.com.br>> Acesso em 18 set. 2008.

Suguio, K. 1973. Introdução a Sedimentologia. São Paulo. Edgar Blucher Ltda. 317 p.

Teódulo, M.J.R., Lima, E.S., Neumann, V.H.M.L., Leite, P.R.B., Santos, M.L.F., 2003. Comparação de métodos de extração parcial de metais traços em solos e sedimentos de um estuário tropical sob à influência de um complexo industrial portuário, Pernambuco, Brasil. *Estudos Geológicos*. 13: 23-34.

Thornthwaite, C.W. & Mather, J.R. 1955. The water balance. Publications in Climatology, New Jersey, Drexel Inst. of Technology, 104p.

Toldo Jr., E.E. & Dorneles, C.E., 1991. Programa de Análise Incompleta (PANICOM). Sistema de Análises Granulométricas. Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Porto Alegre.

TRANSCON S.A. Consultoria Técnica. Complexo Industrial Portuário de Suape. Recife, 1974.

Tricart, J., 1959. Problèmes geomorphologiques du littoral oriental du Brésil. *Cahiers Oceanogr.*, 11:276-308.

Tricart, J. & Cailleux., 1965. A. Traité de géomorphologie V. Le modelé dès régions chaudes, forêts et savanes. *SEDES*, Paris, 322 p.

Uchoa, T.M.M. & Braga, R.A.P., 1989. Avaliação de Impactos Ambientais na Zona Estuarina de Suape. Recife. Relatório nº1. UFPE, D.B.G., Laboratório de Geologia.

USEPA, 1998. EPA's Contaminated Sediment Management Strategy. Washington, USEPA, EPA-823-R-98-001.

Valença, L. M. M., 1993. Étude des altérations météoriques du littoral oriental du Nor-Est du Brésil. Tese de Doutorado. Université Louis Pasteur, Strasbourg, França, 134p.

Vandoros, P. Cordani, U., Matzko, J.J., 1966. Idades absolutas das rochas ígneas da região do Cabo, Pernambuco. In: *Cong. Brasil. Geol.*, 20, Vitória: SBG, (1): 64-66.

Vandoros, P. & Valarelli, J.V., 1976. Geologia da região do Cabo de Santo Agostinho-PE. In: *Cong. Brasil. Geol.*, 29, Ouro Preto: SBG, 19p.

Wentworth, C.K., 1922. A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments. *Journ. Geol.*, 30(5): 377-392.

# **ANEXO (1)**

**PARÂMETROS ESTATÍSTICOS DOS SEDIMENTOS DE FUNDO DA  
REGIÃO INTERNA DO PORTO DE SUAPE - PERNAMBUCO**

<b>AMOSTRAS</b>	<b>LAT (UTM)</b>	<b>LONG (UTM)</b>	<b>Md</b>	<b>Mz</b>	<b>Dp</b>	<b>SKI</b>	<b>Kg</b>
SP – 01	9074820	284244	1,307	1,384	0,5766	-0,2817	1,156
SP – 02	9074705	284114	1,563	1,563	0,4444	0,1701	1,118
SP – 03	9074561	283965	1,692	0,762	2,39	0,5484	1,976
SP – 04	9075119	283688	3,927	3,443	2,186	0,4621	3,255
SP – 05	9075203	283766	1,805	1,765	0,7953	-0,03005	0,9472
SP – 06	9075273	283865	6,063	5,663	3,298	0,1695	0,7131
SP – 07	9075276	283035	0,4181	0,534	1,167	0,1376	0,366
SP – 08	9075352	283069	0,2358	0,3754	0,9607	-0,1083	0,925
SP – 09	9075424	283114	1,087	1,124	0,8193	-0,01963	0,9459
SP – 10	9075512	282375	1,3	1,327	1,427	-0,1315	1,228
SP – 11	9075573	282411	1,251	1,273	0,9803	-0,05309	1,006
SP – 12	9075651	282459	0,9252	0,8925	0,723	-0,01028	0,8692
SP – 13	9076072	282417	1,286	1,32	0,8978	0,06104	1,096
SP – 14	9076036	282308	0,2873	0,2966	1,265	0,005376	1,192
SP – 15	9076012	282212	1,297	1,376	1,02	-0,1855	1,309
SP – 16	9076259	281261	1,925	2,713	2,491	-0,1636	1,357
SP – 17	9076199	281303	6,301	6,358	3,715	-0,07952	0,8805
SP – 18	9076139	281351	6,193	5,875	3,327	0,1069	0,7845
SP – 19	9076358	281045	6,175	5,82	3,139	0,1274	0,8834
SP – 20	9076599	281117	5,172	4,037	3,105	0,4741	0,9396
SP – 21	9076646	281143	4,145	3,757	3,009	0,2345	0,9249
SP – 22	9076737	280746	4,903	4,237	3,799	0,2034	0,9347
SP – 23	9076695	280790	5,483	3,912	3,121	0,5962	0,8596
SP – 24	9076651	280840	2,63	2,869	1,634	-0,1184	1,581
SP – 25	9076737	280422	1,519	1,455	1,803	0,3235	2,087
SP – 26	9076801	280437	2,139	2,004	1,7	0,2723	1,505
SP – 27	9077349	280180	7,442	7,289	2,811	0,01302	0,8589
SP – 28	9078104	280020	6,257	6,257	1,808	0,1644	1,099
SP – 29	9078078	279965	7,808	7,737	2,51	0,03888	0,7396
SP – 30	9078065	279921	7,617	7,415	2,49	0,114	0,7533
SP – 31	9076612	280406	1,414	1,413	1,036	-0,02599	0,9616
SP – 32	9076591	280354	6,349	6,349	1,806	0,1692	1,115
SP – 33	9076570	280300	1,877	1,696	2,079	0,396	2,058
SP – 34	9075320	280538	4,256	3,193	3,558	0,4228	0,8421
SP – 35	9075356	280592	7,263	7,277	2,99	-0,03362	0,7797
SP – 36	9075368	280652	4,316	3,317	3,592	0,3931	0,8057
SP – 37	9075308	280899	3,898	3,642	2,633	0,1179	0,7458
SP – 38	9075711	281062	7,366	7,288	3,032	-0,05339	0,9047
SP – 39	9075669	281020	3,779	2,594	2,804	0,6543	1,14
SP – 40	9075615	280996	4,674	3,575	2,69	0,6225	1,147
SP – 41	9076193	280827	4,741	4,531	2,657	0,0588	1,159
SP – 42	9075380	282381	0,6915	0,6402	0,9389	0,05076	1,114
SP – 43	9075350	282338	1,012	0,9348	1,057	0,03525	1,098
SP – 44	9074838	281989	2,458	2,415	1,618	0,2452	2,226
SP – 45	9074796	282049	4,153	3,082	2,892	0,5628	1,591

SP – 46	9074844	281724	1,196	1,307	0,9149	-0,1766	1,182
SP – 47	9074928	281670	1,738	1,659	0,7202	0,06912	1,079
SP – 48	9075013	281610	2,03	1,763	1,812	0,4226	1,825
SP – 49	9074362	281176	2,17	2,289	1,382	0,08991	1,949
SP – 50	9074410	281225	1,891	1,931	0,9395	-0,08633	0,9731
SP – 51	9074103	280791	6,233	6,035	3,421	0,0569	0,7725
SP – 52	9074049	280827	1,751	1,663	0,741	0,08416	1,073
SP – 53	9073983	280827	3,675	2,573	2,912	0,5917	1,144
SP – 54	9073732	280839	7,298	6,96	2,392	0,2129	0,8298
SP – 55	9073601	280744	4,693	3,958	3,674	0,2461	0,9294
SP – 56	9073550	280655	7,084	7,28	3,33	-0,129	0,8353
SP – 57	9073007	282229	1,804	1,765	0,9717	0,02184	1,052
SP – 58	9072741	281526	2,165	2,271	0,6263	-0,2572	0,8645
SP – 59	9072696	281450	0,01765	-1,09	1,071	1,459	0,509
SP – 60	9072632	281383	1,671	1,604	0,6283	0,1224	1,242
SP – 61	9073049	280069	4,741	5,096	2,862	-0,1347	0,9608
SP – 62	9072878	283296	1,359	1,33	1,137	-0,0252	0,9217
SP – 63	9073425	283422	4,025	3,528	3,026	0,3003	0,9595
SP – 64	9073409	283290	4,758	3,952	3,483	0,2907	0,9426
SP – 65	9074110	283750	1,045	0,8106	1,163	0,2698	1,132
SP – 66	9074142	283696	1,074	1,146	0,6776	-0,1525	0,7646
SP – 67	9075522	284712	0,3022	0,3597	1,248	-0,09231	0,7566
SP – 68	9075268	285075	0,4104	0,7035	1,397	-0,2527	0,7423
SP – 69	9075064	285324	1,616	1,579	0,7991	0,02019	1,089
SP – 70	9074949	285518	1,203	1,302	1,135	-0,1639	1,076
SP – 71	9074576	285349	1,246	1,309	0,8258	-0,02436	0,9689
SP – 72	9074596	285035	2,261	2,291	1,926	0,1912	1,811
SP – 73	9074675	284736	1,558	1,544	0,5952	0,03145	1,382
SP – 74	9074810	284478	1,144	1,284	0,8793	-0,2617	1,212
SP – 75	9074526	284244	1,167	1,252	0,826	-0,09584	1,007
SP – 76	9074446	284483	1,308	1,377	0,7825	-0,05308	1,053
SP – 77	9074327	284781	1,184	1,231	1,153	-0,09749	0,9486
SP – 78	9074172	285160	1,381	1,421	1,209	-0,152	0,9965
SP – 79	9073877	285004	1,822	1,768	0,8153	-0,00187	0,9403
SP – 80	9074023	284741	1,171	1,241	0,7989	-0,03391	0,9452
SP – 81	9074121	284461	1,028	1,018	0,8928	0,02428	1,021
SP – 82	9074303	284122	1,341	1,546	1,433	-0,2874	0,9688
SP – 83	9073279	284632	0,8284	0,7133	0,7261	0,2176	0,9963
SP – 84	9073251	284814	1,18	1,257	0,8885	-0,08607	1,019
SP – 85	9073058	284718	1,739	1,624	0,8434	0,1533	1,197
SP – 86	9073111	284590	0,9265	0,7679	0,9021	0,2823	1,11
SP – 87	9072909	284592	2,016	2,007	1,476	0,2304	1,875
SP – 88	9072907	284676	3,919	3,137	2,879	0,4703	1,129
SP – 89	9072730	284601	1,169	1,273	0,648	-0,2417	0,845
SP – 90	9072738	284536	1,507	1,52	0,8705	-0,03606	1,121
SP – 91	9072422	284360	0,6984	0,6534	1,441	0,1751	1,883
SP – 92	9072346	284447	1,823	1,872	1,095	-0,1685	1,215

SP – 93	9071929	284225	6,145	5,735	3,251	0,1923	0,6576
SP – 94	9072148	284102	4,044	4,182	3,968	0,008344	1,297
SP – 95	9072142	283842	2,045	1,587	2,391	0,4611	1,843
SP – 96	9072027	283702	8,374	8,694	2,48	-0,1839	0,7738
SP – 97	9072167	283475	8,398	8,736	2,481	-0,1949	0,7803
SP – 98	9072326	283329	8,203	8,466	2,53	-0,1447	0,753
SP – 99	9072553	283111	7,572	7,492	2,674	0,02807	0,7622
SP – 100	9072884	283111	6,375	5,891	2,843	0,2689	0,7095
SP – 101	9072898	282668	1,066	1,144	1,028	-0,1664	1,255
SP – 102	9072928	281881	4,442	3,592	2,132	0,6764	2,63
SP – 103	9072987	281879	1,005	1,028	0,6417	-0,04817	0,7386
SP – 104	9073040	281912	7,544	7,384	2,593	0,07924	0,7607
SP – 105	9072318	281472	2,475	1,468	2,856	0,6563	2,444
SP – 106	9072371	281439	1,163	1,255	0,7652	-0,06638	1,025
SP – 107	9072416	281402	3,16	1,806	3,035	0,6767	1,269
SP – 108	9072133	280867	0,9898	0,9797	0,8461	0,06597	1,05
SP – 109	9072161	280809	7,986	8,255	2,68	-0,1445	0,7554
SP – 110	9072570	280618	5,926	5,289	3,253	0,2852	0,6426
SP – 111	9072505	280646	7,079	6,816	2,693	0,1295	0,8207

## **ANEXO (2)**

**DISTRIBUIÇÃO DAS CLASSES TEXTURAIS DOS SEDIMENTOS DA  
REGIÃO INTERNA DE SUAPE**

<b>AMOSTRAS</b>	<b>CASCALHO(%)</b>	<b>AREIA(%)</b>	<b>LAMA (%)</b>	<b>CLASSIFICAÇÃO DE SHEPARD</b>
1	0,1	99,9	0	Areia
2	0,0	100	0	Areia
3	8,0	74,8	17,17	Areia lamosa
4	0,1	77,9	21,96	Areia
5	0,3	99,8	0	Areia
6	0,1	36,2	63,62	Lama arenosa
7	32,5	67,5	0	Areia cascalhosa
8	13,8	86,2	0	Areia
9	0,9	99,1	0	Areia
10	8,0	92	0	Areia
11	2,0	98	0	Areia
12	2,6	97,4	0	Areia
13	0,0	100	0	Areia
14	14,3	85,7	0	Areia
15	4,7	95,3	0	Areia
16	15,7	70	14,36	Areia cascalhosa
17	3,0	24,8	72,21	Lama arenosa
18	0,3	32,9	66,81	Lama arenosa
19	0,0	30,6	69,36	Lama arenosa
20	0,2	49,5	50,27	Lama arenosa
21	1,1	52,7	46,27	Areia lamosa
22	4,4	43,9	51,69	Lama arenosa
23	0,2	53,3	46,5	Areia lamosa
24	3,4	88,3	8,35	Areia
25	1,6	91,7	6,71	Areia
26	1,0	86,3	12,67	Areia
27	0,4	8,1	91,53	Lama
28	0,0	3,4	96,59	Lama
29	0,2	2,4	97,45	Lama
30	0,0	2,6	97,4	Lama
31	1,2	98,8	0	Areia
32	0,0	1,07	98,93	Lama
33	1,1	85,5	13,4	Areia
34	0,6	59,5	39,93	Areia lamosa
35	0,0	15,8	84,22	Lama
36	1,0	54,2	44,87	Areia lamosa
37	1,0	51,9	47,18	Areia lamosa
38	0,4	11,7	87,94	Lama
39	0,6	68,3	31,11	Areia lamosa
40	2,3	63,8	33,95	Areia lamosa
41	3,9	39,6	56,56	Lama arenosa
42	3,7	96,3	0	Areia
43	5,1	94,9	0	Areia

44	1,0	88,3	10,96	Areia
45	0,4	72,3	27,26	Areia lamosa
46	3,1	96,9	0	Areia
47	0,1	99,9	0	Areia
48	0,2	87,5	12,39	Areia
49	0,0	93,4	6,56	Areia
50	0,2	99,8	0	Areia
51	0,2	31,7	68,02	Lama arenosa
52	0,0	100	0	Areia
53	0,0	70,2	29,84	Areia lamosa
54	0,1	1,8	98,07	Lama
55	3,9	46,6	49,48	Lama arenosa
56	0,5	18,6	80,85	Lama
57	1,6	98,4	0	Areia
58	0,0	100	0	Areia
59	50,4	49,6	0	Cascalho arenoso
60	0,0	100	0	Areia
61	2,3	31,8	65,96	Lama arenosa
62	2,7	97,3	0	Areia
63	0,3	61,6	38,13	Areia lamosa
64	3,4	47,3	49,3	Lama arenosa
65	2,7	97,3	0	Areia
66	0,5	99,5	0	Areia
67	17,5	82,5	0	Areia
68	20,6	79,4	0	Areia
69	0,0	100	0	Areia
70	4,8	95,2	0	Areia
71	0,6	99,4	0	Areia
72	0,9	85,7	13,47	Areia
73	0,2	99,8	0	Areia
74	3,3	96,8	0	Areia
75	1,5	98,5	0	Areia
76	0,4	99,6	0	Areia
77	3,5	96,5	0	Areia
78	5,7	94,3	0	Areia
79	0,2	99,9	0	Areia
80	0,3	99,7	0	Areia
81	1,4	98,6	0	Areia
82	8,9	91,1	0	Areia
83	0,0	100	0	Areia
84	0,7	99,3	0	Areia
85	0,1	99,9	0	Areia
86	1,3	98,7	0	Areia
87	0,9	91,1	7,99	Areia
88	0,1	69,5	30,38	Areia lamosa

89	0,7	99,3	0	Areia
90	0,9	99,2	0	Areia
91	6,4	88,1	5,48	Areia
92	3,7	96,3	0	Areia
93	0,0	36,7	63,29	Lama arenosa
94	7,4	41	51,59	Lama arenosa
95	1,5	81,9	16,53	Areia
96	0,0	2,1	97,88	Lama
97	0,0	2,3	97,68	Lama
98	0,0	3,2	96,79	Lama
99	0,2	7,5	92,27	Lama
100	0,0	31,2	68,81	Lama arenosa
101	5,2	94,8	0	Areia
102	0,0	73,5	26,51	Areia lamosa
103	0,8	99,2	0	Areia
104	0,0	5,9	94,07	Lama
105	1,0	81	18,03	Lama
106	0,0	97,3	2,74	Areia
107	0,4	73	26,59	Areia lamosa
108	1,1	95,5	3,47	Areia
109	0,0	7,1	92,91	Lama
110	0,0	41,1	58,95	Lama arenosa
111	0,0	11,9	88,2	Lama

# **ANEXO (3)**

**RESULTADOS DOS ESTUDOS  
MORFOSCÓPICOS E COMPOSICIONAIS**

AMOSTRAS	ARREDONDAMENTO						ESFERICIDADE		TEXTURA SUPERFICIAL		COMPOSIÇÃO	
	MA	A	S A	Sar	Ar	Bar	Alta	Baixa	Fosca	Brilhante	Qz	Bio
1		∅					∅			∅	∅	
2		∅					∅			∅	∅	
3			∅				∅			∅	∅	
4		∅						∅		∅	∅	∅
5		∅					∅			∅	∅	∅
6		∅					∅			∅	∅	∅
7			∅				∅	∅	∅		∅	∅
8		∅						∅		∅	∅	
9		∅					∅			∅	∅	
10	∅	∅					∅			∅	∅	
11	∅	∅					∅			∅	∅	
12		∅						∅		∅	∅	
13		∅					∅	∅		∅	∅	
14	∅						∅	∅		∅	∅	
15			∅					∅		∅	∅	
16			∅				∅			∅	∅	
17	∅							∅		∅	∅	
18		∅					∅	∅		∅	∅	
19	∅							∅		∅	∅	
20	∅	∅						∅		∅	∅	
21	∅						∅			∅	∅	
22	∅							∅		∅	∅	
23				∅	∅		∅			∅	∅	
24			∅				∅			∅	∅	
25		∅					∅	∅		∅	∅	
26	∅							∅		∅	∅	
27		∅					∅			∅	∅	

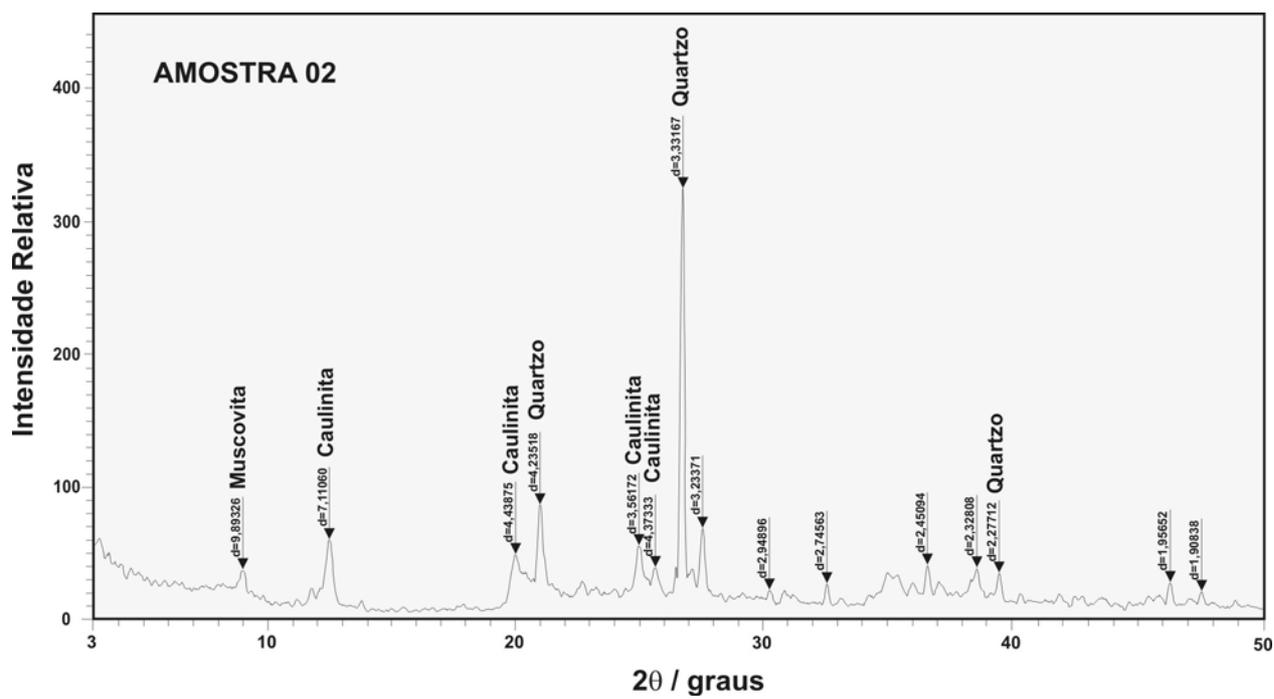
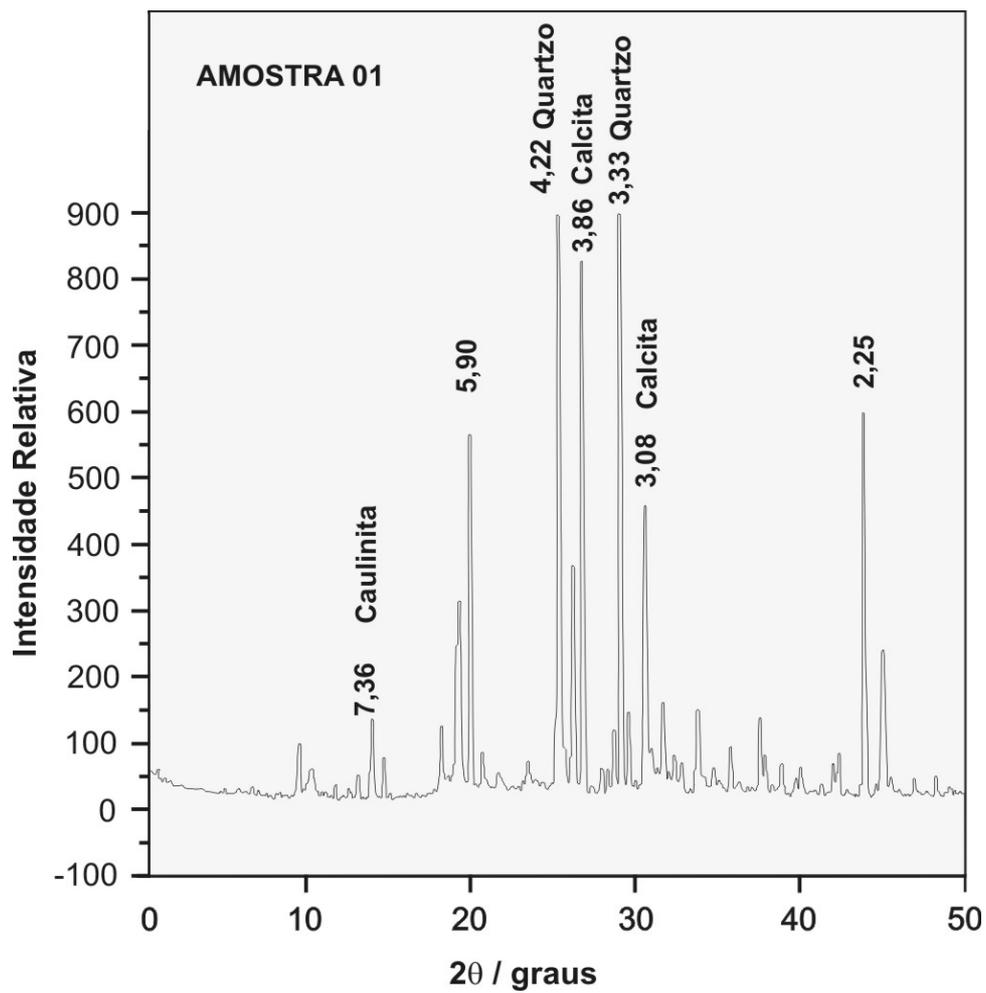
28		∅					∅	∅		∅	∅	
29			∅				∅			∅	∅	
30		∅					∅			∅	∅	
31		∅					∅	∅		∅	∅	
32	∅							∅		∅	∅	
33	∅							∅		∅	∅	
34	∅							∅		∅	∅	∅
35		∅	∅	∅			∅			∅	∅	∅
36		∅	∅				∅			∅	∅	
37	∅						∅	∅		∅	∅	
38		∅					∅			∅	∅	

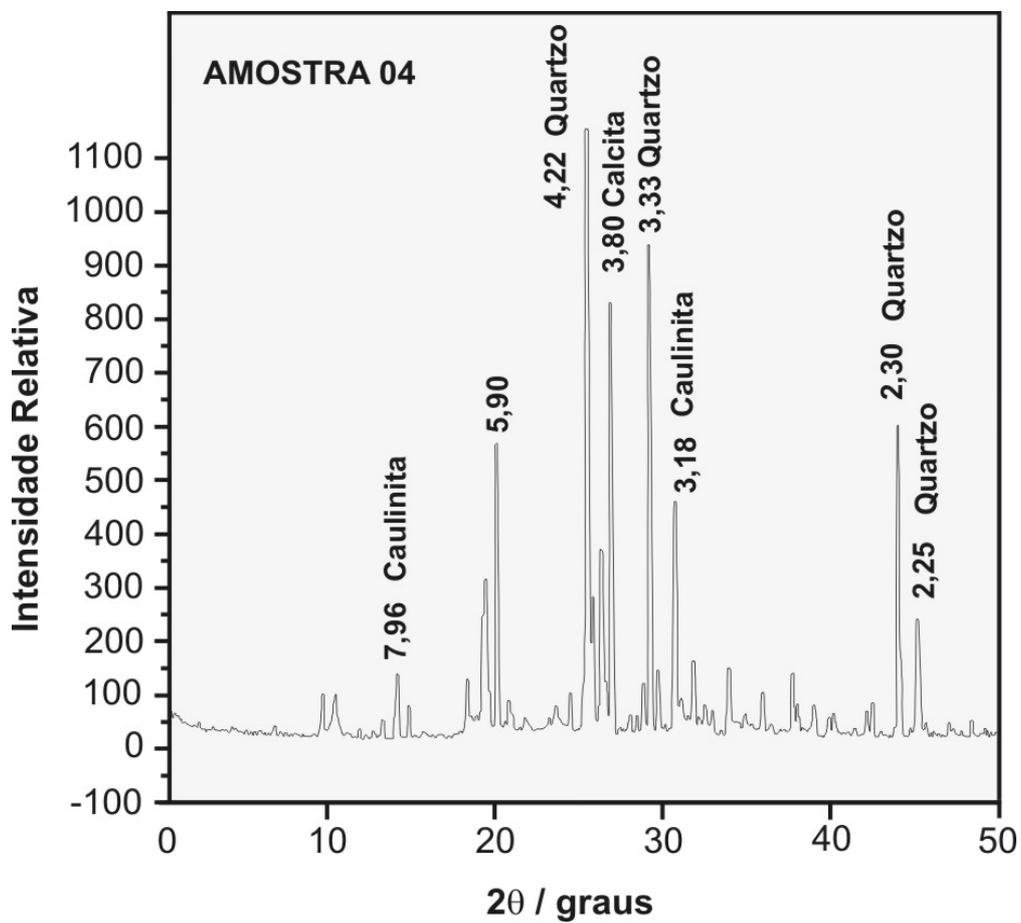
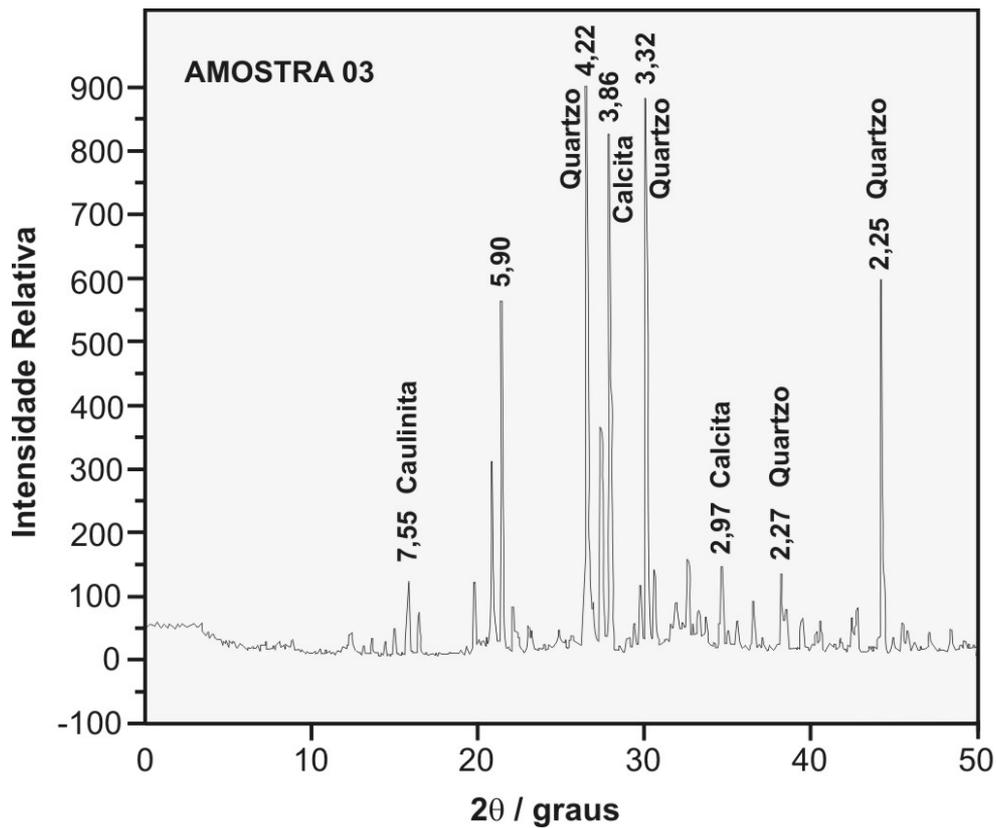
**Arredondamento:** Muito Anguloso (MA)  
 Angulosa (A)  
 Sub-angulosa (AS)  
 Subarredondada (Sar)  
 Arredondado (Ar)  
 Bem arredondado (Bar)

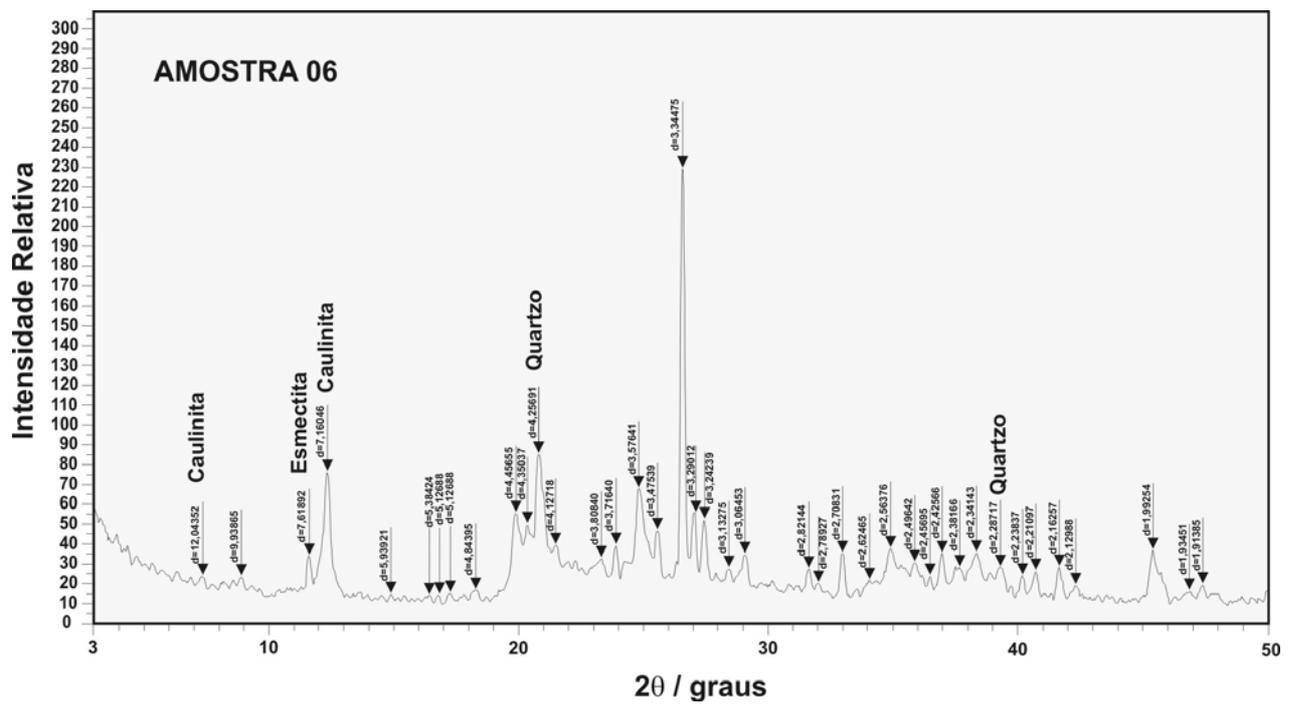
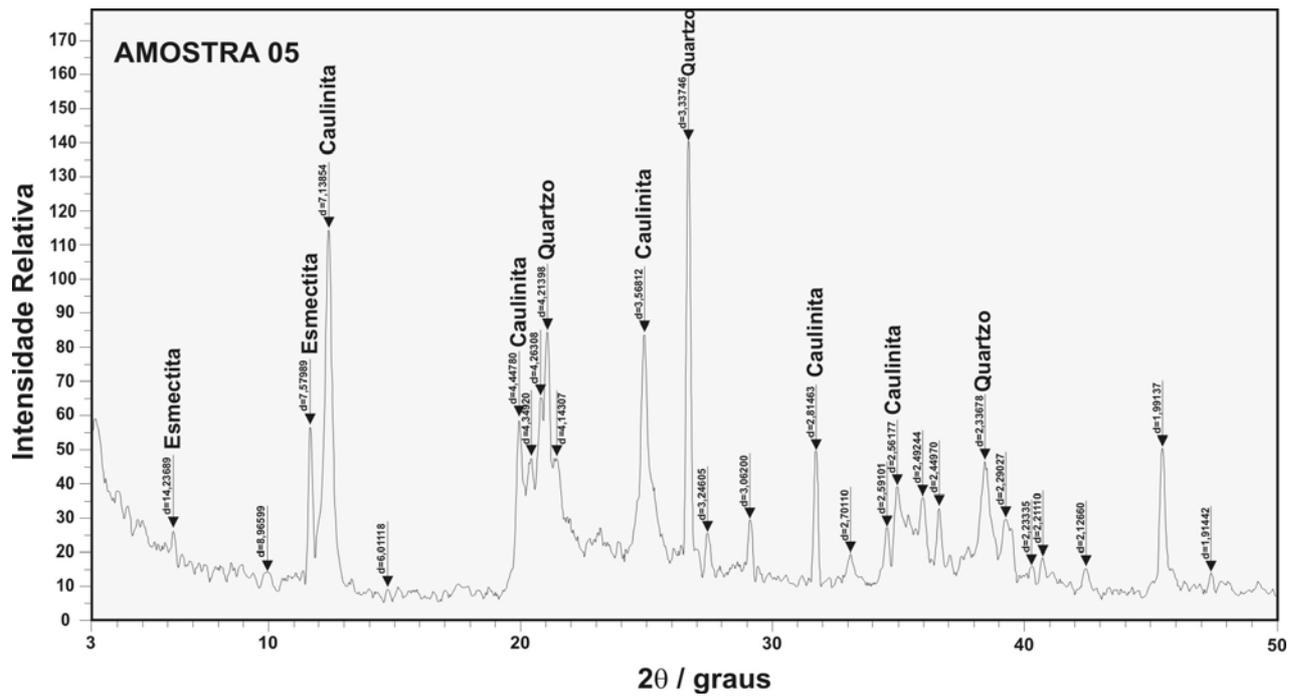
**Composição:** Quartzo (Qz)  
 Bioclasticos (Bio)

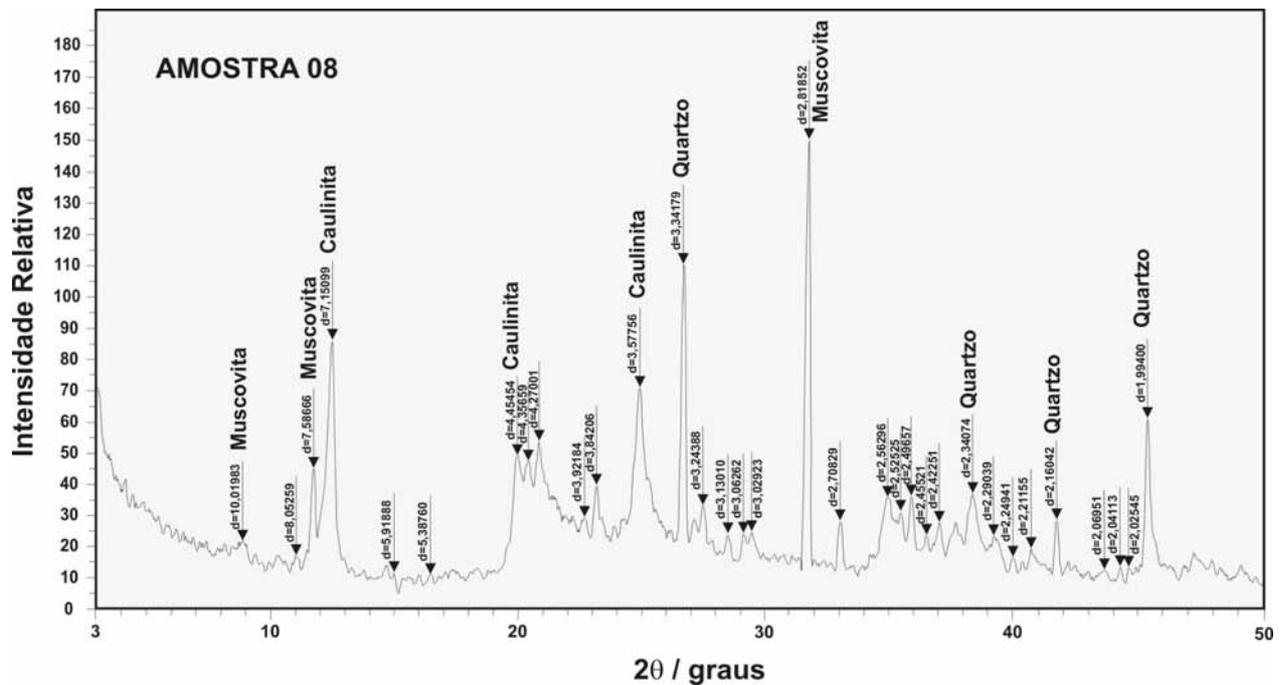
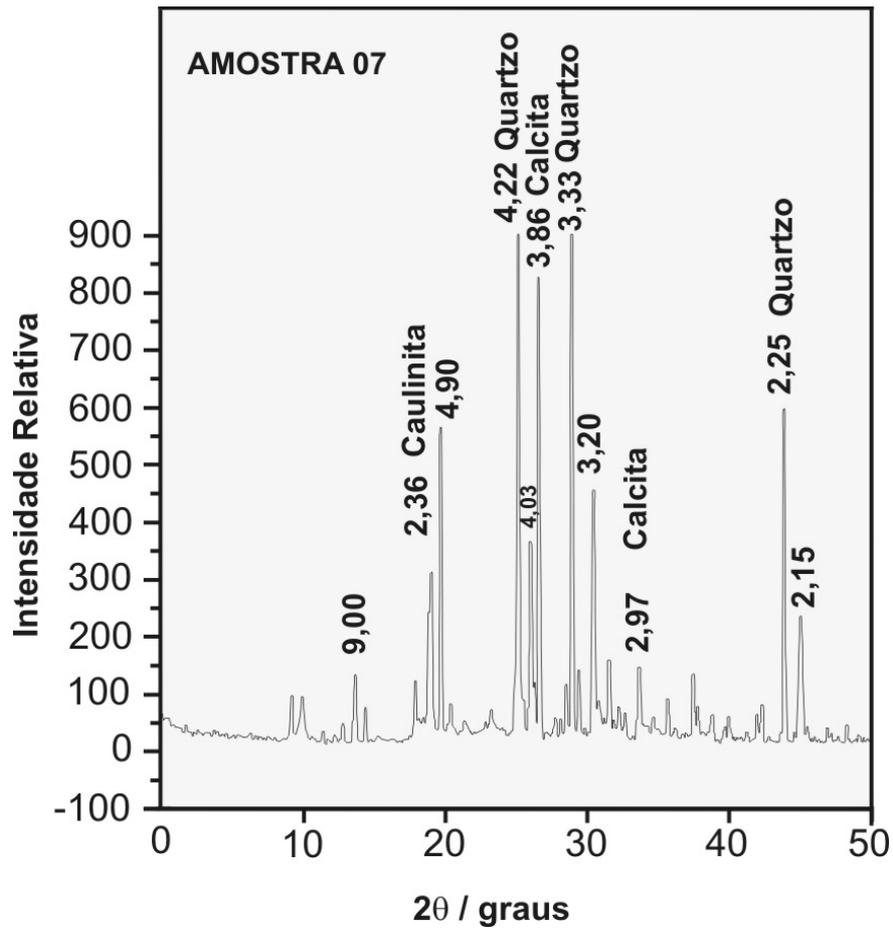
# **ANEXO (4)**

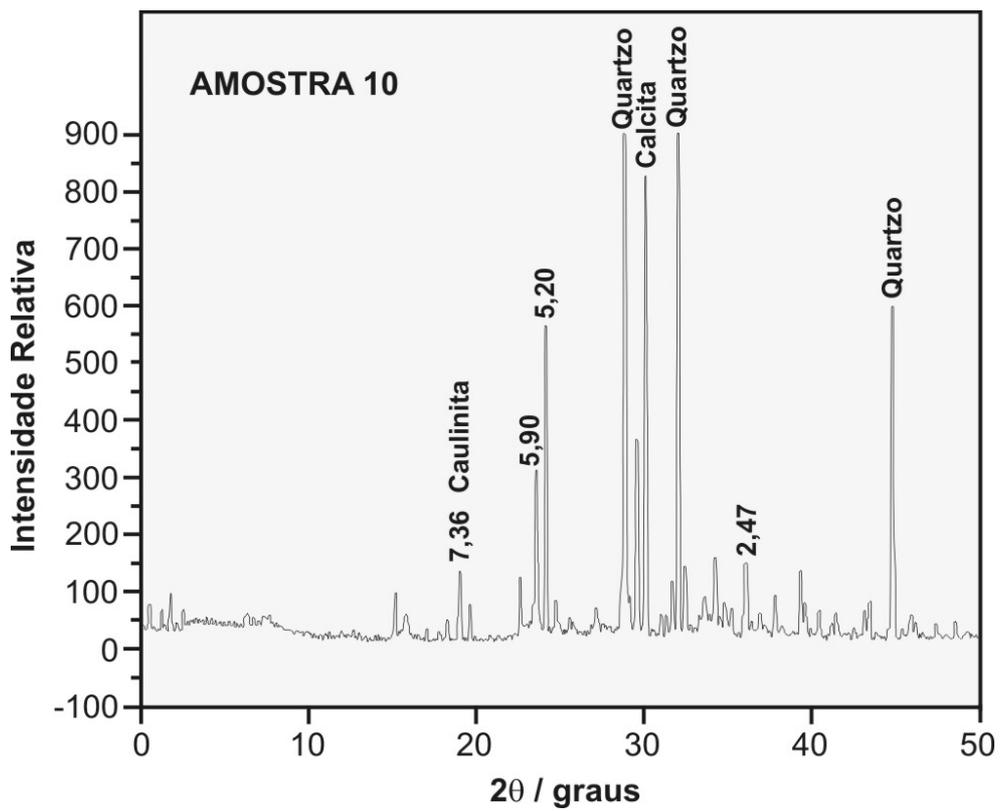
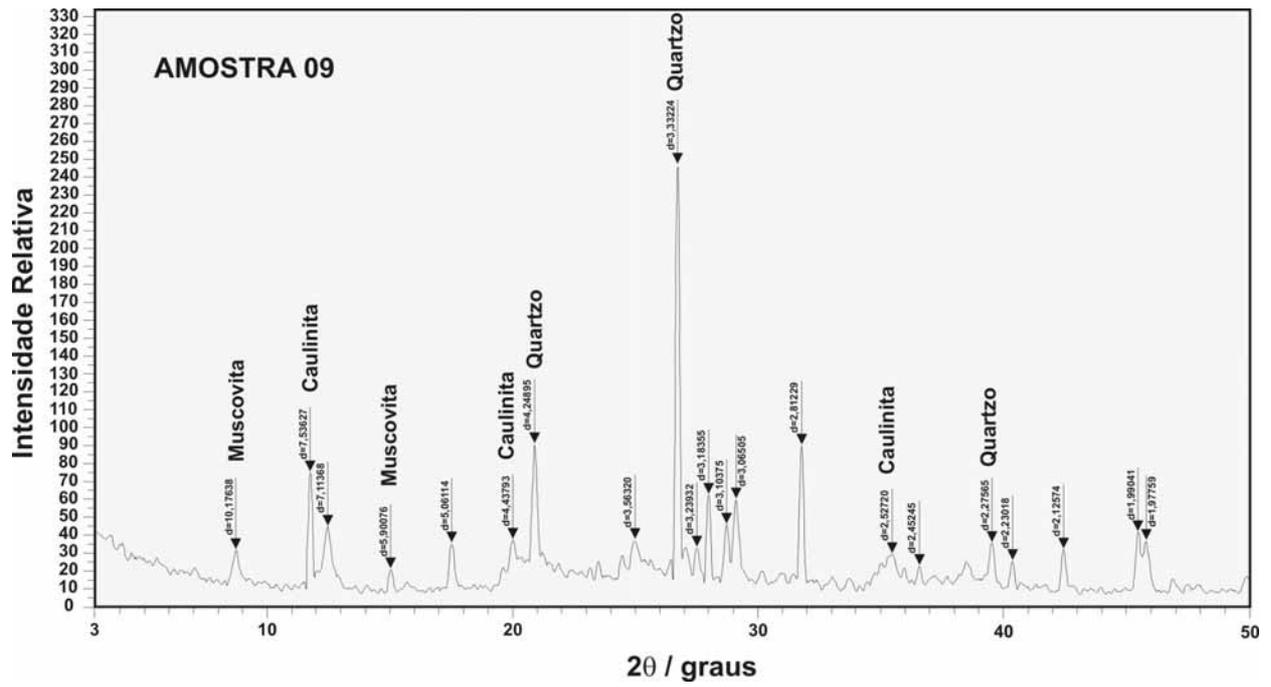
**DIFRATOGRAMAS DE RAIOS – X**

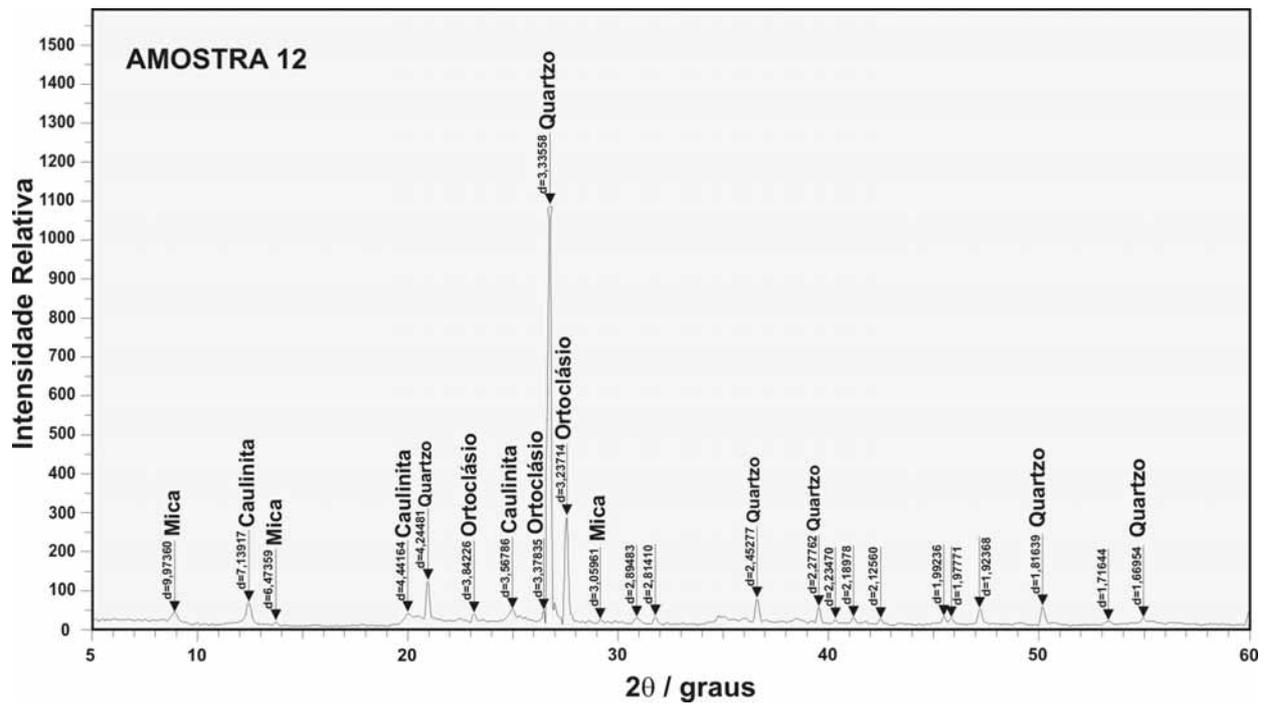
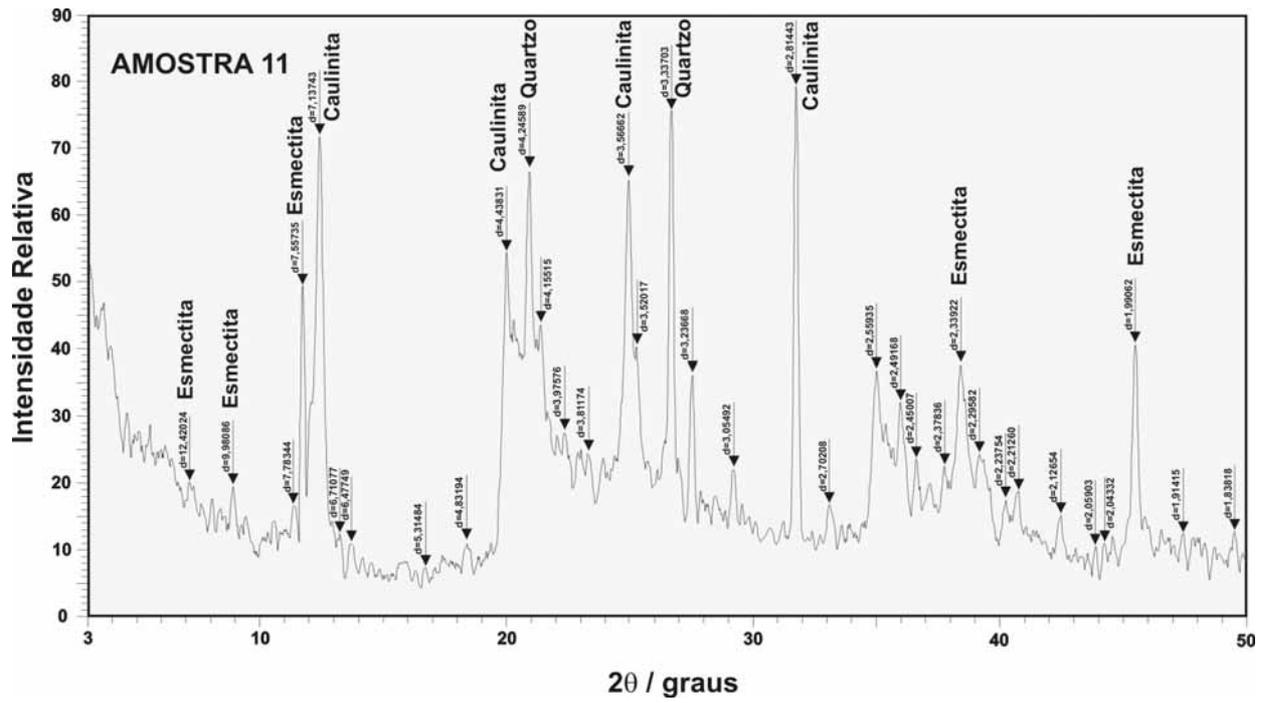


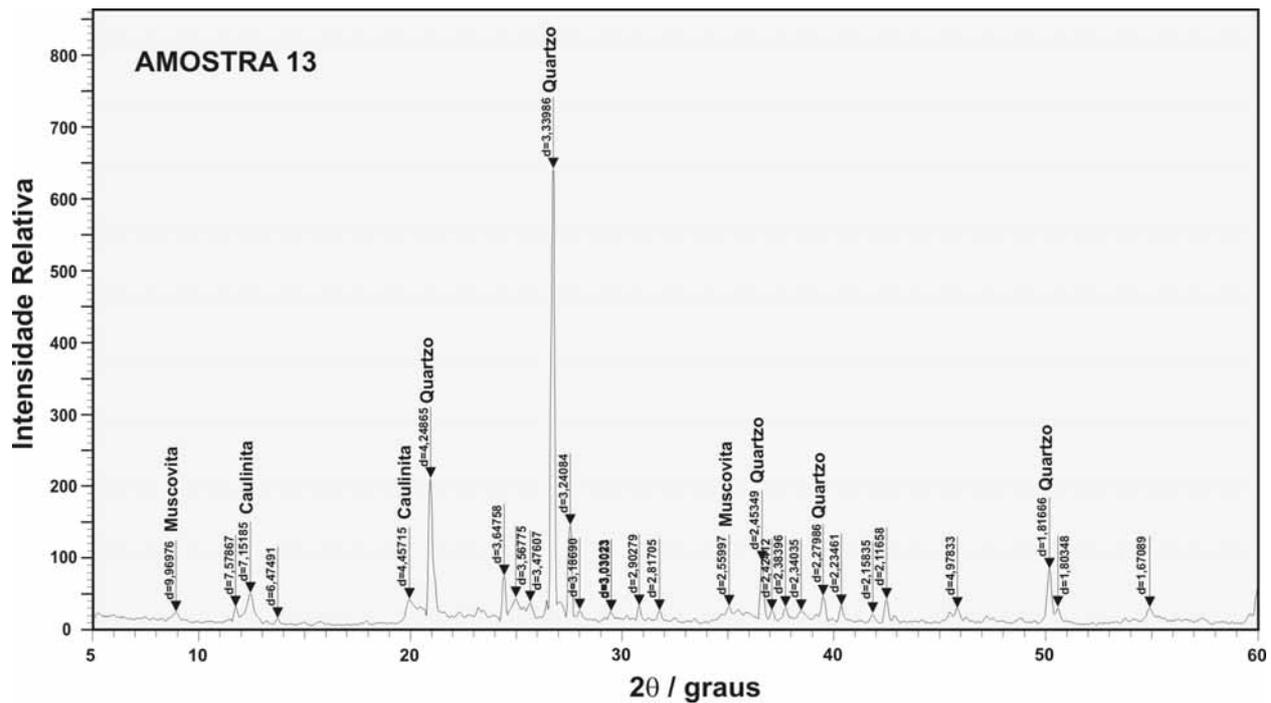












# **ANEXO (5)**

**CONCENTRAÇÕES DE METAIS POTENCIALMENTE BIODISPONÍVEIS**

## TESTEMUNHO 1

PROFUNDIDADE (cm)	METAIS TRAÇOS										
	Fe (%)	Mn (mg.kg <sup>-1</sup> )	Al (%)	Cu (mg.kg <sup>-1</sup> )	Pb (mg.kg <sup>-1</sup> )	Co (mg.kg <sup>-1</sup> )	Zn (mg.kg <sup>-1</sup> )	Cd (mg.kg <sup>-1</sup> )	Cr (mg.kg <sup>-1</sup> )	Ni (mg.kg <sup>-1</sup> )	Hg (mg.kg <sup>-1</sup> )
0 – 3	5,25	75,38	1,03	21,92	10,98	< LDM	81,61	< LDM	31,55	13,03	0,091
3 – 6	6,05	62,37	0,85	18,08	13,45	< LDM	94,29	< LDM	30,16	10,11	0,064
6 – 9	4,45	78,19	1,06	21,78	8,41	< LDM	108,3	< LDM	31,18	12,87	0,088
9 – 12	4,35	69,45	0,69	22,13	8,43	< LDM	86,01	< LDM	26,34	11,51	0,121
12 – 15	4,69	73,97	0,99	22,55	6,88	< LDM	110,0	< LDM	28,89	13,46	0,114
15 – 18	4,30	74,97	0,95	23,09	7,93	< LDM	118,8	< LDM	29,04	12,29	0,102
18 – 21	4,34	75,90	0,97	22,28	7,48	< LDM	103,3	< LDM	29,21	12,96	0,141
21 – 24	4,66	79,38	1,02	17,94	6,50	1,99	64,59	< LDM	29,03	12,89	0,175
24 – 27	5,33	184,37	0,83	18,05	5,23	2,32	64,23	< LDM	26,84	13,99	0,130
27 – 30	5,40	238,06	0,89	14,93	4,44	2,61	187,0	< LDM	24,79	13,95	0,115
30 – 33	6,02	207,04	0,71	14,53	2,98	LDM	186,3	< LDM	26,68	13,39	0,152
33 – 36	6,44	163,26	0,77	14,81	2,68	LDM	175,5	< LDM	26,55	12,69	0,162

LDM = Limite de Detecção.

## TESTEMUNHO 2

PROFUNDIDADE (CM)	METAIS TRAÇOS										
	Fe (%)	Mn (mg.kg <sup>-1</sup> )	Al (%)	Cu (mg.kg <sup>-1</sup> )	Pb (mg.kg <sup>-1</sup> )	Co (mg.kg <sup>-1</sup> )	Zn (mg.kg <sup>-1</sup> )	Cd (mg.kg <sup>-1</sup> )	Cr (mg.kg <sup>-1</sup> )	Ni (mg.kg <sup>-1</sup> )	Hg (mg.kg <sup>-1</sup> )
0 – 3	3,11	55,62	1,26	10,93	9,23	< LDM	28.58	< LDM	22,59	7,39	0,102
3 – 6	3,98	60,35	1,28	13,31	7,73	< LDM	23.68	< LDM	25,55	8,58	0,176
6 – 9	3,53	65,25	1,24	12,44	6,97	< LDM	23.40	< LDM	20,81	8,51	0,144
9 – 12	3,77	51,51	1,16	12,78	5,92	< LDM	23.89	< LDM	21,76	8,24	0,130
12 – 15	4,44	45,77	1,26	13,40	5,93	< LDM	24.05	< LDM	22,20	9,05	0,188
15 – 18	3,50	56,92	1,32	14,00	8,26	< LDM	24.99	< LDM	23,77	9,14	0,197
18 – 21	2,84	64,91	1,37	13,77	8,07	< LDM	25.55	< LDM	22,32	9,17	0,155
21 – 24	3,46	59,71	1,35	13,33	9,35	< LDM	26.15	< LDM	22,09	9,20	0,188
24 – 27	3,12	52,00	1,22	14,40	7,12	< LDM	25.28	< LDM	23,19	8,81	0,185
27 – 30	3,74	58,50	1,40	13,76	11,88	< LDM	26.77	< LDM	23,12	9,31	0,143
30 – 33	3,62	55,16	1,20	14,28	7,46	< LDM	26.52	< LDM	23,63	9,50	0,179
33 – 36	3,11	54,01	1,06	13,85	6,69	< LDM	26.38	< LDM	22,26	8,98	0,191
36 – 39	3,17	55,37	1,26	14,11	7,35	< LDM	27.05	< LDM	24,06	10,00	0,163
39 – 42	2,76	55,34	1,17	14,32	8,21	< LDM	28.39	< LDM	22,18	9,55	0,149
42 – 45	2,90	49,35	1,58	14,12	8,45	< LDM	31.02	< LDM	20,88	10,14	0,156
45 – 48	2,85	45,22	1,11	13,74	7,33	< LDM	31.05	< LDM	22,30	10,02	0,161

**LDM = Limite de Detecção.**

### TESTEMUNHO 3

PROFUNDIDADE (CM)	METAIS TRAÇOS										
	Fe (%)	Mn (mg.kg <sup>-1</sup> )	Al (%)	Cu (mg.kg <sup>-1</sup> )	Pb (mg.kg <sup>-1</sup> )	Co (mg.kg <sup>-1</sup> )	Zn (mg.kg <sup>-1</sup> )	Cd (mg.kg <sup>-1</sup> )	Cr (mg.kg <sup>-1</sup> )	Ni (mg.kg <sup>-1</sup> )	Hg (mg.kg <sup>-1</sup> )
0 – 3	2,05	36,48	1,02	7,53	6,89	< LDM	23,23	< LDM	18,51	6,35	0,127
3 – 6	2,43	34,47	1,13	7,95	7,15	< LDM	24,88	< LDM	19,07	6,75	0,185
6 – 9	2,20	28,11	0,79	7,94	5,99	< LDM	21,05	< LDM	16,98	5,14	0,172
9 – 12	2,65	32,68	1,02	8,25	6,91	< LDM	20,88	< LDM	19,90	6,86	0,202
12 – 15	2,67	34,96	1,07	9,10	7,85	< LDM	21,48	< LDM	20,04	6,27	0,166
15 – 18	2,03	41,03	1,04	8,44	7,44	< LDM	21,17	< LDM	20,94	6,60	0,147
18 – 21	2,23	42,64	1,19	8,55	8,40	< LDM	20,49	< LDM	20,91	6,52	0,136
21 – 24	2,55	47,10	1,26	8,90	9,39	< LDM	21,33	< LDM	26,10	6,53	0,135
24 – 27	2,75	49,29	0,97	8,66	6,47	< LDM	20,45	< LDM	23,88	5,60	0,136
27 – 30	3,86	46,57	1,01	8,79	6,46	< LDM	20,51	< LDM	22,75	6,06	0,107
30 – 33	3,16	33,85	1,06	9,23	4,94	< LDM	21,62	< LDM	22,66	5,78	0,114
33 – 36	3,92	35,82	1,09	8,71	4,41	< LDM	20,40	< LDM	21,78	7,00	0,110
36 – 39	3,25	34,10	0,87	9,06	3,49	< LDM	20,78	< LDM	19,87	7,07	0,106

LDM = Limite de Detecção.

## TESTEMUNHO 5

PROFUNDIDADE (CM)	METAIS TRAÇOS										
	Fe (%)	Mn (mg.kg <sup>-1</sup> )	Al (%)	Cu (mg.kg <sup>-1</sup> )	Pb (mg.kg <sup>-1</sup> )	Co (mg.kg <sup>-1</sup> )	Zn (mg.kg <sup>-1</sup> )	Cd (mg.kg <sup>-1</sup> )	Cr (mg.kg <sup>-1</sup> )	Ni (mg.kg <sup>-1</sup> )	Hg (mg.kg <sup>-1</sup> )
0 – 3	0,94	19,18	0,81	5,08	5,77	< LDM	13,63	< LDM	11,65	4,80	0,088
3 – 6	0,92	19,81	0,60	5,10	5,45	< LDM	13,32	< LDM	13,13	5,15	0,089
6 – 9	1,12	25,52	0,74	5,04	8,59	< LDM	14,30	< LDM	11,83	6,16	0,094
9 – 12	0,99	25,09	0,62	5,01	7,37	< LDM	13,37	< LDM	13,80	5,99	0,099
12 – 15	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
15 – 18	1,03	16,20	0,46	3,34	4,99	< LDM	9,85	< LDM	7,88	8,88	0,085
18 – 21	1,35	10,72	0,40	3,14	1,00	< LDM	8,09	< LDM	7,14	10,98	0,108
21 – 24	1,04	15,72	0,40	2,36	1,48	< LDM	9,92	< LDM	8,35	7,61	0,113
24 – 27	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
27 – 30	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
30 – 33	1,23	7,42	0,62	2,39	2,49	< LDM	14,76	< LDM	5,43	9,07	0,163

**LDM = Limite de Detecção.**