

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO - UFPE
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS – CTG
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA - DGeo
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS – PPGEOC

DINÂMICA SEDIMENTAR E O COMPORTAMENTO SAZONAL DA MATÉRIA
ORGÂNICA NO ESTUÁRIO DO RIO FORMOSO – PE

LUCIANA DANTAS DOS SANTOS

RECIFE

2016

LUCIANA DANTAS DOS SANTOS

DINÂMICA SEDIMENTAR E O COMPORTAMENTO SAZONAL DA MATÉRIA
ORGÂNICA NO ESTUÁRIO DO RIO FORMOSO – PE

Dissertação apresentada ao curso de Pós-graduação em Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, em cumprimento às exigências legais como requisito parcial à obtenção do Título de mestre em Geociências na área de concentração de Geologia Sedimentar e Ambiental.

Orientador: Dr. Roberto Lima Barcellos
Co-Orientador: Gilvan Takeshi Yogui

RECIFE

2016

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

S237d Santos, Luciana Dantas dos.
Dinâmica sedimentar e o comportamento sazonal da matéria orgânica no estuário do rio Formoso – PE/ Luciana Dantas dos Santos. - 2016.
96folhas, Il. e Tabs.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Lima Barcellos.
Coorientador: Prof. Dr. Gilvan Takeshi Yogui.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Programa de Pós-Graduação Geociências, 2016.
Inclui Referências, e Apêndices.

1. Geociências. 2. Estuário. 3. Sedimentos. 4. Razão C/P.
5. Sazonalidade. I. Barcellos, Roberto Lima. (Orientador).
II. Yogui, Gilvan Takeshi. (Coorientador). III.Título.

UFPE

551 CDD (22. ed.)

BCTG/2017-103

LUCIANA DANTAS DOS SANTOS

DINÂMICA SEDIMENTAR E O COMPORTAMENTO SAZONAL DA MATÉRIA
ORGÂNICA NO ESTUÁRIO DO RIO FORMOSO – PE

DISSERTAÇÃO DEFENDIDA E APROVADA EM: 31/ 05/ 2016.

Prof. Dr. Roberto Lima Barcellos
Orientador
Departamento de Oceanografia

Prof. Dr. Gilvan Takeshi Yogui
Co- orientador
Departamento de Oceanografia

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dra. Lúcia Maria Mafra Valença
Titular
Departamento de Geologia

Dr. Felipe Lima Gaspar
Titular
Departamento de Oceanografia

Prof. Dr. Virgínio Henrique M.L. Neumann
Suplente
Departamento de Geologia

Prof. Dr. Antônio Vicente Ferreira Jr.
Suplente
Departamento de Oceanografia

Recife
2016

*Dedico esse trabalho, especialmente
a meu pai (in memoriam), meu
exemplo, que sempre me apoiou e
acreditou em mim. E, a minha mãe,
minha eterna protetora e amiga, que
sempre esteve e continua ao meu
lado nos melhores e piores
momentos da minha vida.*

AGRADECIMENTOS

Agradecer nunca é uma tarefa fácil, nem justa. Para não correr o risco de cometer alguma injustiça, agradeço de antemão a todos que de alguma forma passaram pela minha vida e contribuíram para a construção de quem sou hoje.

E agradeço, particularmente, a algumas pessoas pela contribuição direta na construção deste trabalho:

Ao meu orientador, Roberto Lima Barcellos, pelo incentivo, apoio e todo o suporte prestado para a realização desse trabalho.

À Professora Elisabeth Araújo, pelo apoio financeiro do seu projeto em minhas coletas.

À todos que fazem o Laboratório de Oceanografia Química pelo apoio e ajuda nas análises, em especial ao professor Manuel, ao Felipe e a Josiane.

Ao Diego Xavier, colega de trabalho e amigo, pelo incentivo e por me salvar nos momentos de sufoco.

À todos que fazem o Laboratório de Oceanografia Geológica e o Grupo de Estudos de Sedimentologia e Geoquímica Marinha, em especial: Camilla, Eduarda, Emarielle e Liza.

E por fim, a toda a minha família que com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa de minha vida.

RESUMO

A pesquisa foi realizada no estuário do Rio Formoso/ PE (08°39'S/35°10'W) e objetivou compreender a dinâmica sazonal dos processos sedimentológicos e geoquímicos no estuário. Foram coletadas 48 amostras de sedimentos superficiais em setembro/2014 e março/2015, compreendendo o período chuvoso e seco, respectivamente. Foram realizadas análises de granulometria, de matéria orgânica total (MOT), de carbono orgânico total (COT), de fósforo (Total, Orgânico e Inorgânico), carbonato de cálcio (CaCO_3) e calculada a razão elementar C/P. Como análise complementar foram realizadas as análises da fração arenosa e da morfoscopia com intuito de identificar as características físicas sedimentares. Foram executadas também análises de correlação (*Spearman*), de componentes principais e agrupamento (*Cluster*). Foram encontrados sedimentos que variaram de areia grossa a silte fino, com um predomínio da granulação areia. A fração cascalho teve pouca participação no total das amostras e a maior proporção da fração de lama ocorreu a montante do estuário. Com relação ao grau de seleção, houve um predomínio de sedimentos pobremente a muito pobremente selecionadas. Já para a razão C/P, foram observados valores dominantes acima de 300, indicando origem continental da matéria orgânica. Na sazonalidade, houve um aumento dos parâmetros de granulação, grau de seleção e COT, e uma diminuição dos parâmetros CaCO_3 , MOT, fósforo (total, orgânico e inorgânico) na passagem do período chuvoso/2014 para o seco/2015. As análises de correlação indicaram significância entre os teores dos parâmetros geoquímicos com o percentual de lama, com exceção do CaCO_3 . Comportamento anômalo foi encontrado para o estudo na amostra localizada próximo a tanques de carcinicultura.

Palavras-chave: Estuário. Sedimentos. Razão C/P. Sazonalidade.

ABSTRACT

The study was conducted in the Formoso River estuary–PE (08°39'S/35°10'W) and this research aimed to understand the seasonal sedimentary dynamics and geochemical processes in the estuary. Forty-eight sediment samples were collected in September/2014 and March/2015, comprising the rainy and dry season, respectively. Analyses of grain size, total organic matter (TOM), total organic carbon (TOC), phosphorus (TP, OP, IP), CaCO₃ and C/P elemental ratio. Coarse fraction analysis and morphoscopy were performed aiming to identify sedimentary physical characteristics. The data was treated by mean of the correlation *Spearman* analysis, principal components analysis (PCA) and *Cluster* Analysis. The sediment grain-size found ranged from coarse sand to fine silt, with a prevalence of sands. Few samples presented gravel percentages and the highest mud contents were observed in the upper estuary for both periods. With regard of sorting, there was a predominance of poorly to very poorly sorted sediments. As for the C/P ratio, were observed dominant values higher than 300, indicating continental origin of organic matter. Regarding the seasonality, there was an increase of grain size, sorting and TOC, and a decrease of CaCO₃, TOM, phosphorus (total, organic and inorganic) in the transition from the 2014 rainy season to 2015 dry period. Correlation analysis showed significance between geochemical parameters and the mud content, except for the CaCO₃. Anomalous behavior was observed in the sample located near the shrimp farming ponds.

Keywords: Estuary. Sediments. C/P Ratios. Seasonality.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de Localização da área de estudo: Estuário do Rio Formoso. A) 1- Rio Lemenho; 2- Rio Porto das Pedras; 3- Rio dos Passos; 4- Rio Formoso; 5- Rio Ariquindá. Fonte: Diego Xavier – LABOGEO/UFPE (2016).	21
Figura 2: Mapa da vegetação da área em de estudo. Fonte: Diego Xavier – LABOGEO/UFPE (2016).	23
Figura 3: Zona estuarina superior com vista para oeste dos tanques de carcinicultura. Fotografia de Roberto Barcellos, obtida em 14/06/2011.	26
Figura 4: Zona estuarina superior com vista para o sul dos tanques de carcinicultura. Fotografia de Roberto Barcellos, obtida em 14/06/2011.	26
Figura 5: Vista da zona estuarina superior a partir do setor do estuário médio. Fotografia de Roberto Barcellos, obtida em 14/06/2011.	27
Figura 6: Outra vista da zona estuarina inferior a partir do setor do estuário médio. Fotografia de Roberto Barcellos, obtida em 14/06/2011.	27
Figura 7: Vista da desembocadura do estuário do Rio Formoso com a presença dos bancos arenosos e dos recifes algálicos. Fotografia de Roberto Barcellos, obtida em 14/06/2011.	28
Figura 8: Vista da desembocadura do estuário do Rio Formoso com a presença dos bancos arenosos e dos recifes algálicos. Fotografia de Roberto Barcellos, obtida em 14/06/2011.	29
Figura 9: Vista SE da desembocadura do estuário do Rio Formoso com a presença dos bancos arenosos e das marcas onduladas. Fotografia de Roberto Barcellos, obtida em 14/06/2011.	29
Figura 10: Mapa batimétrico da área do estuário do rio Formoso. (Fonte: Silva, 2008).	31
Figura 11: Mapa geológico da área de estudo. Fonte: Diego Xavier – LABOGEO/UFPE (2016).	33
Figura 12: Mapa geomorfológico da área de estudo. Fonte: Diego Xavier – LABOGEO/UFPE (2016).	35
Figura 13: Mapa de uso e ocupação do solo para a região do estuário do Rio Formoso. Fonte: Diego Xavier – LABOGEO/UFPE (2016).	36
Figura 14: Fluxograma da metodologia do trabalho.	38
Figura 15: Mapa de distribuição dos pontos de amostragem. Fonte: Diego Xavier – LABOGEO/UFPE (2016).	39
Figura 16: Diagrama triangular de Shepard (1954) do período chuvoso (setembro/2014).	48
Figura 17: Diagrama triangular de Shepard (1954) do período seco (março/2015).	48
Figura 18: Diâmetro médio dos sedimentos do período chuvoso (setembro/2014). Fonte: Diego Xavier – LABOGEO/UFPE (2016).	49
Figura 19: Diâmetro médio dos sedimentos do período seco (março/2015). Fonte: Diego Xavier – LABOGEO/UFPE (2016).	49
Figura 20: Grau de seleção dos sedimentos no período chuvoso (setembro/2014). Fonte: Diego Xavier – LABOGEO/UFPE (2016).	51
Figura 21: Grau de seleção dos sedimentos no período seco (março/2015). Fonte: Diego Xavier – LABOGEO/UFPE (2016).	51

Figura 22: Frações de Cascalho, areia e lama (%) dos sedimentos no período chuvoso (setembro/2014). Fonte: Diego Xavier – LABOGEO/UFPE (2016).....	52
Figura 23: Frações de Cascalho, areia e lama (%) dos sedimentos no período seco (março/2015). Fonte: Diego Xavier – LABOGEO/UFPE (2016).	52
Figura 24: Teor de carbonato de cálcio (%) dos sedimentos no período chuvoso (setembro/2014). Fonte: Diego Xavier – LABOGEO/UFPE (2016).....	56
Figura 25: Teor de carbonato de cálcio (%) dos sedimentos no período seco (março/2015). Fonte: Diego Xavier – LABOGEO/UFPE (2016).	56
Figura 26: Teor de Matéria Orgânica Total (%) dos sedimentos no período chuvoso (setembro/2014). Fonte: Diego Xavier – LABOGEO/UFPE (2016).....	58
Figura 27: Teor de Matéria Orgânica Total (%) dos sedimentos no período seco (março/2015). Fonte: Diego Xavier – LABOGEO/UFPE (2016).	58
Figura 28: Teor de Carbono Orgânico Total (%) dos sedimentos no período chuvoso (setembro/2014). Fonte: Diego Xavier – LABOGEO/UFPE (2016).....	59
Figura 29: Teor de Carbono Orgânico Total (%) dos sedimentos no período seco (março/2015). Fonte: Diego Xavier – LABOGEO/UFPE (2016).	59
Figura 30: Distribuição dos teores de Fósforo Total ($\mu\text{Mol/g}$) dos sedimentos no período chuvoso (setembro/2015). Fonte: Diego Xavier – LABOGEO/UFPE (2016). ..	62
Figura 31: Distribuição dos teores de Fósforo Total ($\mu\text{Mol/g}$) dos sedimentos no período seco (março/2015). Fonte: Diego Xavier – LABOGEO/UFPE (2016).....	62
Figura 32: Distribuição dos teores de Fósforo Orgânico ($\mu\text{Mol/g}$) dos sedimentos no período chuvoso (setembro/2014). Fonte: Diego Xavier – LABOGEO/UFPE (2016). ..	63
Figura 33: Distribuição dos teores de Fósforo Orgânico ($\mu\text{Mol/g}$) dos sedimentos no período seco (março/2015). Fonte: Diego Xavier – LABOGEO/UFPE (2016).....	63
Figura 34: Distribuição dos teores de Fósforo Inorgânico ($\mu\text{Mol/g}$) dos sedimentos no período chuvoso (setembro/2014). Fonte: Diego Xavier – LABOGEO/UFPE (2016). ..	64
Figura 35: Distribuição dos teores de Fósforo Inorgânico ($\mu\text{Mol/g}$) dos sedimentos no período seco (março/2015). Fonte: Diego Xavier – LABOGEO/UFPE (2016).....	64
Figura 36: Distribuição da razão elementar C/P dos sedimentos no período chuvoso (setembro/2014). Fonte: Diego Xavier – LABOGEO/UFPE (2016).....	65
Figura 37: Distribuição da razão elementar C/P dos sedimentos no período seco (março/2015). Fonte: Diego Xavier – LABOGEO/UFPE (2016).	65
Figura 38: Dendograma – Análise de agrupamento (Cluster) dos sedimentos no período chuvoso/2014.	67
Figura 39: Dendograma – Análise de agrupamento (Cluster) dos sedimentos no período seco/2015.....	68
Figura 40: Fácies sedimentares definidas a partir da análise de agrupamento no período chuvoso/2014. Fonte: Diego Xavier – LABOGEO/UFPE (2016).	70
Figura 41: Fácies sedimentares definidas a partir da análise de agrupamento no período seco/2015. Fonte: Diego Xavier – LABOGEO/UFPE (2016).....	70
Figura 42: Análise dos componentes principais (ACP) dos sedimentos no período chuvoso/2014.....	72
Figura 43: Análise dos componentes principais (ACP) dos sedimentos no período seco/2015.	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Razão elementar C/P e sua interpretação.....	18
Tabela 2: Coordenadas geográficas, profundidades, dados sedimentológicos (granulometria, parâmetros estatísticos de Folk & Ward (1957) e os dados texturais de Shepard (1954) das amostras do período chuvoso em setembro de 2014.....	46
Tabela 3: Coordenadas geográficas, profundidades, dados sedimentológicos (granulometria, parâmetros estatísticos de Folk & Ward (1957) e dados texturais de Shepard (1954) das amostras do período seco em março de 2015.....	47
Tabela 4: Classificação de fácies texturais de Shepard (1954) do período chuvoso (novembro/2014).	48
Tabela 5: Classificação de fácies texturais de Shepard (1954) do período seco (março/2015).....	48
Tabela 6: Coordenadas geográficas e dados das análises geoquímicas (MOT, teores de CaCO ₃ , fósforo total (PT), orgânico (PO) e inorgânico (PI), carbono orgânico (COT) e a razão C/P das amostras do período chuvoso em setembro de 2014.	54
Tabela 7: Coordenadas geográficas e dados das análises geoquímicas (MOT, teores de CaCO ₃ , fósforo total, orgânico e inorgânico, carbono orgânico e a razão C/P das amostras do período seco em março de 2015.	55
Tabela 8: Características das classes (fácies) sedimentares reconhecidas através da análise de agrupamento (Cluster) dos sedimentos no período chuvoso/2014.	66
Tabela 9: Características das classes sedimentares reconhecidas através da análise de agrupamento (Cluster) dos sedimentos no período seco/2015.	67
Tabela 10: Autovalores calculados com base nas variações utilizadas para análise dos sedimentos no período chuvoso/2014.	71
Tabela 11: Componentes principais calculadas através do PCA dos sedimentos no período chuvoso/2014.	72
Tabela 12: Autovalores calculados com base nas variações utilizadas para análise dos sedimentos no período seco/2015.....	73
Tabela 13: Componentes principais calculadas através do PCA dos sedimentos no período seco/2015.....	73
Tabela 14: Frequência das características morfooscópica dos sedimentos estudados para o período chuvoso (RF1) e seco (RF2) em porcentagem (%).	76

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 COMPOSIÇÃO ELEMENTAR DA MATÉRIA ORGÂNICA: C e P	15
1.1.1 Carbono Orgânico	15
1.1.2 Fósforo	16
1.2 RAZÃO C/P COMO INDICADOR DE FONTE DE MATERIAL.....	18
2. JUSTIFICATIVA	19
3. OBJETIVOS	20
3.1 OBJETIVO GERAL.....	20
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	21
4.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	21
4.2 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS DA ÁREA DE ESTUDO	22
4.2.1 Clima.....	22
4.2.2 Vegetação.....	22
4.2.3 Recursos Hídricos	24
4.3 ASPECTOS GEOLÓGICOS DA ÁREA DE ESTUDO	32
4.3.1 Sedimentologia dos Canais	34
4.4 ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	34
4.5 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	35
5 MATERIAIS E MÉTODOS.....	37
5.1 ETAPA INICIAL.....	37
5.2 ETAPA DE CAMPO.....	37
5.2.1 Amostragem Sedimentológica.....	37
5.3 ETAPA DE LABORATÓRIO	39
5.3.1 Preparação das amostras para as análises	39
5.3.2 Análise dos teores de CaCO_3 e MOT	40
5.3.3 Análise Granulométrica.....	40
5.3.4 Análise do Carbono Orgânico Total	40
5.3.5 Análise do Fósforo Sedimentar	41
5.3.6 Análise complementar.....	42
5.4 ETAPA DE GABINETE	43
5.4.1 Cálculo da razão C/P.....	43
5.4.2 Sysgran.....	43
5.4.3 Tratamentos Estatísticos dos dados obtidos	43
5.4.4 Confecção dos mapas, gráficos e tabelas	44

6. RESULTADOS	44
6.1 RESULTADOS DAS ANÁLISES EFETUADAS NOS SEDIMENTOS DO ESTUÁRIO DO RIO FORMOSO	44
6.1.1 Classificação de fácies texturais de Shepard (1954).....	45
6.1.2 Diâmetro médio (Folk & Ward, 1957)	45
6.1.3 Grau de seleção (Folk & Ward, 1957)	50
6.1.4 Frações de cascalho, areia e lama.....	50
6.2 RESULTADOS DAS ANÁLISES GEOQUÍMICAS	53
6.2.1 Teores de carbonato biodetrítico.....	53
6.2.2 Teores de Matéria Orgânica Total (MOT).....	57
6.2.3 Teores de Carbono Orgânico Total (COT).....	57
6.2.4 Teores de Fósforo (P)	60
6.2.5 Razão elementar C/P.....	61
6.3 RESULTADOS DAS ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	66
6.3.1 Análise de Agrupamento (Cluster)	66
6.3.2 Análise de componentes principais (ACP)	71
7 DADOS COMPLEMENTARES.....	75
7.1 ANÁLISE COMPOSICIONAL DA FRAÇÃO ARENOSA	75
7.2 ANÁLISE MORFOSCÓPICA DOS GRÃOS	75
8 DISCUSSÃO INTEGRADA DOS DADOS	79
9 CONCLUSÕES	88
REFERÊNCIAS	90
APÊNDICE A.....	97
APÊNDICE B:	97

1 INTRODUÇÃO

O litoral Pernambucano apresenta baixas cotas de altitude chegando a atingir, em vários pontos, cotas inferiores ao nível da preamar (MANSO et al., 2006). Esse fato, justifica a criação de um ambiente fluviomarinho, já que possibilita a entrada das águas do Atlântico no relevo costeiro, o que favorece o surgimento dos 13 estuários na costa Pernambucana (SILVA et al., 2009).

O termo estuário vem do latim *aestus* que significa calor, ebulição ou maré. Especificamente, o adjetivo *aestuarium* significa maré. As definições mais utilizadas na literatura científica para estuários são dadas por Pritchard (1967): “Um estuário é um corpo de água costeira semifechado que têm uma ligação livre com o mar e nos quais a água do mar se dilui, de forma mensurável, com água doce proveniente da drenagem terrestre”. E por Fairbridge (1980): “Um estuário é uma entrada de água do mar dentro de um vale afogado de rio até o limite superior da maré, normalmente sendo dividido em três setores (um marinho ou baixo estuário, em conexão com o mar aberto; um médio estuário, sujeito a uma forte mistura de água salgada e doce; e um estuário superior ou fluvial, caracterizado pela água doce, mas sujeito a ação diária da maré).”

Os estuários, por serem considerados ambientes costeiros e de transição, recebem energia e material de ambos os sistemas, terrestre e marinho (AGUIAR, 2005). Dessa forma, torna-se uma região de papel fundamental no ciclo sedimentar. Pois, promove trocas entre os oceanos e os continentes, atuando muitas vezes como áreas preferenciais de deposição. A contínua mistura de águas doces com as de salinidade mais elevada apresenta problemas fisiológicos para plantas e animais estuarinos que não são adaptados a este ambiente. O material em suspensão trazido pelos rios e acumulado em bancos produz áreas ricas em alimento para muitos organismos, mas, por outro lado, provoca baixa oxigenação ou mesmo anoxia (TUNDISI & TUNDISI, 2008).

Considerando o sedimento como o compartimento que reflete todos os processos que ocorrem em um ecossistema aquático, a sua composição também deve dar indicação do seu estado trófico. Já que a concentração de alguns componentes do sedimento reflete o nível de produção do sistema, como é o caso da matéria orgânica (ESTEVES, 1998). Segundo Naumann (1930 *apud*

Esteves, 1998), em lagos oligotróficos o sedimento caracteriza-se pelo baixo teor de matéria orgânica e baixa concentração de nutrientes. Por outro lado, em lagos mesotróficos e, especialmente, em lagos eutróficos, o teor de matéria orgânica e a concentração de nutrientes aumenta consideravelmente.

Os estudos sobre a matéria orgânica sedimentar permitem, desta forma, avaliar condições ambientais de áreas sedimentares propiciando análises sobre suas condições naturais e inferências sobre a ação antrópica nas mesmas. A associação das concentrações de matéria orgânica com a distribuição sedimentar, com a origem do material orgânico e condições de oxirredução do fundo, possibilita a compreensão do processo de sedimentação atual e dos diferentes fatores que interferem no processo, tanto no tempo quanto no espaço (BARCELLOS, 2005).

De acordo com Pettijohn (1975), os parâmetros granulométricos são bons instrumentos na interpretação da hidrodinâmica dos fundos de áreas marinhas. O mesmo autor ainda afirma que a acumulação de matéria orgânica em sedimentos é fortemente dependente da quantidade de argila depositada, devido ao processo de adsorção. Trask (1939 *apud* Tyson, 1995) acrescenta, também, que o conteúdo orgânico de sedimentos das margens continentais geralmente aumenta, quando os grãos que os constituem tornam-se mais finos. Isso ocorre porque as argilas possuem, comumente, cerca de duas vezes mais matéria orgânica que siltes, e cerca de quatro vezes mais matéria orgânica que as areias muito finas. O conteúdo orgânico, desta forma, pode ser diretamente correlacionado com a mediana, diâmetro médio e, principalmente, com a porcentagem de argila do sedimento.

1.1 COMPOSIÇÃO ELEMENTAR DA MATÉRIA ORGÂNICA: C e P

1.1.1 Carbono Orgânico

Segundo Esteves (1998), os tipos de carbono orgânico encontrados em um ecossistema aquático podem ser agrupados em duas categorias: carbono orgânico detrital e carbono orgânico da biota (COP-biota) que, em conjunto, formam o carbono orgânico total (COT). O carbono orgânico detrital é, por sua vez, composto de duas frações: carbono orgânico dissolvido (COD) e carbono orgânico particulado detrital (COP-detrital). Dessa forma, para Martinelli (2009), as principais formas de carbono nos sistemas aquáticos são: CID (Carbono

inorgânico dissolvido, COD (Carbono orgânico dissolvido), COP (Carbono orgânico particulado, COB (Carbono orgânico na biota) os quais possuem como principal reservatório os oceanos.

O menor reservatório dessas formas de carbono no oceano é a biota, do qual a principal entrada de carbono é pela fotossíntese (produção primária). Outra forma de aporte do carbono nos oceanos é o transporte de carbono orgânico pelos rios. A água da chuva ao entrar no solo se enriquece ainda mais com CO₂ e reage com carbonatos. Os rios são uma das entradas principais do carbono oriundo do continente para o ecossistema costeiro. Sua composição depende do tipo de vegetação, do solo e da litologia da bacia de drenagem (Souza et al., 2012). Em sistemas localizados junto à regiões com alta densidade demográfica e industrializadas, o esgoto doméstico, efluentes industriais e a drenagem de áreas urbanas contribuem de forma significativa para a entrada de carbono, principalmente na forma orgânica. Estas fontes antropogênicas podem eventualmente se tornar mais importantes que as entradas naturais.

O conteúdo de carbono nos sedimentos superficiais depende de uma série de fatores, tais como as características sedimentares, produtividade da coluna d'água, taxa de degradação microbiana, além das condições oceanográficas locais. De acordo com Huc (1980, *apud* Rashid, 1985), um baixo conteúdo de carbono orgânico (< 0,5%) é característico de grande maioria das bacias oceânicas, particularmente as de mares abertos. Os sedimentos próximos à linha de costa, de mares interiores e das plataformas continentais são, geralmente, enriquecidos de carbono orgânico. Conteúdos de 2 a 4% não são incomuns nessas áreas.

1.1.2 Fósforo

O ciclo do fósforo nos sistemas aquáticos continentais tem um componente importante nos sedimentos. Parte do fósforo sofre um processo de complexação durante períodos de intensa oxigenação dos sedimentos e, dessa forma, torna-se não disponível periodicamente. Como o fósforo não tem um componente gasoso, sua disponibilidade depende de rochas fosfatadas e do ciclo interno dos estuários, dos quais a decomposição e a excreção dos organismos são partes importantes (TUNDISI & TUNDISI, 2008).

O fosfato presente em ecossistemas aquáticos continentais tem origem de fontes naturais e artificiais. Dentre as fontes naturais, as rochas da bacia de drenagem constituem a fonte básica de fosfato. Oriundas do intemperismo sobre os minerais primários fosfatados de rochas continentais. Dentre estes, o mais importante é a apatita (ESTEVES, 1998). Dentre as fontes artificiais, destaca-se a influência antrópica. Dentre esta, distingue-se a fonte fosfatada pela lixiviação dos solos de terras cultivadas e pela emissão de esgotos (na forma de detergentes, dejetos humanos e industriais). Os íons de ortofosfato que são liberados para o meio, solubilizam-se através do processo de lixiviação efetuado pela ação pluvial, atingindo posteriormente cursos fluviais. Os rios constituem-se, então, como meio predominante no mecanismo de transferência do fósforo continental para os oceanos (Riley & Chester, 1978). Desta forma, ambientes marinhos adjacentes a áreas submetidas à intensa atividade agrícola ou à emissão de esgotos, podem apresentar concentrações significativamente maiores deste elemento na matéria orgânica sedimentar.

De acordo com Filippelli (1997) as concentrações de fósforo, encontradas em sedimentos de margens continentais com altas taxas de sedimentação, variam de 8 a 108 $\mu\text{mol/g}$, para bacias oceânicas de 7 a 307 $\mu\text{mol/g}$ e para ambientes fosfogênicos de 580 a 3700 $\mu\text{mol/g}$. Para margens continentais não fosfogênicas os valores encontrados foram: 92 a 108 $\mu\text{mol/g}$ (W da África), 35 a 80 $\mu\text{mol/g}$ (Peru), 23 a 33 $\mu\text{mol/g}$ (Califórnia) e 23 a 24 $\mu\text{mol/g}$ (Carolina do Norte). Em sedimentos costeiros, como no Delta do Rio Mississippi e na Baía de Long Island nos Estados Unidos (Ruttenberg & Berner, 1993 *apud* Filippelli, 1997) e no Estuário do Rio São Lourenço no Canadá (Sundby *et al.* 1992 *apud* Filippelli, 1997), o valores médios variaram por volta de: 16 $\mu\text{mol/g}$, 8 $\mu\text{mol/g}$ e 26-32 $\mu\text{mol/g}$, respectivamente.

Para outros ambientes estuarinos tropicais e sub-tropicais do globo foram encontrados os seguintes teores: Canal de Bertioga (SP) (7,0 a 38,1 $\mu\text{mol/g}$) (MAHIQUES *et al.*, 1997), Estuário de Santos-São Vicente (0,3 a 80,6 $\mu\text{mol/g}$) (SIQUEIRA, 2003), Sistema estuarino lagunar de Cananéia-Iguape (1,44 a 39,75 $\mu\text{mol/g}$) (BARCELLOS, *et al.*, 2009), Baía de Guanabara (RJ) (40 $\mu\text{mol/g}$) (CARREIRA & WAGENER, 1998), estuário de Tolo (Hong Kong) (14,5 $\mu\text{mol/g}$)

(THOMPSON & YEUNG, 1994 *apud* CARREIRA & WAGENER, 1998), estuário de Culiacan (México) (13 a 97 $\mu\text{mol/g}$) (RUIZ-FERNÁNDEZ et al., 2002), estuários do Texas à Florida (EUA) (1,8 a 45,9 $\mu\text{mol/g}$) (HUANXIN et al., 1994), estuário do Rio Yangtze (China) (18,0 a 31,4 $\mu\text{mol/g}$) (XU et al., 2001). Delta do Ganges-Brahmaputra-Meghna (Índia-Bangladesh) (16,1 a 58,1 $\mu\text{mol/g}$) (DATTA et al., 1999).

Na costa Pernambucana, Gaspar (2008) encontrou valores de até 47,03 $\mu\text{Mol/g}$ de fósforo total para o Rio Botafogo, 45,52 $\mu\text{Mol/g}$ para o Canal Santa Cruz e 38,30 $\mu\text{Mol/g}$ para o Rio Carrapicho.

1.2 RAZÃO C/P COMO INDICADOR DE FONTE DE MATERIAL

A Razão C/P pode ser utilizada na determinação da predominância de contribuição continental ou marinha na matéria orgânica presente nos sedimentos (tabela 1).

Tabela 1: Razão elementar C/P e sua interpretação

Razão	Origem da Matéria Orgânica	Referência
C/P	7 - 80 Atividade Microbiana	Ruttenberg & Goñi, 1997
	80 - 300 Origem marinha ou mista	
	300 - 1300 Tecidos vegetais Moles	
	> 1300 Tecidos Vegetais Duros	

As duas maiores fontes de matéria orgânica para os sedimentos marinhos são as plantas terrestres e marinhas. Estes organismos possuem razões C/P distintas. O fitoplâncton marinho possui uma razão C/P molar média de 106 (Redfield et al., 1963 *apud* Ruttenberg & Goñi, 1997), contrastando com as plantas superiores que, segundo diversos autores, são relativamente empobrecidas em fósforo, apresentando razões C/P que variam de 300 a 1300 para os tecidos moles e razões maiores que 1300 para os tecidos duros (Ruttenberg & Goñi, 1997). As razões C/P que indicam origem marinha ou mista variam entre 80 a 300 (Ruttenberg & Goñi, 1997). Comunidades microbiais podem ser também importantes componentes da matéria orgânica sedimentar. As razões C/P de bactérias variam de 7 a 80 (Gächter & Meyer, 1993 *apud* Ruttenberg & Goñi, 1997).

Ruttenberg & Goñi (1997) sugerem para áreas costeiras, nas quais o aporte para os sedimentos é caracterizado pela mistura de fitodetritos marinhos e terrígenos, que valores maiores da razão C/P (acima da Razão de Redfield, ou seja: >106) podem indicar que os sedimentos são enriquecidos em matéria orgânica de origem terrígena, enquanto valores próximos aos da Razão de Redfield seriam indicativos de matéria orgânica de origem predominantemente marinha.

2. JUSTIFICATIVA

A análise das características morfossedimentares de áreas submersas por meio de estudos integrados envolvendo levantamentos sedimentológicos e batimetria de detalhe, associados à utilização de quimioindicadores ambientais como a matéria orgânica sedimentar, constituem ferramentas das mais confiáveis e de resultados mais promissores em estudos da zona costeira e têm sido executados em várias áreas do globo (Hilton, 1995; Ogrinc *et al.*, 2005; Ogrinc & Faganeli, 2006; Lamb *et al.*, 2006). Sendo aplicados também com sucesso em estudos realizados na costa paulista (Furtado, 1995; Mahiques, 1995; Lima, 1998; Barcellos, 2000; Rodrigues *et al.*, 2002; Barcellos, 2005; Barcellos *et al.*, 2005; Barcellos & Furtado, 2006; Conti & Furtado, 2006; Freitas *et al.*, 2008; Barcellos *et al.*, 2009; Santos *et al.*, 2011). E na costa Pernambucana (Oliveira *et al.*, 2014; Alves, 2016; Martins *et al.*, 2016; Barcellos, *et al.*, 2016).

Portanto, a realização de uma pesquisa que ajude a interpretar a dinâmica sedimentar atual e a distribuição da matéria orgânica sedimentar como indicadores ambientais no estuário do Rio Formoso são necessários. Visto que, apesar de pertencer a uma área de proteção ambiental (APA de Guadalupe), trabalhos anteriores: Silva (2008) e Santos (2002), indicam que as atividades que ocorrem em seu entorno possuem um grande potencial para degradação ambiental. Tais como: uso de agrotóxicos aplicados na atividade canavieira, o lançamento de dejetos e efluentes através do lançamento dos esgotos no Rio Formoso, a existência de lixões e tanques de carcinicultura na região do estuário superior. Dessa forma, um estudo da região trará benefício não só para a comunidade científica e para os órgãos governamentais, mas também, para a

gestão da área de proteção ambiental afetada pelo uso e ocupação do solo inadequados. Assim sendo, o presente estudo tem grande apelo, pois permitirá a compreensão da origem e das formas de distribuição espacial e temporal da matéria orgânica sedimentar que é um importante fator na determinação da ocorrência de aportes de material de origem continental, bem como para a avaliação da influência antrópica sobre determinadas regiões (STEIN, 1991; MEYERS, 1997; LAMB et al., 2006).

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Analisar o processo sedimentar na região estuarina do Rio Formoso (PE), com intuito de compreender a dinâmica sazonal dos processos sedimentológicos e geoquímicos no referido estuário.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

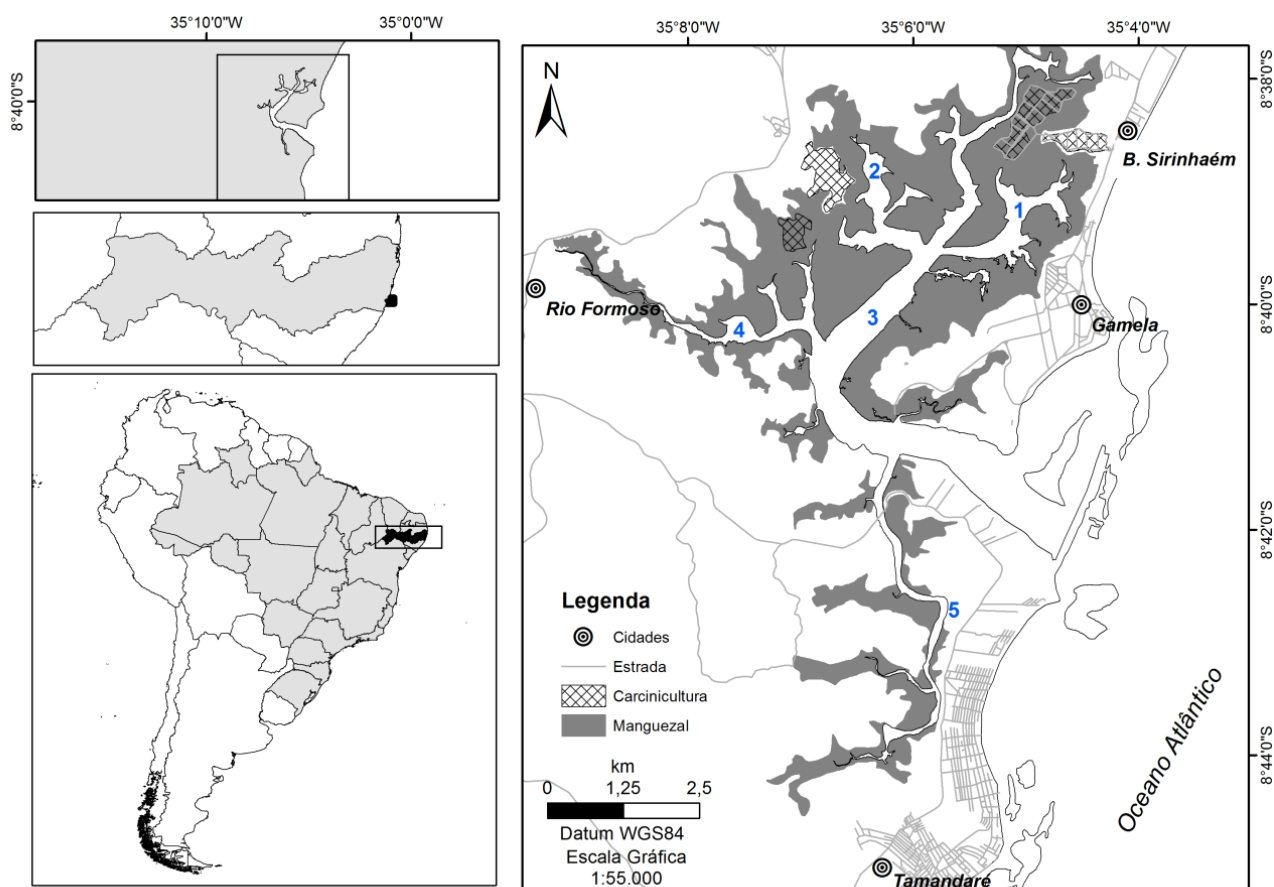
- Analisar as características composicionais da matéria orgânica e dos sedimentos no estuário do rio Formoso (PE);
- Determinar a distribuição espaço-temporal do COT e P e a origem da matéria orgânica;
- Relacionar as concentrações obtidas de COT e P à distribuição sedimentar e ao processo de sedimentação de origem natural e antrópica;
- Utilizar os parâmetros sedimentológicos como indicadores ambientais;
- Avaliar de que modo a distribuição sedimentar e da matéria orgânica é afetada pela ação conjunta de determinados agentes e fatores, tais como: fisiografia da região, hidrodinâmica (marés e correntes), sistema hidrográfico e sazonalidade;
- Identificar áreas de possível acumulação de poluentes com base nos dados sedimentológicos gerados, além de áreas submetidas a impactos atuais.

4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

4.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O estuário do Rio Formoso possui uma área de aproximadamente 27 km² e está localizado no litoral sul Pernambucano entre os paralelos 08°39' e 08°44' de latitude Sul e 35°10' e 35°06' de longitude Oeste. Está inserido na Mesorregião da Mata Pernambucana, na Microrregião da Mata Meridional Pernambucana e na região de desenvolvimento da Mata Sul, limitando-se ao norte com o município de Sirinhaém, ao sul pelo município de Tamandaré e a leste com o município do Rio Formoso (CONDEPE, 1992) (Figura 1). O estuário dista cerca de 100 km do Recife, e o acesso é feito pela BR-101 e PE-060, a partir da qual poderão ser tomadas as rodovias PE-061, PE-073 e PE-076 (SETUR/CPRH, 2011).

Figura 1: Mapa de Localização da área de estudo: Estuário do Rio Formoso. A) 1- Rio Lemenho; 2- Rio Porto das Pedras; 3- Rio dos Passos; 4- Rio Formoso; 5- Rio Ariquindá. Fonte: Diego Xavier – LABOGEO/UFPE (2016).



4.2 ASPECTOS FISIOGRAFICOS DA ÁREA DE ESTUDO

4.2.1 Clima

O estuário do Rio Formoso está inserido na chamada Zona da Mata cujo clima característico é o tropical úmido, que de acordo com a classificação de Köppen é do tipo As' – tropical, com chuvas de inverno antecipadas no outono (com totais anuais de precipitação elevados, 1800 a 2000 mm, caracterizando uma região úmida com forte gradiente de precipitação (CONDEPE/FIDEM, 2006). As chuvas são ocasionadas, principalmente, pelos ciclones da Frente Polar Atlântica. Estes chegam ao litoral nordestino com maior força durante o outono-inverno (SETUR/CPRH, 2011). Em compensação a esse alto índice pluviométrico a radiação solar é intensa, típica da faixa tropical, cuja brisa marinha contribui para um alto índice de evaporação.

A temperatura média oscila em torno de 26°C, com pequena amplitude térmica anual da ordem de 4°C. A umidade relativa do ar nos meses de chuva é de cerca de 80%, em consequência da baixa latitude, da proximidade do Oceano Atlântico e das massas de ar atuantes na região.

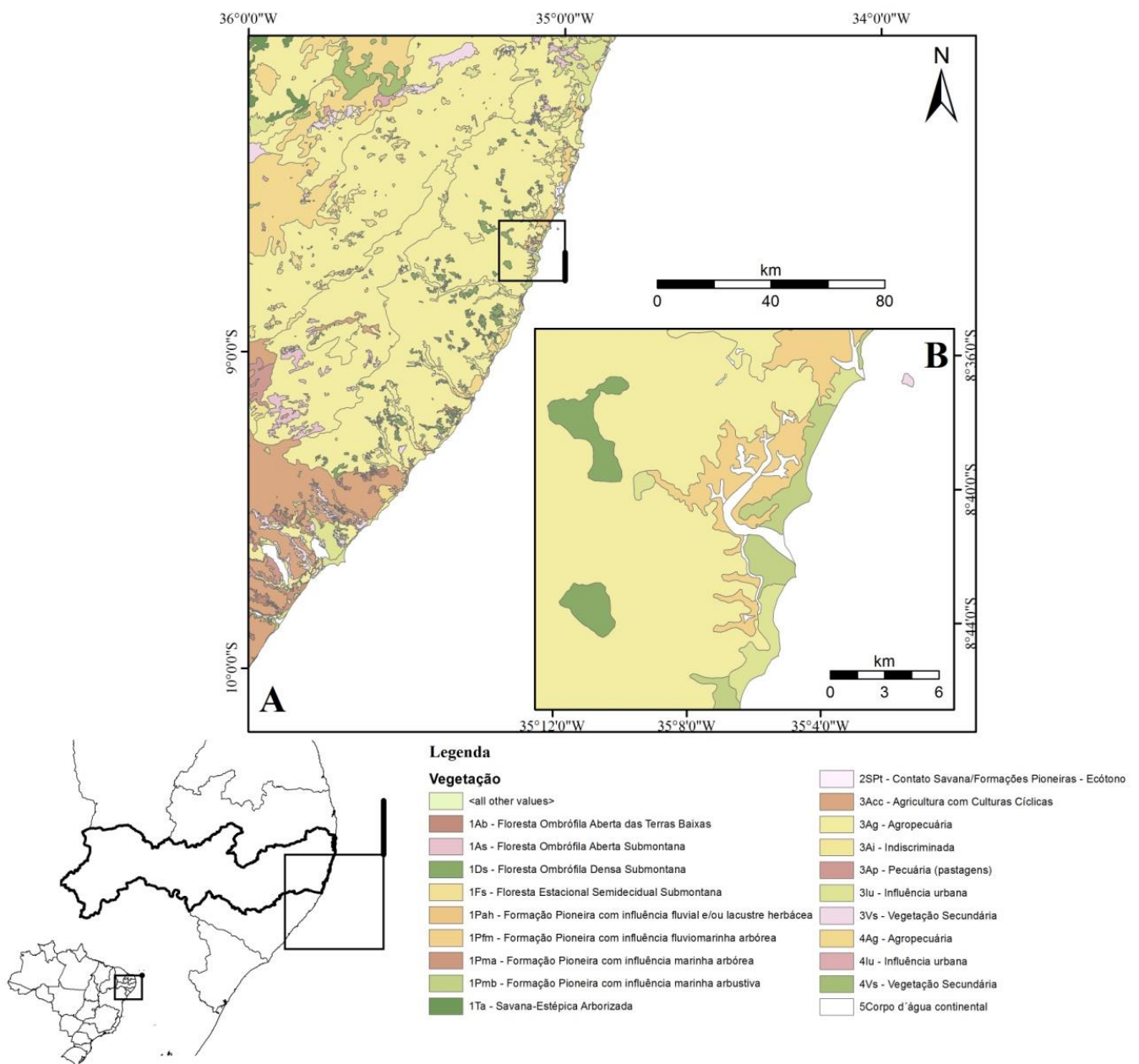
Na região estudada a direção predominante dos ventos é do quadrante E - circulação normal - oriundos da área de altas pressões subtropicais, ou seja, do anticiclone do Atlântico Sul, denominado alísios. Essa massa tem uma inversão térmica superior com duas camadas: a inferior, de temperaturas mais baixas e úmidas; e a superior, com temperaturas mais altas e secas. Tem um caráter de estabilidade que se encerra com a chegada das correntes perturbadas (NIMER, 1977).

4.2.2 Vegetação

Originalmente, a floresta tropical atlântica, com sua exuberância e heterogeneidade, recobria toda a faixa costeira do Estado. Atualmente, supõe-se que alguns poucos remanescentes dão indicação dessa vegetação primária distribuídos, de forma esparsa, por toda área do Litoral Sul de Pernambuco (CPRH, 2001). De acordo com o Ministério do Meio Ambiente, o Estuário do Rio Formoso tem a cobertura vegetal predominante classificada como formação pioneira formada por mangues (formação pioneira com influência fluvial e/ou lacustre herbácea), restingas (formação pioneira com influência marinha

arbórea) e coqueiros (vegetação secundária) (CONDEPE/FIDEM, 2006) (figura 2). O manguezal é representado principalmente por *Rhizophora mangle* (mangue vermelho), *Laguncularia racemosa* (mangue preto), *Avicennia schaueriana* (mangue branco) e *Conocarpus erectus* (mangue de botão). As restingas apresentam uma formação predominantemente herbáceo-arbustiva, encontrando-se também alguns indivíduos arbóreos, intercalados por arbustos e ervas (CPRH, 1998).

Figura 2: Mapa da vegetação da área em de estudo. Fonte: Diego Xavier – LABOGEO/UFPE (2016).



4.2.3 Recursos Hídricos

O sistema estuarino do Rio Formoso é o corpo hídrico de maior representatividade dentro da APA de Guadalupe (SETUR/CPRH, 2011). Está inserido no grupo de bacias hidrográficas dos pequenos rios litorâneos – GL 4 do estado de Pernambuco (CONDEPE/FIDEM, 2006), uma região de elevada pluviosidade, fazendo com que o regime fluvial dos cursos d'água seja perene. Segundo Lira et al. (1979), o estuário do rio Formoso apresenta um tempo de residência de aproximadamente 11-12 dias. Embora perene, o rio Formoso apresenta vazões reduzidas com aproximadamente 4 m³/s (COMPESA, 2006) (4,78 e 5,12 m³/s (novembro e julho, respectivamente) (LIRA, et al., 1979), sendo estas intensificadas nos períodos mais chuvosos. O rio Formoso nasce na porção noroeste do município de mesmo nome, em terras do Engenho Vermelho onde estão localizadas as cabeceiras de seus dois formadores - os riachos Vermelho e Serra d'Água - cuja confluência se dá a montante da sede do Engenho Changuazinho. A partir dessa confluência, já com o nome de rio Formoso, dirige-se para sudeste, passando pela cidade homônima. Três quilômetros a jusante desta, o rio Formoso alcança a planície costeira, dominada pelo seu amplo estuário associado aos afluentes litorâneos constituídos pelos rios dos Passos, Porto das Pedras e Lemenho, cujo canais abertos determinam a formação de mangues e salgados do sopé dos morros e colinas cretáceas e terciárias, até os terraços marinhos recentes. Próximo à desembocadura o Rio Formoso recebe pela margem direita, o rio Ariquindá, importante componente de sua bacia (SETUR/CPRH, 2011).

4.2.3.1 Classificação do estuário do Rio Formoso

Silva (2008) classificou o Rio Formoso segundo a hidrodinâmica como dominado por marés, mas ressalta que há uma participação da ação das ondas nas margens, durante as marés altas. Quanto à classificação segundo a geomorfologia, o autor classificou como de origem tectônica, pela expressão de falhas e fraturas geológicas, que dominam a região. Com relação à salinidade, o estuário foi classificado como verticalmente homogêneo e bem misturado. Do ponto de vista geológico, Lira et al. (1979) classificou o estuário como sendo de planície costeira em virtude dos seguintes aspectos: presença de um canal central com secção transversal, evidenciando calha ligeiramente triangular;

profundidade máxima menor que 15m; razão entre largura e profundidade maior que 1m.

4.2.3.2 Divisão do estuário do Rio Formoso

O estuário do Rio Formoso foi dividido por Lira et al (1979) em três zonas morfológicas distintas:

- Zona estuarina superior: corresponde à zona situada à montante da maior ilha (Neri) existente no estuário até o limite máximo de penetração da maré salina. Como característica morfológica observa-se a presença de um canal com profundidade igual ou superior a 2m e existência de bancos areno-lamosos recobertos pela vegetação de mangue;
- Zona estuarina média: zona situada entre a desembocadura do rio Ariquindá e a maior ilha existente no estuário. Como característica morfológica mais expressivo esta zona apresenta um canal de profundidade média de 7,05m que é o eixo de refluxo das águas e está praticamente todo ancorado na margem direita do estuário;
- Zona estuarina inferior: zona compreendida entre a ponta de Guadalupe e a desembocadura do rio Arinquidá. É o trecho mais largo do estuário, onde destaca-se a presença de dois canais, um de fluxo e o outro de refluxo, situados às margens (mangues ausentes) e divididos por um pequeno banco arenoso.

Com relação ao canal do Rio Formoso, Amaral (1992) dividiu em três setores: canal fluvial superior (que vai desde as proximidades da cidade do Rio Formoso até a sua desembocadura no leito do rio dos Passos), canal fluvial central (mais largo e profundo que o primeiro, correspondendo aos canais dos rios dos Passos e Ariquindá) e desembocadura (que corresponde ao setor mais oriental do canal principal).

Em estudo mais recente, Silva (2008), dividiu o sistema estuarino do Rio Formoso em três setores:

- Setor superior, que inclui os afluentes Lemenho, Passos e Porto das Pedras, cuja cota batimétrica média é de 1m. Cabe ressaltar que na

margem esquerda do rio Lemenho há uma depressão que atinge a cota de 9m de profundidade (figuras 3 e 4).

Figura 3: Zona estuarina superior com vista para oeste dos tanques de carcinicultura. Fotografia de Roberto Barcellos, obtida em 14/06/2011.



Figura 4: Zona estuarina superior com vista para o sul dos tanques de carcinicultura. Fotografia de Roberto Barcellos, obtida em 14/06/2011.



- Setor médio, trecho entre as confluências dos rios Formoso e Ariquindá, com profundidade em torno de 3m. Este tem como principal característica um canal à jusante da confluência do Rio Formoso, posicionado na margem direita do estuário. Tal canal segue perpendicular até a confluência com o Ariquindá. Embora a média de profundidade seja de 3m há cotas superiores à 5m que podem atingir até 9m em trechos ao longo deste setor (figuras 5 e 6).

Figura 5: Vista da zona estuarina superior a partir do setor do estuário médio. Fotografia de Roberto Barcellos, obtida em 14/06/2011.



Figura 6: Outra vista da zona estuarina inferior a partir do setor do estuário médio. Fotografia de Roberto Barcellos, obtida em 14/06/2011.



- Setor inferior, após a confluência com rio Ariquindá até a desembocadura, com média batimétrica de 4m. Há neste setor duas seções mais profundas com cotas superiores a 5m de profundidade. Uma está localizada na margem esquerda do estuário, a outra se posiciona próximo da desembocadura, paralela à linha de recifes.
- O setor superior apresenta características faciológicas de condições de baixa energia (fácies areia lamosa, lama arenosa e lama), associadas à pequena profundidade do trecho, o que favorece a deposição dos sedimentos mais finos. Sedimentos um pouco mais grossos com presença de fácies areia cascalhosa e areia são observados nos setores médio e inferior, condizentes com as condições de energia mais alta, em função da maior profundidade, em relação ao setor superior (figuras 7, 8 e 9).

Figura 7: Vista da desembocadura do estuário do Rio Formoso com a presença dos bancos arenosos e dos recifes algálicos. Fotografia de Roberto Barcellos, obtida em 14/06/2011.

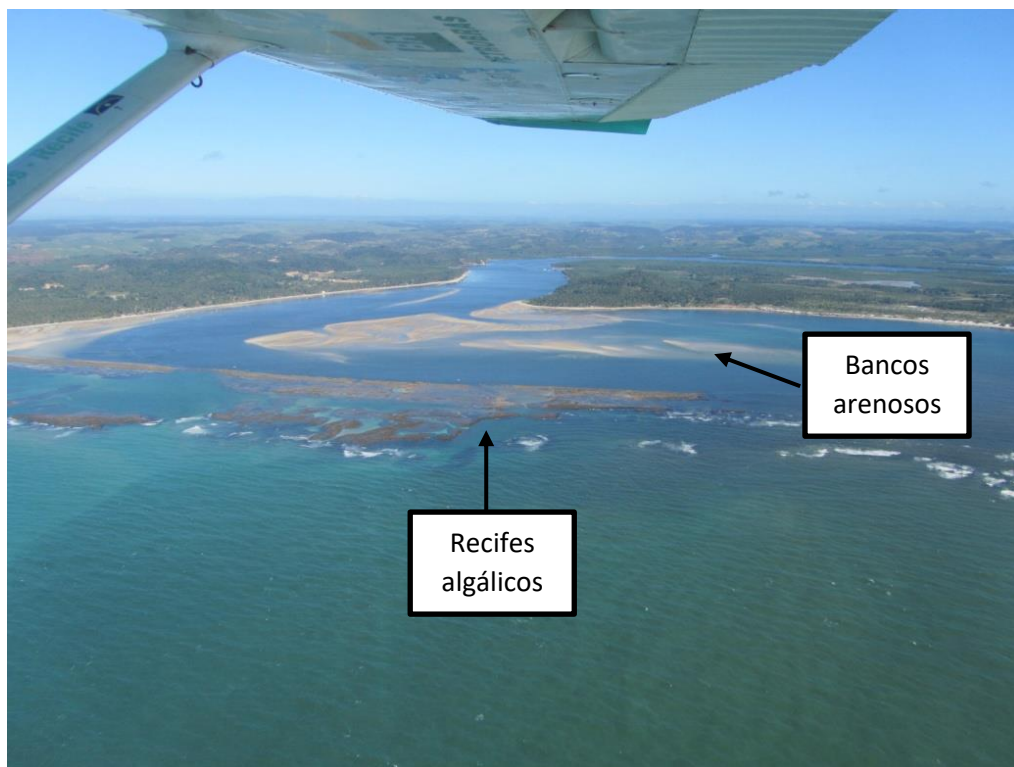
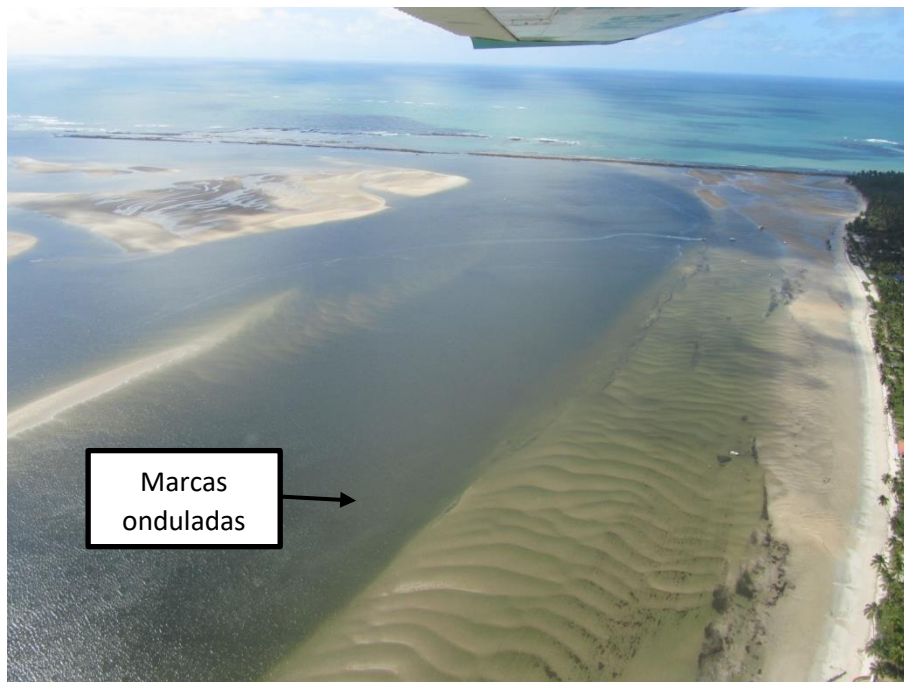


Figura 8: Vista da desembocadura do estuário do Rio Formoso com a presença dos bancos arenosos e dos recifes algálicos. Fotografia de Roberto Barcellos, obtida em 14/06/2011.



Figura 9: Vista SE da desembocadura do estuário do Rio Formoso com a presença dos bancos arenosos e das marcas onduladas. Fotografia de Roberto Barcellos, obtida em 14/06/2011.



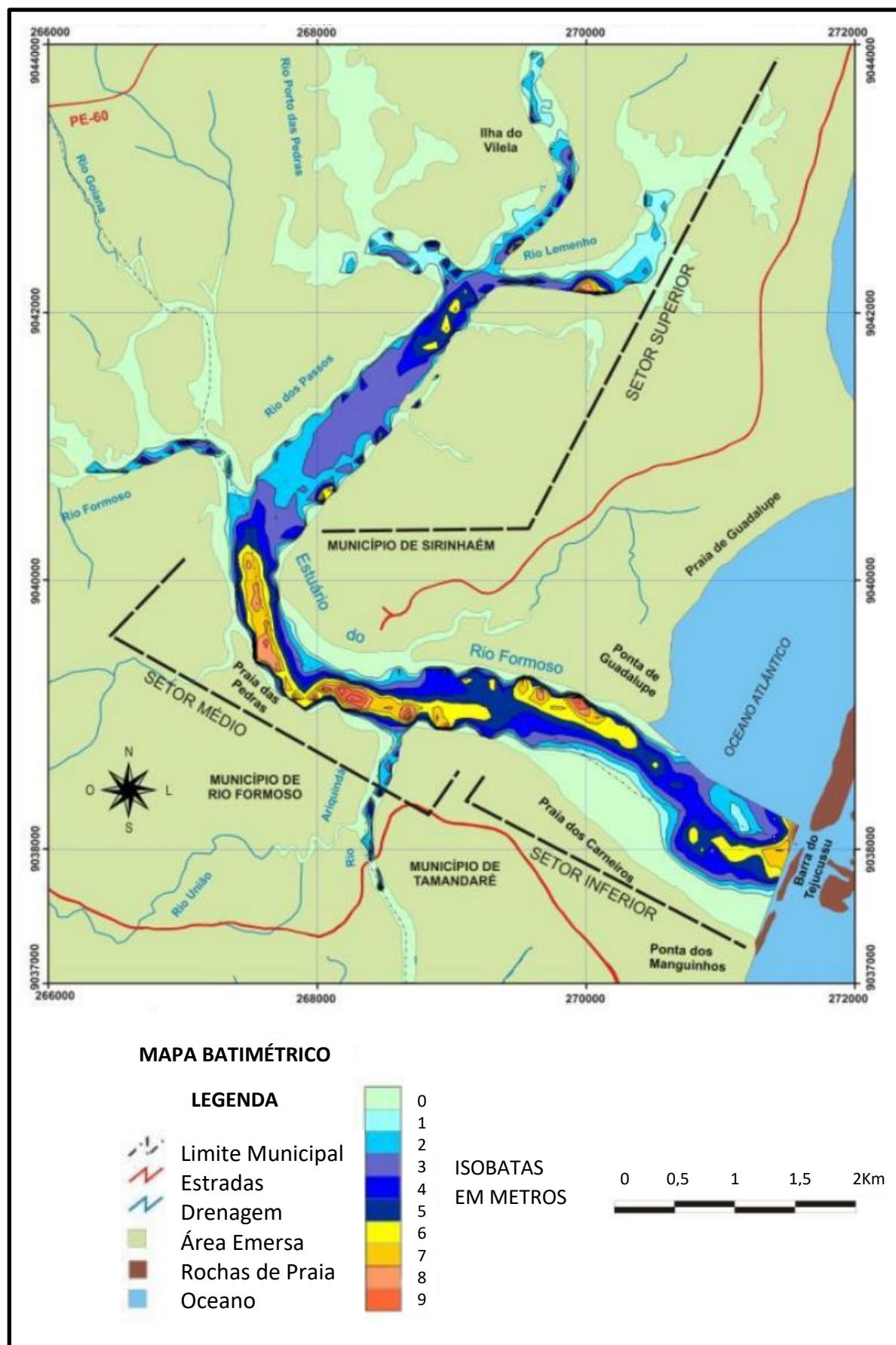
4.2.3.3 Batimetria do estuário do Rio Formoso

Silva (2008) realizou um levantamento de batimetria e de imageamento para a área em estudo e observou que a morfologia de fundo do estuário se apresentava com um relevo vertical positivo e negativo. Sendo atribuído o relevo vertical positivo aos bancos arenosos e o relevo vertical negativo às depressões e ao canal mais profundo (figura 10). No canal, predominaram cotas batimétricas inferiores a 4m, correspondentes aos trechos de suaves declives (a montante) e as porções mais profundas do canal flúvio-estuarino, apresentaram cotas batimétricas superiores a 5m, podendo atingir até 11m.

4.2.3.4 Parâmetros físico-químicos da água

Com relação ao parâmetros físico-químicos da água, Silva (2009), em março de 2008, mediu alguns parâmetros na água superficial, tais como: temperatura, pH, Eh, condutividade elétrica e salinidade. A temperatura da água apresentou variações entre 28,0 e 32,9° C sendo o aumento da temperatura relacionado com a intensidade da radiação solar e com a variação das marés (marés de vazante, menores temperaturas, e de enchente, maiores temperaturas). O autor também registrou dados de pH que variaram entre 6,50 a 7,80. Valores similares, variando entre 6,67 e 8,30 obtidos entre os meses de outubro (2005) e agosto (2006) haviam sido reportados para o estuário em estudo (PAIVA et al., 2008). O Eh variou entre 151 e 227 mV (condições oxidantes). A condutividade elétrica apresentou valores entre 3,2 e 17,1 mS.cm⁻¹ sendo comum em ambientes estuarinos onde a salinidade é elevada e variada em função do regime de marés. Os valores calculados de salinidade variaram entre 7,5 e 9,2‰. Na vazante, de forma geral, apresentaram valores menores de salinidade e na maré de enchente, os maiores valores de salinidade.

Figura 10: Mapa batimétrico da área do estuário do rio Formoso. (Fonte: Silva, 2008).



4.3 ASPECTOS GEOLÓGICOS DA ÁREA DE ESTUDO

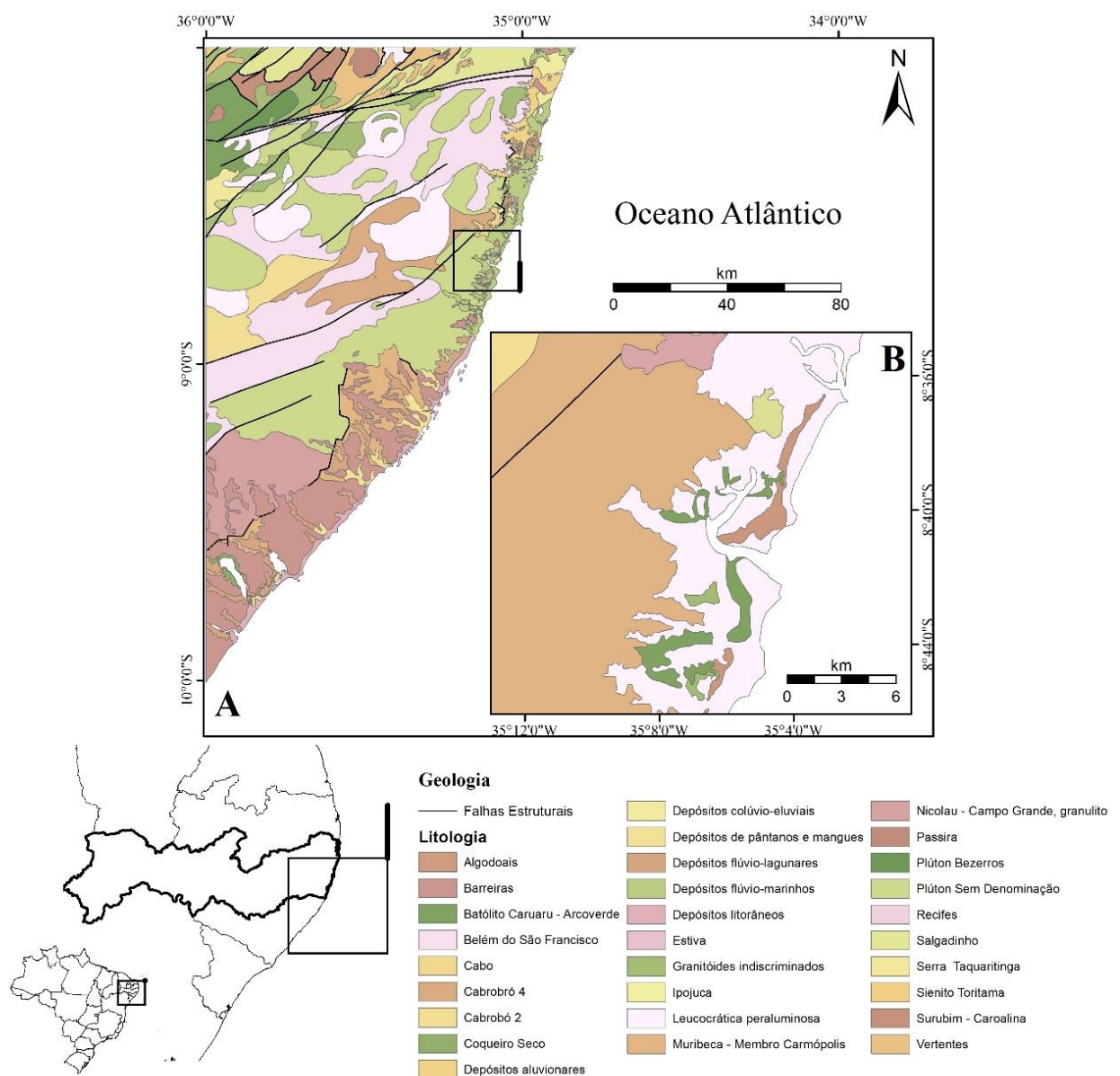
O substrato geológico da área é representado por dois grandes domínios geológicos: o embasamento cristalino representado por um complexo gnaissico-migmatítico de composição granítica a granodiorítica de idade Paleoproterozóica (Maciço Pernambuco-Alagoas) e a sequência sedimentar da Bacia Sedimentar Pernambuco representadas pelas formações Cabo, Barreiras e por depósitos quaternários (figura 11). Capeando parcialmente essas unidades ocorrem os sedimentos terciários da Formação Barreiras seguidos dos sedimentos quaternários, entre os quais os terraços marinhos antigos (pleistocênicos e holocênicos), os paleomangues, rochas de praia (beach rocks) e os depósitos litorâneos: praias e manguezais mais recentes.

As unidades geológicas que ocorrem na área de estudo são:

- Embasamento Cristalino, formado por rochas ígneas e metamórficas de composição granítica a granodiorítica, com importantes afloramentos na região;
- Formação Cabo, de idade cretácea, que assenta-se de modo discordante sobre o embasamento cristalino e é formada, fundamentalmente, por conglomerado, arcóseos e argilitos;
- Formação Barreiras, constituída por arenitos grossos, intercalados por níveis conglomeráticos, argilosos, e ricos em óxido de ferro (LIMA FILHO, 1998);
- Terraços Pleistocênicos, essencialmente arenosos, com altitude entre 3-9m, desprovidos de conchas de moluscos (depósitos quaternários);
- Terraços Holocênicos apresentam-se dispostos paralelamente à linha de costa, em largas faixas contínuas, formados por areias brancas inconsolidadas, com presença de conchas de moluscos, alcançando cotas de até 3m e podem ser observados ao longo da planície costeira (depósitos aluvionares);
- Sedimentos fluviais encontrados nas áreas dos vales e calhas fluviais. São representados predominantemente por areias e siltes;
- Depósitos lagunares são presentes em depressões rasas e alongadas, constituídos por sedimentos lamosos, com presença de matéria orgânica;

- Depósitos de mangues são encontrados na região mais interna do estuário nas áreas à montante dos rios, em afluentes menores e nos canais de maré. São ricos em matéria orgânica e constituídos essencialmente por siltes e argilas;
- Depósitos litorâneos encontrados na linha de praia constituídos por areias quartzosas bem selecionadas.

Figura 11: Mapa geológico da área de estudo. Fonte: Diego Xavier – LABOGEO/UFPE (2016).



4.3.1 Sedimentologia dos Canais

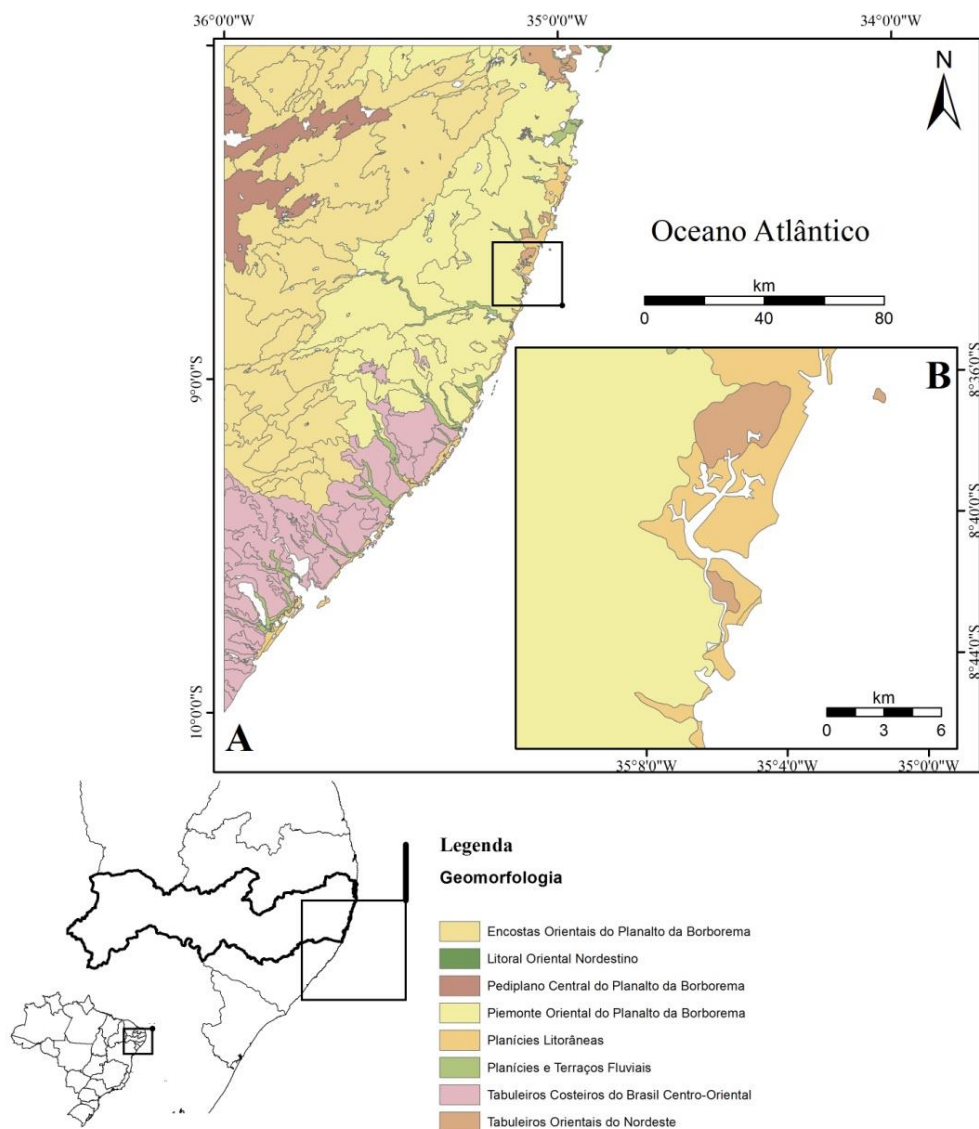
Silva (2008) realizou um estudo para conhecer a distribuição textural dos sedimentos que atapetam os canais principais e secundários do estuário. Ele coletou 220 amostras em perfis transversais aos canais com equidistâncias médias de 200m. Em cada perfil, ele procurou coletar amostras das margens e do leito dos canais. Como resultado, obteve que a distribuição da fração cascalho teve pouca participação no total das amostras analisadas, encontrando as maiores concentrações nas amostras de maior profundidade e próximo à praia das Pedras, na margem direita do canal do estuário médio. Predominou amostras com percentuais de areia acima de 90%. A maior proporção de lama foi encontrada a montante do estuário, e as menores no trecho mediano e inferior do sistema. Quanto à distribuição de sedimentos, segundo diâmetro médio, Silva (2008) encontrou o predomínio de areias médias e finas.

4.4 ASPECTOS GEMORFOLÓGICOS

Na área de estudo o domínio cristalino, tabuleiros Costeiros, modelado colinoso e a planície costeira compõem as formas da paisagem (CPRH,1998). O domínio cristalino caracteriza-se por um relevo colinoso também chamado de “mares de morros” com morfologia irregular e altimetria atingindo um pouco mais de 100m. Os tabuleiros costeiros são caracterizados por sedimentos da Formação Barreiras com altimetria entre 40 e 100m. O modelado colinoso é caracterizado pela presença de colinas suaves de pequena extensão com altimetria entre 10 e 40m. O estuário em si, está inserido na planície costeira na qual se identifica os terraços fluviais, baixios de maré, os terraços marinhos pleistocênicos e holocênicos (figura 12).

Os terraços fluviais são produtos da erosão e do processo de deposição associado ao transporte fluvial ocorrido nas unidades pré-quaternárias deste sistema. Os Baixios de Maré são encontrados nas áreas cujo gradientes de declividade são quase nulos. São ambientes propícios aos processos de sedimentação flúvio-marinha. Já os terraços marinhos, são caracterizados por feições elaboradas durante as oscilações do mar durante o Quaternário que foram subdivididas em dois tipos, de acordo com a idade de deposição: pleistocênicos e holocênicos.

Figura 12: Mapa geomorfológico da área de estudo. Fonte: Diego Xavier – LABOGEO/UFPE (2016).

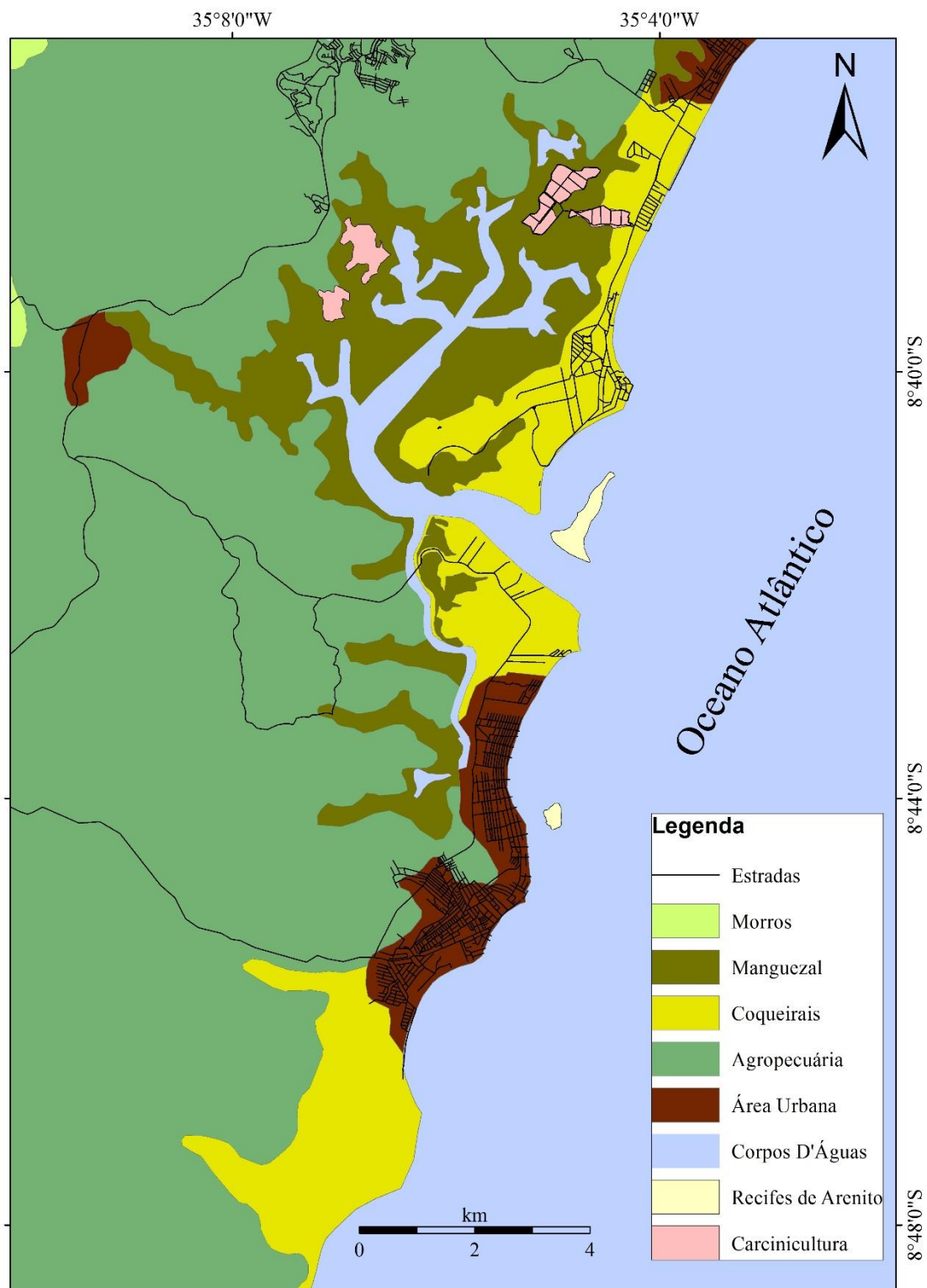


4.5 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

As unidades de uso e ocupação do solo representadas na figura 13 expressam as principais atividades desenvolvidas na área. Foram identificados: área de manguezais em torno do estuário; cultivo de coco, no litoral, no entorno do estuário, ocupando os terraços marinhos e tabuleiros, sendo substituídos por loteamentos de veraneios e estruturas hoteleiras; expansão urbana, principalmente na região mais ao sul do estuário; áreas de tanques de

carcinicultura no entorno do estuário na região mais a montante; e extensa área de agropecuária com policulturas, incluindo o cultivo de cana de açúcar.

Figura 13: Mapa de uso e ocupação do solo para a região do estuário do Rio Formoso. Fonte: Diego Xavier – LABOGEO/UFPE (2016).



5 MATERIAIS E MÉTODOS

Para alcance dos objetivos, foram realizados alguns procedimentos metodológicos necessários para a realização da pesquisa, divididos em 4 etapas distintas: etapa inicial, etapa de campo, etapa de laboratório e etapa de gabinete (figura 14).

5.1 ETAPA INICIAL

Na etapa inicial, foi realizado um levantamento bibliográfico dos trabalhos realizados na zona costeira de Pernambuco, com atenção voltada para os que têm como área de estudo a Região do Estuário do Rio Formoso. Com enfoque nos que apresentam uma temática envolvendo: sedimentologia, geoquímica de sedimentos estuarinos e a origem da matéria orgânica em estuários. Esse levantamento foi executado durante todo o período da pesquisa. O qual consistiu em compreensão e interpretação de artigos científicos, dissertações de mestrado e tese de doutorado bem como em artigos publicados em revistas nacionais e internacionais. Em seguida, foi realizado o levantamento das figuras, fotografias, mapas e tabelas da área de estudo e a seleção das imagens que foram inseridas na presente dissertação. Finalizando a etapa inicial, foi realizado o planejamento e roteiro da etapa de campo com a definição do período para a execução destas atividades.

5.2 ETAPA DE CAMPO

A etapa de campo é compreendida pelas atividades de amostragem sedimentológica.

5.2.1 Amostragem Sedimentológica

Foram selecionados vinte quatro pontos de amostragem para a coleta realizada no mês de setembro (25/09/2014), caracterizando o fim da estação chuvosa para a região. E reproduzidos os mesmos vinte quatro pontos foram selecionados para a coleta de amostras no final da estação seca da região realizada no mês de março (23/03/2015) (figura 15).

A coleta da camada superficial dos sedimentos de fundo do estuário, para cada ponto de amostragem, foi realizada com auxílio de uma draga do tipo *Van Veen*, uma bandeja de sedimentos e uma colher de metal inox, sendo executado nas margens e na parte central do canal estuarino. Foi também obtida a profundidade do ponto de coleta (Ver tabela 2, pag. 44, profundidade).

Figura 14: Fluxograma da metodologia do trabalho.

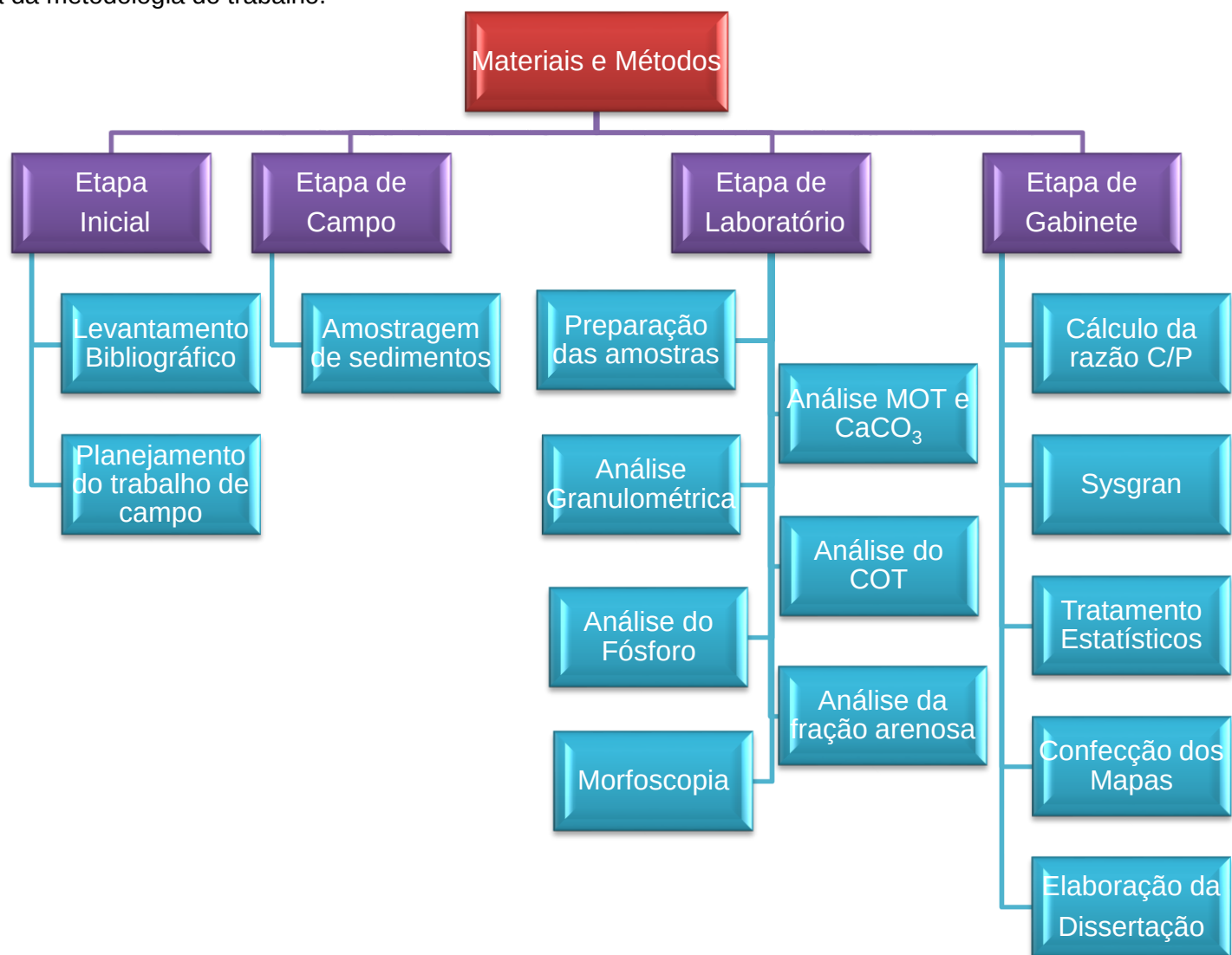
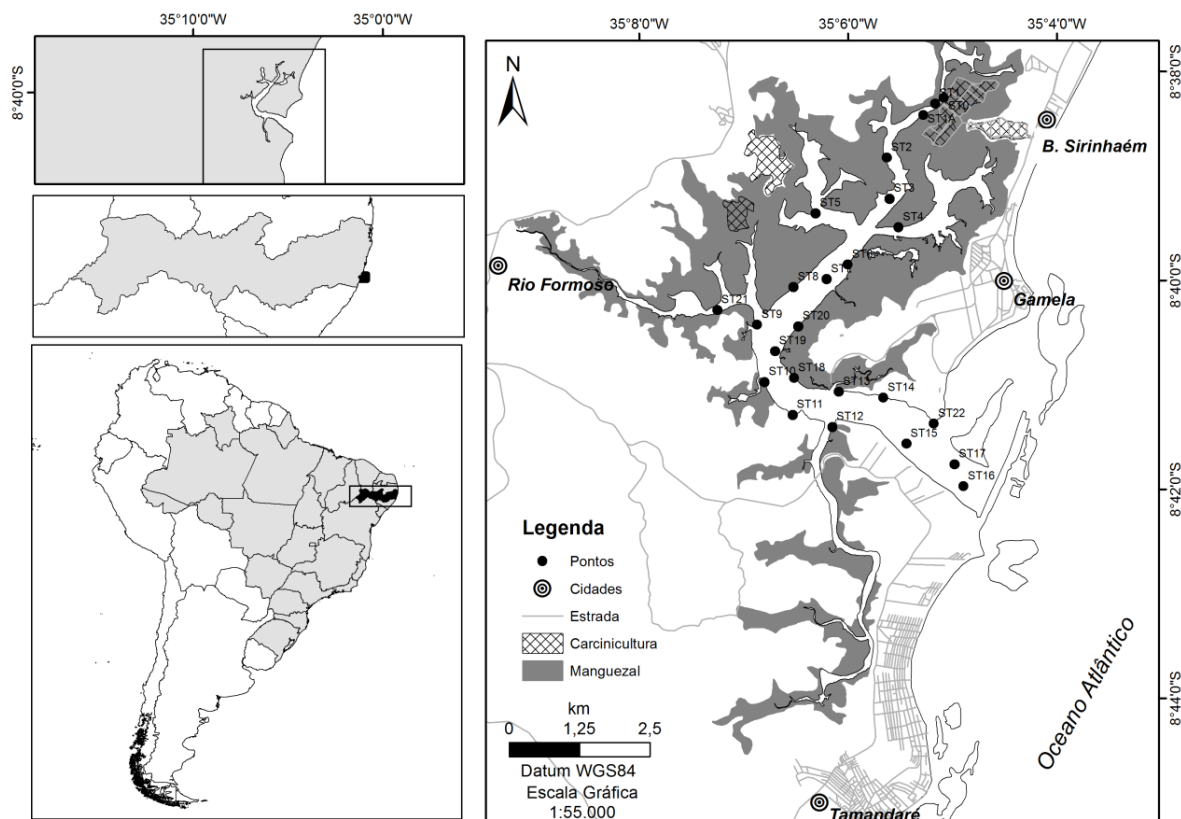


Figura 15: Mapa de distribuição dos pontos de amostragem. Fonte: Diego Xavier – LABOGEO/UFPE (2016).



Para as análises de fósforo (P) e carbono orgânico total (COT), cerca de 20g das amostras de sedimento foram armazenadas em sacos ziplock com fecho hermético de dimensões 10 x 6 cm e congeladas até o momento da preparação para a análise com objetivo de evitar atividade bacteriana posterior à coleta. Já para a caracterização granulométrica dos sedimentos, análise de matéria orgânica total (MOT) e análise de carbonato (CaCO_3), cerca de 250g foram acondicionados em sacos plásticos de dimensões 20 x 30 cm, amarrados e armazenados em temperatura ambiente.

5.3 ETAPA DE LABORATÓRIO

5.3.1 Preparação das amostras para as análises

O procedimento de preparo das amostras de sedimentos do estuário do Rio Formoso para análises de caracterização granulométrica dos sedimentos, análise de MOT e análise de CaCO_3 foi realizado no Laboratório de Oceanografia Geológica (LABOGEO) do departamento de Oceanografia da UFPE. As

amostras foram secadas em estufa a 60°C. Depois de secas, foram subdivididas em alíquotas: 30 g para análise de MOT e posteriormente, análise granulométrica e 10 g para a análise do conteúdo de carbonatos.

A preparação das amostras para a análise de fósforo (P) e carbono orgânico total (COT) consistiu no descongelamento, secagem e separação de alíquotas: 0,2g para análise de fósforo e 0,2g (macerada) para análise de carbono orgânico total (COT). A Análise do conteúdo de fósforo foi realizada no Laboratório de Oceanografia Química (LOQUIM) do departamento de Oceanografia da UFPE.

5.3.2 Análise dos teores de CaCO_3 e MOT

O conteúdo de carbonato de cálcio e de matéria orgânica total foram determinados a partir da diferença em peso seco, antes e após ataque com solução de HCl a 10% e de H_2O_2 a 10%, respectivamente (CARVER, 1971). As amostras foram classificadas de acordo com Larssoneur et al. (1982) em relação ao conteúdo de carbonatos.

5.3.3 Análise Granulométrica

A técnica utilizada na caracterização granulométrica dos sedimentos consiste na separação das principais classes texturais dos sedimentos grossos e finos, seguindo os métodos descritos em Suguio (1973). Para os sedimentos grossos (fração $\geq 0,062\text{mm}$), empregou-se um arranjo de peneiras segundo abertura de Wentworth (1922), em meio intervalos de phi (ϕ). Para os sedimentos de granulação fina (fração $< 0,062\text{ mm}$), empregou-se o método de pipetagem baseado na lei de sedimentação de Stokes, adotado apenas nos casos onde a fração de finos foi superior a 10% do peso da amostra total.

5.3.4 Análise do Carbono Orgânico Total

A determinação do carbono orgânico total (COT) em sedimentos foi baseada no método proposto por Gaudette, Muller & Storffers (1974) que é uma modificação do método de Walkley & Black (1934). Este método baseia-se na oxidação do material orgânico dissolvido e particulado com dicromato de potássio a um volume exatamente conhecido, em meio de ácido sulfúrico concentrado em excesso. A matéria orgânica é oxidada por mistura sulfocrômica, usando um indicador redox apropriado, e o oxidante em excesso (dicromato de potássio) é dosado por uma solução de sulfato ferroso 0,1N. A

padronização da solução titulante é feita com glicose e o carbono orgânico é dosado como carbono de glicose ($C_6H_{12}O_6$). Por fim, para determinação da concentração do carbono orgânico total [%C_{org}], usa-se:

$$[\%C_{org}] = V \cdot \left(\frac{1 - T}{T_{Br}} \right) \cdot k \cdot N \cdot \left(\frac{100}{m} \right)$$

Onde V é o volume de dicromato usado (ml); N é a normalidade do dicromato; T é o volume de sulfato ferroso gasto na amostra (ml); T_{Br} é volume de sulfato ferroso gasto no branco (ml); m é o peso da amostra de sedimento (g); $k = 12/4000 = 0,003$ = miliequivalente em peso de carbono.

5.3.5 Análise do Fósforo Sedimentar

A análise das frações químicas do fósforo no sedimento foi realizada utilizando-se o método proposto por Willians et al. (1976) modificado, descrito por Pardo et al. (2004). Este é o método recomendado pelo "Standards, Measurements and Testing (SMT) programme" da comissão europeia. Para calibração e validação da metodologia foi utilizado o padrão de sedimento BCR 684 da SMT.

Neste procedimento, é utilizado apenas uma alíquota de 0,2g de amostra que é levada à digestão em solução de HCl 1 M, sob agitação constante por 16 horas. A partir do extrato, determina-se o fósforo inorgânico total (PIT). Após a digestão, o resíduo é submetido a calcinação por uma hora em uma mufla à 450°C. Em seguida, é levado à digestão novamente em solução de HCl 1 M, sob agitação constante por 16 horas. E, a partir deste novo extrato, determina-se o fósforo orgânico total (POT). Ao final das diferentes extrações, o método dosa o fósforo com molibdato de amônio ((NH₄)₆Mo₇O₂₄.H₂O) em meio ácido, formando um complexo que é reduzido pelo ácido ascórbico, resultando num composto de coloração azul, cuja absorção máxima é em 885 nm. A concentração é determinada contra uma curva padrão de fosfato de potássio KH₂PO₄ através da espectrofotometria na região do visível, utilizando-se a metodologia do azul de molibdato e sucessivas diluições da solução padrão de referência BCR 684 da SMT para a calibração da metodologia. Os limites de detecção e quantificação da metodologia foram de 0,07 mg/l e 0,23 mg/l respectivamente, com precisão de 0,8% e exatidão de 97,0%. A concentração de fósforo total (PT) foi obtida por adição entre as concentrações de POT e PIT.

5.3.6 Análise complementar

5.3.6.1 Análise composicional da fração arenosa

Os dados foram tratados de acordo com o método “coarse fraction analysis”, proposto por Shepard & Moore (1954), e modificado por Mahiques (1987), consistindo na identificação e contagem dos constituintes das frações retidas nas peneiras de malhas 0,500 mm (1 ϕ) e 0,250 mm (2 ϕ). Os sedimentos foram analisados em lupa binocular, em seguida, após a observação total da amostra, foram contados e identificados aproximadamente 200 grãos, a partir de modificação do proposto por Hubert (1971). Esta análise foi realizada no Laboratório de Apoio Didático Multiusuário (LADIM) pertencente ao Departamento de Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). De acordo com Mahiques et al. (1998) através desta análise é possível realizar uma caracterização de subambientes em áreas costeiras. O primeiro tratamento para análise dos dados foi determinar um índice que poderia fornecer uma medição da influência biogênica marinha sobre cada amostra. Este índice é conhecido como índice de biogênicos marinhos (BM), sendo definido pela diferença entre a frequência relativa dos constituintes biogênicos marinhos e terrígenos. O índice BM é uma medida de tendência da influência biogênica marinha sobre uma determinada amostra, variando de (-1.0) a (1.0) de modo que os valores mais próximos de (-1.0) estão relacionados a um maior aporte de constituintes continentais (MAHIQUES et al., 1998).

5.3.6.2 Análise morfoscóica dos grãos

Semelhante a análise composicional da fração arenosa, os sedimentos foram analisados em lupa binocular, em seguida, após a observação total da amostra, foram contados e identificados aproximadamente 200 grãos. Para inferir o grau de arredondamento e esfericidade (visual), os seixos foram classificados de acordo com a carta visual de estimativa de arredondamento de Krumbein; Sloss (1963).

Os dados obtidos para as frações analisadas, retidas nos intervalos 0.707-0.500mm (1 ϕ) e 0.350-0.250mm (2 ϕ), foram interpretados separadamente. Estas classes granulométricas, quando sujeitas à ação de correntes, sofrem tipos de transporte distintos, no caso tração e saltação, respectivamente.

5.4 ETAPA DE GABINETE

5.4.1 Cálculo da razão C/P

O cálculo da razão C/P foi baseado de acordo com a relação de Redfield et al. (1963) que divide o percentual de carbono orgânico total pelo percentual de fósforo orgânico total (POT), após a conversão de ambos a uma unidade de concentração comum.

5.4.2 Sysgran

Os dados resultantes da análise granulométrica sofreram tratamento segundo os parâmetros estatísticos de Folk & Ward (1957) e do diagrama de fácies texturais de Shepard (1954) por meio do programa *Sysgran* (3.1) (Camargo, 2006), que permitiu a obtenção do diâmetro médio, grau de seleção, assimetria, curtose, além dos teores de grânulos, areia, silte, argila e lama (silte + argila).

5.4.3 Tratamentos Estatísticos dos dados obtidos

A análise de agrupamento ("cluster analysis") e de componentes principais (ACP) foram efetuadas através do software *Primer 6.0*. Os parâmetros utilizados para as análises de cluster, ACP foram: fração de cascalho (%), fração de areia (%), fração de lama (%), conteúdos de CaCO_3 (%), MOT (%), COT (%), PT (%), POT (%) e PIT (%). E, para comparar a variabilidade espacial e a determinação das relações de independência entre variáveis aleatórias, utilizou-se o coeficiente de correlação não paramétrico de *Sperman* (r_s) através do programa *Statistica 13*.

5.4.3.1 Correlação de Spearman (r_s)

O coeficiente de *Sperman* (r_s) varia entre (-1) e (1). Quanto mais próximos os valores estiverem desses extremos, maior será a associação entre as variáveis. O sinal negativo da correlação significa que as variáveis variam em sentido inverso, ou seja, que as categorias com valores mais altos de uma variável estão associados às categorias de valores mais baixos da outra variável (FERNANDES, 1999).

5.4.3.2 Análise dos componentes principais (ACP)

Esta análise foi utilizada para determinar os parâmetros sedimentológicos e geoquímicos que melhor demonstravam a variabilidade ambiental encontrada na área de estudo.

5.4.3.3 Análise de agrupamento (cluster) e análise faciológica através de técnica multivariada

Para o tratamento do conjunto de dados e para a análise faciológica teve-se que transformá-los pela expressão $[\log_{10}(x + 1)]$ para aproximar as séries de dados da distribuição e normalizá-los (REGAZZI, 2000). A “distância euclidiana” foi um índice de distância adotado e o método de análise de agrupamento foi a “Média não Ponderada” (UPGMA).

Esta técnica de agrupamento (cluster) é destinada a produzir grupos de objetos, descritos por um certo número de variáveis, que são similares entre as amostras do conjunto. Agrupar os objetos, no caso as fácies sedimentares, corresponde em reconhecer um certo grau de semelhança entre eles, suficiente para poder os reunir em um mesmo agrupamento (Romesburg, 1984).

A Distância Euclidiana Simples foi utilizada por ser um índice que possibilita medir a distância entre dois objetos, no caso, as características das fácies sedimentares, quando são observados como pontos no espaço bidimensional formados por seus atributos. A partir dos dois dendrogramas gerados foram definidos grupos, utilizando-se, arbitrariamente o valor de corte 4,0 de Distância Euclidean. A caracterização das amostras de acordo com os grupos, para o período chuvoso/2014 e seco/2015, foi plotada em mapas, permitindo a caracterização espacial das fácies distintas para os sedimentos superficiais dos dois períodos estudados e a confecção de mapas de fácies sedimentares para a área em estudo.

5.4.4 Confecção dos mapas, gráficos e tabelas

O mapa de localização da área de estudo e os de distribuição para a análise espacial dos parâmetros utilizados foram elaborados através do programa ArcGIS10. Já as tabelas foram elaboradas através do programa *Excel for Windows 10*.

6. RESULTADOS

6.1 RESULTADOS DAS ANÁLISES EFETUADAS NOS SEDIMENTOS DO ESTUÁRIO DO RIO FORMOSO

Nas tabelas 2 e 3 estão apresentadas as posições (coordenadas geográficas), as profundidades e os resultados obtidos para os dados

sedimentológicos: granulometria, parâmetros estatísticos de Folk & Ward (1957) e os dados texturais de Shepard (1954), da malha amostral de reconhecimento período chuvoso em setembro de 2014 e do período de estiagem em março de 2015, respectivamente.

6.1.1 Classificação de fácies texturais de Shepard (1954)

A distribuição regional dos sedimentos, com base no diagrama triangular de Shepard (1954), para o período chuvoso/2014 e verão/2015 (figuras 16 e 17) indicou uma grande semelhança para os dois períodos estudados, com predomínio de sedimentos arenosos, principalmente de areias, correspondendo 77,08% das amostras coletadas para os dois períodos. Ainda a área de estudo apresentou, de acordo com a classificação de Shepard (1954), três fácies texturais distintas de sedimentos para o período chuvoso/2014 e quatro fácies texturais distintas de sedimentos para o período seco/2015 (tabelas 4 e 5, respectivamente).

6.1.2 Diâmetro médio (Folk & Ward, 1957)

Os mapas de distribuição de sedimentos segundo o diâmetro médio (figuras 18 e 19) apresentaram grande semelhança entre o período chuvoso/2014 e o seco/2015. Ambos períodos demonstraram resultados heterogêneos, apresentando sedimentos que variaram de silte médio à areia grossa para o período chuvoso/2014 e de silte fino à areia grossa para o período seco/2015. Com uma tendência de concentração de sedimentos mais finos no estuário médio e superior, correspondendo à porção meandrante e mais confinadas dos Canais do Rio dos Passos, associados à desembocadura dos pequenos tributários, Rio Lemenho e Porto das Pedras. Apesar deste padrão geral, foi observado um predomínio muito maior de areia no período seco/2015 (83,33%) do que o período chuvoso (70,83%).

Tabela 2: Coordenadas geográficas, profundidades, dados sedimentológicos (granulometria, parâmetros estatísticos de Folk & Ward (1957) e os dados texturais de Shepard (1954) das amostras do período chuvoso em setembro de 2014.

Estação	Longitude	Latitude	Prof. (m)	% Cascalho	% Areia	% Silte	% Argila	%Lama	Phi Médio	Grau de seleção	Assimetria	Curtose	Shepard (1954)
ST0	-35,08475	-8,63751	3,2	0,14	97,95	1,53	0,38	1,91	1,49	0,91	0,08	0,94	Areia média
ST1	-35,08612	-8,63845	0,8	0,00	48,27	9,71	42,02	51,73	5,29	2,57	0,26	0,52	Silte médio
ST1A	-35,08799	-8,64029	1,5	14,08	61,94	5,13	18,84	23,97	2,90	3,77	0,48	1,13	Areia fina
ST2	-35,09385	-8,64708	3,7	0,41	99,59	0,00	0,00	0,00	1,16	0,72	-0,08	0,92	Areia média
ST3	-35,09338	-8,65363	1,0	0,00	74,78	4,57	20,67	25,22	4,72	2,42	0,68	1,88	Silte grosso
ST4	-35,09193	-8,65818	1,4	0,14	68,60	17,73	13,54	31,27	4,02	2,30	0,55	0,79	Silte grosso
ST5	-35,10518	-8,65594	2,3	0,00	59,68	4,84	35,48	40,32	4,92	2,48	0,66	0,52	Silte grosso
ST6	-35,10007	-8,66414	1,3	0,00	66,84	6,71	26,44	33,15	4,88	2,37	0,73	0,53	Silte grosso
ST7	-35,10345	-8,66645	3,7	0,07	99,56	0,30	0,07	0,37	1,55	0,68	-0,10	1,06	Areia média
ST8	-35,10873	-8,66773	0,8	0,14	90,36	2,44	7,06	9,50	2,74	1,56	0,21	2,20	Areia fina
ST9	-35,11454	-8,67373	0,8	0,22	68,08	10,99	20,70	31,69	4,95	2,28	0,69	0,83	Silte grosso
ST10	-35,11333	-8,68287	0,5	9,36	89,73	0,84	0,07	0,91	0,81	1,38	0,10	0,94	Areia grossa
ST11	-35,10882	-8,68811	0,0	6,13	64,11	10,59	19,16	29,75	3,52	3,52	0,3791	0,76	Areia muito fina
ST12	-35,1025	-8,69003	1,9	0,51	65,92	5,89	27,68	33,57	4,91	2,40	0,68	0,54	Silte grosso
ST13	-35,10148	-8,68443	3,1	1,24	95,42	2,72	0,62	3,34	2,01	1,17	-0,12	1,16	Areia fina
ST14	-35,09437	-8,68537	3,0	0,14	93,53	5,22	1,11	6,33	2,50	1,12	-0,13	1,20	Areia fina
ST15	-35,09068	-8,69273	1,2	0,54	99,18	0,24	0,03	0,27	1,86	0,97	-0,25	0,84	Areia média
ST16	-35,08156	-8,6995	1,6	0,17	99,62	0,21	0,00	0,21	1,31	1,03	-0,21	0,82	Areia média
ST17	-35,08299	-8,69601	4,7	0,24	99,6	0,13	0,03	0,17	1,28	0,68	-0,14	0,98	Areia média
ST18	-35,10864	-8,68224	1,0	0,00	92,81	6,08	1,11	7,19	3,25	0,63	0,09	2,35	Areia muito fina
ST19	-35,11165	-8,67795	4,0	0,00	99,45	0,44	0,10	0,55	1,54	0,87	-0,03	0,92	Areia média
ST20	-35,10793	-8,67398	1,7	0,84	98,32	0,84	0,00	0,84	2,18	1,07	-0,07	1,02	Areia fina
ST21	-35,12088	-8,67138	3,4	25,46	73,62	0,92	0,00	0,92	0,65	1,71	0,21	0,70	Areia grossa
ST22	-35,08639	-8,68953	1,9	2,67	96,95	0,30	0,07	0,37	0,99	0,96	-0,06	0,91	Areia grossa

Tabela 3: Coordenadas geográficas, profundidades, dados sedimentológicos (granulometria, parâmetros estatísticos de Folk & Ward (1957) e dados texturais de Shepard (1954) das amostras do período seco em março de 2015.

Estação	Longitude	Latitude	Prof. (m)	% Cascalho	% Areia	% Silte	% Argila	%Lama	Phi Médio	Grau de seleção	Assimetria	Curtose	Shepard (1954)
St 0	-35,08485	-8,63789	2,9	1,35	98,55	0,11	0,00	0,11	1,45	0,92	-0,01	0,96	Areia média
St 1	-35,0861	-8,63845	0,4	10,28	89,54	0,18	0,00	0,18	1,42	1,32	-0,20	1,06	Areia média
St 1A	-35,08791	-8,64017	2,6	1,55	28,05	14,56	55,85	70,41	6,60	2,50	-0,78	0,58	Silte fino
St 2	-35,09384	-8,64765	4,1	5,45	94,45	0,10	0,00	0,10	1,16	1,20	-0,21	0,95	Areia média
St 3	-35,09346	-8,65371	0,7	0,46	98,62	0,92	0,00	0,92	2,99	0,60	-0,30	1,24	Areia fina
St 4	-35,0918	-8,65817	0,9	0,00	65,81	7,60	26,60	34,20	4,42	2,68	0,71	0,51	Silte grosso
St 5	-35,10513	-8,65607	1,6	0,30	83,07	3,52	13,11	16,63	3,05	1,74	0,21	2,86	Areia muito fina
St 6	-35,10013	-8,66423	0,7	0,08	76,22	4,46	19,24	23,70	4,79	2,28	0,76	2,74	Silte grosso
St 7	-35,10364	-8,66611	3,2	1,50	98,43	0,07	0,00	0,07	1,18	0,92	-0,24	1,03	Areia média
St 8	-35,10861	-8,66773	1,0	0,07	99,70	0,23	0,00	0,23	2,88	0,52	-0,06	1,24	Areia fina
St 9	-35,11454	-8,67366	1,8	0,12	82,47	6,25	11,16	17,41	3,51	1,53	0,43	3,64	Areia muito fina
St 10	-35,11321	-8,68303	0,6	16,81	83,09	0,10	0,00	0,10	0,47	1,43	0,20	0,82	Areia grossa
St 11	-35,10888	-8,68806	0,6	11,71	87,98	0,30	0,00	0,30	0,71	1,39	0,02	0,86	Areia grossa
St 12	-35,10282	-8,69016	1,6	4,69	94,26	1,05	0,00	1,05	2,35	1,08	-0,27	1,73	Areia fina
St 13	-35,10147	-8,68445	3,2	1,83	98,00	0,17	0,00	0,17	1,59	1,13	-0,19	1,01	Areia média
St 14	-35,09439	-8,68545	2,3	0,10	99,44	0,45	0,00	0,45	1,97	0,93	0,11	1,01	Areia média
St 15	-35,09067	-8,69279	0,3	0,50	99,40	0,10	0,00	0,10	1,81	0,92	-0,25	0,91	Areia média
St 16	-35,08123	-8,69946	1,4	2,13	97,70	0,17	0,00	0,17	1,47	1,11	-0,36	0,90	Areia média
St 17	-35,08292	-8,69588	2,8	0,57	99,30	0,14	0,00	0,13	1,14	0,62	-0,06	1,05	Areia média
St 18	-35,10844	-8,68246	1,2	0,14	99,59	0,27	0,00	0,27	2,64	0,40	-0,04	1,16	Areia fina
St 19	-35,11185	-8,67781	4,8	1,98	97,74	0,28	0,00	0,28	2,56	0,48	0,04	1,04	Areia fina
St 20	-35,10802	-8,67402	0,6	0,07	68,19	23,11	8,64	31,75	4,29	1,95	0,58	1,64	Silte grosso
St 21	-35,12094	-8,67141	3,2	16,46	83,40	0,14	0,00	0,14	0,66	1,51	0,00	0,84	Areia grossa
St 22	-35,08639	-8,68969	2,2	0,61	99,39	0,00	0,00	0,00	1,19	0,74	-0,12	1,04	Areia média

Figura 16: Diagrama triangular de Shepard (1954) do período chuvoso (setembro/2014).

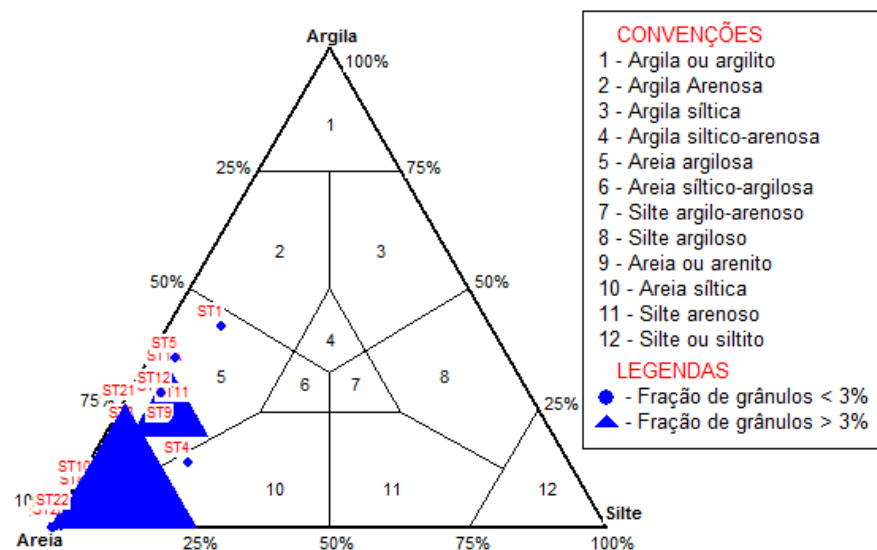


Tabela 4: Classificação de fácies texturais de Shepard (1954) do período chuvoso (novembro/2014).

Fácies Texturais	Percentual (%)
Areia argilosa	37,50
Areia	58,33
Areia Siltica	4,17

Figura 17: Diagrama triangular de Shepard (1954) do período seco (março/2015).

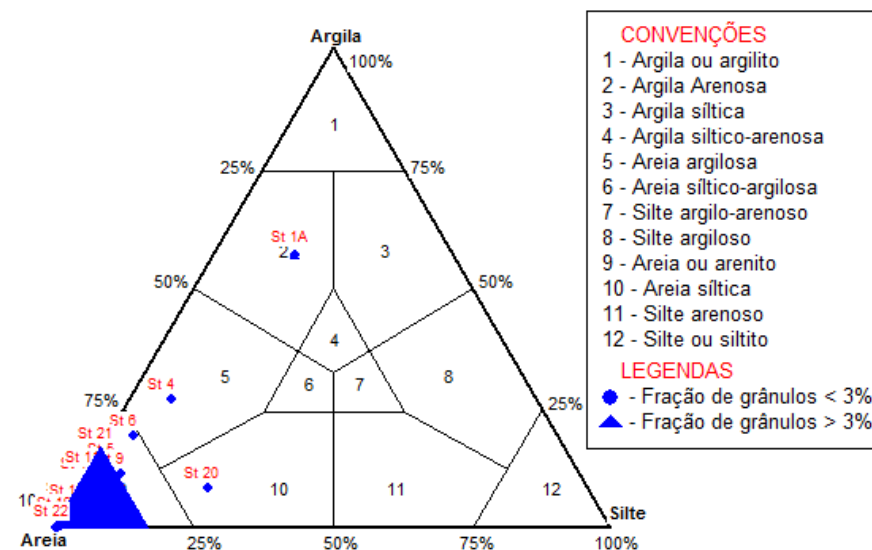


Tabela 5: Classificação de fácies texturais de Shepard (1954) do período seco (março/2015).

Fácies Texturais	Percentual (%)
Argila arenosa	4,17
Areia argilosa	4,17
Areia	87,49
Areia Siltica	4,17

Figura 18: Diâmetro médio dos sedimentos do período chuvoso (setembro/2014). Fonte: Diego Xavier – LABOGEO/UFPE (2016).

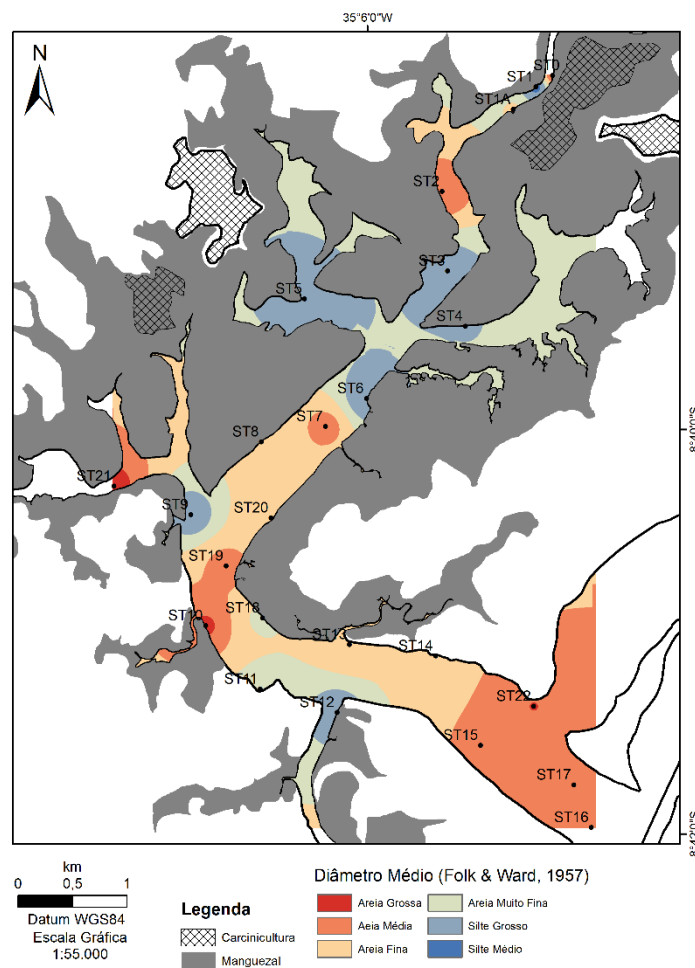
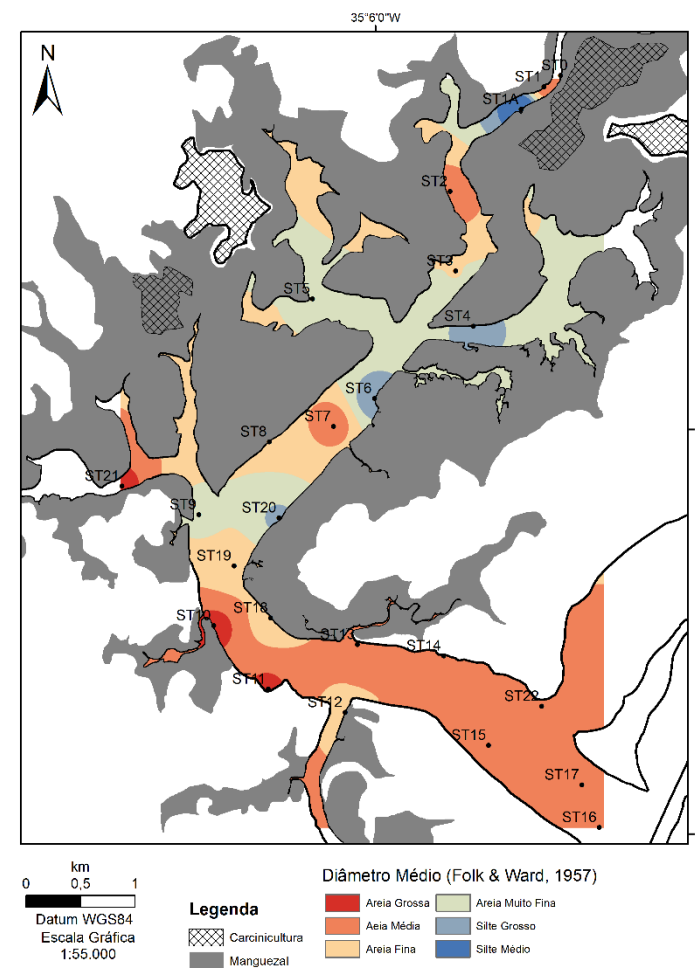


Figura 19: Diâmetro médio dos sedimentos do período seco (março/2015). Fonte: Diego Xavier – LABOGEO/UFPE (2016).



6.1.3 Grau de seleção (Folk & Ward, 1957)

Em relação ao grau de seleção (figuras 20 e 21) ocorre um predomínio, independentemente da época, de sedimentos pobremente a muito pobremente selecionados, em cerca de 60% das amostras (66,67% no período chuvoso/2014 e 58,33% no período seco/2015). Para ambos os períodos, as amostras que apresentam um melhor grau de seleção associam-se a depósitos de sedimentos arenosos e nas proximidades da desembocadura do estuário do Rio Formoso. Observou-se um aumento no grau de seleção do período seco/2015 com relação ao período chuvoso/2014, devido ao maior número de amostras arenosas. E consequentemente um maior número de amostras com o grau de seleção considerado como bem selecionado (amostras ST18 e ST19).

6.1.4 Frações de cascalho, areia e lama

A distribuição da fração cascalho é semelhante para os dois períodos estudados (figuras 22 e 23). Observa-se que na distribuição dos cascalhos, predomina sedimentos com teores abaixo de 1% tanto para o período chuvoso/2014 como para o período seco/2015 (75,0% e 62,5% das amostras da malha amostral, respectivamente). Observa-se também que a amostra com material mais cascalhoso no período chuvoso/2014 (ST21), localizada na desembocadura do rio Formoso, sofreu uma redução do seu percentual da fração cascalho no período seco/2015 (25,46% para 16,46%). Constatando, também, uma redução geral do percentual da fração cascalho no período seco/2015.

A distribuição das areias também é semelhante para os dois períodos estudados (figuras 22 e 23). Predominando sedimentos com teores acima de 75% para ambas as épocas (58,33% das amostras da malha amostral do período chuvoso/2014 e 87,50% das amostras da malha amostral do período seco/2015). Observou-se que os núcleos de material mais arenoso ocorrem em todo o estuário inferior, principalmente do setor médio para a desembocadura. Manchas de material lamoso, ou seja, com conteúdos de areia abaixo de 50%, ocorrem em alguns pontos do estuário superior, como a ST 00 e a ST 01 (período chuvoso/2014) e ST 01A (período seco/2015). Observou-se também que o teor de areia aumentou ao longo de todo o estuário no período seco/15.

Figura 20: Grau de seleção dos sedimentos no período chuvoso (setembro/2014). Fonte: Diego Xavier – LABOGEO/UFPE (2016).

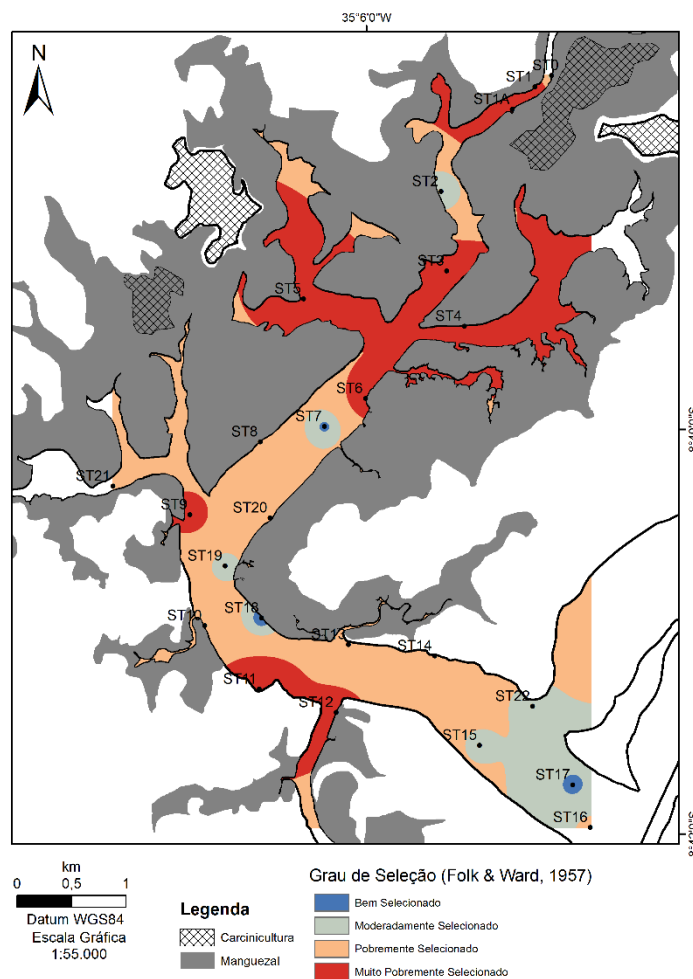


Figura 21: Grau de seleção dos sedimentos no período seco (março/2015). Fonte: Diego Xavier – LABOGEO/UFPE (2016).

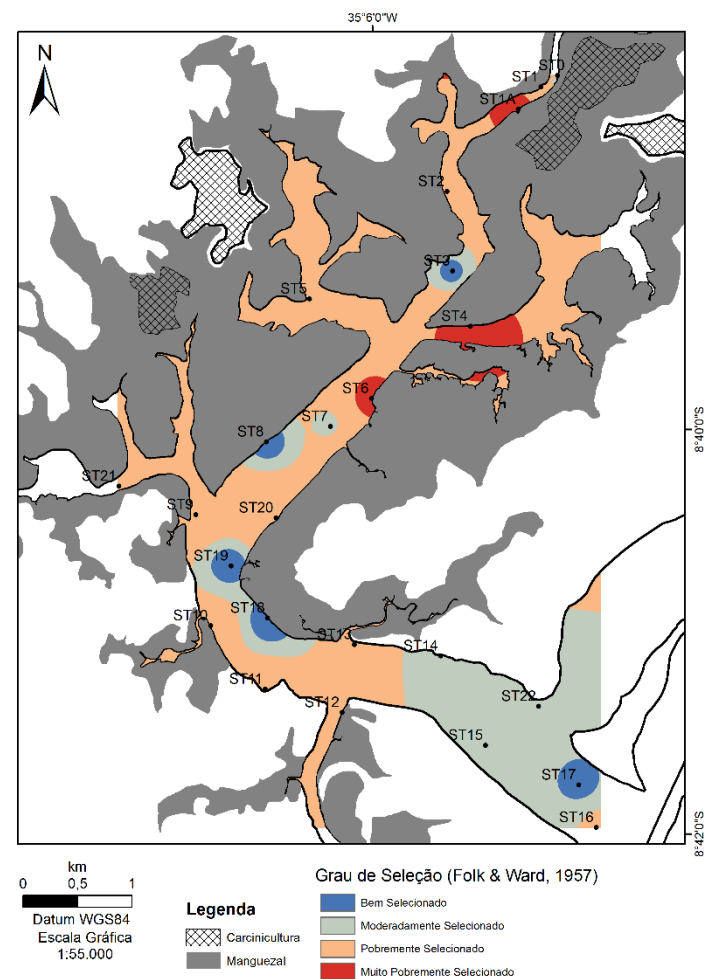


Figura 22: Frações de Cascalho, areia e lama (%) dos sedimentos no período chuvoso (setembro/2014). Fonte: Diego Xavier – LABOGEO/UFPE (2016).

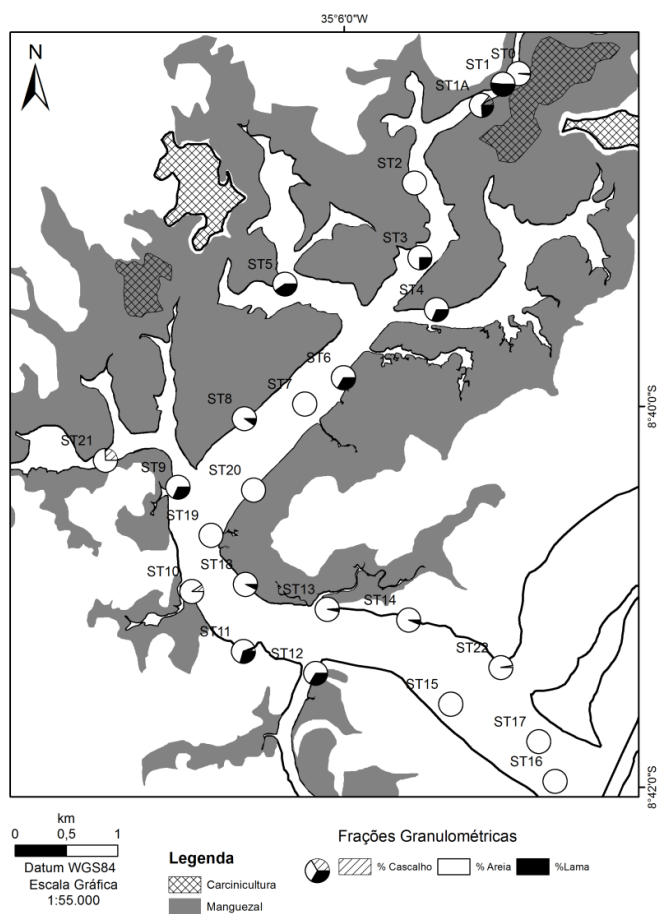
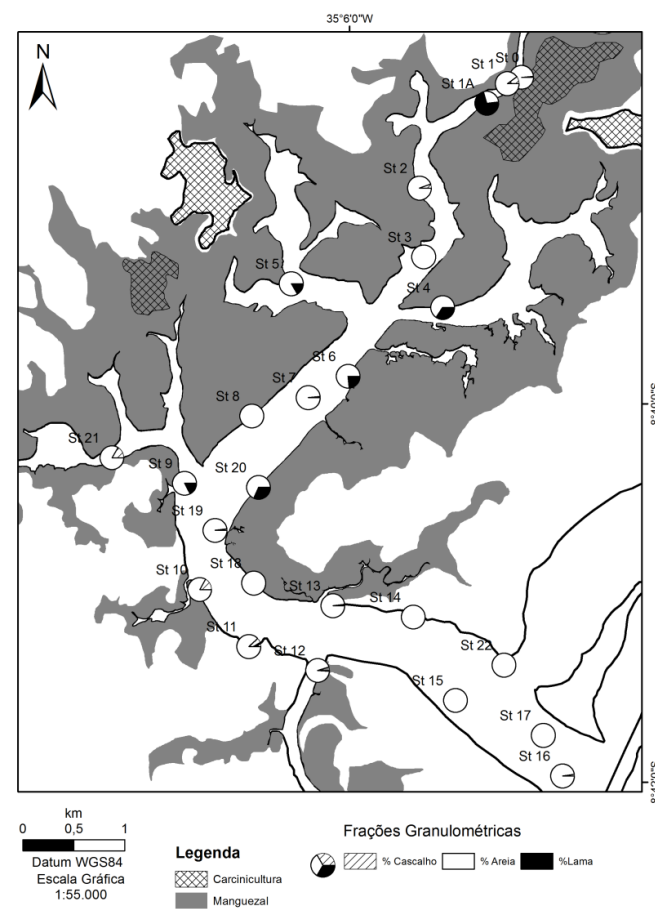


Figura 23: Frações de Cascalho, areia e lama (%) dos sedimentos no período seco (março/2015). Fonte: Diego Xavier – LABOGEO/UFPE (2016).



Ainda no período seco, ocorreram manchas de material lamoso apenas na área da estação ST 1A (28,05% de areia e 70,41% de lama), localizada no estuário superior.

No período chuvoso/2014, as frações de lama apresentaram uma distribuição que indica um predomínio desta fração nas amostras localizadas no estuário superior, mais a montante. A amostra que apresentou o maior percentual de lama (ST 01 51,73%), classificada como silte médio de acordo com o diagrama de fáceis texturais de Shepard (1954), localiza-se a montante do estuário. Manchas com teores superiores a 25% são observadas em quase todo o corpo do estuário.

Já no período seco/2015, as frações de lama apresentaram uma distribuição que indica uma queda nos teores de sedimentos finos nas amostras desta época, inclusive nas estações do estuário superior. Com o predomínio de amostras com teores menores que 1%, o que corresponde a 70,83% das amostras da malha amostral para este período.

6.2 RESULTADOS DAS ANÁLISES GEOQUÍMICAS

Nas tabelas 6 e 7 estão apresentadas as posições (coordenadas geográficas), e os resultados obtidos das análises geoquímicas: teores de carbonato biodetrítico, teores da matéria orgânica total, Carbono Orgânico Total, teores de Fósforo Orgânico, Fosforo Inorgânico, Fósforo Total e as razões C/P, das amostras da malha de reconhecimento período chuvoso em setembro de 2014 e do período de estiagem em março de 2015, respectivamente.

6.2.1 Teores de carbonato biodetrítico

O mapa dos teores de carbonato biodetrítico elaborado para as amostras do período chuvoso/2014 (figura 24), cujos valores variaram de 0,20 a 57,40%, indicou a ocorrência de sedimentos litoclásticos (91,67%), ou seja, com conteúdos abaixo de 30% de CaCO_3 de acordo com Larssoneur *et al.* (1982). Teores acima de 30% (ST 12, 43,6% e ST 16, 57,4%) são encontrados apenas na região do baixo estuário. A amostra da ST16 apresenta o maior teor de carbonato e está localizada mais próxima aos bancos de recifes algálicos, representando a estação mais externa do estuário.

O mapa dos teores de carbonato biodetrítico referente às amostras do período seco/2015 (figura 25), cujos valores variaram de 1,00 a 45,30%, mostrou também o predomínio de sedimentos litoclásticos (95,83%). Observa-se, com relação ao período chuvoso, uma redução total nos teores totais de CaCO_3 de 66,67% das amostras da malha amostral. E um aumento considerável, para amostra ST1A, localizada a montante do estuário (1,9% para 17,0%). Em geral, para este período, os maiores conteúdos de carbonato foram encontrados nas amostras coletadas também no baixo estuário próximo à desembocadura nas estações (ST16, ST15, ST12) com teores de 45,30%, 21,50% e 16,50%, respectivamente.

Tabela 6: Coordenadas geográficas e dados das análises geoquímicas (MOT, teores de CaCO_3 , fósforo total (PT), orgânico (PO) e inorgânico (PI), carbono orgânico (COT) e a razão C/P das amostras do período chuvoso em setembro de 2014.

Estação	Longitude	Latitude	MOT (%)	CaCO_3 (%)	POT ($\mu\text{Mol/g}$)	PIT ($\mu\text{Mol/g}$)	PT ($\mu\text{Mol/g}$)	COT (%)	C/Porg
ST0	-35,0848	-8,63751	4,03	4,30	1,26	0,25	1,51	0,67	850,34
ST1	-35,0861	-8,63845	29,57	13,40	6,53	0,68	7,21	2,83	1339,15
ST1A	-35,088	-8,64029	14,93	1,90	5,11	0,94	6,05	7,00	2407,15
ST2	-35,0939	-8,64708	1,30	0,20	0,01	0,01	0,02	0,26	9157,51
ST3	-35,0934	-8,65363	13,50	5,90	5,92	1,83	7,75	3,33	586,03
ST4	-35,0919	-8,65818	17,87	9,20	5,29	2,50	7,79	4,22	545,51
ST5	-35,1052	-8,65594	19,77	10,50	9,70	3,21	12,91	2,61	262,55
ST6	-35,1001	-8,66414	18,47	11,40	8,14	2,48	10,62	2,93	381,02
ST7	-35,1035	-8,66645	1,63	3,60	1,53	0,01	1,54	0,32	11337,87
ST8	-35,1087	-8,66773	6,80	7,40	1,90	0,52	2,42	1,00	615,76
ST9	-35,1145	-8,67373	3,87	15,10	6,74	2,73	9,47	2,11	249,42
ST10	-35,1133	-8,68287	1,07	2,60	1,00	0,29	1,29	0,32	354,31
ST11	-35,1088	-8,68811	7,03	8,20	7,65	3,70	11,35	1,00	87,08
ST12	-35,1025	-8,69003	7,40	43,60	10,17	4,13	14,30	1,89	147,48
ST13	-35,1015	-8,68443	3,23	8,70	0,57	0,20	0,78	0,22	351,62
ST14	-35,0944	-8,68537	3,67	9,90	1,85	0,38	2,23	0,11	94,16
ST15	-35,0907	-8,69273	2,10	29,00	2,36	0,62	2,98	0,20	105,44
ST16	-35,0816	-8,6995	3,40	57,40	4,86	2,20	7,06	0,11	16,31
ST17	-35,083	-8,69601	1,17	8,70	0,51	0,01	0,52	0,11	3928,57

ST18	-35,1086	-8,68224	6,77	13,40	3,46	0,81	4,27	1,67	663,48
ST19	-35,1117	-8,67795	2,33	3,50	0,62	0,01	0,63	0,11	3928,57
ST20	-35,1079	-8,67398	6,53	12,50	2,69	1,36	4,04	0,68	160,72
ST21	-35,1209	-8,67138	17,67	7,20	8,95	2,72	11,67	3,67	435,26
ST22	-35,0863	-8,68953	1,47	11,10	0,65	0,01	0,66	0,11	3928,57

Tabela 7: Coordenadas geográficas e dados das análises geoquímicas (MOT, teores de CaCO₃, fósforo total, orgânico e inorgânico, carbono orgânico e a razão C/P das amostras do período seco em março de 2015.

Estação	Longitude	Latitude	MOT (%)	CaCO ₃ (%)	POT (μMol/g)	PIT (μMol/g)	PT (μMol/g)	COT (%)	C/Porg
ST0	-35,0848	-8,63751	4,03	3,20	4,02	2,12	6,14	2,56	205,10
ST1	-35,0861	-8,63845	4,00	3,60	17,23	5,99	23,22	1,31	24,58
ST1A	-35,088	-8,64029	35,77	17,00	2,76	2,25	5,01	6,01	702,10
ST2	-35,0939	-8,64708	2,43	1,60	1,04	0,88	1,92	0,42	131,13
ST3	-35,0934	-8,65363	11,50	6,60	2,43	1,75	4,19	3,23	428,69
ST4	-35,0919	-8,65818	16,17	6,50	10,02	3,41	13,43	5,33	171,67
ST5	-35,1052	-8,65594	13,73	6,70	8,70	4,89	13,59	3,77	139,95
ST6	-35,1001	-8,66414	15,57	12,80	4,19	0,23	4,42	4,76	366,75
ST7	-35,1035	-8,66645	1,33	2,90	0,25	0,01	0,26	1,21	1562,01
ST8	-35,1087	-8,66773	7,27	3,70	0,49	0,01	0,50	2,56	1676,87
ST9	-35,1145	-8,67373	10,83	15,60	2,73	1,81	4,54	1,78	209,74
ST10	-35,1133	-8,68287	2,50	3,90	0,01	0,01	0,02	3,44	123015,87
ST11	-35,1088	-8,68811	4,70	4,00	2,53	0,01	2,54	0,11	14,14
ST12	-35,1025	-8,69003	5,10	16,50	1,47	0,02	1,49	2,22	486,48
ST13	-35,1015	-8,68443	1,83	1,00	0,01	0,01	0,02	1,41	50329,07
ST14	-35,0944	-8,68537	3,00	3,70	0,01	0,01	0,02	2,88	102880,66
ST15	-35,0907	-8,69273	1,10	21,50	0,93	2,23	3,16	1,46	508,34
ST16	-35,0816	-8,6995	2,37	45,30	3,98	2,67	6,65	1,74	140,74
ST17	-35,083	-8,69601	0,80	8,30	0,81	0,01	0,82	1,42	568,89
ST18	-35,1086	-8,68224	2,50	3,30	0,56	0,01	0,57	2,12	1230,40
ST19	-35,1117	-8,67795	4,27	6,60	1,27	0,29	1,55	2,78	707,89
ST20	-35,1079	-8,67398	8,53	16,40	8,14	4,43	12,57	4,22	167,28
ST21	-35,1209	-8,67138	4,67	5,50	2,05	1,25	3,30	2,56	403,08
ST22	-35,0863	-8,68953	1,10	2,60	1,42	0,89	2,30	2,33	531,75

Figura 24: Teor de carbonato de cálcio (%) dos sedimentos no período chuvoso (setembro/2014). Fonte: Diego Xavier – LABOGEO/UFPE (2016).

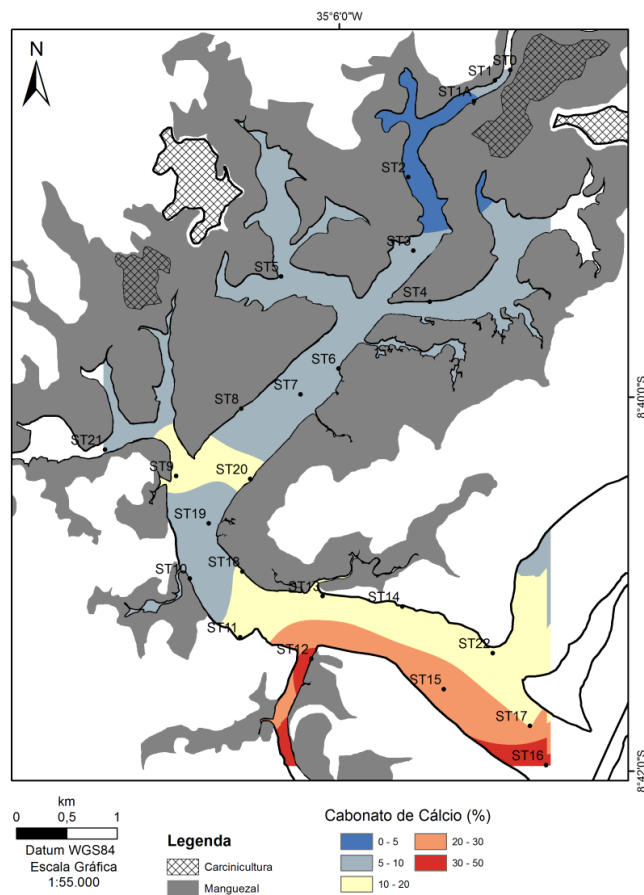
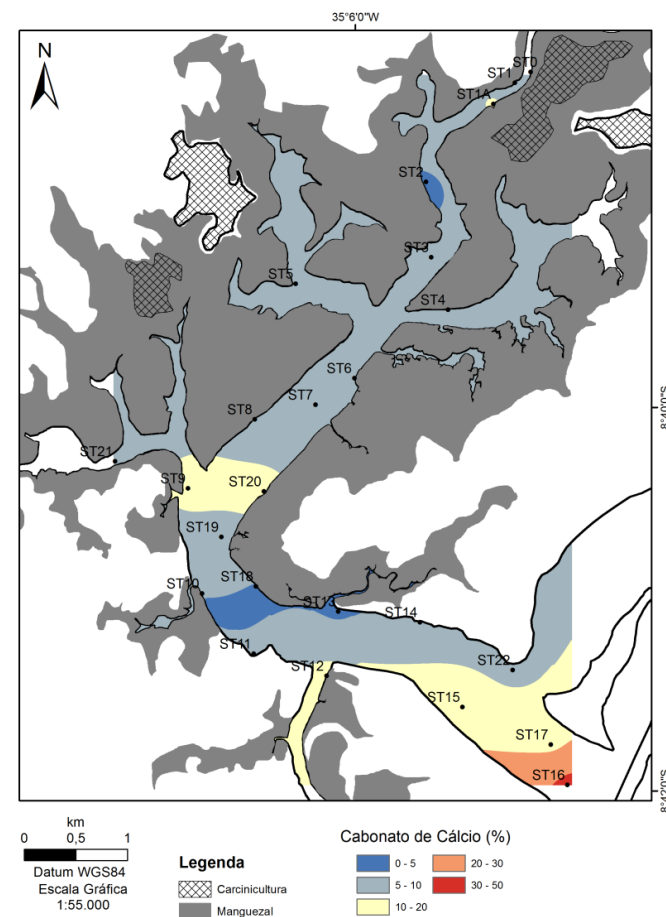


Figura 25: Teor de carbonato de cálcio (%) dos sedimentos no período seco (março/2015). Fonte: Diego Xavier – LABOGEO/UFPE (2016).



6.2.2 Teores de Matéria Orgânica Total (MOT)

Os teores de Matéria Orgânica Total (figura 26) no período chuvoso/2014 variaram de 1,07% a 29,57% com o predomínio de valores abaixo de 10% (70,83% das amostras) associados, no geral, a sedimentos mais arenosos localizados do médio para o baixo estuário (desembocadura).

Já os percentuais de Matéria Orgânica Total no período seco/2015 (figura 27) variaram de 0,80 a 35,77%, com o predomínio de valores também abaixo de 10% (75% das amostras) associados a sedimentos mais arenosos também localizados na região média para a jusante. Neste período, o maior teor foi encontrado na amostra ST1A a montante do estuário associado a um sedimento mais lamoso (silte fino). E, apesar desse teor ter aumentado de um período chuvoso/2014 para o seco/2015 (14,93% para 25,77%), no geral 66,7% das amostras tiveram uma redução no seu percentual de MOT.

6.2.3 Teores de Carbono Orgânico Total (COT)

Os conteúdos de carbono orgânico total, representados nas figuras 28 e 29 (período chuvoso/2014 e período seco/2015, respectivamente) apresentaram variações de 0,11 a 7,00% (período chuvoso/2014), e variações de 0,11 a 6,01% (período seco/2015). O período chuvoso, apresentou uma predominância de amostras com teores de COT entre 0,0 e 2,0% (representando cerca de 66,7%).

De forma distinta, o período seco/2015 que apresentou uma predominância de amostras com teores de COT entre 2,0 e 4,0% (representando cerca de 62,50%). Mas, no geral, a maioria das amostras apresentam baixos teores, estando associadas a sedimentos arenosos, distribuídos por todo estuário desde a porção mais a montante até a foz. Com o maior teor de COT associado à amostra ST1A para ambos os períodos estudados, chuvoso/2014 e seco/2015 (7,00% e 6,01%, respectivamente), localizada no estuário superior próximo a saída de efluentes de tanques de carcinicultura.

Figura 26: Teor de Matéria Orgânica Total (%) dos sedimentos no período chuvoso (setembro/2014). Fonte: Diego Xavier – LABOGEO/UFPE (2016).

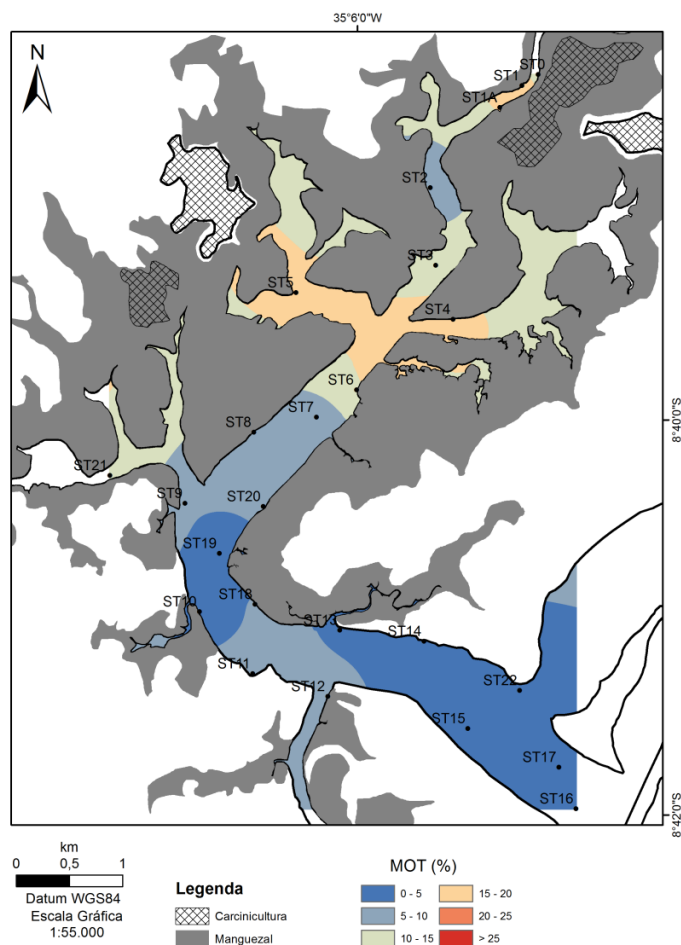


Figura 27: Teor de Matéria Orgânica Total (%) dos sedimentos no período seco (março/2015). Fonte: Diego Xavier – LABOGEO/UFPE (2016).

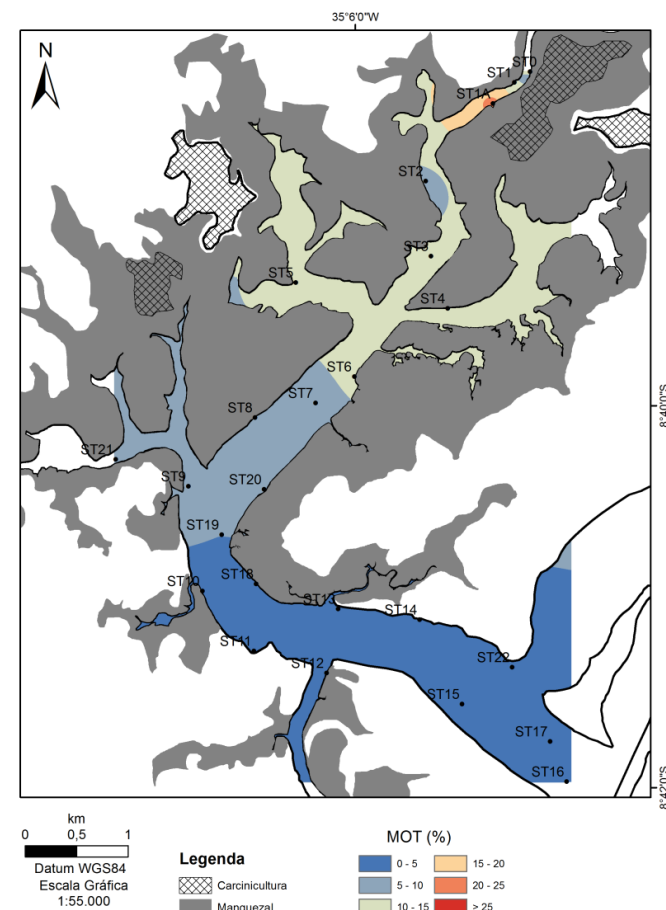


Figura 28: Teor de Carbono Orgânico Total (%) dos sedimentos no período chuvoso (setembro/2014). Fonte: Diego Xavier – LABOGEO/UFPE (2016).

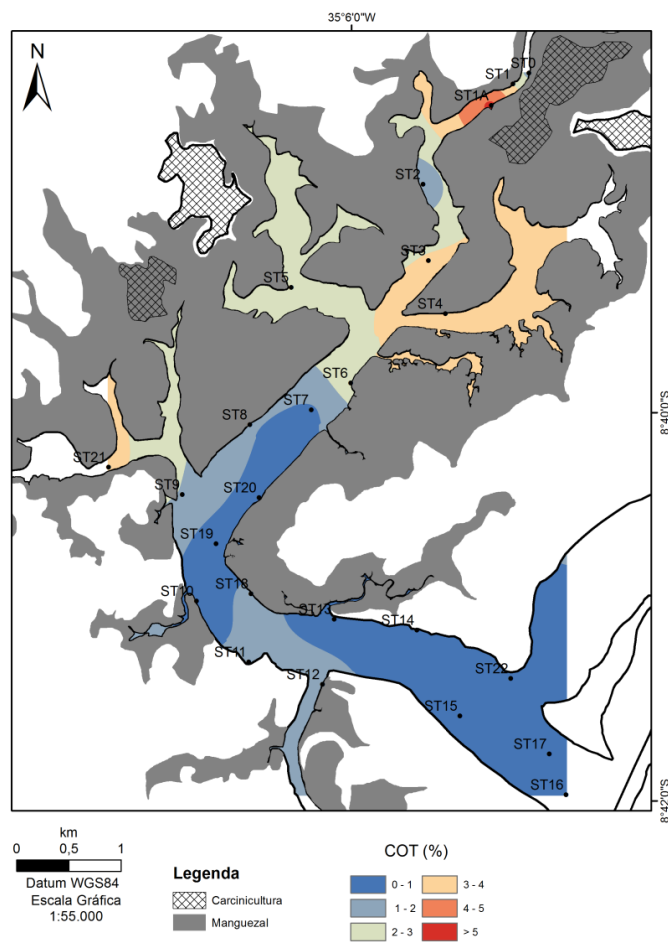
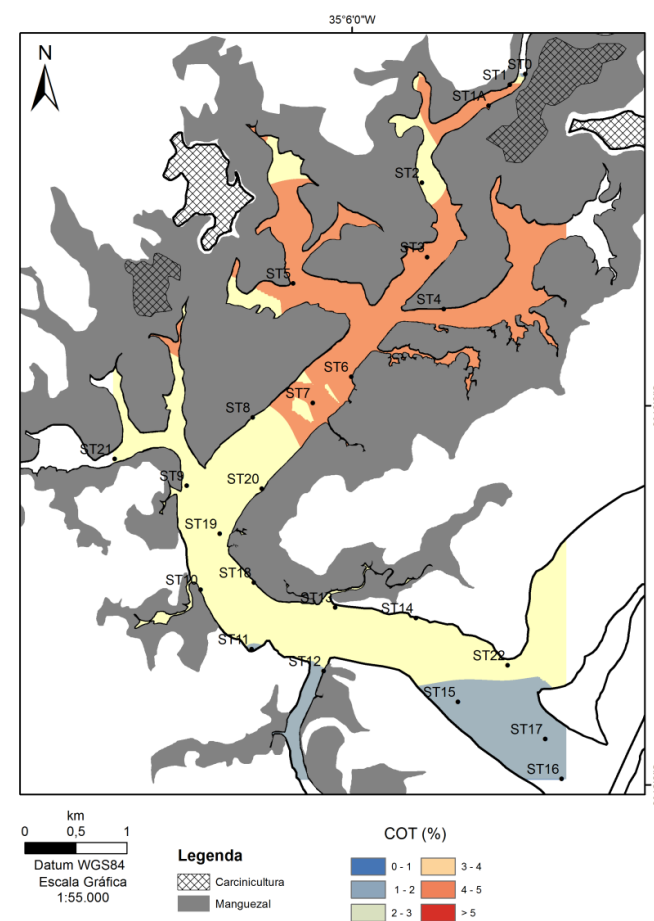


Figura 29: Teor de Carbono Orgânico Total (%) dos sedimentos no período seco (março/2015). Fonte: Diego Xavier – LABOGEO/UFPE (2016).



6.2.4 Teores de Fósforo (P)

6.2.4.1 Teores de Fósforo total (PT)

A figura 30 representa o mapa de teores de fósforo total (PT) de sedimentos do período chuvoso/2014. Neste período, os teores de PT variaram de 0,02 a 14,30 μ Mol/g, predominando conteúdos entre 0,00 e 5,0 μ Mol/g (54% das amostras). Os maiores teores de PT (amostras ST12, 21, 11, 06, 05) estão associados às maiores concentrações de lamas (nas amostras classificadas como silte grosso), com exceção da amostra ST21, localizada no baixo estuário classificada como areia grossa.

Já os teores de fósforo total (PT) dos sedimentos do período seco/2015 (figura 31), variaram de 0,02 a 23,22 μ Mol/g, com o predomínio dos conteúdos entre 0,00 e 5,0 μ Mol/g (70,84% das amostras). No geral, os teores de PT sofreram uma redução com relação ao período anterior estudado, período chuvoso/2014, (58,34% das amostras). Os maiores teores de PT (amostras ST 01,04, 05, 20) estão associados às maiores concentrações de lamas, com exceção da amostra ST01, localizada a montante do estuário do Rio Formoso que além de apresentar conteúdos consideravelmente maiores com relação ao período anterior (7,21 para 23,22 μ Mol/g) foi classificada como areia média.

6.2.4.2 Teores de Fósforo Orgânico

O fósforo orgânico (PO) dos sedimentos do período chuvoso/2014 (figura 32) apresentou teores que variaram de 0,01 a 10,17 μ Mol/g, com uma predominância de amostras com conteúdos entre 0,00 e 5,00 μ Mol/g (58,3% das amostras). Já o fósforo orgânico (PO) dos sedimentos do período seco/2015 (figura 33), apresentou teores que variaram de 0,01 a 17,23 μ Mol/g, com um predomínio de amostras com conteúdos entre 0,00 (limite de detecção) e 5,00 μ Mol/g (83,34% das amostras). Apresentaram-se muito semelhantes à distribuição do PT.

6.2.4.3 Teores de Fósforo Inorgânico

Os conteúdos de fósforo inorgânico (PI) dos sedimentos do período chuvoso/2014 (figura 34) variaram de 0,01 a 4,13 μ Mol/g, apresentaram-se muito semelhantes à distribuição do PT, predominando, também, amostras com teores entre 0,00 e 2,00 μ Mol/g (66,7% das amostras). Já os conteúdos de fósforo

inorgânico (PI) dos sedimentos do período seco/2015 (figura 35), variaram de 0,01 a 5,99 μ Mol/g, apresentam-se muito semelhantes à distribuição do PT, predominando, também, amostras com teores entre 0,00 e 2,00 μ Mol/g (70,84% das amostras).

6.2.5 Razão elementar C/P

Os valores da razão elementar C/P dos sedimentos do período chuvoso/2014 (figura 36), apresentaram variações entre 16,31 e 11337, encontrando-se dentro da escala de valores encontrados na literatura para as possíveis fontes de matéria orgânica: fitoplâncton (106), tecidos foliares e lenhosos de plantas superiores (300 a 1300 e > que 1300, respectivamente) e bactérias (7 a 80) (Ruttenberg & Goñi, 1997). Foram observados valores de razão C/P indicativos de matéria orgânica de origem, predominantemente, mista e continental na amostras ao longo do estuário. A parte inferior do sistema, por outro lado, apresentou valores mais baixos (< 200) de C/P, indicativos de matéria orgânica de origem marinha e bacteriana. No geral, ocorreu a dominância de valores acima de 300, indicando origem, predominantemente continental para este período estudado (chuvoso/2014).

Já os valores da razão elementar C/P dos sedimentos do período seco/2015 (figura 37), apresentaram variações entre 14,14 e 123015. Também foram observados valores de razão C/P indicativos de matéria orgânica de origem, predominantemente, mista e continental na amostras ao longo do estuário. No entanto, foram observados valores mais baixos (< 200) de C/P, indicativos de matéria orgânica de origem marinha e bacteriana em algumas amostras do estuário superior (ST 1, 2, 4 e 5). No geral, ocorreu a dominância de valores acima de 300, indicando origem, predominantemente continental como no período anterior.

Figura 30: Distribuição dos teores de Fósforo Total ($\mu\text{Mol/g}$) dos sedimentos no período chuvoso (setembro/2015). Fonte: Diego Xavier – LABOGEO/UFPE (2016).

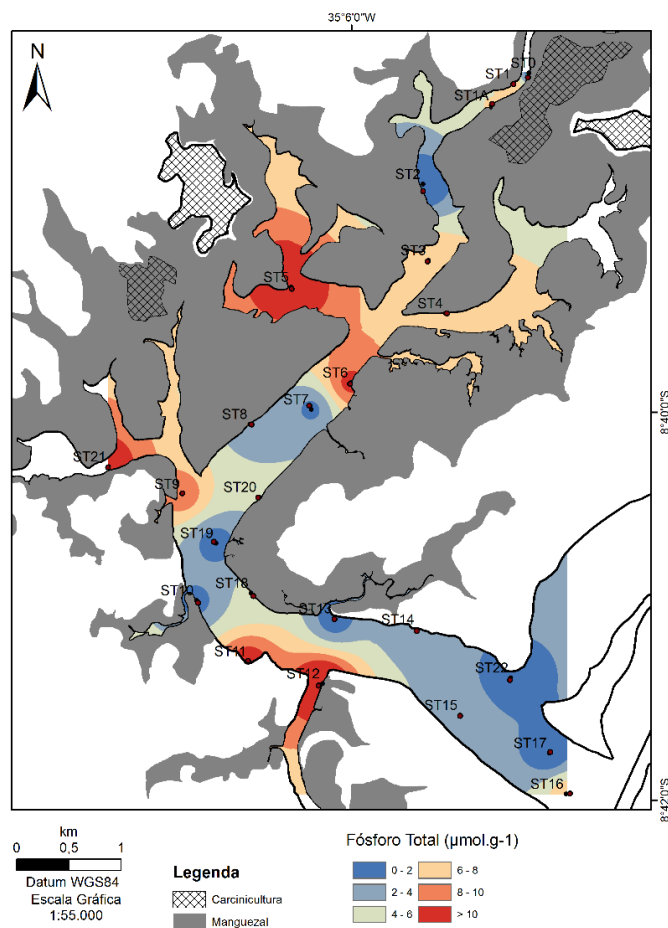


Figura 31: Distribuição dos teores de Fósforo Total ($\mu\text{Mol/g}$) dos sedimentos no período seco (março/2015). Fonte: Diego Xavier – LABOGEO/UFPE (2016).

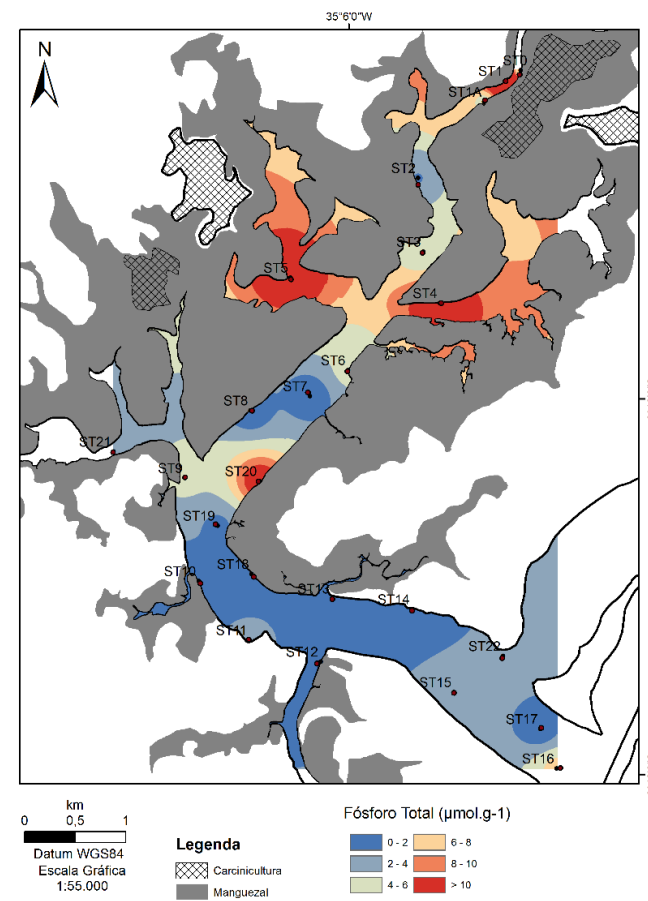


Figura 32: Distribuição dos teores de Fósforo Orgânico ($\mu\text{Mol/g}$) dos sedimentos no período chuvoso (setembro/2014). Fonte: Diego Xavier – LABOGEO/UFPE (2016).

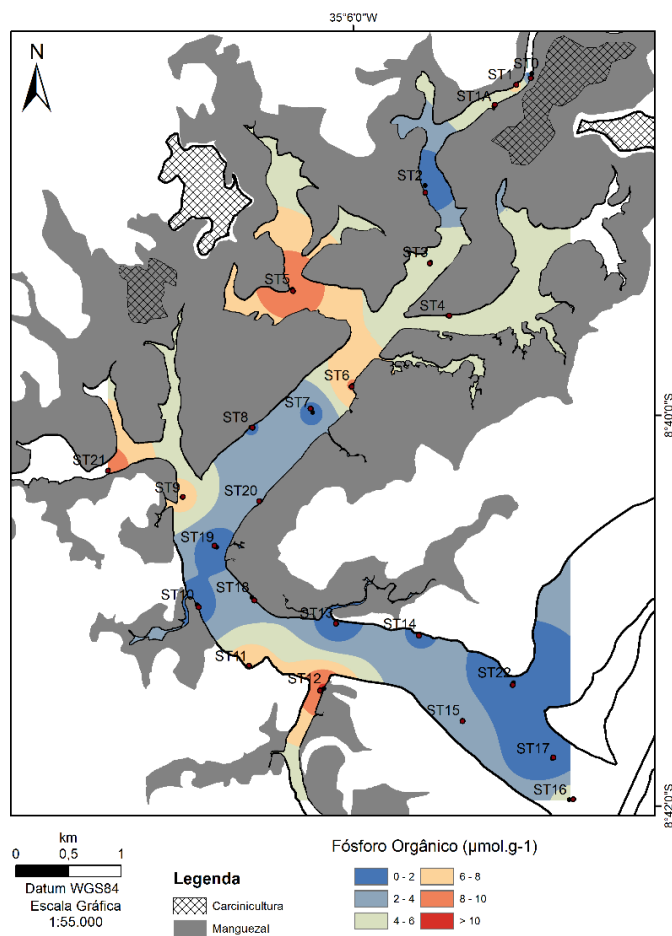


Figura 33: Distribuição dos teores de Fósforo Orgânico ($\mu\text{Mol/g}$) dos sedimentos no período seco (março/2015). Fonte: Diego Xavier – LABOGEO/UFPE (2016).

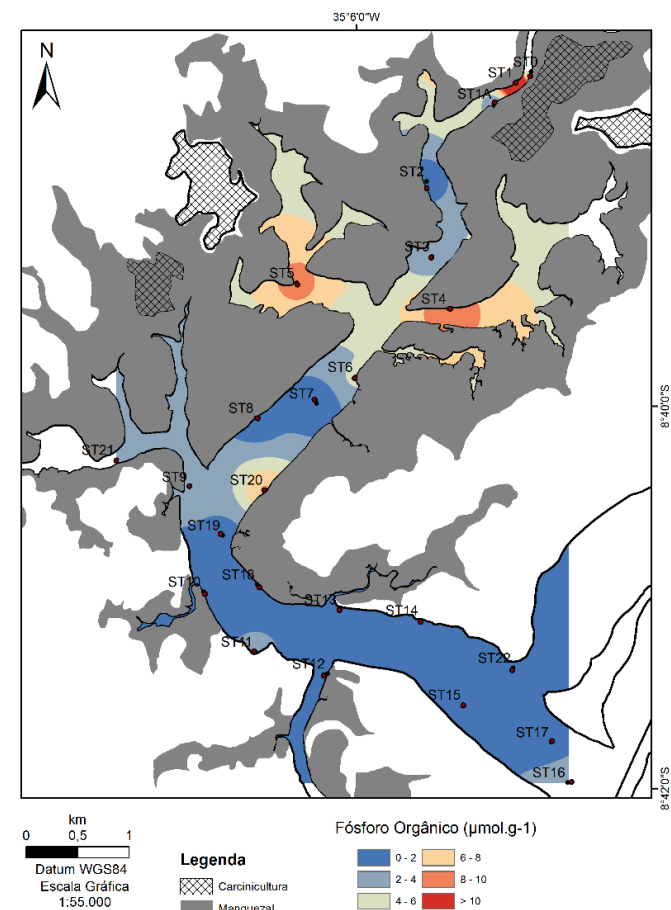


Figura 34: Distribuição dos teores de Fósforo Inorgânico ($\mu\text{Mol/g}$) dos sedimentos no período chuvoso (setembro/2014). Fonte: Diego Xavier – LABOGEO/UFPE (2016).

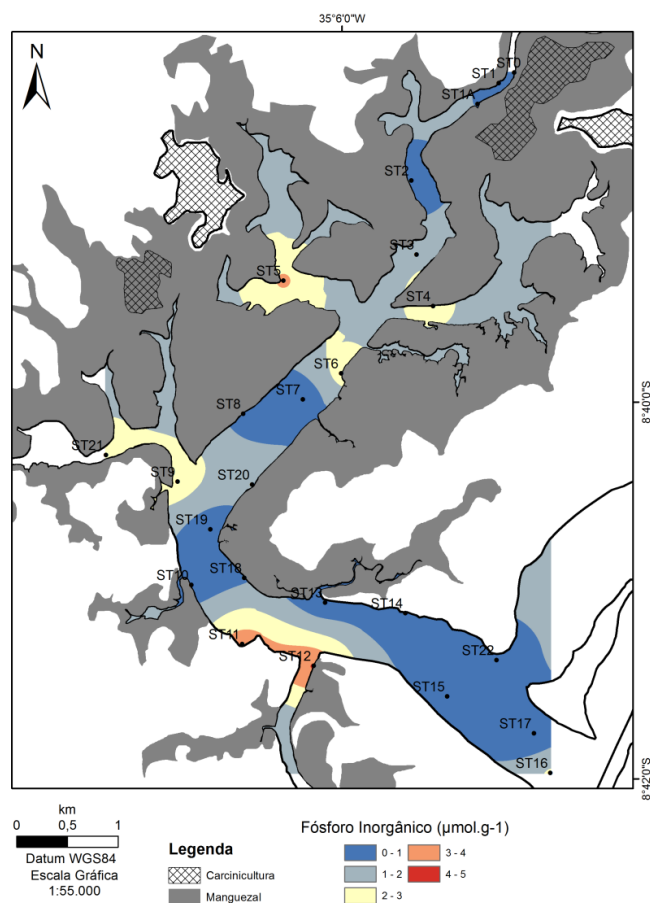


Figura 35: Distribuição dos teores de Fósforo Inorgânico ($\mu\text{Mol/g}$) dos sedimentos no período seco (março/2015). Fonte: Diego Xavier – LABOGEO/UFPE (2016).

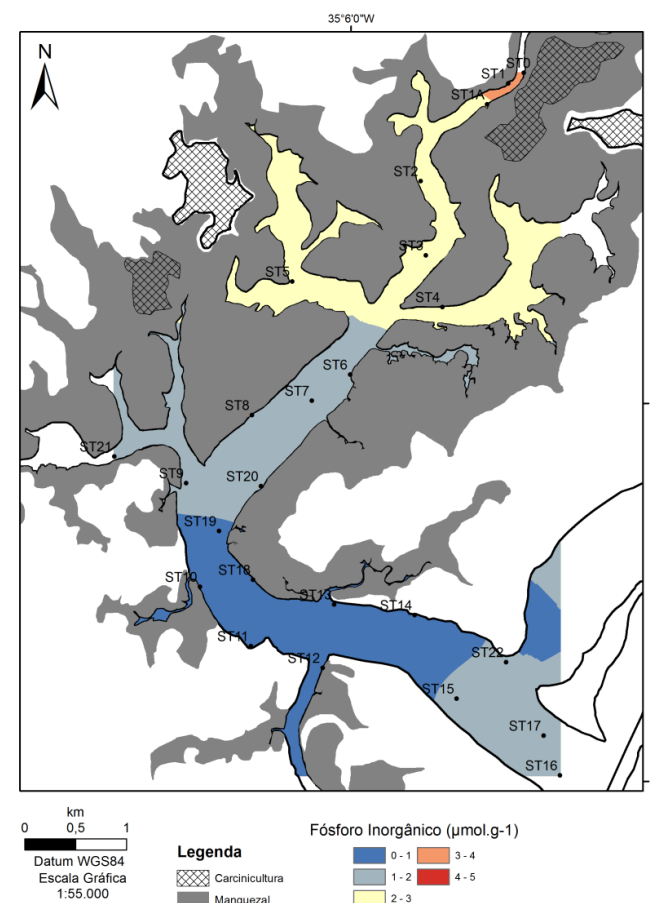


Figura 36: Distribuição da razão elementar C/P dos sedimentos no período chuvoso (setembro/2014). Fonte: Diego Xavier – LABOGEO/UFPE (2016).

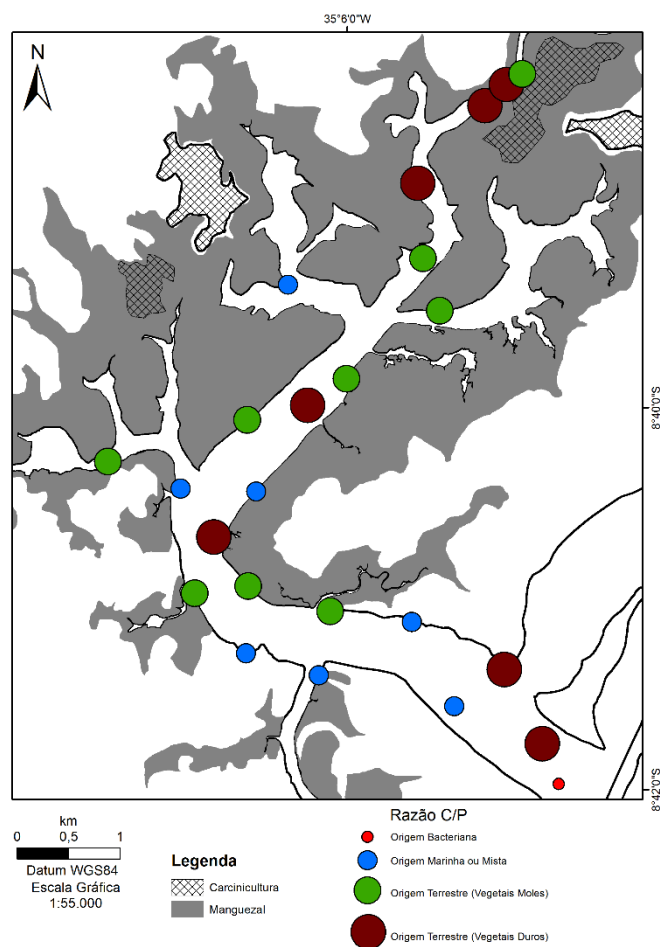
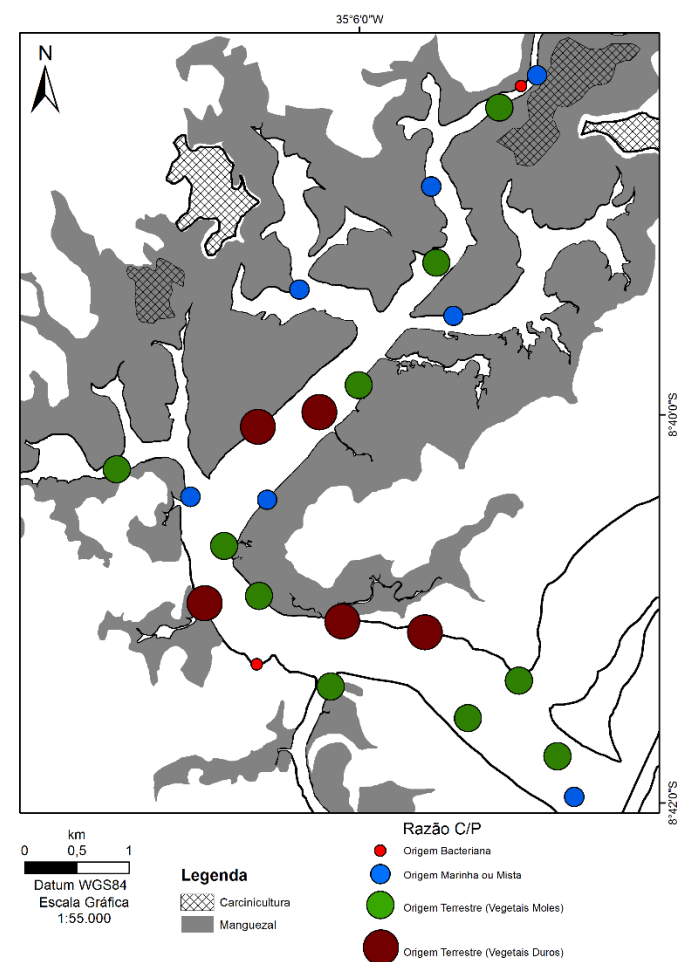


Figura 37: Distribuição da razão elementar C/P dos sedimentos no período seco (março/2015). Fonte: Diego Xavier – LABOGEO/UFPE (2016).



6.3 RESULTADOS DAS ANÁLISES ESTATÍSTICAS

6.3.1 Análise de Agrupamento (Cluster)

Os resultados da análise de agrupamento para os dados coletados estão representados nas figuras 38 e 39 (período chuvoso/2014 e período seco/2015, respectivamente). Os parâmetros utilizados na análise foram: cascalho, areia, lama, CaCO_3 , MOT, COT, PT, POT, PIT.

A faciologia relativa de sedimentos para o período de estudo, permitiu o reconhecimento de três classes de acordo com o nível de corte adotado para o período chuvoso/2014 e o reconhecimento de duas classes e duas amostras isoladas que não se inseriram em nenhum grupo no nível de corte adotado para o período seco/2015. Foram determinadas essas classes a partir de dados obtidos através de um corte transversal de distância euclidiana 4 na análise de agrupamento (cluster). Suas características particulares estão descritas na tabela 8 e 9 (período chuvoso/2014 e período seco/2015, respectivamente).

Tabela 8: Características das classes (fácies) sedimentares reconhecidas através da análise de agrupamento (Cluster) dos sedimentos no período chuvoso/2014.

	Cascalho (%)	Areia (%)	Lama (%)	CaCO_3 (%)	MOT (%)	COT (%)	PT (%)	PO (%)	PI (%)
Fáceis I	1,14	96,58	2,28	12,45	8,15	1,56	0,02	0,01	0,01
Fáceis II	0,93	64,34	34,73	10,53	15,73	2,72	0,03	0,01	0,02
Fáceis III	19,77	67,78	12,45	4,55	16,30	5,33	0,03	0,01	0,02

Tabela 9: Características das classes sedimentares reconhecidas através da análise de agrupamento (Cluster) dos sedimentos no período seco/2015.

	Cascalho (%)	Areia (%)	Lama (%)	CaCO ₃ (%)	MOT (%)	COT (%)	PT (%)	PO (%)	PI (%)
Fáceis I	3,90	95,83	0,27	8,25	3,56	2,07	0,01	0,00	0,01
Fáceis II	0,11	75,15	24,73	11,6	12,97	3,97	0,03	0,02	0,01
Isolada ST1	10,28	89,54	0,18	3,60	4,03	1,31	0,07	0,05	0,02
Isolada ST 1A	1,55	28,05	70,41	17	35,77	6,01	0,02	0,01	0,01

Figura 38: Dendrograma – Análise de agrupamento (Cluster) dos sedimentos no período chuvoso/2014.

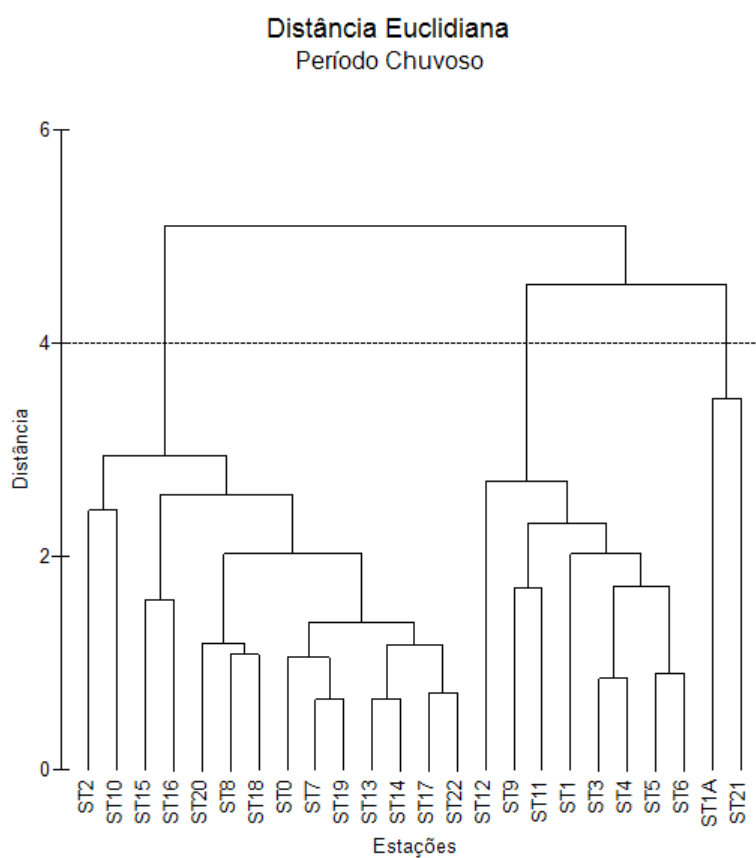
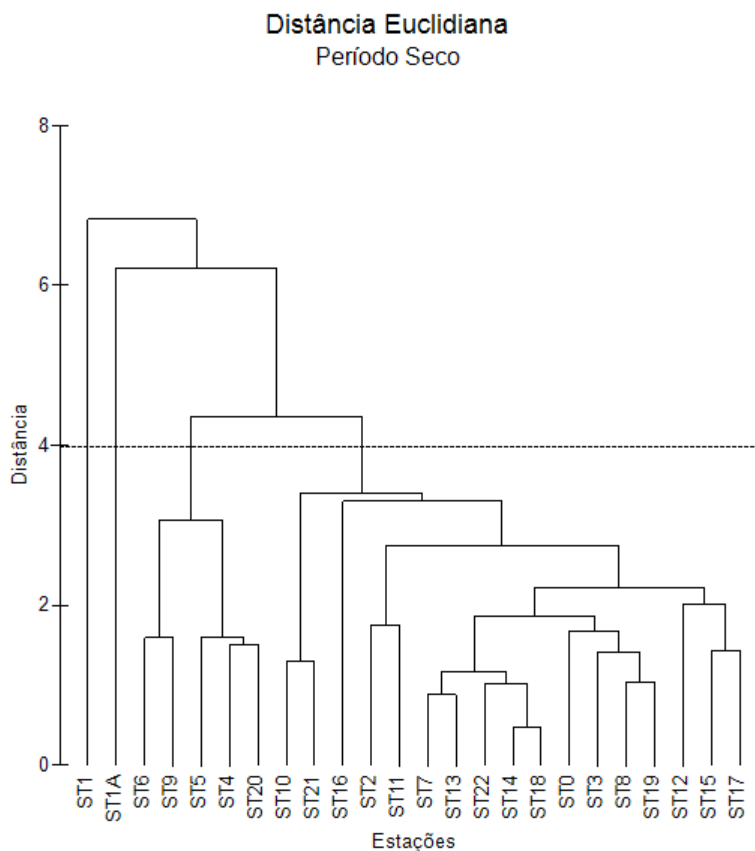


Figura 39: Dendograma – Análise de agrupamento (Cluster) dos sedimentos no período seco/2015



Os agrupamentos apresentados foram diferenciados, principalmente pelos teores de sedimentos arenosos, sedimentos lamosos, sedimentos cascalhosos, MOT, COT e fósforo inorgânico (período chuvoso/2014). No caso do período seco/2015, os agrupamentos foram diferenciados pelos teores de sedimentos arenosos, sedimentos lamosos, MOT e fósforo orgânico e inorgânico.

A figura 40 apresenta o estuário subdividido com base nessas fácies sedimentares para o período chuvoso (setembro/2014). A fácies I é caracterizada por amostras com percentuais da fração areia maior que 85% com baixos teores de MOT, fósforo orgânico e COT. Com médias da fração de areia de 96,58%, MOT 8,15% e COT 1,56%. Essa fácies é predominante nas estações situadas no setor médio e inferior do estuário com algumas estações mais a montante deste estuário, ST 0 e ST 02. A fácies II é composta por amostras que contém os maiores teores de lama, MOT, COT e fósforo orgânico e inorgânico. Com médias da fração lamosa de 34,73%, MOT de 15,73% e COT 2,72%, PO

0,01%, PI 0,03%. A fácies está distribuída nas estações (ST 01, 03, 04, 05, 06, 09, 11 e 12) mais a montante do estuário com exceção das amostras ST 11 e ST12 que estão distribuídas no baixo estuário. A fácies III é composta apenas por duas amostras (ST 1A e 21) com altos teores da fração cascalho, 14,08% e 25,46%, respectivamente (média 19,77%), MOT (média de 16,30%), baixos teores de CaCO_3 (média 4,55%) e alto teor de COT 5,33 em relação as outras 2 fácies.

A figura 41 apresenta o estuário subdividido com base nessas fácies sedimentares para o período seco/2015. A fácies I, caracterizada pelas amostras com o percentual da fração areia maior (média de 95,83%) e baixo teor de MOT (média 3,56%). Já a fácies II é caracterizada por amostras com baixo percentuais da fração cascalho (média de 0,11%), altos percentuais da fração areia (média 75,15%), CaCO_3 e MOT (média 12,97%). Essa fácies é predominante nas estações ST 4, 5, 6, 9 e 20 situadas no setor médio e na desembocadura dos tributários do canal principal do estuário. Neste período (seco/2015), observam-se duas amostras isoladas (ST1 e 1A). A ST1, diferencia-se das demais pelos seguintes fatores: apresentou alto percentual da fração cascalho (10,28%), apresentou um certa semelhança com a fácies I com a presença de alto percentual da fração areia (89,54%), e com a fácies II pelo baixo teor de CaCO_3 (3,60%), MOT (4,03%) e COT (1,31%). Já a amostra ST1A, é caracterizada pelo alto percentual da fração lamosa, CaCO_3 (17,00%), MOT (35,77%), COT (6,01%), fósforo orgânico (0,05%) e fósforo total (0,07%).

Figura 40: Fácies sedimentares definidas a partir da análise de agrupamento no período chuvoso/2014. Fonte: Diego Xavier – LABOGEO/UFPE (2016).

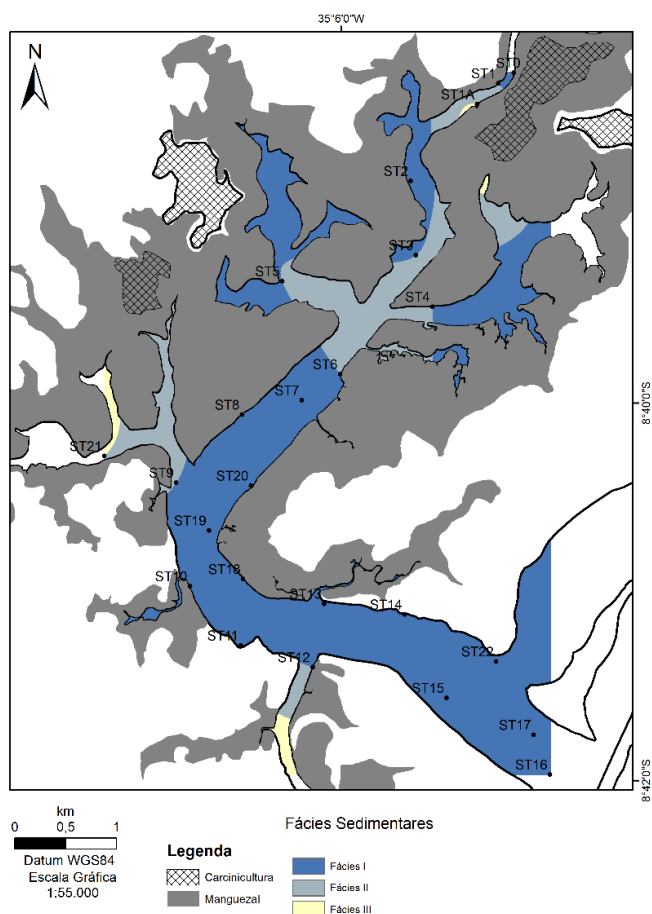
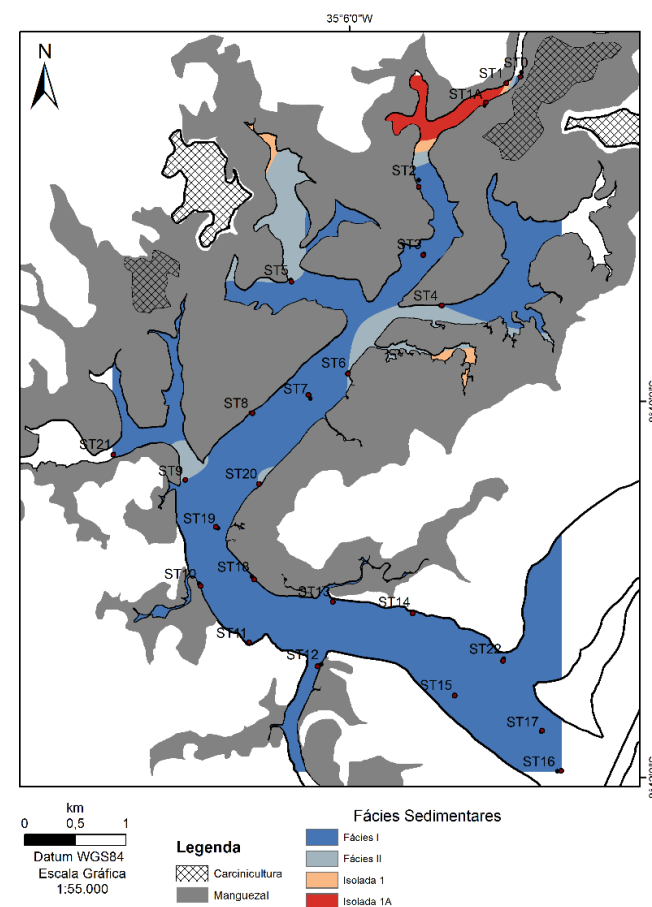


Figura 41: Fácies sedimentares definidas a partir da análise de agrupamento no período seco/2015. Fonte: Diego Xavier – LABOGEO/UFPE (2016).



6.3.2 Análise de componentes principais (ACP)

No período chuvoso/2014, obteve-se que o conjunto dos principais autovetores detém 81,6% da informação total da variação, onde o componente PC1 apresentou 63,3% e o PC2 18,3% (Tabela 10). Já para o período seco/2015, obteve-se que o conjunto dos principais autovetores detém 73,5% da informação total da variação, onde o componente PC1 apresentou 50,5% e o PC2 23,0% (Tabela 11).

Os componentes principais calculados através do PCA dos sedimentos estão apresentados nas tabelas 11 e 13 (período chuvoso/2014 e período seco/2015, respectivamente). No período chuvoso/2014, a primeira componente (PC1) reflete os teores de sedimentos arenosos e a segunda componente (PC2) os teores de sedimentos mais cascalhosos. Com base nesta análise dos componentes principais, as amostras foram aglutinadas em três grupos distintos (Figura 42):

- O grupo 1 reúne as cargas mais positivas do PC1, correspondendo as amostras que apresentaram sedimentos arenosos.
- O grupo 2 reúne as cargas mais negativas do PC1 e PC2, correspondendo as amostras que apresentaram sedimentos finos com maiores teores de matéria orgânica e fósforo inorgânico.
- O grupo 3 reúne as cargas mais negativas do PC1 e mais positivas do PC2, correspondendo as amostras que apresentaram sedimentos finos e cascalhosos com maiores teores de COT e MOT.

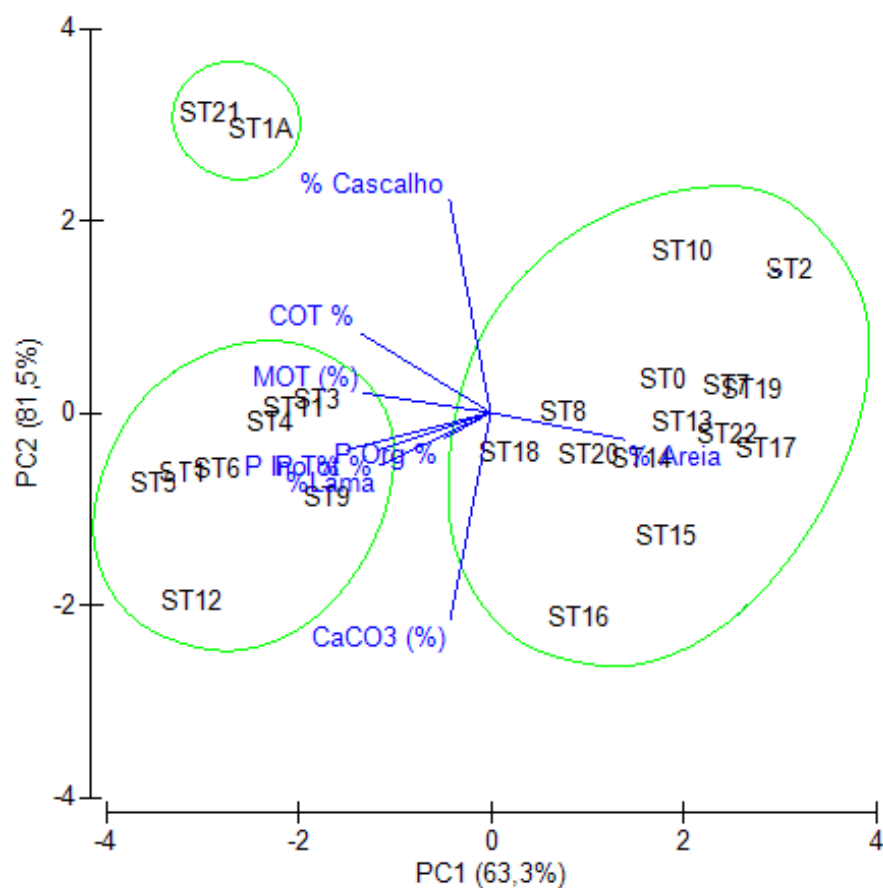
Tabela 10: Autovalores calculados com base nas variações utilizadas para análise dos sedimentos no período chuvoso/2014.

PC	Autovalor	Variação (%)	Variação acumulada (%)
1	5,52	63,3	63,3
2	1,59	18,3	81,5

Tabela 11: Componentes principais calculadas através do PCA dos sedimentos no período chuvoso/2014.

Variável	PC1	PC2
Cascalho (%)	-0,128	0,664
Areia (%)	0,418	-0,083
Lama (%)	-0,349	-0,166
MOT (%)	-0,397	0,061
CaCO ₃ (%)	-0,127	-0,652
POT (%)	-0,146	-0,081
PIT (%)	-0,452	-0,116
PT (%)	-0,350	-0,117
COT (%)	-0,408	0,249

Figura 42: Análise dos componentes principais (ACP) dos sedimentos no período chuvoso/2014.



No período seco/2015, a primeira componente (PC1) reflete os teores de sedimentos arenosos e a segunda componente (PC2) os teores de sedimentos com mais fósforo orgânico. Com base nesta análise dos componentes principais, as amostras foram aglutinadas em dois grupos distintos e duas amostras isoladas (Figura 43):

- O grupo 1 reúne as cargas mais positivas do PC1, correspondendo as amostras que apresentaram sedimentos arenosos.
- O grupo 2 reúne as cargas mais negativas do PC1 e PC2, correspondendo as amostras que apresentaram sedimentos finos com maiores teores de matéria orgânica e fósforo orgânico.
- A amostra isolada ST1 reúne as cargas mais negativas do PC1 e mais positivas do PC2, correspondendo a amostra que apresentou o maior teor de fósforo orgânico e fósforo total.
- A amostra isolada ST1A reúne as cargas mais negativas do PC1 e mais negativas do PC2, correspondendo a amostra com maior teor de finos e fósforo orgânico.

Tabela 12: Autovalores calculados com base nas variações utilizadas para análise dos sedimentos no período seco/2015.

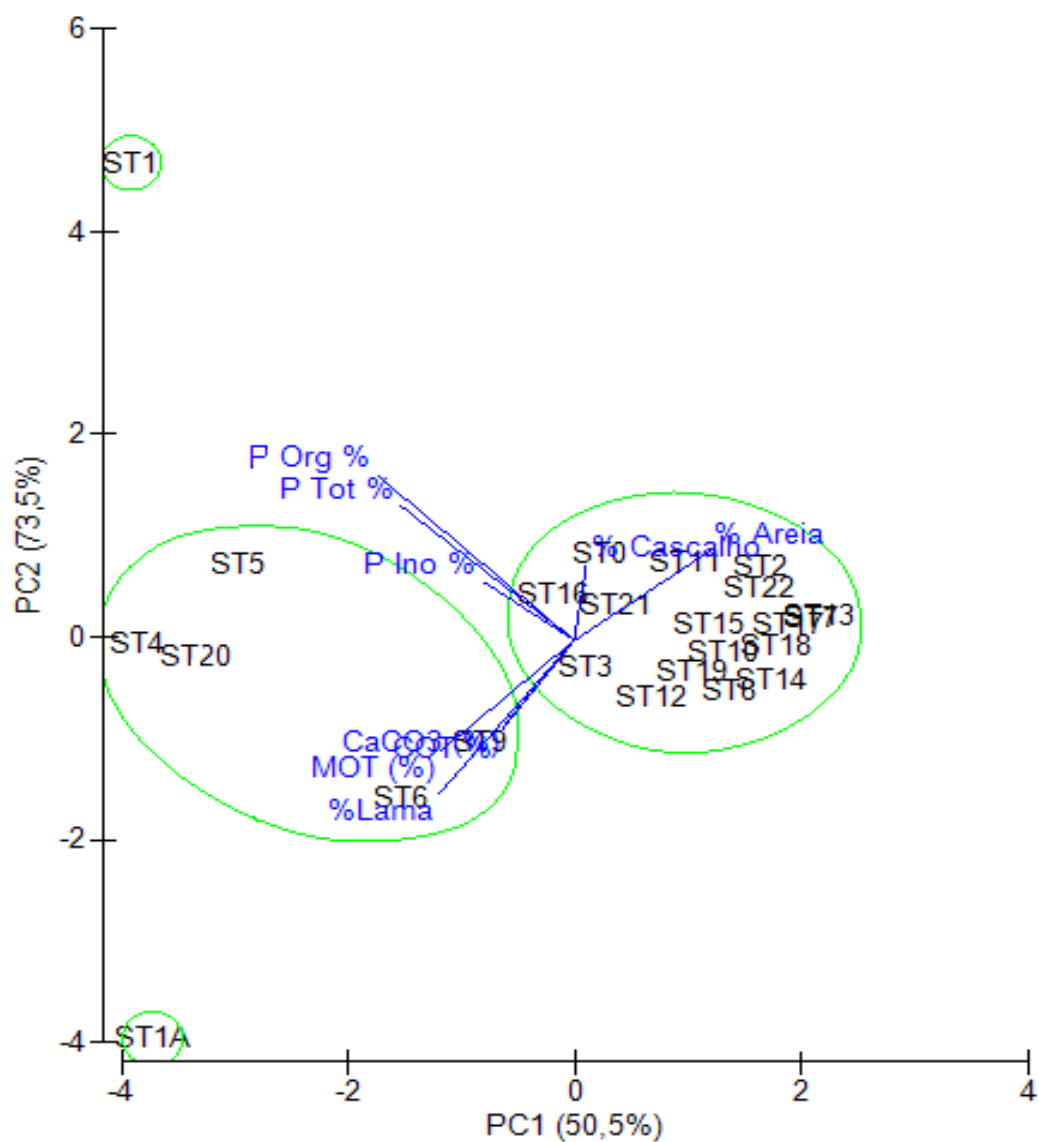
PC	Autovalor	Variação (%)	Variação acumulada (%)
1	4,32	50,5	50,5
2	1,97	23,0	73,5

Tabela 13: Componentes principais calculadas através do PCA dos sedimentos no período seco/2015.

Variável	PC1	PC2
Cascalho (%)	0,031	0,222
Areia (%)	0,359	0,265

Lama (%)	-0,360	-0,457
MOT (%)	-0,355	-0,328
CaCO ₃ (%)	-0,183	-0,250
P Org (%)	-0,523	0,490
P Ino (%)	-0,242	0,174
P Tot (%)	-0,460	0,399
COT (%)	-0,195	-0,270

Figura 43: Análise dos componentes principais (ACP) dos sedimentos no período seco/2015.



7 DADOS COMPLEMENTARES

7.1 ANÁLISE COMPOSICIONAL DA FRAÇÃO ARENOSA

Na análise composicional da fração arenosa, foram identificados nas amostras: fragmentos de coral (CORAL), gastrópodes (GAST), foraminíferos (FOR), escafópoda (ESC), equinodermas (EQUI), briozoários (BRIO), bivalve (BIV), poliqueta (POL), diatomácea (DIAT) e alguns fragmentos biogênicos que não foram identificados (FBNI). Observaram-se também grãos de quartzo (QTZ), mica (MICA), fragmentos vegetais (FRAGV), minerais pesados (MPES), quartzo limonitizado (QTZL) e fragmentos de rocha (FRAGR). Para o total do grupo de biogênicos marinhos foi utilizada a sigla (TBM) e para os constituintes terrígenos (TTR).

No presente estudo os resultados obtidos nas frações 0,500 mm (1 ϕ) e 0,250 mm (2 ϕ) foram interpretados de maneira diferenciada. Visto que de acordo com Pilkey et al. (1967, apud MAHIQUES et al., 1998) os fragmentos bioclásticos são mais comumente encontrados nas frações 0,500 mm (1 ϕ) do que na fração 0,250 mm (2 ϕ).

No geral, para ambos os períodos estudados, ocorreu uma predominância de sedimentos com influência terrígena de composição quartzosa (índice B.M. = < -0,02), predominando índices B.M. < -0,92 (83,33% para as amostras do período chuvoso em ambas as frações e 58,33% para as amostras do período seco também para ambas as frações) com exceção da amostra 16 (estação mais externa do estuário) que apresentou maiores conteúdos de grãos biogênicos marinhos na malha de 0,500mm para o período chuvoso (B.M. = 0,68) e na malha de 0,250mm para o período seco (B.M = 0,6) (figuras 44, 45, 46 e 47).

7.2 ANÁLISE MORFOSCÓPICA DOS GRÃOS

Com relação a textura superficial dos grãos dos sedimentos, foi observado um predomínio da textura fosca para os dois períodos analisados (95,83% e 87,50% para as peneiras de 0,500mm e de 0,250mm, respectivamente, para as amostras do período chuvoso e 91,16% e 79,16% para as peneiras de 0,500mm e de 0,250mm, respectivamente, para as amostras do período seco). Com relação ao grau de arredondamento, há uma predominância de grãos subangulosos, na fração mais finas (0,250mm) de ambos os períodos (33,33% e 45,83%, respectivamente) e na fração de grãos mais grossos (0,500mm) do período

chuvoso (54,16%), indicando um possível transporte pouco eficiente para ambos os períodos estudados. Já para a fração de grãos mais grossos (0,500mm) do período seco, há um predomínio de grãos subarredondados (41,66%). Com relação à esfericidade dos grãos, a alta esfericidade foi predominante para as amostras dos grãos em ambas as frações analisadas para os dois períodos estudados. Com um leve aumento do percentual de amostras com baixa esfericidade para o período seco na malha de 0,250mm (tabelas 14).

Tabela 14: Frequência das características morfooscópica dos sedimentos estudados para o período chuvoso (RF1) e seco (RF2) em porcentagem (%).

	RF1		RF2	
Peneiras	0,250	0,500	0,250	0,500
Fosco	87,50	95,83	75,00	66,67
Brilhoso	12,50	4,17	20,83	12,50
Sem Material	0,00	0,00	4,17	20,83
Anguloso	29,17	20,83	33,33	16,67
Subanguloso	33,33	54,17	45,83	20,83
Subarredondado	29,17	25,00	16,67	41,67
Esfericidade Alta				
Esfericidade Baixa	79,17	83,33	62,50	95,83
	20,83	16,67	37,50	4,17

Figura 44: Mapa de distribuição dos sedimentos de acordo com o índice de biogênicos marinhos (B.M) da fração 0,500mm (1 ϕ) para o período chuvoso (setembro/2014). Fonte: Diego Xavier – LABOGEO/UFPE (2016).

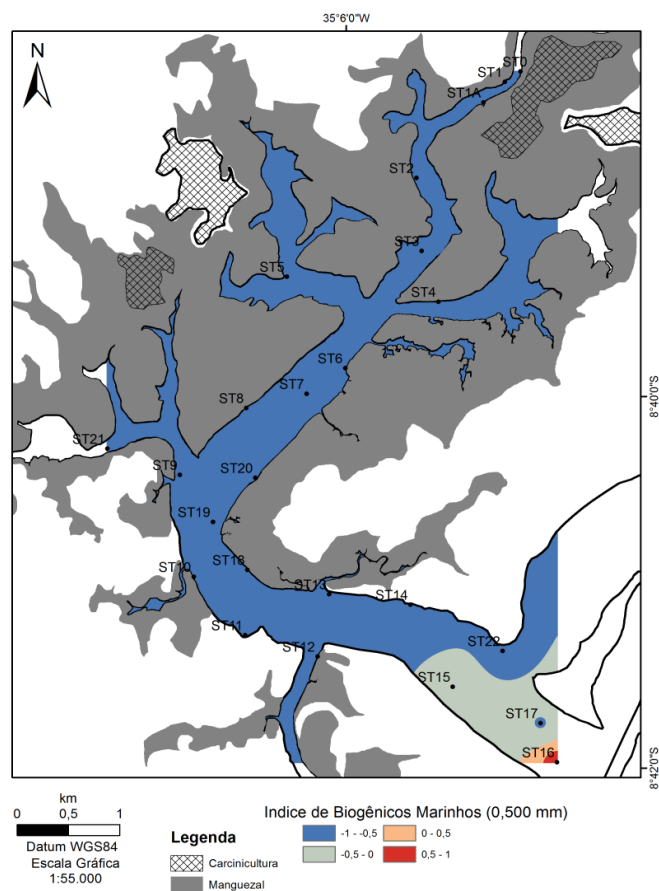


Figura 45: Mapa de distribuição dos sedimentos de acordo com o índice de biogênicos marinhos (B.M) da fração 0,250mm (2 ϕ) no para o período chuvoso (setembro/2014). Fonte: Diego Xavier – LABOGEO/UFPE (2016).

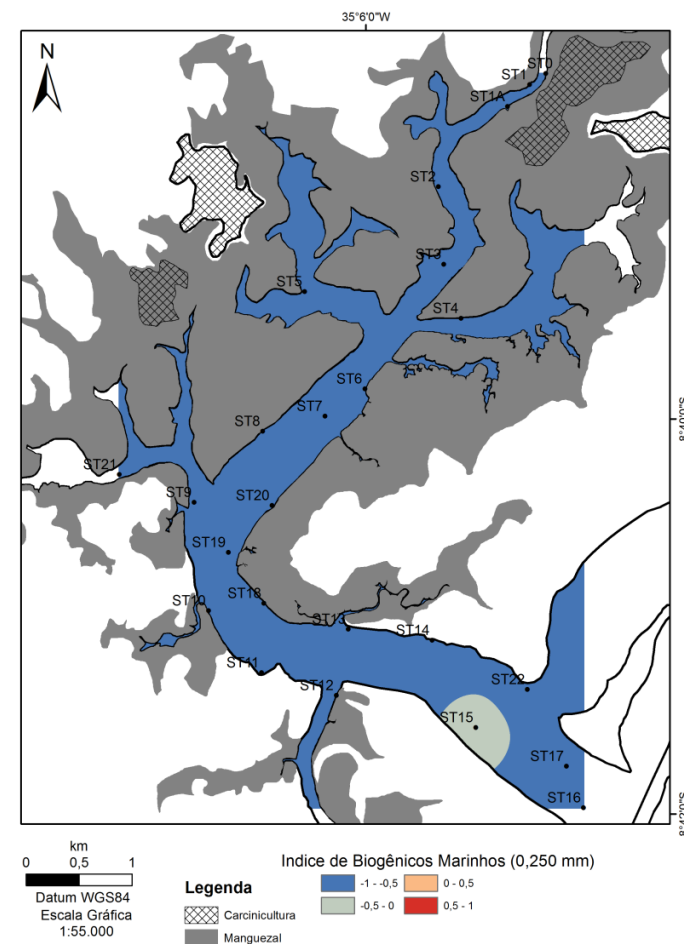


Figura 46: Mapa de distribuição dos sedimentos de acordo com o índice de biogênicos marinhos (B.M) da fração 0,500mm (1ϕ) no estuário do Rio Formoso para o período seco (março/2015). Fonte: Diego Xavier – LABOGEO/UFPE (2016).

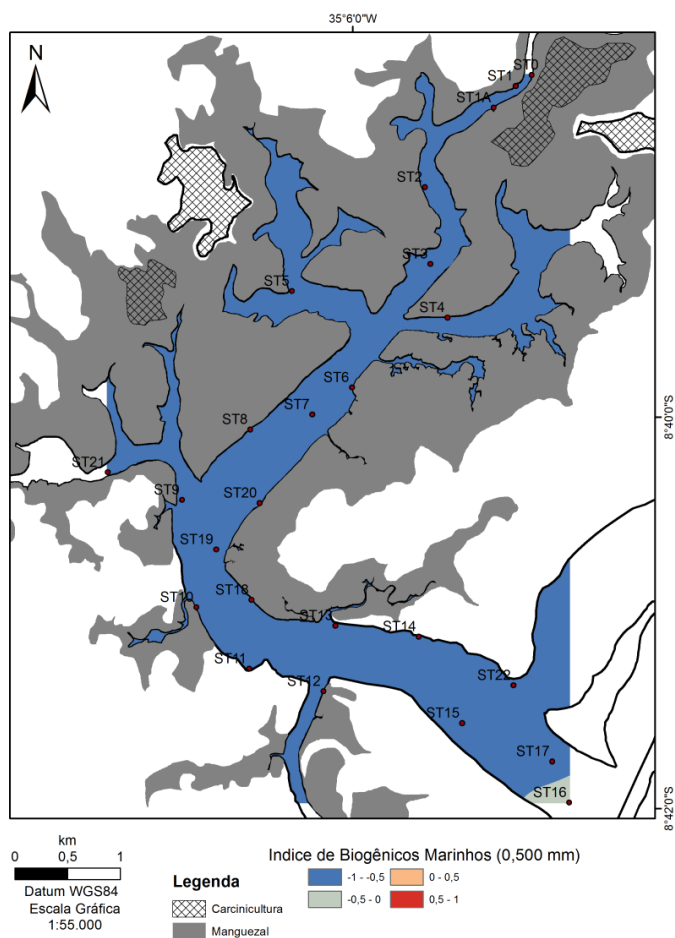
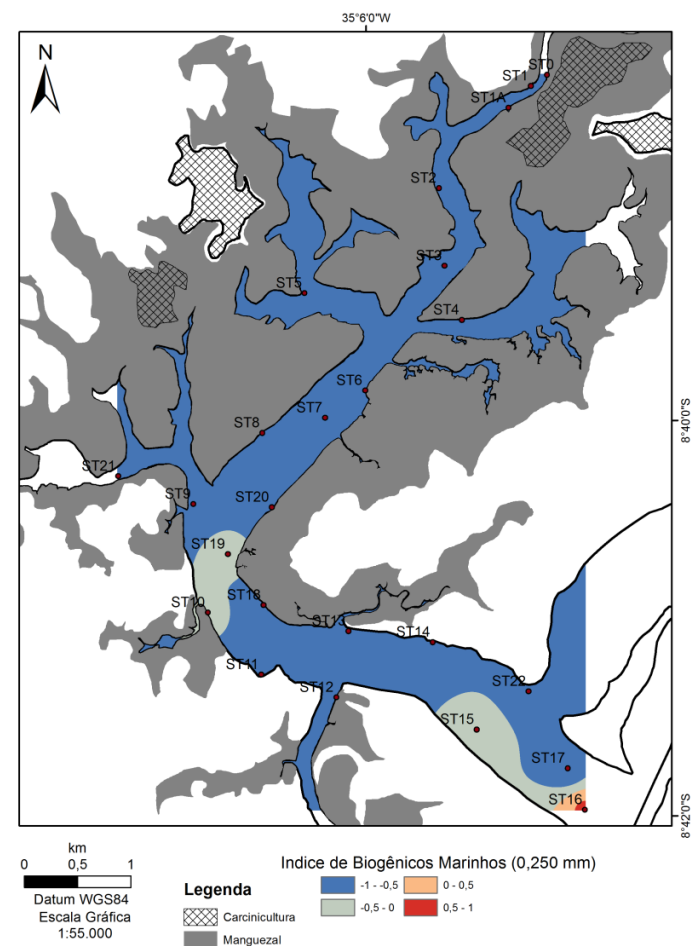


Figura 47: Mapa de distribuição dos sedimentos de acordo com o índice de biogênicos marinhos (B.M) da fração 0,250mm (2ϕ) no estuário do Rio Formoso para o período seco (março/2015). Fonte: Diego Xavier – LABOGEO/UFPE (2016).



8 DISCUSSÃO INTEGRADA DOS DADOS

O estuário do Rio Formoso apresenta vazões reduzidas em torno de 5 m³/s e com um tempo de residência de aproximadamente 11-12 dias (LIRA et al., 1979). Pertence a uma área de proteção ambiental (APA de Guadalupe), entretanto, trabalhos anteriores, Silva (2008) e Santos (2002), indicam que as atividades que ocorrem em seu entorno possuem um grande potencial para degradação ambiental. Tais como: uso de agrotóxicos aplicados na atividade canavieira, o lançamento de dejetos e efluentes através do lançamento dos esgotos no Rio Formoso, a existência de lixões e tanques de carcinicultura na região do estuário superior.

Independente da época, a área de estudo possui uma cobertura sedimentar composta por material terrígeno (>58,33%), dominado por areias quartzosas, pobremente selecionadas, com baixos teores orgânicos (MOT com predomínio < 10%; COT < 4% e Porg < 5 µMol/g) e de origem continental (C/Porg >300), associada a um ambiente de energia moderada devido à proteção dos recifes na desembocadura do estuário, à média amplitude de maré e à uma descarga líquida fluvial de pequeno porte.

No estudo sedimentológico sazonal, foram encontrados sedimentos que variaram de silte fino à areia grossa. Foi observado um maior predomínio de sedimentos arenosos no período seco (83,33%) do que chuvoso (70,83%), além de uma maior presença de sedimentos lamosos nas amostras do período chuvoso (29,17%) do que no seco (16,67%). Barcellos et al. (2016) e Oliveira (2014) também encontraram a mesma tendência sedimentar sazonal nos estuários da Região Metropolitana do Recife (RMR). Barcellos et al. (2016) no estuário do rio Jaboatão encontrou um aumento em média de 10% de lama para o período chuvoso. E Oliveira (2014), no estuário do rio Capibaribe, encontrou um aumento em média de 25% de lama também para a época chuvosa.

Para ambos os períodos estudados, a fração cascalho teve pouca participação no total das amostras, predominando sedimentos com conteúdos da fração cascalho abaixo de 1% (75,00 e 62,50%, chuvoso e seco, respectivamente). E a maior proporção da fração de lama com teores acima de 50% ocorreu no estuário superior. Em relação ao grau de seleção, predominou

sedimentos pobremente a muito pobremente selecionados. A heterogeneidade do tamanho dos grãos e, conseqüentemente, uma diminuição do grau de seleção no período chuvoso pode estar associada à maior influência da mistura de aportes fluviais e marinhos e ao aumento dos teores de lama para este período. Ao passar para o período seco, a heterogeneidade diminui e, conseqüentemente, aumenta o grau de seleção para esta época. Resultados similares foram encontrados por Silva (2008) no estuário do Rio Formoso, apresentando um predomínio de amostras arenosas ao longo do estuário, com pouca participação da fração cascalho (concentrando-se nas maiores profundidades e já próximo à praia de Pedras, médio estuário), maior concentração da fração lama também a montante do estuário, e as menores no trecho mediano e inferior associado às margens do canal. O autor, também encontrou, com relação ao grau de seleção das amostras, uma tendência ao mal selecionamento.

No entanto, elevados teores de cascalho foram observados nas amostras ST 1A com 14,08% e ST21 com 25,46% (período chuvoso/2014) e ST1 com 10,28% e ST21 com 16,46% (período seco/2015). Vale ressaltar que não é tão comum encontrar teores elevados deste material mais cascalhoso em porções mais internas de estuários, uma vez que o fluxo hidrodinâmico nestes setores é menor (Silva, 2008). Sendo assim, sugere-se que esta fração de cascalho não está associada à origem biogênica marinha, visto que não apresentou correlação significativa com o parâmetro CaCO_3 ($r_s = -0,25$; $p < 0,05$, período chuvoso/2014 e $r_s = -0,17$; $p < 0,05$, período seco), e sim, à origem biogênica vegetal. Na análise composicional da fração arenosa, a estação ST1A apresentou em média 50% de fragmentos vegetais e a estação ST21 em torno de 30% para o período chuvoso (setembro/2014). Já no período seco (março/2015), houve uma diminuição dos teores de fragmentos vegetais para a estação ST21 apresentando em torno de 20% desses fragmentos. Por outro lado, não foi possível verificar os teores de fragmentos vegetais para a estação ST1A no período seco em virtude desta não possuir material suficiente nas frações selecionadas (0,500 mm e 0,250mm) para a realização da análise proposta.

No estudo geoquímico, com relação aos teores de carbonato de cálcio, independente da época, indica uma ocorrência de sedimentos litoclásticos, ou

seja, com conteúdos abaixo de 30% de acordo com Larssoneur et al. (1982). É possível observar um gradiente de CaCO_3 aumentando no sentido do mar (figuras 24 e 25). Na zona entre os recifes e a desembocadura do estuário, propriamente dita, a porcentagem de carbonato é maior, atingindo valores de até 57,40% para o período chuvoso e de 45,30% para o período seco na amostra da ST16 associada à areia média de acordo com a classificação textural de Shepard (1954) para ambas as épocas. Sendo esta, a amostra que apresentou maiores conteúdos de sedimentos biogênicos marinhos (média de 60%) e maior índice B.M. para o período chuvoso e seco. Lira et al. (1979), também observou este comportamento gradacional para o CaCO_3 no estuário do Rio Formoso. No entanto, observou valores de até 14%, bem inferiores aos encontrados pela presente pesquisa. Lira et al. (1979) ainda observou que não existe fonte de carbonato para o estuário proveniente das terras circundantes uma vez que a área está representada por rochas cristalinas graníticas, alguns remanescentes dos vulcanismos mesozóicos que ocorre na região do Cabo e sedimentos do Grupo Barreiras. Resultados semelhantes com o predomínio de sedimentos litoclásticos também foram encontrados para outros estuários na costa Pernambucana por Alves (2016), Barcellos et al. (2016), Oliveira et al. (2014), Alves et al. (2013) e Oliveira et al. (2013). Alves (2016) no estuário do Rio Goiana encontrou valores entre 0,90% e 27,10%, Barcellos (2016) no estuário do rio Jaboatão em média 17,40%. Oliveira (2014) no estuário do rio Capibaribe constatou uma variação entre 3,70% e 79,10% para o período chuvoso e de 2,04% e 76,10% para o período seco. Alves et al. (2013) no estuário do Rio Jaboatão obteve valor médio de 17,40% em novembro de 2010 e de 15,50% em maio de 2011. E enquanto Oliveira et al. (2013) no estuário do rio Capibaribe observou variação de 6,30% a 19,00% em julho de 2010 e de 2,50% a 48,70% em setembro de 2011.

Com relação à sazonalidade, 66,67% das amostras do período seco/2015 apresentaram uma redução com relação ao seu percentual de carbonato com relação ao período anterior estudado. Além de um aumento considerável, para amostra ST1A, localizada a montante do estuário (1,9% para 17,0%). Os teores de CaCO_3 , normalmente, encontram-se mais associados a sedimentos com maiores teores de material biogênico, oriundos de fontes marinhas. No entanto,

a ST1A (período seco/2015) apresentou um considerável aumento com relação ao seu percentual, o que não era esperado. Pois como se localiza no estuário superior e este não apresenta fonte de carbonato das terras circundantes, pode ser um indicativo de um possível aporte externo para área. Visto que não foi identificado nenhum fragmento de origem biogênica marinha na análise composicional da fração arenosa. Alves (2016) também observou amostras com alto teor de CaCO_3 (19,14% a 24,88%) em estações mais internas do estuário do Rio Goiana (PE) adjacente às áreas de carcinicultura.

Com relação aos teores de matéria orgânica total, independentemente da época, houve um predomínio de valores abaixo de 10% com médias de 8,15% e 6,88% (chuvoso e seco, respectivamente) associados, no geral, a sedimentos mais arenosos localizados na região central para o baixo estuário (desembocadura). Foi observada a variação sazonal, com maiores teores de matéria orgânica na estação chuvosa. Quanto à variação espacial, ocorreu um acréscimo no sentido do estuário inferior para o superior (figuras 26 e 27). Apresentaram correlações positivas com o percentual de lama ($r_s = 0,81$; $p < 0,05$ e $r_s = 0,87$; $p < 0,05$, chuvoso e seco, respectivamente), com o COT ($r_s = 0,85$; $p < 0,05$ para o período chuvoso/2014 e $r_s = 0,68$; $p < 0,05$ para o período seco/2015) e com o conteúdo de fósforo (total, orgânico e inorgânico) em ambos os períodos (apêndices a e b). No entanto, valores acima de 25% foram encontrados na amostra da ST1 (29,57% no período chuvoso) e da ST1A (35,77% no período seco) localizadas no estuário superior adjacente a área de tanques de carcinicultura. Teores relativamente altos também foram encontrados nas amostras da ST4, ST5, ST6 e ST21 (17,87%, 19,77%, 18,47% e 17,67%, respectivamente para o período chuvoso e 16,17%, 13,73%, 15,57% e 4,67%, respectivamente para o período seco). De acordo com a classificação para sedimentos proposta por Naumann (1930, apud Esteves, 1998), sedimentos com concentrações de MO menores que 10% são do tipo minerais, enquanto sedimentos com mais de 10% de MO são ditos orgânicos. Oliveira & Matos (2007) associa os elevados conteúdos de matéria orgânica às possíveis fontes externas e/ou influências antrópicas. Sendo assim, a explicação para estes altos valores para um estuário de pequena vazão como o Rio Formoso se deve ao fato de estarem sob influência antrópica (tanques de carcinicultura e esgoto

durante o ano inteiro) além do maior tempo de residência e áreas de mangue presentes no estuário. As amostras da ST 1 e ST1A, sob grande influência da carcinicultura pelo fato de estarem localizadas adjacentes aos tanques. Já as amostras ST4, ST5 e ST6 sofrem influência da contribuição dos afluentes, Rio Porto da Pedra, Rio dos Passos e Rio Lemenho que, principalmente no período chuvoso, recebem nutrientes das áreas adjacentes e enriquecem o estuário. Assim como a amostra ST21 que no período chuvoso recebe uma maior influência de esgoto *in natura* a céu aberto do município do Rio Formoso e dos lixos urbanos que são jogados na margem do estuário (Lira, 2010). Silva et al. (2009), encontraram valores próximos aos obtidos pelo presente estudo para a matéria orgânica, observando valores entre 2,7% a 17% para o estuário do Rio Formoso. O maior valor medido neste trabalho está associado à amostra localizada nas proximidades da ST5. Estes autores, entretanto, não analisaram amostras próximas da ST1 e ST1A. Altos teores de MOT e variação sazonal maior na estação chuvosa foram encontrados por Oliveira (2014) que no período chuvoso observou conteúdos de MOT até 30,30% no sistema estuarino do rio Capibaribe, a qual associou às fontes naturais de material advindos do Manguezal do Pina e dos aportes fluviais terrígenos do Rio Capibaribe. E por NORONHA et al. (2011) que no período chuvoso encontrou conteúdos de MOT até 25,60% nos sedimentos superficiais do rio Timbó em Paulista (PE).

No geral, o percentual de COT, independentemente da época, também apresenta baixos a médios teores ($< 3,00\%$), estando associados a sedimentos arenosos, distribuídos por todo estuário desde a montante até a foz. Para o período chuvoso foram encontrados valores entre 0,11 e 7,00% com média de 1,55% e para o período seco valores entre 0,11 e 6,01% com média de 2,65%. Sendo o maior conteúdo de COT associado à amostra ST1A para ambos os períodos estudados, chuvoso (setembro/2014) e seco (março/2015) (7,00% e 6,01%, respectivamente), localizada no estuário superior próximo aos tanques de carcinicultura. Foi observada a variação sazonal, com maiores teores de carbono orgânico total nas amostras da estação seca. Quanto à variação espacial, ocorreu um acréscimo no sentido do estuário inferior para o superior (figuras 28 e 29). Segundo Siqueira et al. (2003), a distribuição do carbono orgânico é influenciada pelos efluentes locais, pela circulação de água no

sistema e pelos parâmetros físico-químicos. Sendo assim, uma explicação possível para este comportamento de aumento do COT na passagem para período seco pode estar ligada à capacidade de renovação das águas do sistema que pode ser menor no verão do que no inverno e, conseqüentemente, preservando e acumulando mais COT na época seca.

Além da correlação positiva com a matéria orgânica, o COT apresentou correlação positiva com o percentual lamoso para ambos os períodos ($r_s = 0,74$; $p < 0,05$ para o período chuvoso/2014 e $r_s = 0,58$; $p < 0,05$ para o período seco/2015). Oliveira et al. (2014) igualmente observou valores semelhantes para os teores de carbono orgânico (0,16 a 8,99% para o período seco e 0,06 a 10,99% para o período chuvoso) associados também os baixos conteúdos a sedimentos arenosos e os altos teores a sedimentos mais lamosos e com alto teor de matéria orgânica. Resultado semelhante para o conteúdo de carbono orgânico em estuários foi encontrado por Barcellos et al (2016) no estuário do rio Jaboatão. O autor observou valores, variando de 0,08 a 7,07% (média de 2,48%) e 0,03 a 8,51% (média de 2,79%), em novembro de 2010 e maio de 2011, respectivamente. No entanto, Alves (2016) observou valores mais baixos de COT (0,00 a 2,34%) para o estuário do rio Goiana. Assim como Barcellos (2005) no sistema estuarino – lagunar de Cananéia- Iguape (SP) (valores $< 2,00\%$ na maioria de suas amostras).

Assim como o COT, o fósforo nas três frações (PT, POT e PIT) está espacialmente associado às maiores concentrações de lamas (nas amostras classificadas como silte grosso) ($r_s = 0,72$; $0,69$; $0,73$; $p < 0,05$, respectivamente), com exceção da amostra ST21, localizada no baixo estuário classificada como areia grossa de acordo com Shepard (1954) no período chuvoso/2014 e a amostra ST1, localizada no estuário superior do Rio Formoso próximo aos tanques de carcinicultura. Esta, além de apresentar um considerável teor de fósforo total no período chuvoso, teve um aumento de 222,05% na passagem para o período seco (7,21 para 23,22 $\mu\text{Mol/g}$) e foi classificada de acordo com Shepard (1954) como areia média. Foi observado uma variação do conteúdo de fósforo total de 0,02 a 14,30 $\mu\text{Mol/g}$ com média de 5,36 $\mu\text{Mol/g}$ no período chuvoso e de 0,02 a 23,22 $\mu\text{Mol/g}$ com média de 4,68 $\mu\text{Mol/g}$ no período seco. Com o predomínio de amostras com valores

inferiores a $5,00\mu\text{Mol/g}$ em ambos os períodos estudados. Onde o maior conteúdo de fósforo total e de fósforo orgânico foi na amostra da ST 12 ($14,30$ e $10,17\mu\text{Mol/g}$, respectivamente) localizada na desembocadura do rio Ariquindá e classificada como silte grosso de acordo com o diagrama triangular de Shepard (1954), podendo estar associado ao aporte de esgotos domésticos a partir do centro de Tamandaré (PE). No entanto, este comportamento não foi observado para o período seco, visto que houve uma diminuição dos parâmetros de correlação dos conteúdos de fósforos (PT, POT, PIT) com os conteúdos de lama. E, observado que o maior conteúdo de fósforo total e de orgânico foi associado a uma amostra classificada como areia média de acordo com o diagrama triangular de Shepard (1954), ST1, com conteúdos de $23,22$ e $17,23\mu\text{Mol/g}$, respectivamente. Normalmente, maiores conteúdos de fósforo total e orgânico encontram-se associados a sedimentos finos como observado por Gaspar (2008) e Barcellos (2005). No entanto, no período seco para este trabalho, foi encontrado associações de conteúdos mais elevados com grãos mais arenosos, mostrando assim, que este parâmetro não obedeceu a uma relação direta com a granulação. Uma explicação possível para este acontecimento pode estar relacionada à localização da amostra que se encontra adjacente à área de carcinicultura e ao tempo de residência maior das águas estuarinas para este período do ano.

Foi encontrada uma pequena variação sazonal, com maiores conteúdos de fósforo total nas amostras da estação chuvosa (figuras 30 e 31). Isso indica que a pluviometria teve uma relação direta com os teores de fósforo, visto que o fluxo de água doce aumentou as concentrações de fósforo para este período. Quanto à variação espacial, foi observado um acréscimo nas amostras localizadas próximas da desembocadura dos afluentes que formam o estuário para ambos os períodos. Resultados semelhantes foram encontrados por Gaspar (2008). A amostra da ST5 apresentou valores relativamente altos para ambas as épocas ($12,91$ e $13,59\mu\text{Mol/g}$, chuvosa e seca, respectivamente). Na sazonalidade ainda foi possível observar uma diminuição dos valores de correlação do COT com os conteúdos de PT, POT e PIT na transição para o período seco variando de ($0,65 < r_s < 0,77$; $p < 0,05$) para os valores de $0,29 < r_s < 0,32$; $p < 0,05$. Uma explicação possível para este comportamento diferente

entre as épocas pode estar ligada a mudança de fonte dos nutrientes. Possivelmente, no período chuvoso o COT e o fósforo possuíam a mesma fonte (água doce, continental) e no período seco diferentes fontes (aporte da carcinicultura ou maior influência marinha).

Barcellos (2005) também observou uma associação entre os valores de fósforo total com as concentrações de sedimentos mais finos. E, assim como Berbel (2008) não observou variação sazonal muito significativa deste elemento como na presente pesquisa.

Os valores da razão elementar C/P_{Org} dos sedimentos para ambos os períodos, apresentaram variações dentro da escala de valores encontrados na literatura para as possíveis fontes de matéria orgânica: fitoplâncton (106), tecidos foliares e lenhosos de plantas superiores (300 a 1300 e $>$ que 1300, respectivamente) e bactérias (7 a 80) (Ruttenberg & Goñi, 1997). Foram observados valores de razão C/P indicativos de matéria orgânica de origem, predominantemente, mista e continental nas amostras ao longo do estuário. O setor sul do sistema, por outro lado, apresentou valores mais baixos ($<$ 200) de C/P, indicativos de matéria orgânica de origem marinha e bacteriana no período chuvoso. E no período seco, nas amostras do estuário superior (ST 1,2, 4 e 5). Uma possível explicação para os baixos valores da razão C/P encontrados no período chuvoso no estuário inferior podem estar relacionados à maior influência marinha, observada na análise da fração arenosa, e da maior hidrodinâmica (Silva, 2008) que a região está sujeita. Desta forma, como o carbono orgânico está associado a sedimentos mais finos, em partículas maiores, como as areias, esse carbono assim como o fósforo são provavelmente retirados pelas correntes de fundo em contato com o sedimento. Somente então com um enriquecimento diferencial do fósforo em relação ao carbono se traduziria nos dados obtidos, possivelmente associados aportes de origem antrópica. Como a razão C/P é diretamente relacionada à concentração de COT e inversamente relacionada com a concentração de fósforo, na amostra da ST16 foi observado o menor valor de razão C/P para o período. Visto que a amostra da ST16 apresenta um valor de fósforo alto para a região (7,06 $\mu\text{Mol/g}$) possivelmente relacionada a algum aporte de fosfato oriundo da agricultura. Gächter & Mayer (1993) apontam que, em ambientes lacustres eutróficos, é comum serem observados valores de razão

C/P abaixo de 106. De acordo com Ruttenberg & Goñi (1997) e Ruiz-Fernández et al. (2002) as causas para estes baixos valores seriam: reflexo da dominância da biomassa bacteriana; a matéria orgânica sedimentar ser rica em compostos refratários de fósforo orgânico, na coluna d'água sobrejacente e nos sedimentos; a regeneração preferencial do C e enriquecimento relativo de fósforo, devido à transformação do C em suspensão em formas gasosas de decomposição e; o processo de adsorção do fósforo pelas argilas, ou mesmo óxidos de ferro, que poderia protegê-lo da mineralização. Para os baixos valores da razão C/P encontrados no período seco no estuário superior, acredita-se que podem estar relacionados a aportes de fosfato oriundo da carcinicultura devido aos resíduos de ração e de excreções dos camarões nos viveiros (FIGUEIREDO et al., 2005), somados ao maior tempo de residência das águas no sistema nesta época do ano. Isto acarretaria em um tempo maior para a renovação das águas e, conseqüentemente, em uma maior retenção de material orgânico nos sedimentos do estuário superior. Barcellos et al. (2005) encontrou valores semelhantes da razão C/P indicativos de origem predominantemente mista e continental para as amostras do sistema estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape (SP).

Com relação aos subambientes formados de acordo com os parâmetros agrupados na análise de agrupamento de *cluster*, o estuário foi subdividido em 3 fácies para o período chuvoso. E 2 fácies e 2 amostras isoladas para o período seco. Com a sazonalidade, há um aumento da fácies I (70,83%) e uma diminuição da fácies II (20,83%), refletindo o estuário com sedimentos mais arenosos, com menos matéria orgânica e se comportando como retentor de nutrientes no período seco nas amostras do estuário superior. Neste período, a fácies III desaparece e surgem duas amostras isoladas, ST1 e ST1A. A ST1, se diferencia das demais pelos seguintes fatores: apresentou alto percentual da fração cascalho (10,28%), apresentou uma certa semelhança com a fácies I com a presença de alto percentual da fração areia (89,54%), e com a fácies II pelo baixo teor de CaCO_3 (3,60%), MOT (4,03%) e COT (1,31%). Já a amostra ST1A, é caracterizada pelo alto percentual da fração lamosa, CaCO_3 (17,00%), MOT (35,77%), COT (6,01%), fósforo orgânico (0,05%) e fósforo total (0,07%).

Fica claro um comportamento anômalo para a amostra localizada adjacente aos tanques de carcinicultura no estuário superior, ST1A. Essa que foi classificada como argila arenosa de acordo com Shepard (1954) no período chuvoso, se assemelhando à amostra da ST21 que também teve sua característica sedimentar e geoquímica alteradas neste período devido a uma maior influência continental (a amostra que se localiza mais próxima do município do Rio Formoso) associado ao aporte fluvial devido à pluviosidade. No período seco, se comportou de forma isolada, tornando a amostra com maior percentual da fração lamosa (70,41%), maior percentual de MOT (35,77%), maior percentual de COT (6,01%) e considerável percentual de CaCO_3 (17,00%). No caso, demonstrando que o estuário nesta região e para este período se manteve retentor de nutrientes, relacionado ao maior tempo de residência das águas no verão.

9 CONCLUSÕES

Ao se levar em consideração todos os aspectos analisados chega-se à conclusão de que os sedimentos que compõem a região do estuário do Rio Formoso são predominantemente arenosos e pobremente selecionados tanto para a época de inverno quanto para a época de verão. Isso é decorrente da energia moderada no sistema devido à proteção dos recifes na desembocadura do estuário, a média amplitude de maré e a descarga líquida fluvial de pequeno porte. As amostras que apresentam um melhor grau de seleção associam-se a depósitos de sedimentos arenosos e nas proximidades da desembocadura do estuário do Rio Formoso (ambiente de maior influência marinha e, conseqüentemente, maior energia hidrodinâmica). O predomínio de grãos angulosos nas análises morfoscópicas indicam em geral um ambiente de baixa energia. E uma variação temporal importante em relação à granulação foi observada, com maiores conteúdos de lamas sendo encontrados no inverno assim como em outros sistemas estuarinos de PE (Jaboatão e Capibaribe)

Independente da época, houve um predomínio de sedimentos litoclásticos (influência terrígena e de baixos teores de matéria orgânica, com percentuais de carbonato de cálcio inferiores a 30% e de MOT inferior a 10%. No geral, os valores encontrados para o carbono orgânico foram abaixo do valor de alerta

(10%), o qual representa possibilidade de causar prejuízos ao ambiente. No entanto, algumas estações apresentaram valores elevados de matéria orgânica (áreas passíveis de acumulação de poluentes adjacentes aos tanques de carcinicultura, região do estuário superior), superiores a conteúdos de estuários da região metropolitana do Recife, altamente antropizados.

Foi observada uma variação sazonal dos parâmetros geoquímicos para a área estudada, no período chuvoso, sendo observados maiores teores de carbonato de cálcio e matéria orgânica. E no período seco, maiores conteúdos de carbono orgânico total. No geral, os valores encontrados para as espécies de fósforo também não tiveram variação sazonal muito significativa. Os valores da razão elementar C/P dos sedimentos em ambas as épocas indicaram uma origem da matéria orgânica, predominantemente, mista e continental nas amostras ao longo de todo o estuário. Com pequena variação de comportamento na passagem de um período para o outro. No inverno, apresentando baixos valores indicativos de origem marinha e bacteriana no baixo estuário e no verão na região do estuário superior.

A distribuição sedimentar e da matéria orgânica indica que o sistema parece funcionar como retentor de material de origem continental, principalmente, no estuário superior. Provavelmente associado ao maior tempo de residência das águas no sistema no verão. Ao mesmo tempo, menores valores da razão C/P (< 200), indicando caráter marinho também para o verão no estuário superior, permitindo afirmar que o estuário do Rio Formoso funcionaria também como importador de material sedimentar oriundo da plataforma interna.

Portanto, diante de todos os pressupostos apresentados e analisados, constatou-se que o estuário do Rio Formoso, no estado de Pernambuco, está sujeito às ações antrópicas que o circundam. Visto que apresentou anomalias em sua distribuição espacial do comportamento da matéria orgânica nas áreas adjacentes aos tanques de carcinicultura e sob influência de esgotos oriundos das áreas urbanas da região.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, V.M.C., 2005. **Variação espacial e temporal das características bioquímicas do fósforo e do chumbo e transporte das propriedades no Sistema Estuarino Santos/São Vicente e na porção sul do Complexo Estuarino Lagunar de Cananéia – Iguape (São Paulo)**. Tese de Doutorado. Instituto Oceanográfico. Universidade de São Paulo. São Paulo. 243 p.
- ALVES, C. S., 2016. **Sedimentação atual e estudo geoquímico no sistema estuarino do Rio Goiana (PE-PB)**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. Recife. 78 p.
- ALVES, T.M.F; BARCELLOS, R.L; FLORES MONTES, M.J.2013. **Distribuição do carbonato biodetrítico e da matéria orgânica total (MOT) nos sedimentos estuarinos do Rio Jaboatão (Pernambuco, Brasil)**. In: Congresso da associação brasileira de estudos do quaternário (abequa), 14. Natal. Resumo. CD – ROM.
- AMARAL, R. F., 1992. **Análise para uso e conservação da planície costeira do Rio Formoso – com ênfase na geologia e na geomorfologia**. In: Pires & Filho Advogados Associados. Projeto Costa Dourada, Recife.
- BARCELLOS, R.L 2005. **Distribuição da matéria orgânica sedimentar e processo sedimentar atual no sistema Estuarino Lagunar de Cananéia Iguape , SP** . Tese de Doutorado Instituto Oceanográfico da USP 187p. 2vs.
- BARCELLOS, R. L. et al. 2005. **Distribuição e características do fósforo sedimentar no sistema estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape, Estado de São Paulo, Brasil**. *Geochimica Brasiliensis*, 19(1): 22-36.
- BARCELLOS, R.L. & FURTADO, V.V. 2006. **Organic Matter Contents and Modern Sedimentation at São Sebastião Channel, São Paulo State, South-Eastern Brazil**. *Journal of Coastal Research*., v. SI: 39: 1073-1077.
- BARCELLOS, R.L.; CAMARGO, P.B.; GALVÃO, A. & WEBER, R.R. 2009. **Sedimentary organic matter in cores of Cananéia-Iguape lagoonal-estuarine system, São Paulo State, Brazil**. *Journal of Coastal Research*, Special Edition n° 56: 1335-1339.
- CARREIRA, R.S. & WAGENER, A.L.R. 1998. **Speciation of sewage derived phosphorus in coastal sediments from Rio de Janeiro, Brazil**. *Marine Pollution Bulletin*, vol. 36, n° 10, p. 818-827.
- COMPESA, 2006. **Relatório Ambiental preliminar Sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário de Tamandaré e as zonas turísticas de Rio Formoso e praia dos Carneiros – atualização**. 227p.
- CONDEPE, 1992. **Rio Formoso**. Monografias Municipais, Recife, v.2, 1992. 173p.

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

CPRH - Agência Estadual de Meio Ambiente e recursos hídricos, 2001.
Diagnóstico Sócio Ambiental da área de proteção ambiental de Guadalupe (APA - Guadalupe) – Recife.

CPRH – Agência Estadual de Meio Ambiente e recursos hídricos, 1998.
Diagnóstico Sócio Ambiental da área de proteção ambiental de Guadalupe (APA - Guadalupe) – Síntese. Recife.

CONTI, L.A. & FURTADO, V.V. 2006. **Geomorfologia da plataforma continental do Estado de São Paulo**. *Revista Brasileira de Geociências*, 36(2):305-312.

DATTA, D.K.; GUPTA, L.P. & SUBRAMANIAN, V. 1999. **Distribution of C, N and P in the sediments of the Ganges-Brahmaputra-Meghna river system in the Bengal basin**. *Organic Geochemistry*: 30: 75-82.00

ESTEVEZ, F. A., 1998. **Fundamentos de Limnologia**. 2ª Ed. – Rio de Janeiro: Interciência. Pag 53.

FAIRBRIDGE, R. W., 1980. **The Estuary: its Definition and Geodynamic Cycle**. In: Chemistry and Biogeochemistry of Estuaries, E. Olausson & I. Cato (Eds.) p1-35, Interscience Publication, John Wiley and Sons, New York.

FIGUEIRÊDO, M. C. B. et al. Impactos ambientais do lançamento de efluentes da carcinicultura em águas interiores. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.10, nº2, p.167-174. 2005.

FILIPPELLI, G.M., 1997. **Controls on Phosphorus concentration and accumulation in oceanic sediments**. *Marine Geology*, 139: 231-240.

FOLK, R. L. & W. C. WARD. 1957. **Brazos River Bar: Study of the Significance of Grain Size Parameters**. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27 : 3-27.

FREITAS, R.C.; BARCELLOS, R.L.; PISETTA, M.; RODRIGUES, M. & FURTADO, V.V. 2008. **O Canal do Valo Grande e o assoreamento no sistema estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape, Estado de São Paulo, Brasil**. In: BRAGA, E.D.S (Ed.). Oceanografia e Mudanças Globais. IIIº Brazilian Oc. Symposium. 1ª Ed., São Paulo. : Ed. IOUSP. p 732-744.

FURTADO, V.V. 1995. **Sedimentação Quaternária no Canal de São Sebastião**. *Publ. Esp. Instituto Oceanográfico* nº1.

GASPAR, L.F. 2009. **Análise da concentração de fósforo em sedimentos dos rios Botafogo e Carrapicho, no sistema estuarino do canal de Santa Cruz, Itamaracá, PE**. Dissertação de mestrado. Departamento de Oceanografia. UFPE. 77p.

GAUDETTE, H.; MULLER, G.; STORFFERS, P. 1974. **An inexpensive titration method for the determination of organic carbon in recent sediments.** *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 44, n. 1, p. 249–253, 1974.

HILTON, M.J. 1995. **Sediment facies of an embayed costal sandy body,** Paikiri, New Zealand. *Journal of Coastal Research*, 11: 529-547.

HUANXIN, W.; PRESLEY, B.J & ARMSTRONG, D. 1994. Distribution of sedimentary phosphorus in Gulf of Mexico Estuaries. *Marine Environ. Research*: (37):375-392.

KRUMBEIN, W.C. SLOSS, L.L. 1963. **Stratigraphy and sedimentation.** San Francisco : W.H. Freeman and Company.

LAMB, A L.; GRAHAM, P.W. & LENG, M.J. 2006. **A review of coastal palaeoclimate and relative sea-level reconstructions using $\delta^{13}\text{C}$ and C/N ratios in organic matter.** *Earth-Science Reviews*: 75: 29-57.

LIMA, A.F. 1998. **A sedimentação quaternária na Enseada de Fortaleza, litoral norte do Estado de São Paulo.** Dissertação de Mestrado. São Paulo IOUSP. 138p.

LIMA FILHO, M.F. 1998. **Análise Estrutural e Estratigráfica da Bacia Pernambuco.** São Paulo, 1998, 139 p. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

LIRA, L.; M.C. ZAPATA, & V.G. FONSECA. 1979. Aspectos da dinâmica do estuário do Rio Formoso, PE. **Cadernos Omega da Universidade Federal de Pernambuco 3** (1/2): 133-156.

MAHIQUES, M. M. de. 1995. **Dinâmica Sedimentar atual nas Enseadas da Região de Ubatuba,** Estado de São Paulo. *Bolm Inst. oceanogr.*, v.43, nº2: 111-122.

MAHIQUES, M. M. de. **Considerações sobre os Sedimentos de Superfície de Fundo da Baía da Ilha Grande,** Estado do Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado. Instituto Oceanográfico - USP, São Paulo, 139 p. 1987. MAHIQUES,

MAHIQUES, M. M.; M. G. TESSLER; A. HOSHIKA; Y. MISHIMA; K. SUGUIO & K. KAWANA. 1997. **Infra-annual Variations in the Characteristics of the Organic Matter from Bertioga Channel, Southeastern Brazil.** 6th Congress of the Brazilian Association on Quaternary Research. Abstracts, Curitiba, ABEQUA, pp. 94-98.

MAHIQUES, M. de; M. G. TESSLER; V. V. FURTADO. **Characterization of Energy Gradient in Enclosed Bays of Ubatuba Region, South-Eastern Brazil.** *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 47, 431-446. Academic Press. 1998.

MANSO, V. A. V., et al., 2006. **Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro: Pernambuco**. Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha – LGGM. Recife: Editorial da Universidade.

MARTINELLI, L.A., et al., 2009. **Desvendando questões ambientais com isótopos estáveis**. São Paulo, Oficina de Textos, 2009. 143p.

MARTINS et al., 2016. Depositional evolution in a lagoonal estuarine system under a port influence in Northeastern Brazil.. *Journal of Coastal Research JCR*, v. 75, p. 83-87.

MEYERS, P. A. 1997. **Organic Geochemical Proxies of Paleoceanography, Paleolimnologic and Paleoclimatic Processes**. *Organic Geochemistry* 27, 213-250.

NIMER, E. 1977. **Clima**. In: Geografia do Brasil: Região Nordeste. Rio de Janeiro: IBGE, v. 2, 1977. pp. 47-84.

NORONHA, T. J. M. et al. 2011. Avaliação das concentrações de metais pesados em sedimentos do Estuário do Rio Timbó, Pernambuco-Brasil. **Arquivos de Ciências do Mar**. Fortaleza, v. 44, n. 2, p. 70-82, 2011.

OGRINC, N.; FONTOLAN, G.; FAGANELI, J. AND COVELLI, S. 2005. **Carbon and nitrogen isotope compositions of organic matter in coastal marine sediments** (Gulf of Trieste, N Adriatic Sea): indicators of sources and preservation. *Mar. Chem.*: 95: 163-181.

OGRINC, N. & FAGANELI, J. 2006. **Phosphorus regeneration and burial in near-shore marine sediments** (the Gulf of Trieste, northern adriatic Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*: 67: 579-588.

OLIVEIRA, T. S. et al. 2014. Processo sedimentar atual e distribuição da matéria orgânica no sistema estuarino dos rios Capibaribe, Beberibe e bacia do Pina, Recife – PE. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, 14 (3):399-411.

OLIVEIRA, T. S. 2014. **Processo sedimentar atual e distribuição da matéria orgânica no sistema estuarino dos rios Capibaribe, Beberibe e bacia do Pina, Recife – PE**. Dissertação de mestrado. Pós-graduação em Oceanografia. Universidade Federal de Pernambuco – PE, 112 p.

OLIVEIRA, G. D.; MATTOS, K.M.C. 2007. Impactos ambientais provocados pela indústria de camarão no município de Nísia Floresta (RN). **Revista Ibero Americana de Estratégia**, 6 (2):183-188.

PAIVA, et al., 2008. **Estrutura e organização da ictiofauna de águas rasas em um estuário tropical**. *Revista Brasileira de zoologia*. V. 25, n. 4, p 647 - 661.

PARDO, P. et al., 2004. **Shortened screening method for phosphorus fractionation in sediments a complementary approach to the standards**,

measurements and testing harmonized protocol. *Analytica Chimica Acta*, v. 508, p. 201 – 206.

PETTTIJOHN, F.J., 1975. **Sedimentary Rocks**. 628p., Harper & Row, 3. ed., New York, NY, U.S.A. ISBN: 0060451912.

PRITCHARD, D. W., 1967. **What is an Estuary: Physical Viewpoint**. In: *Estuaries*. G. H. Lauff (Ed.) American Association for the Advancement of Science, n 83, Washington D. C.

RASHID, M. A. 1985. **Geochemistry of marine humic compounds**. New York, Springer-Verlag. 300p.

REGAZZI, A.J. 2000. **Análise multivariada**, notas de aula INF 766, Departamento de Informática da Universidade Federal de Viçosa, v. 2.

RILEY, J. P.; CHESTER, R., 1978. **Chemical oceanography**.v.7. Academic press: new york

RUIZ-FERNÁNDEZ, A.C.; HILAIRE-MARCEL, C.; GHALEB, B. & SOTO-JIMÉNEZ, M. 2002. **Recent sedimentary history of anthropogenic impacts on the Culiacan River Estuary, NW Mexico: geochemical evidence from organic matter and nutrients.** *Environmental pollution*: 118: 365-377.

RUTTENBERG, K. C. & M. A GOÑI. 1997. **Phosphorus Distribution, C:N:P Ratios, and $\delta^{13}\text{C}$ in Arctic, Temperate and Tropical Coastal Sediments: Tolls for Characterizing Bulk Sedimentary Organic Matter.** *Marine Geology*, vol. 139, -1/4. P. 123-145.

SANTOS, F.M.; LESSA, G.C.; LENTINI, C.A.D. & GENZ, F. 2011. **Estudo comparativo das características geomorfológicas e preenchimento sedimentar de seis grandes estuários brasileiros.** XIIIº ABEQUA, UFRJ, Búzios (RJ).

SANTOS, M. M. F. 2002. **Impactos ambientais no estuário do Rio Formoso a partir da confluência dos rios Arinquidá/Formoso, Tamandaré (PE).** Dissertação de mestrado. UFPE. Recife.

SETUR/CPRH, 2011. **Área de proteção ambiental de Guadalupe: encarte 3, análise da unidade de conservação.** Recife. 206p.

SHEPARD, F.P. & D. G. MOORE. 1954. **Sedimentary Environments Differentiated by Coarse Fraction Analysis.** *Bull. An. Assoc. Petrol. Geol.*, 38(8):1792-1802.

SILVA, J. B., et al., 2009. **Classificação geomorfológica dos estuários do estado de Pernambuco (Brasil) com base em imagens de satélite.** In: XII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário - ABEQUA; IV Congreso Argentino de Cuaternario Y Geomorfología; II Reunión sobre el Cuaternario de América del Sur, La Plata, Argentina; IV Congreso Argentino de

Cuaternário Y Geomorfología; II Reunión sobre el Cuaternario de América del Sur, La Plata, Argentina, 21 a 23 de setembro de 2009.

SILVA, J. P. 2008. **Estudos sedimentológicos, hidrodinâmicos, batimétricos e da qualidade da água visando à evolução e os aspectos ambientais associados do estuário do Rio Formoso – PE.** Tese de doutorado. Pós-graduação em geociências do centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, 146p.

SIQUEIRA, G. W. 2003. **Estudo dos teores de metais pesados e outros elementos em sedimentos superficiais do sistema estuarino de Santos (Baixada Santista - São Paulo) e da plataforma continental do Amazonas (Margem Continental Norte).** Tese de Doutorado, IOUSP, 327p.

SOUZA, M.F.L., et al., 2012. **Ciclo do carbono biogeoquímicos, físicos e interações entre compartimentos na Baía de Todos os Santos.** Revista virtual de química, 4(5), 556-582, ISSN: 1984-6835

STEIN, R. 1991. **Accumulation of Organic Carbon in Marine Sediments.** Results from the Deep Sea Drilling Project/ Ocean Drilling Program. *In*: Bhattacharji, S; G. M. Friedman; H. J. Neugebauer; A. Seilacher (Eds.), **Lecture Notes in Earth Sciences**, Vol. Springer, Berlin, 217pp.

TUNDISI, J.G.; TUNDISI, T.M., 2008. **Limnologia.** São Paulo: Oficina de Textos.

TYSON, R.V., 1995. **Sedimentary Organic Matter: Organic facies and palynofacies.** 615p., Chapman & Hall, London, U.K. ISBN: 978-94-010-4318-2.

WILLIAMS, et al., 1976. **Forms of phosphorus in the surficial sediments of Lake Eire.** Journal of Fishers Research Board Canadian, v. 33, p. 413 – 429.

XU, S.; GAO, X.; LIU, M. & CHEN, Z. 2001. China's Yangtze estuary. II. **Phosphorus and polycyclic aromatic hydrocarbons in tidal flat sediments.** *Geomorphology*: 41: 207-217.

APÊNDICE

APÊNDICE A: Correlação de *Spearman* (*rs*) dos sedimentos do período chuvoso/2014

	% Cascalho	% Areia	%Lama	MOT (%)	CaCO ₃ (%)	P Org %	P Ino %	P Tot %	COT %	C/P
% Cascalho	1,000000	0,020136	-0,267189	-0,331857	-0,249085	0,120506	-0,184709	-0,159152	-0,127183	-0,285996
% Areia	0,020136	1,000000	-0,926154	-0,783077	-0,095037	-0,687264	-0,750000	-0,729231	-0,799924	0,222479
%Lama	-0,267189	-0,926154	1,000000	0,811538	0,225856	0,689580	0,730000	0,723077	0,749471	-0,269438
MOT (%)	-0,331857	-0,783077	0,811538	1,000000	0,258946	0,655603	0,833846	0,827692	0,854998	-0,161663
CaCO ₃ (%)	-0,249085	-0,095037	0,225856	0,258946	1,000000	0,339129	0,466333	0,470181	0,010788	-0,442049
P Org %	0,120506	-0,687264	0,689580	0,655603	0,339129	1,000000	0,823172	0,857149	0,646822	-0,686247
P Ino %	-0,184709	-0,750000	0,730000	0,833846	0,466333	0,823172	1,000000	0,992308	0,768343	-0,392610
P Tot %	-0,159152	-0,729231	0,723077	0,827692	0,470181	0,857149	0,992308	1,000000	0,762566	-0,447267
COT %	-0,127183	-0,799924	0,749471	0,854998	0,010788	0,646822	0,768343	0,762566	1,000000	-0,035460
C/P	-0,285996	0,222479	-0,269438	-0,161663	-0,442049	-0,686247	-0,392610	-0,447267	-0,035460	1,000000

APÊNDICE B: Correlação de *Spearman* (*rs*) dos sedimentos do período seco/2015

	% Cascalho	% Areia	%Lama	MOT (%)	CaCO ₃ (%)	P Org %	P Ino %	P Tot %	COT %	C/P
% Cascalho	1,000000	-0,089565	-0,460870	-0,350152	-0,173989	-0,154917	-0,128454	-0,162750	-0,462141	-0,089565
% Areia	-0,089565	1,000000	-0,582609	-0,637234	-0,394954	-0,637946	-0,488570	-0,570061	-0,409922	0,466087
%Lama	-0,460870	-0,582609	1,000000	0,870379	0,509352	0,531767	0,320693	0,436902	0,584857	-0,252174
MOT (%)	-0,350152	-0,637234	0,870379	1,000000	0,383812	0,606443	0,385531	0,516326	0,680888	-0,301870
CaCO ₃ (%)	-0,173989	-0,394954	0,509352	0,383812	1,000000	0,402699	0,420096	0,430562	0,357423	-0,217486
P Org %	-0,154917	-0,637946	0,531767	0,606443	0,402699	1,000000	0,831248	0,966028	0,323171	-0,815492
P Ino %	-0,128454	-0,488570	0,320693	0,385531	0,420096	0,831248	1,000000	0,926564	0,313436	-0,654675
P Tot %	-0,162750	-0,570061	0,436902	0,516326	0,430562	0,966028	0,926564	1,000000	0,291812	-0,801567
COT %	-0,462141	-0,409922	0,584857	0,680888	0,357423	0,323171	0,313436	0,291812	1,000000	0,147084
C/P	-0,089565	0,466087	-0,252174	-0,301870	-0,217486	-0,815492	-0,654675	-0,801567	0,147084	1,000000

