

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E NATURAIS
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA E ECOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA**

ESTEFÂNIA GODINHO

**VARIAÇÃO MORFOLÓGICA SUPERFICIAL DE UM
TRECHO DE MANGUEZAL DA BAÍA DE VITÓRIA**

VITÓRIA
2009

ESTEFÂNIA GODINHO

**VARIAÇÃO MORFOLÓGICA SUPERFICIAL DE UM
TRECHO DE MANGUEZAL DA BAÍA DE VITÓRIA**

Monografia apresentada ao curso de graduação em Oceanografia do Departamento de Oceanografia e Ecologia como requisito de avaliação parcial para obtenção de Título em Bacharel em Oceanografia.
Orientador: Prof^a. Dr^a. Valéria da Silva Quaresma.

VITÓRIA
2009

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E NATURAIS
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA E ECOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA**

VARIAÇÃO MORFOLÓGICA SUPERFICIAL DE UM TRECHO DE MANGUEZAL DA BAÍA DE VITÓRIA.

por

ESTEFÂNIA GODINHO

Projeto de Monografia apresentado ao Curso de Graduação em Oceanografia do Departamento de Oceanografia e Ecologia do Centro de Ciências Humanas e Naturais da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de bacharel em Oceanografia.

Entregue dia 21 de novembro de 2009.

COMISSÃO EXAMINADORA

**Prof^a. Dr^a. Valéria da Silva Quaresma
(Orientadora)**

Universidade Federal do Espírito Santo – DOC

Prof. Dr. Alex Cardoso Bastos

Universidade Federal do Espírito Santo - DOC

Prof^a. Dr^a. Mônica Maria Pereira Tognella

Universidade Federal do Espírito Santo - DCSBA

À minha Família

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter estado presente em todos os momentos desta caminhada, iluminando e guiando meus passos para eu fazer sempre o melhor.

Especialmente, à meus pais que apesar da distância e imensa saudade sempre me apoiaram e aconselharam nos momentos mais difíceis acreditando na minha capacidade e por compartilharem cada conquista até chegar aqui.

Ao meu querido irmão pelo carinho e amizade, incentivos imprescindíveis para esta etapa da minha vida.

Ao Paulo Augusto pelo amor e companheirismo pois sem ele não teria forças para superar os momentos de saudades da minha família.

Às minhas amigas, Bibica, Flavinha, MariBel, Mayzinha, Tatizica, Mari Alves e Sassá, por serem responsáveis pela melhor fase de nossas vidas, fazendo parte de muitos momentos marcantes como primeiro dia de aula, véspera de provas, estudos na biblioteca, apresentação de trabalhos, embarques, aulas de campo, festas de aniversário, compra de presentes, passeio de chevete, viagens a congressos em Floripa, Fortaleza, Jeri, Arraial do Cabo, vendas de cerveja e refrigerante na praia, ajuda nos meus campos (especialmente a May que até comprou botas pra me ajudar!!!! Rsrs) dentro outros (melhor parar por aqui porque a lista é grande!).

Aos nossos meninos em especial Alexandre, Bruno, Pedro, PA, Lu e Igor por terem proporcionado momentos alegres e divertidíiiiissimos pois sem vocês o mundo não seria o mesmo.

Aos demais colegas de curso que de alguma forma contribuíram para minha formação.

À professora e orientadora Valéria, pela orientação e paciência fornecida neste trabalho. E aos demais professores que me ajudaram na elaboração e construção da minha monografia.

Ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) pelo apoio com bolsas de estudos financiadas pela PETROBRAS e pelo Fundo de Apoio à Ciência e Tecnologia (FACITEC).

RESUMO

As regiões entre-marés fazem parte dos ecossistemas costeiros típicos de regiões estuarinas. Torna-se o elo entre os ambientes marinho, terrestre e de água doce, caracterizando-se pelo acúmulo de grande quantidade de sedimentos e detritos trazidos pelos rios e pelo mar. O substrato da planície de maré formado é alagadiço, rico em matéria orgânica, pouco oxigenado e sujeito a variação de marés. Em um trecho do Manguezal da Baía de Vitória investigou-se a variação morfológica superficial identificando e caracterizando a tendência da área (erosiva, deposicional ou de estabilidade) e a relação com os processos hidrodinâmicos. Estudos dessa natureza buscam o conhecimento das características e do comportamento do sedimento coesivo e são de grande para se obter informações imprescindíveis para o manejo e conservação do ecossistema manguezal. Durante um período de monitoramento de dois anos entre outubro de 2007 e outubro de 2009 foram feitas medições da altura do fundo da planície de maré, coletas de sedimento em duas estações amostrais (Ponto 1 e Ponto2) e caracterização sedimentológica da área de estudo. Os resultados mostraram que os teores de matéria orgânica, carbonato de cálcio e fração de areia encontrados foram dentro do esperado para região de planície de maré associada a manguezais. O padrão de variação morfológica identificado apresentou uma tendência de acresção entre os pontos 1 e 2 após o período de monitoramento. A taxa de transporte de MPS é preponderante em direção ao continente, indicando que o material transportado para dentro do sistema ficou retido propiciando a acresção da superfície da planície, corroborando com o comportamento da morfologia superficial da planície de maré.

PALAVRAS CHAVE: SEDIMENTO COESIVO, CONSOLIDAÇÃO, ESTABILIDADE DO SEDIMENTO, PLANÍCIE DE MARÉ, TAXA DE TRANSPORTE DE SEDIMENTO.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| FIGURA 1 - "SETTLING LAG" DE UM GRÃO DE SEDIMENTO. OS NÚMEROS REPRESENTAM O COMPORTAMENTO DO GRÃO DURANTE AS MARÉS ENCHENTE E VAZANTES, POR EXEMPLO, 1-2 É O MOVIMENTO DO GRÃO DURANTE A MARÉ ENCHENTE E 2-3 É O MOVIMENTO DO GRÃO DURANTE A MARÉ VAZANTE (ADAPTADO DE POSTMA, 1967) | 19 |
| FIGURA 2 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO NA COSTA DO ES E NA BAÍA DE VITÓRIA. QUADRADO EM VERMELHO DESTACA A ÁREA DE ESTUDO. | 25 |
| FIGURA 3 – MEDIÇÃO DA MORFOLOGIA SUPERFICIAL DA PLANÍCIE DE MARÉ..... | 28 |
| FIGURA 4 – ESTAÇÕES AMOSTRAIS NA ÁREA DE ESTUDO. | 28 |
| FIGURA 5 – COLETA DAS AMOSTRAS..... | 29 |
| FIGURA 6 – TESTES DE CONSOLIDAÇÃO NO LABORATÓRIO DE GEOLOGIA. | 31 |
| FIGURA 7 – ADV (ACOUSTIC DOPPLES VELOCIMETER, MOSTRANDO EM DESTAQUE O SISTEMA DE COORDENADAS DO EQUIPAMENTO (ADAPTADO DE SONTEK, 2009)..... | 33 |
| FIGURA 8 – MEDIÇÕES EM CAMPO. INSTALAÇÃO DO EQUIPAMENTO NA PLANÍCIE DE MARÉ BAIXA E A ESTRUTURA DE MEDIÇÃO DO ADV (ADAPTADO DE SONTEK, 2009). | 34 |
| FIGURA 9 – RELAÇÃO ENTRE A CONCENTRAÇÃO DE MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO E A AMPLITUDE MÉDIA (MÉDIA DO SINAL ACÚSTICOS DOS TRÊS RECEPTORES). | 35 |
| FIGURA 10 - VARIAÇÃO DA QUANTIDADE DE MATÉRIA ORGÂNICA AO LONGO DO PERÍODO DE MONITORAMENTO. | 38 |
| FIGURA 11 - GRÁFICOS DE CORRELAÇÃO. (A) RELAÇÃO ENTRE O TEOR DE MATÉRIA ORGÂNICA E DENSIDADE DO SEDIMENTO; (B) RELAÇÃO ENTRE O TEOR DE MATÉRIA ORGÂNICA E POROSIDADE DO SEDIMENTO. | 40 |
| FIGURA 12 - GRÁFICOS DE CORRELAÇÃO. (A) RELAÇÃO ENTRE O TEOR DE CARBONATO E DENSIDADE DO SEDIMENTO; (B) RELAÇÃO ENTRE O TEOR DE CARBONATO E POROSIDADE DO SEDIMENTO. | 41 |
| FIGURA 13 - VARIAÇÃO DO TEOR DE AREIA E DA PLUVIOSIDADE AO LONGO DO PERÍODO DE MONITORAMENTO..... | 42 |
| FIGURA 14 - NOVA PONTE DA PASSAGEM. EM AZUL SÃO MOSTRADAS AS ESTRUTURAS DE SUSTENTAÇÃO DA PONTE QUE FORAM INSTALADAS. | 43 |
| FIGURA 15 – RELAÇÃO ENTRE TEOR DE AREIA EM PORCENTAGEM E DENSIDADE (KG/M ³) DO SEDIMENTO. | 44 |

| | |
|--|----|
| FIGURA 16 - GRÁFICOS DE CORRELAÇÃO. (A) RELAÇÃO ENTRE O TEOR DE AREIA E DENSIDADE DO SEDIMENTO; (B) RELAÇÃO ENTRE O TEOR DE AREIA E POROSIDADE DO SEDIMENTO. | 44 |
| FIGURA 17 - RELAÇÃO ENTRE DENSIDADE E POROSIDADE DO SEDIMENTO. | 45 |
| FIGURA 18 - RELAÇÃO DAS PROPRIEDADES DENSIDADE E POROSIDADE (ADAPTADO DE WHITEHOUSE, 2000). OS RETÂNGULOS VERMELHOS MOSTRAM OS VALORES DE DENSIDADE E DA POROSIDADE..... | 45 |
| FIGURA 19 - DIAGRAMA DE HJULSTROM, MOSTRANDO A RELAÇÃO ENTRE O TAMANHO DA PARTÍCULA E VELOCIDADE DO FLUXO (REINECK AND SINGH, 1975). | 48 |
| FIGURA 20 - VARIAÇÃO DA DENSIDADE E DA PLUVIOSIDADE AO LONGO DO PERÍODO DE MONITORAMENTO..... | 49 |
| FIGURA 21 - RELAÇÃO ENTRE O TEMPO DE CONSOLIDAÇÃO E DENSIDADE DO SEDIMENTO NO PONTO 1 SOB AÇÃO DA LUZ..... | 50 |
| FIGURA 22 - RELAÇÃO ENTRE O TEMPO DE CONSOLIDAÇÃO E DENSIDADE DO SEDIMENTO NO PONTO 1 SEM AÇÃO DA LUZ..... | 51 |
| FIGURA 23 - RELAÇÃO ENTRE O TEMPO DE CONSOLIDAÇÃO E DENSIDADE DO SEDIMENTO NO PONTO 2 SOB AÇÃO DA LUZ..... | 51 |
| FIGURA 24 - RELAÇÃO ENTRE O TEMPO DE CONSOLIDAÇÃO E DENSIDADE DO SEDIMENTO NO PONTO 2 SEM AÇÃO DA LUZ..... | 52 |
| FIGURA 25 - MÉDIA DA VARIAÇÃO MORFOLÓGICA SUPERFICIAL DOS PONTOS AMOSTRAIS 1 E 2..... | 53 |
| FIGURA 26 – VARIAÇÃO TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO ENTRE NOVEMBRO DE 2007 E OUTUBRO DE 2009..... | 54 |
| FIGURA 27 – ÁREA ENTRE-MARÉS (ADAPTADO DE OPEN UNIVERSITY, (1999). SETA INDICANDO QUE DURANTE A MARÉ ALTA NA SIZÍGIA OU EVENTOS DE INTENSA CHUVA, O SEDIMENTO CHEGA A ALTA PLANÍCIE DE MARÉ E SUPERFÍCIE DO MANGUEZAL..... | 55 |
| FIGURA 28 - PLANÍCIE DE MARÉ EMERSA (PONTO 1). SETA EM VERMELHANDO INDICANDO A EXPOSIÇÃO DA ÁREA À RADIAÇÃO SOLAR. | 56 |
| FIGURA 29 - NÍVEIS D'ÁGUA EM UM CANAL DE MARÉ E NA FLORESTA DO MANGUEZAL DURANTE A ENCHENTE E A VAZANTE, ADAPTADO DE WOLANSKI ET AL. (1992) APUD RIGO (2004). | 59 |
| FIGURA 30 - (A) NÍVEL D' ÁGUA, (B) VELOCIDADE DA CORRENTE DE MARÉ. OS VALORES POSITIVOS DA COMPONENTE TRANSVERSAL INDICAM FLUXO EM DIREÇÃO AO CONTINENTE E OS VALORES NEGATIVOS DA COMPONENTE LONGITUDINAL INDICAM FLUXO EM DIREÇÃO A NORTE DO CANAL. | 61 |
| FIGURA 31 - ESQUEMA DOS PROCESSOS DE EROÇÃO, TRANSPORTE, DEPOSIÇÃO E CONSOLIDAÇÃO DO SEDIMENTO LAMOSO, ADAPTADO DE WHITEHOUSE (2000). | 62 |

| | |
|--|----|
| FIGURA 32 - (C) CONCENTRAÇÃO DE MATERIAL EM SUSPENSÃO E (D) TAXA DE TRANSPORTE DE SEDIMENTO. OS VALORES POSITIVOS DA COMPONENTE TRANSVERSAL INDICAM ENTRADA DE SEDIMENTO NO SISTEMA (EM DIREÇÃO AO CONTINENTE) E OS VALORES NEGATIVOS DA COMPONENTE LONGITUDINAL INDICAM A DIREÇÃO AO NORTE DO CANAL. OS QUADRADOS VERDES INDICAM AS MAIORES CONCENTRAÇÃO DE MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO. AS SETAS AZUIS INDICAM OS LIMITES CRÍTICOS DE EROÇÃO E DE DEPOSIÇÃO..... | 63 |
| FIGURA 33 – MAPA ESQUEMÁTICO MOSTRANDO OS VETORES DA TAXA DE TRANSPORTE DE MPS | 64 |
| FIGURA 34 - TENSÃO CISALHANTE (N/m^2) AO LONGO DO PERÍODO DE MONITORAMENTO | 65 |

LISTA DE TABELA

| | |
|---|----|
| TABELA 1 – RELAÇÃO ENTRE O TIPO DE FUNDO E A CONSTANTE DE VON KARMAN'S (SOULSBY, 1997). | 36 |
| TABELA 2 – COMPOSIÇÃO DO SEDIMENTO LOCAL EM PORCENTAGEM..... | 37 |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO..... | 12 |
| 1.1 | APRESENTAÇÃO DO ASSUNTO | 12 |
| 1.2 | OBJETIVOS | 13 |
| 2 | ESTADO DA ARTE | 15 |
| 2.1 | PLANÍCIES DE MARÉ | 15 |
| 2.1.1 | Geomorfologia | 15 |
| 2.1.2 | Hidrodinâmica | 17 |
| 2.2 | SEDIMENTOS COESIVOS E SEUS PROCESSOS | 19 |
| 2.3 | ESTABILIDADE DO SEDIMENTO COESIVO..... | 22 |
| 3 | ÁREA DE ESTUDO | 24 |
| 3.1 | LOCALIZAÇÃO | 24 |
| 3.2 | CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS | 25 |
| 3.3 | CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS E OCEANOGRÁFICAS | 26 |
| 4 | METODOLOGIA..... | 27 |
| 4.1 | MONITORAMENTO DA MORFOLOGIA DA PLANÍCIE DE MARÉ | 27 |
| 4.2 | COLETA DE AMOSTRAS E CARACTERIZAÇÃO SEDIMENTOLÓGICA.. | 28 |
| 4.3 | TESTES LABORATORIAIS | 30 |
| 4.4 | MEDIÇÕES HIDRODINÂMICAS..... | 31 |
| 4.5 | CÁLCULOS DA TENSÃO CISALHANTE E TAXA DE TRANSPORTE DE SEDIMENTO..... | 35 |
| 5 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 37 |
| 5.1 | PROPRIEDADES DO SEDIMENTO | 37 |
| 5.2 | MORFOLOGIA DA PLANÍCIE DE MARÉ | 52 |
| 5.3 | TAXA DE TRANSPORTE DE SEDIMENTO | 58 |
| 5 | – CONCLUSÕES..... | 66 |
| 6 | REFERÊNCIAS | 69 |

1 INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO DO ASSUNTO

As áreas entre marés cobrem milhares de quilômetros das regiões costeiras e estão presentes em todas as latitudes, nos estuários, enseadas e costas expostas à ação das ondas (DYER, 1998). São integrantes da zona costeira e ocupam a interface entre o ambiente terrestre e marinho; freqüentemente caracterizadas pela presença de sedimentos de granulometria fina, o que favorece a formação das planícies de marés (arenosas ou lamosas), marismas ou manguezais, nas zonas tropicais (AMOS, 1995).

A dinâmica do sistema planície de maré-manguezal está ligada ao aporte de sedimentos, regime de marés, clima de ventos e ondas e à variação relativa do nível do mar (ALLEN & PIE, 1992). Tal sistema desempenha função na contenção das margens dos estuários ao evitar o assoreamento dos canais, aumento do nível dos rios na estação chuvosa e impactos das ondas de tempestades (BLACK & PETERSON, 1998). Entretanto, como as planícies de marés respondem às variações das condições ambientais ainda precisam compreendidas. É desta dinâmica característica tão importante do sistema planície de maré-manguezal que se trata o presente trabalho.

Diferentes estudos têm sido desenvolvidos para identificar e entender os mecanismos de deposição, erosão e explicar o comportamento morfodinâmico das planícies de marés e manguezais.

Pritchard *et al* (2002) desenvolveram um modelo matemático de transporte de sedimento para explicar o comportamento morfodinâmico da planície de maré e investigar como essas áreas são dependentes da variação de maré e suprimento de sedimentos. Amos *et al.*, (2004) avaliaram os mecanismos que controlam as tendências sazonais e espaciais dessas áreas.

Deloffre et al (2005) também analisaram os parâmetros hidrodinâmicos responsáveis pela dinâmica do sedimento fluvial na planície de maré do estuário do Rio Sena, França. Quaresma *et al.*, (2007) estudaram os processos sedimentares do sistema planície de maré-marisma e suas respostas morfológicas, em Hythe, Inglaterra. E concluíram que diferentes mecanismos como a assimetria de maré e ondas de alta energia definem o padrão de transporte de sedimento de fundo do local.

Os manguezais e as planícies de marés são ambientes produtivos que contribuem para a fertilidade das águas costeiras e para a manutenção de todo o ecossistema costeiro-estuarino. São regiões ecológica e geomorfologicamente importantes para as comunidades locais, pesca, turismo e comunidade científica. Dada importância, os ecossistemas manguezais sofrem a ação de diversos processos antrópicos como ocupação, dragagem, despejo de poluentes e metais pesados que são adsorvidos pelas partículas de silte e argila.

Para a Baía de Vitória não há qualquer estudo dos padrões sedimentológicos que envolva a dinâmica da planície de maré e o manguezal. Desta forma, o entendimento das relações sedimentares e morfológicas de um trecho de manguezal da Baía de Vitória é bastante interessante para a proposição de medidas mitigadoras de impacto ambiental e projeções de cenários em eventos de intervenção humana.

1.2 OBJETIVOS

Investigar os fatores que influenciam o padrão de variação morfológica em uma planície de maré identificando sua tendência erosiva, deposicional ou de estabilidade. A seguir estão os objetivos específicos:

- Caracterizar as variáveis sedimentológicas da planície de maré;
- Identificar a variação morfológica superficial da planície de maré;
- Avaliar a densidade do sedimento local;

- Avaliar os processos hidrodinâmicos e sua relação com a variação morfológica.

2 ESTADO DA ARTE

2.1 PLANÍCIES DE MARÉ

O sistema planície de maré-manguezal é um ambiente de transição entre os ecossistemas terrestres e fluvio-marinhos que desempenha papéis ecológicos e geomorfológicos fundamentais na zona costeira. Caracteriza-se como um ecossistema altamente produtivo e que contribui efetivamente para a fertilidade das águas costeiras, devido à grande produção e exportação de matéria orgânica para o ambiente estuarino; oferece proteção contra inundações e erosão das margens de rios e estuários; e manutenção da biodiversidade. (MORBEG e RONNBACK, 2003). Está sob influência dos processos continentais da drenagem das águas e efeitos das atividades antrópicas.

As planícies são caracterizadas como arenosas ou lamosas e podem estar associadas a manguezais nas zonas tropicais (BLACK & PATERSON, 1998). São encontradas em estuários protegidos, enseadas, costas expostas à ação das ondas e variações de maré. Ecologicamente, apresentam condições propícias para alimentação, proteção e reprodução de diversas espécies animais sendo considerado importante transformador de nutrientes em matéria orgânica e gerador de bens e serviços (NOVELLI, 1995; DYER, 1998).

2.1.1 Geomorfologia

As planícies de marés são áreas laterais aos canais estuarinos, de baixo gradiente, aproximadamente 1:1000, e são ocupadas pela vegetação de mangue às suas margens e, geralmente, inundadas durante a maré enchente, permanecendo emersas no restante do ciclo de maré. (WOLANSKI *et al.*, 1992; BIRD, 2008).

A região entre marés apresenta uma zonação típica que se desenvolve em estuários de zonas tropicais, descrita a seguir (OPEN UNIVERSITY, 1999):

- Canal principal de maré: parte mais profunda do estuário. Fica submerso total ou temporariamente no ciclo de maré estando sujeito às correntes de marés e em menor escala à ação das ondas. Os sedimentos característicos são areias que podem ficar expostas durante as baixas marés de sizígias.
- Planície entre marés: fica submersa e exposta por períodos alternados do ciclo de maré. As correntes de maré controlam a distribuição do sedimento que variam entre areias finas e lamas; a ação das ondas pode ser o fator determinante na formação de formas de fundo (*ripples*).
- Altas planícies de marés: lamosas e submersas somente no nível de maré mais alto e freqüentemente atingidas por ondas de baixa amplitude. Embora ocorram pequenos transportes de fundo, durante a estofa de maré os sedimentos depositam-se.
- Manguezais: localizados acima das altas planícies de marés são inundados durante as mais altas marés de sizígia.

O perfil geomorfológico do sistema planície de maré-manguezal é definido por alguns fatores: fonte de sedimento, energia de ondas e marés e capacidade da vegetação de mangue em aprisionar sedimento (CARTER e GUY, 1988). A depender da influência destes fatores, o sistema pode estar em processos erosivos, acrecionais ou estáveis.

Pethick (1981) explica que a elevação da superfície do manguezal é resultado do processo de acreção de sedimento e que diminui o tempo de inundação da maré. A taxa de acreção pode diminuir se menos quantidade de sedimento é colocada no ambiente, gerando menor tempo para a deposição. De acordo com Carter (1988), à medida que esse processo ocorre, a superfície do manguezal aumenta, as taxas de acreção e deposição diminuem e conseqüentemente o sistema entra em equilíbrio.

Pethick (1992) comparou a geomorfologia do sistema planície de maré-marisma com a dinâmica de praia em períodos de tempestades. Os manguezais e marismas têm a função de absorver os impactos das ondas de tempestade e armazenar sedimento. Durante os eventos de maior energia - períodos de tempestade - as superfícies dos marismas e do manguezal e as partes mais altas da planície de maré sofrem erosão e o sedimento é deslocado para as baixas planícies de maré que sofrem acreção, o que sugere trocas de sedimento entre estas áreas. Assim, a planície de maré assume um perfil morfológico planar que favorece a redução da energia até que esta seja completamente dissipada (PETHICK, 1992).

2.1.2 Hidrodinâmica

O comportamento dinâmico do sistema planície de maré-manguezal é controlado pela interação de parâmetros e processos que variam em escalas espaço-temporais (BLACK & PATERSON, 1998). As interações incluem as propriedades biológicas, físicas, sedimentares e químicas da superfície sedimentar da planície de maré (QUARESMA, 2004).

Para Allen & Pie (1992), os fatores que influenciam esse comportamento são: o aporte de sedimentos, o regime de marés, o clima de ventos e ondas e a variação relativa do nível do mar. Roman & Nordstrom (1996) afirmam que os processos físicos são os fatores determinantes para explicar essa dinâmica, dentre eles estão ação das correntes e, eventualmente ação das ondas (durante o período de enchente) quando ocorrem tempestades.

De acordo com Winterwerp & Kesteren (2004), existe ainda a influência de fatores como exposição ao calor do sol, temperaturas, chuvas e, a flora bentônica.

Os microorganismos como algas unicelulares e bactérias, encontrados na superfície do sedimento, são responsáveis pela produção de uma substância polimérica extracelular (EPS) na camada sedimentar. Dependendo da densidade

de organismos encontrados na superfície do sedimento, eles são capazes de influenciar nos processos de erosão e estabilidade do sedimento (DECHO, 2000).

A hidrodinâmica de uma planície de maré é caracterizada inicialmente pelo período de enchente em que a corrente avança sobre a planície até alcançar o manguezal que margeia o canal estuarino, onde são encontrados obstáculos ao seu escoamento como troncos, galhos, folhas caídas e buracos de animais (principalmente caranguejos). Os sedimentos em suspensão são levados pela maré sendo que parte deles fica presa nas árvores de mangue e suas raízes e durante o período de estufa de maré os sedimentos que ficaram em suspensão são depositados (“settling lag”) (Figura 1). Esse fenômeno acontece quando a velocidade da corrente de maré é inferior a velocidade de sedimentação (MAZDA *et al.*, 1997; PETHICK, 1991; OPEN UNIVERSITY, 1999; WOLANSKI & RIDD, 1986).

De acordo com Dronkers (1986), um perfil horizontal de velocidade caracteriza essa dinâmica. Nas áreas baixas e médias da região entre – marés, as velocidades são mais altas e, nas áreas mais altas as velocidades são mais baixas. Este fato está ligado à mudança de fase do sinal da maré entre a cabeceira e a desembocadura do canal, causada pela fricção com o leito e raízes de mangue.

As altas planícies de marés serão gradualmente acrescidas pela deposição de sedimentos finos e pelo aumento do nível da superfície, reduzindo a frequência e duração de futuras inundações de maré. Eventualmente, a planície lamosa será exposta por um período de tempo suficiente que permitirá a formação de vegetação de mangue (PETHICK, 1992).

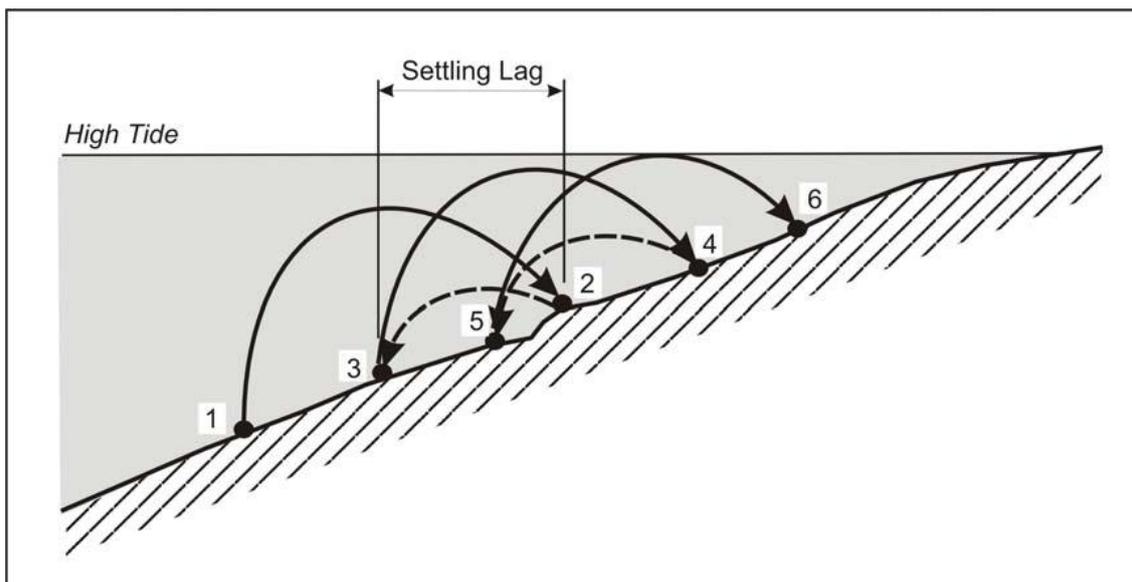


Figura 1 - "Settling Lag" de um grão de sedimento. Os números representam o comportamento do grão durante as marés enchente e vazantes, por exemplo, 1-2 é o movimento do grão durante a maré enchente e 2-3 é o movimento do grão durante a maré vazante (Adaptado de Postma, 1967).

2.2 SEDIMENTOS COESIVOS E SEUS PROCESSOS

Os sedimentos coesivos ocorrem comumente em sistemas estuarinos, planícies de maré, marismas e outros ambientes que possibilitem a sua deposição. Geralmente, um sedimento que é composto por mais de 10% de sua massa por material fino (que passa por uma peneira de 63 micrômetros) pode apresentar propriedades coesivas. (WHITEHOUSE *et al.*, 2000).

São compostos por uma mistura de material orgânico e não orgânico. Os componentes orgânicos incluem algas, fungos, bactérias, entre outros (MEHTA, 1991). Os constituintes não-orgânicos compreendem argilo-minerais tais como illita, caulinita, clorita e smectita; as argilas e a matéria orgânica que juntamente com as propriedades químicas determinam o comportamento coesivo do sedimento (WINTERWERP & KESTEREN, 2004).

A Matéria Orgânica (MO) na lama existe na forma de material orgânico particulado (POM) e material orgânico dissolvido (DOC). A M.O alóctone é degradada durante seu transporte e pode consistir principalmente de um material resistente como lignina. A M.O autóctone é usada e produzida pelos processos metabólicos dos organismos. Os resultados desses processos metabólicos é a

produção de uma substância chamada de EPS (substância polissacarídeo extracelular) (WINTERWERP & KESTEREN, 2004).

A composição mineral do sedimento coesivo é compreendida por minerais silicatados e não silicatados. Sendo que os silicatos são os maiores componentes da fração de sólidos minerais. Dentre eles destacam-se quartzo, feldspato e argilo-minerais. (WINTERWERP & KESTEREN, 2004).

Os argilo-minerais, também chamados de filo-silicatos, consistem de uma estrutura bidimensional tetraédrica de sílica com hidróxido de alumínio tetraédrico (gipsita) ou hidróxido de magnésio octaédrico (brucita). Estes arranjos tetraédricos de sílica e gipsita ou brucita podem ser combinados de várias maneiras para formar diferentes argilo-minerais. (WINTERWERP & KESTEREN, 2004).

As argilas têm forma achatada e superfícies carregadas com íons, criando forças da mesma ordem ou maiores que a força gravitacional, dando origem a uma interação eletrostática entre as partículas (DYER, 1989). Conseqüentemente, os grãos de sedimentos finos não se apresentam separadamente como as areias, por exemplo, mas como agregados ou aglomerados de partículas, chamados flocos, compostos por uma grande quantidade de partículas sólidas, com formas e massas específicas completamente diferentes das correspondentes a partículas individuais (TRENTO, 2005).

Os mais comuns argilo-minerais no ambiente estuarino são caulinita, ilita, smectita ou montmorillonita e clorita e eles têm uma importância muito significativa na propriedade de coesão do sedimento por causa do tamanho e da forma plana das partículas. (WINTERWERP & KESTEREN, 2004).

Os minerais não silicatados são principalmente achados em sedimentos coesivos como precipitados de sais, óxidos e hidróxidos: carbonatos, sulfatos, sulfitos, fosfatos, óxidos, hidróxidos. A ocorrência deles depende das condições químicas locais: disponibilidade de oxigênio, ferro, cálcio, Mg e Mn e seus estados de redução (WINTERWERP & KESTEREN, 2004).

Os sedimentos coesivos podem ser encontrados em quatro diferentes estágios: erosão, transporte, deposição e consolidação. Erosão é a remoção do

sedimento da superfície do fundo devido ao stress da movimentação da água junto ao fundo. Transporte é o movimento da lama em suspensão ou de camadas altamente concentradas no fundo ou próximas ao fundo pelo fluxo de água. Deposição envolve a sedimentação através da coluna d'água e sobre o fundo. Consolidação é a gradual expulsão da água intersticial pelo próprio peso do sedimento acompanhado por um aumento da densidade do fundo e da sua resistência com o tempo (WHITEHOUSE *et al.*, 2000).

Esses estágios são controlados por uma série complexa de fatores físicos, químicos e biológicos. As explicações para entender como ocorre toda a movimentação do sedimento lamoso na coluna d'água devem, primeiro, investigar a natureza da hidrodinâmica da água e depois relacioná-la com o movimento do sedimento coesivo. (WHITEHOUSE *et al.*, 2000).

Os estágios descritos anteriormente aos quais os sedimentos coesivos estão sujeitos caracterizam um comportamento cíclico particular. As partículas em suspensão na coluna d'água que estão sob influência de um fluxo turbulento entram em contato constantemente formando agregados ou flocos. Simultaneamente, a mesma força que induz a formação desses flocos pode também romper a ligação dos mesmos que não resistem ao estresse do fundo (MEHTA, 1987).

A freqüência com que estas partículas colidem, crescem e quebram depende da intensidade do fluxo da corrente e, secundariamente, da gravidade. Depois de formados, os flocos tendem a depositar-se e acumular-se no leito da planície de maré. Os flocos maiores sedimentam-se mais rápido que os menores, conseqüentemente, observa-se um perfil de estratificação do pacote sedimentar em que os sedimentos finos ficam sobre as camadas dos sedimentos mais grossos (MEHTA, 1987).

Assim que o fluxo retorna à planície de maré no próximo ciclo de maré, os flocos mais leves que foram depositados no fundo são ressuspendidos e erodidos, integrando à coluna d'água e sujeitos novamente ao processo de floculação (MEHTA, 1987).

2.3 ESTABILIDADE DO SEDIMENTO COESIVO

A estabilidade do sedimento coesivo depende de fatores físicos, químicos e biológicos (PATERSON *et al.*, 2000; WHITEHOUSE *et al.*, 2000). Os processos químicos têm sido correlacionados com interações eletromagnéticas entre as cargas das partículas dos sedimentos. Entretanto, muitos estudos mostram que a resistência e a estabilidade do sedimento coesivo são controladas pelas interações entre os parâmetros físicos e biológicos (BLACK, 1997; QUARESMA, *et al.*, 2004). Os principais fatores físicos são conteúdo de água e propriedades mineralógicas das partículas dos sedimentos.

Os organismos que vivem no sedimento podem influenciar na erosão do sedimento de duas formas: negativamente em que há declínio na estabilidade do sedimento; e positivamente com um aumento da estabilidade. (QUARESMA; AMOS; FLINDT, 2004).

O microfítobentos é principalmente composto por diatomáceas bentônicas móveis, as quais migram alguns poucos centímetros nas camadas subsuperficiais no período da noite à procura de nutrientes para a produção primária e para protegê-las contra a ação das correntes de marés. Durante esse processo, as diatomáceas excretam grandes quantidades de substâncias poliméricas extracelulares (EPS) (WINTERWERP & KESTEREN, 2004) que formam uma camada de biofilme cobrindo a superfície do sedimento, estabilizando-a pelo aumento da resistência da força de cisalhamento, tornando o fundo liso e promovendo maior coesão (QUARESMA; AMOS; FLINDT, 2004).

A desestabilização da superfície do sedimento é encontrada durante períodos de ressuspensão de sedimentos em função da ação de ventos e correntes (ANDERSEN, 2001) ou pela atividade de escavação e bioturbação de animais bentônicos (WHITEHOUSE *et al.*, 2000). Se a ocorrência desses eventos de ressuspensão de sedimento for freqüente, o intervalo de tempo entre os mesmos pode não ser suficiente para que um biofilme resistente se forme novamente. Em planícies de marés, o tempo que o fundo fica submerso também

influi na estabilidade do sedimento uma vez que as condições locais como chuvas podem ocorrer. (PATERSON *et al.*, 2000; TOLHURST *et al.*, 2006).

Os estudos de Riethmuller *et al.*, (2000) e Defew *et al.*, 2002) mostraram que a estabilidade do sedimento dependente da proliferação de bactérias e algas unicelulares é bem particular de cada área, e pode variar em função de fatores adversos como penetração de luz, disponibilidade de nutrientes e temperatura podem também influenciar nesse processo.

3 ÁREA DE ESTUDO

3.1 LOCALIZAÇÃO

A área de estudo (Figura 2) localiza-se no Canal da Passagem o qual faz parte dos corpos d'água que contornam a Ilha de Vitória. É uma ligação natural entre a Baía de Vitória e a Baía do Espírito Santo, recebendo a influência da maré em suas duas extremidades.

Neste canal ocorre o fenômeno de tombo de maré, que é a região de encontro das águas da Baía de Vitória com as águas da Baía do Espírito Santo. Segundo Rigo e Sarmiento (1999 apud MACIEL, 2004), existe um período de tempo, superior a uma hora, durante o qual a água do canal escoar toda no sentido da Baía do Espírito Santo.

O fluxo que converge neste canal está sujeito ao atrito do fundo, ao contorno e a grande sinuosidade, a planície de maré e por fim da vegetação de mangue que está presente em parte do canal, retardando o escoamento (MACIEL, 2004).

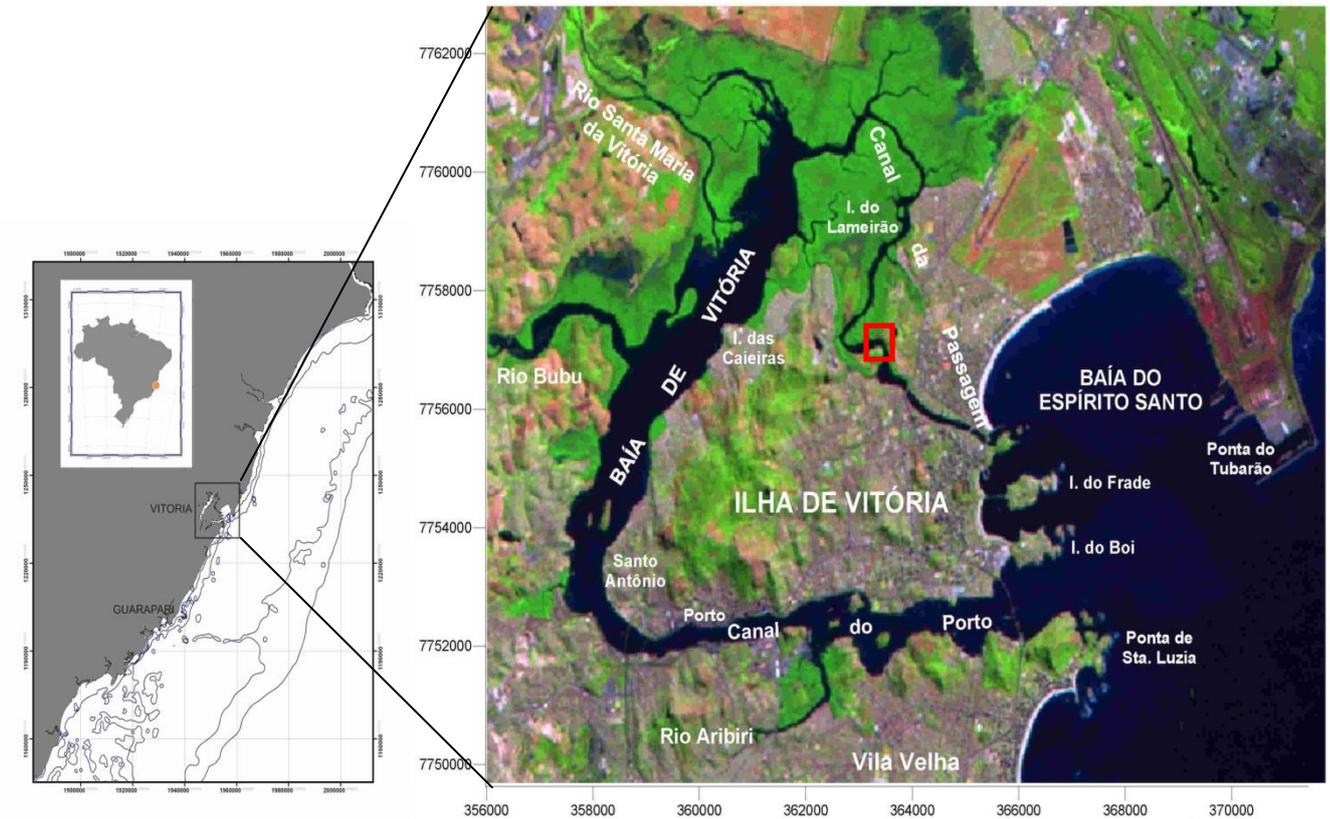


Figura 2 - Localização da área de estudo na costa do ES e na Baía de Vitória. Quadrado em vermelho destaca a área de estudo.

3.2 CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS

É um canal estreito e sinuoso com extensão de 10 km (RIGO, 2004) com batimetria variável, apresentando lugares rasos que secam por ocasião da maré vazante, e outros onde a profundidade alcança 9 m (MACIEL, 2004).

Há um estreitamento na Ponte de Passagem que divide o canal da Passagem em duas regiões, norte e sul. O canal sul tem comprimento de 3 km e apresenta profundidade que variam de 1 a 11 metros. Esta porção do canal é desprovida de manguezal por ter sido canalizada ao longo de seu comprimento. O canal norte tem comprimento de 8 km e apresenta profundidades que variam de 2 a 7 metros. Abrigando a maior concentração de manguezal, em torno de 20 km² (MACIEL, 2004).

3.3 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS E OCEANOGRÁFICAS

O clima da região é caracterizado por chuvas tropicais de verão nos meses de outubro a março, com estação seca entre os meses de abril e setembro associada a eventuais precipitações frontais de descarga em função da entrada de massas polares na área (frentes frias). A temperatura média anual é de 22° C, ficando a média das máximas entre 28 e 30° C, enquanto que as mínimas apresentam-se em torno de 15° C.

Os ventos de maior frequência e maior intensidade são respectivamente os provenientes dos quadrantes NE-ENE e SE. Os primeiros estão associados aos ventos alísios, que sopram durante a maior parte do ano, enquanto que os de SE estão relacionados às frentes frias que chegam periodicamente à costa capixaba (EMCAPA 1981, apud ALBINO 1999).

É uma região sujeita ao regime de micromarés (alturas de marés menores que 2 metros) e a forçante hidrodinâmica principal é a maré (MACIEL, RIGO E CHACALTANA, 2003; MACIEL, 2004).

4 METODOLOGIA

O período de monitoramento ocorreu entre outubro de 2007 e outubro de 2009. A metodologia deste trabalho abrangeu amostragem em campo e análises laboratoriais. Os campos foram mensais nas horas de maré mais baixa seguindo a tábua de marés para o Porto de Tubarão (DHN - Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha).

4.1 MONITORAMENTO DA MORFOLOGIA DA PLANÍCIE DE MARÉ

Foram feitas medições da morfologia superficial da planície de maré através da instalação de pólos acrecionais (Figura 3). Cada pólo acrecional compreende de barras metálicas com 2 metros de comprimento que foram fincadas 1,5 m dentro do solo, nivelados com distância de 1 m. Dois pares de pólos acrecionais foram instalados na planície de maré, um mais próximo da vegetação de mangue (Ponto1) e, outro mais próximo do canal (Ponto2) (Figura 4). Durante o levantamento de campo uma barra de alumínio foi posicionada sobre os pólos e nove medições foram realizadas entre a superfície do manguezal e a barra de alumínio. Após cada campo, estes dados foram tratados estatisticamente para se observar o comportamento morfológico daquela área de estudo (QUARESMA, 2004)



Figura 3 – Medição da morfologia superficial da planície de maré.



Figura 4 – Estações amostrais na área de estudo.

4.2 COLETA DE AMOSTRAS E CARACTERIZAÇÃO SEDIMENTOLÓGICA

Coletou-se as amostra de sedimentos nos primeiros cinco cm da camada sedimentar com medidas de volume conhecido, $199,5 \text{ cm}^3$, em cada ponto amostral da área de estudo (Figura 5).



Figura 5 – Coleta das amostras.

Em laboratório, as amostras foram pesadas e colocadas na estufa sob temperaturas em média de 40°C e retiradas após um período de 48 horas para nova pesagem. Em seguida foram quarteadas pelo método de cone (INGRAN, 1971) e separadas, aproximadamente 7 (sete) gramas de sedimento para queima de matéria orgânica (M.O) pelo método Mook & Hoskin (1982) e 10 (dez) gramas para queima de carbonato segundo Ostrom (1961 apud Suguio, 1973). Após, quantificar o teor de matéria orgânica, as amostras foram submetidas ao peneiramento via úmida descrito por Suguio (1973).

A ignição em mufla foi à temperatura de 550°C por um período de 4 horas. O resfriamento foi feito no dessecador por 2 horas. A queima de carbonato foi feita adicionando ácido clorídrico até remoção total do carbonato do sedimento. Secou-se a amostra na estufa por 48 horas. Os teores de matéria orgânica e de carbonato foram determinados através da diferença entre o peso seco do sedimento e o peso após a queima, considerando o peso seco (em porcentagem), conforme as equações abaixo:

$$MO (\%) = [Peso\ seco (g) - Peso\ após\ ignição (g)] 100$$

$$Carbonato (\%) = [Peso\ seco (g) - Peso\ após\ ignição (g)] 100$$

A densidade das amostras coletadas da região entre maré foi determinada pelo método desenvolvido por Amos & Sutherland (1994) em que o volume do sedimento (V) e a massa total (m) da mistura sedimento/água foi usado de acordo com a fórmula a seguir:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

A porosidade do sedimento foi calculada conforme a equação desenvolvida por Whitehouse (2000):

$$\varepsilon = \frac{\rho_s - \rho_b}{\rho_s - \rho}$$

onde $\rho_s = \text{densidade do sedimento} = 2650 \text{ kg/m}^3$;

$\rho_b = \text{densidade da amostra e}$

$\rho = \text{densidade da água} = 1027 \text{ kg/m}^3$

4.3 TESTES LABORATORIAIS

Para avaliação da influência do tempo de consolidação na densidade do sedimento seguiu-se a metodologia descrita por Quaresma *et al* (2004). Ressaltando que os testes foram realizados com as amostras dos dois pontos amostrais (P1 e P2) entre os campos 3 e 9.

A coleta de amostras ocorreu da mesma forma que descrito no item 4.1. As amostras foram colocadas em provetas graduadas completadas por água do canal. Lembrando que foram realizadas réplicas de cada amostra. Mediu-se, então, a altura do sedimento com o auxílio de uma régua em cada tempo de consolidação (2, 6, 10, 24 e 48 horas), para posterior cálculo do volume V_s correspondente a cada tempo medido. Foram feitos testes sob a influência das atividades conjunta de respiração e fotossíntese (sob ação da luz) e só de respiração (sem ação da luz), como pode ser observado na Figura 6.

Para determinação da densidade do fundo, efetuou-se os seguintes cálculos:

1. Primeiramente, calculou-se a massa total da amostra:

$$m_t = [\rho_s V_s + \rho_w V_w]$$

$$\text{onde, } \rho_s = 2650 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \text{ e } \rho_w = 1027 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} ;$$

$$V_w = V_t - V_s ;$$

$$V_t = \text{volume da proveta} ; V_s = \frac{m_s}{\rho_s}$$

2. A partir dos dados obtidos pelas fórmulas acima, calculou-se a densidade do fundo:

$$\rho_b = \frac{m_t}{V_t}$$

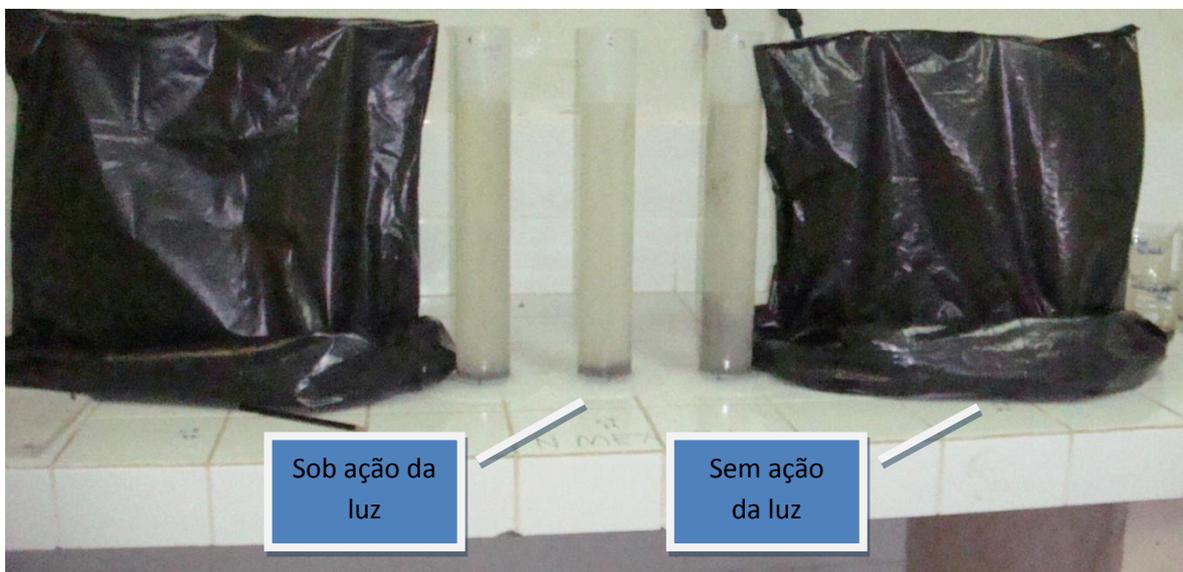


Figura 6 – Testes de consolidação no Laboratório de Geologia.

4.4 MEDIÇÕES HIDRODINÂMICAS

As medições hidrodinâmicas de correntes foram realizadas utilizando um Acoustic Doppler Velocimeter (ADV) modelo SonTek/YSI 10 MHz (Figura 7). É um equipamento de alta precisão responsável por medir a velocidade da corrente nas três dimensões (3D) baseado no efeito Doppler. Emite ondas acústicas com intervalos de tempo e frequência conhecidos a partir de um transdutor. Neste caso, as medições foram feitas com intervalos de tempo de 20 minutos (*bursts*). O retorno dos sinais acústicos (*backscatter*) foi recebido por três receptores. A intensidade desse retorno é determinada pela concentração de material particulado em suspensão (ANDERSEN *et al*, 2007; HA *et al.*, 2009; SONTEK, 2009).

O equipamento foi instalado em campo (24/03/2009) durante a maré baixa com auxílio de um tripé, como se observa na Figura 8A.

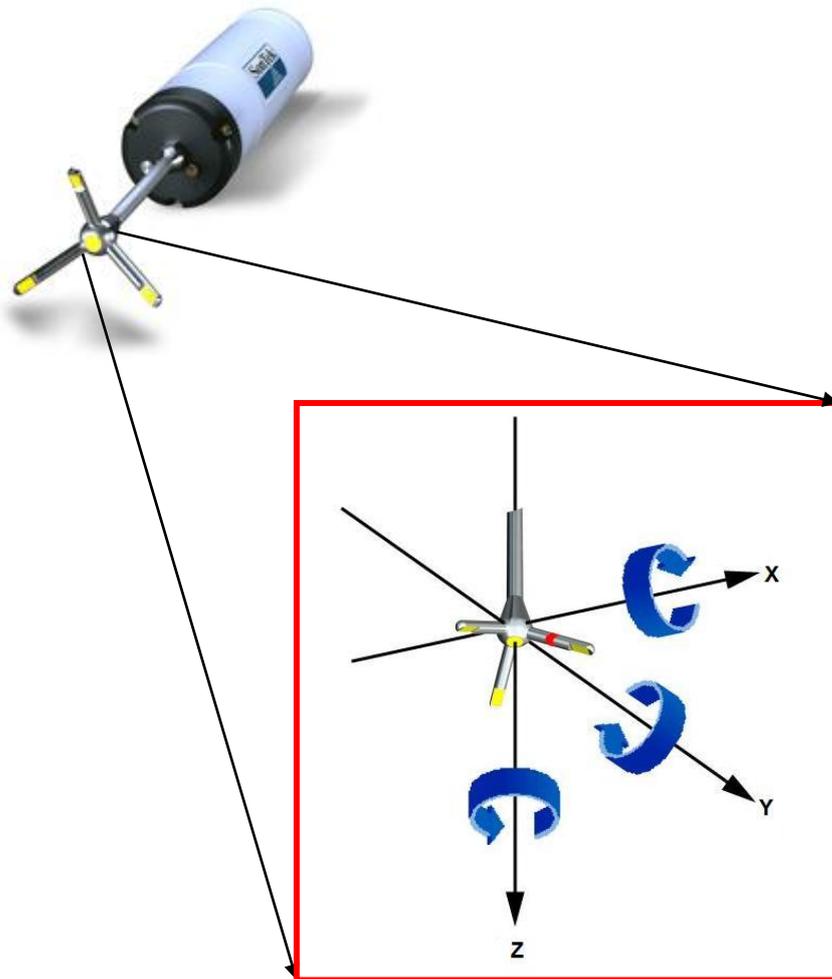


Figura 7 – ADV (Acoustic Doppler Velocimeter, mostrando em destaque o sistema de coordenadas do equipamento (Adaptado de Sontek, 2009).

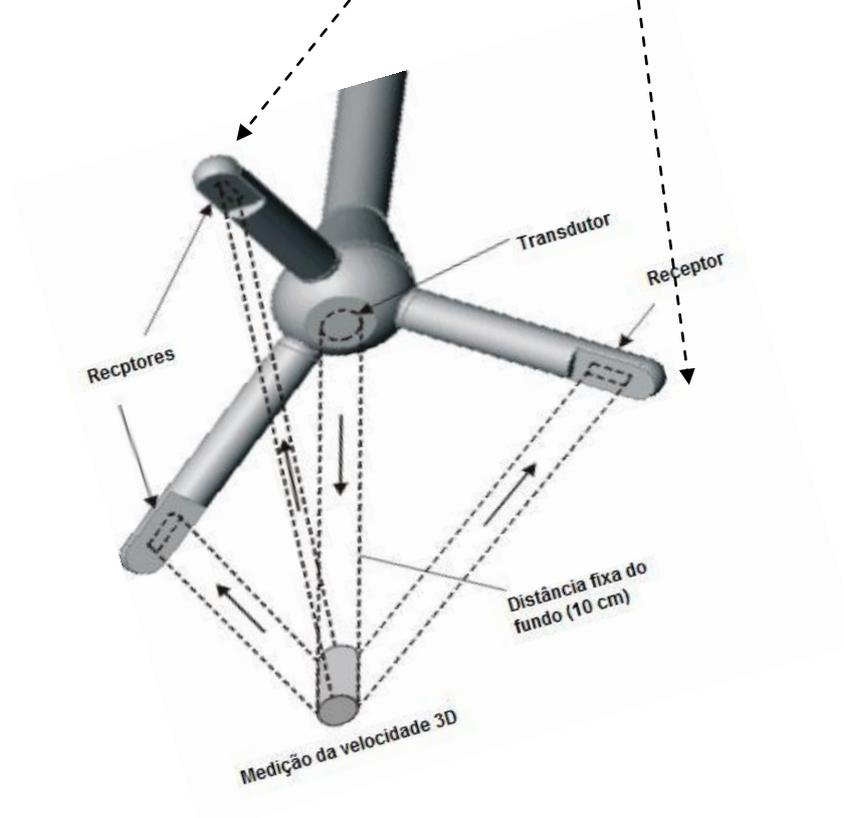


Figura 8 – Medições em campo. Instalação do equipamento na planície de maré baixa e a estrutura de medição do ADV (Adaptado de Sontek, 2009).

Em campo foram coletados volumes de 300 ml de água próximos ao fundeio do equipamento em intervalos de tempo de 15 minutos. Em laboratório, as amostras de água foram filtradas, secadas na estufa (40°C) por 48 horas e pesadas em balança analítica.

A partir da curva de calibração (Figura 9), foi possível fazer os cálculos de material particulado em suspensão para todo o período de medição em campo.

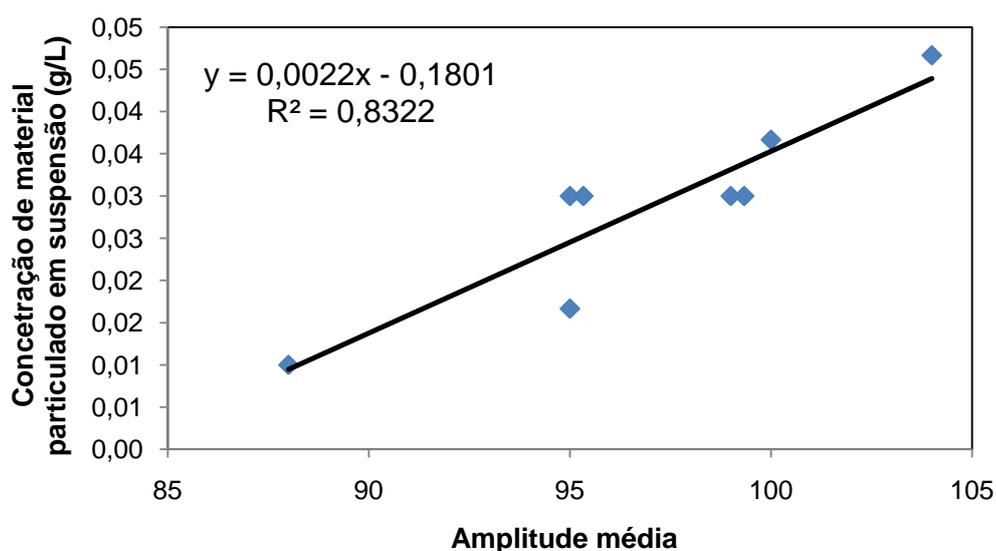


Figura 9 – Relação entre a concentração de material particulado em suspensão e a amplitude média (média do sinal acústicos dos três receptores).

4.5 CÁLCULOS DA TENSÃO CISALHANTE E TAXA DE TRANSPORTE DE SEDIMENTO

Conforme descrito por Whitehouse (2000), a tensão cisalhante foi obtida a partir da velocidade de fricção u_* por meio da seguinte equação:

$$\tau_0 = \rho u_*^2$$

onde ρ é densidade da água = 1027kg/m³

Para calcular a velocidade de fricção usou-se a equação do perfil logarítmico de velocidade:

$$U_z = \frac{u_*}{k} \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$$

onde u_* = velocidade de fricção; z_0 = rugosidade do fundo;

e k = constante de Von Karman's = 0,4

O valor de z_0 usado corresponde ao tipo de fundo de lama e areia, como pode ser observado na Tabela 1 abaixo:

Tabela 1 – Relação entre o tipo de fundo e a constante de Von Karman's (Soulsby, 1997).

| TIPO DE FUNDO | Z_0 (mm) |
|---------------------|------------|
| Lama | 0.2 |
| Lama/areia | 0.7 |
| Silte/areia | 0.05 |
| areia (unrippled) | 0.4 |
| areia (rippled) | 6 |
| areia/concha | 0.3 |
| Areia/cascalho | 0.3 |
| lama/areia/cascalho | 0.3 |
| cascalho | 3 |

A taxa de transporte de sedimento foi calculada nas direções transversal e longitudinal, de acordo com a equação abaixo (adaptada de Whitehouse, 2000):

$$Q_s = C_m U_{x,y}$$

onde C_m = concentração do material particulado em suspensão

onde U_y = velocidade transversal

onde U_x = velocidade longitudinal

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 PROPRIEDADES DO SEDIMENTO

As principais características do sedimento da área de estudo podem ser observadas na Tabela 2, e os resultados encontrados mostraram que os teores de matéria orgânica foram bastante variados, com mínimo de 3,4 e máximo de 26,5%. Dias (2005) e Cassini (2008) também determinaram a quantidade de matéria orgânica no sedimento do manguezal do Canal da Passagem e encontraram em média de 26 e 18 %, respectivamente.

Tabela 2 – Composição do sedimento local em porcentagem

| | Matéria Orgânica | Carbonato | Areia |
|--------|------------------|-----------|-------|
| Mínimo | 3,4 | 3,1 | 7,5 |
| Máximo | 26,5 | 13,7 | 82,8 |
| Média | 15 | 8,4 | 51,7 |

Comparando os resultados obtidos no presente trabalho, pode-se determinar que o sedimento do sistema manguezal-planície de maré é rico em matéria orgânica. Rossi e Mattos (2002) fizeram uma pesquisa no ecossistema Manguezal do litoral do estado de São Paulo e registraram teores de matéria orgânica com média de 8,5%, indicando que os dados mostraram maiores valores de matéria orgânica em ambientes de baixa energia e valores relativamente menores nos setores onde os processos hidrodinâmicos são mais intensos.

Os sedimentos de manguezal podem ser originados do próprio ambiente, pela decomposição de folhas, galhos e restos de animais. O material decomposto pode ficar armazenado no sedimento sendo disponibilizado para áreas adjacentes ou retido no próprio Manguezal, consumido por microorganismos e reutilizado pelas próprias plantas. A cobertura vegetal também pode modificar as

características do substrato, devido à maior ou menor contribuição em matéria orgânica. Podem ainda ser formados a partir de produtos da decomposição de rochas de diferentes naturezas que são trazidos de fora do ambiente por ondas, ventos ou fluxo dos rios (FERNANDES e PERIA, 1995; DIAS, 2005).

A partir da análise dos resultados, foi possível identificar que o teor de matéria orgânica variou ao longo do período de monitoramento (Figura 10).

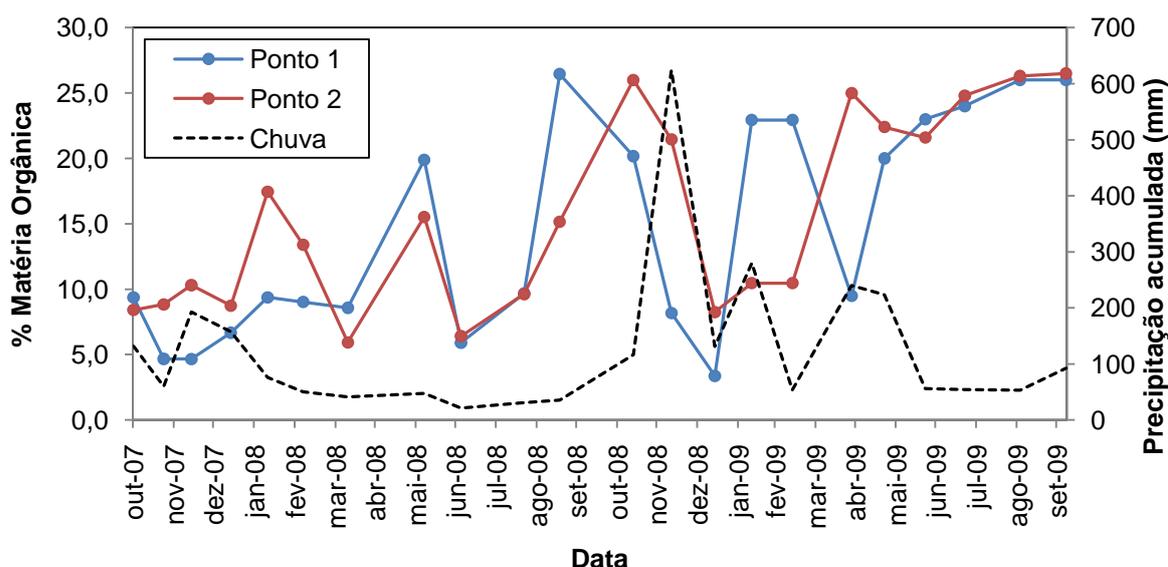


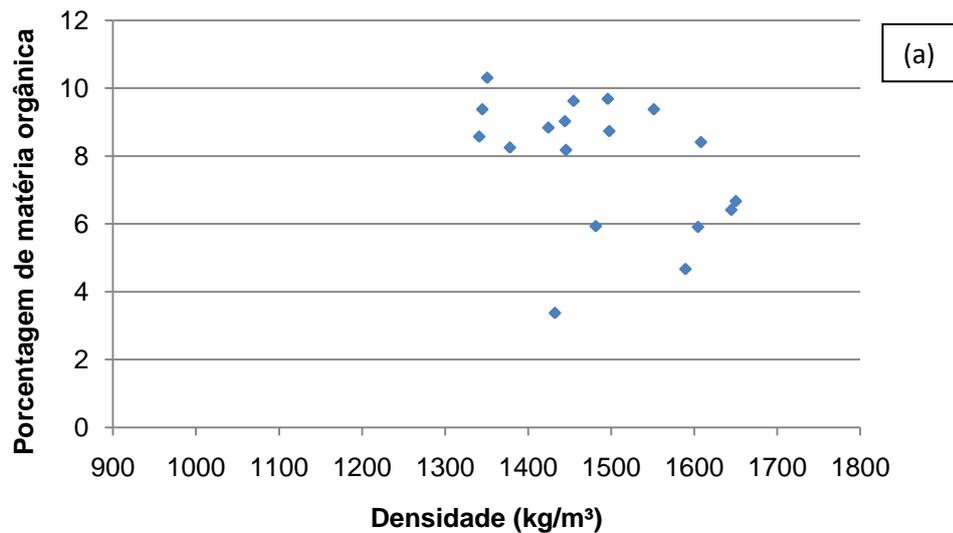
Figura 10 - Variação da quantidade de matéria orgânica ao longo do período de monitoramento.

De um modo geral, o Ponto 1 apresentou menores valores de matéria orgânica, apesar da proximidade com a vegetação de manguezal, em contrapartida, o Ponto 2, mais próximo do canal apresentou maior quantidade de matéria orgânica, evidenciando que as condicionantes fluxo do rio e ação da maré são fatores determinantes para entrada de matéria orgânica no sistema manguezal-planície de maré.

Vale ressaltar, que os maiores picos de M.O. encontrados ao longo do período de pesquisa estão associados à precipitação local. A pluviosidade é um fator determinante para aumentar o volume da descarga fluvial, que carrega predominantemente material em suspensão de granulometria de silte e argila, pois são mais facilmente transportados pelas correntes, bem como matéria orgânica. A argila caracteriza-se por apresentar propriedades coesivas em função do seu arranjo mineralógico, indicando maior agregação de partículas,

principalmente da matéria orgânica que se encontra no sedimento, diminuindo sua capacidade de decomposição e favorecendo a sua acumulação aumentando conseqüentemente a sua quantidade.

O resultado da correlação entre teor de matéria orgânica e densidade apresentou apenas uma tendência, não evidenciando uma correlação direta, como pode ser observado na Figura 11. O aumento da matéria orgânica no sedimento local teoricamente provocaria um aumento na densidade do sedimento em função da elevação da propriedade coesiva desse sedimento (WHITEHOUSE, 2000), no entanto, isso não foi tão claro nos resultados obtidos na área de estudo. Em relação à porosidade, o resultado foi bem menos significativo em função do espalhamento muito grande observado.



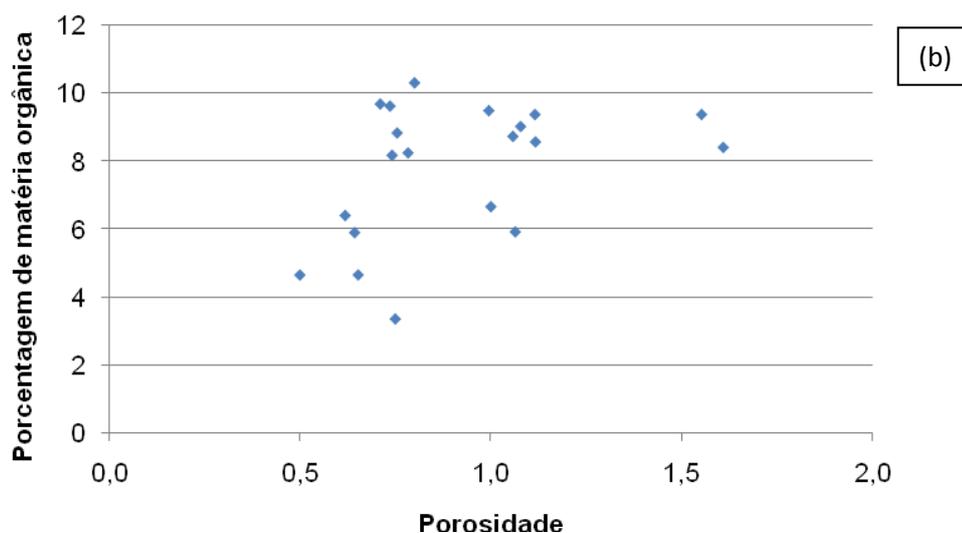


Figura 11 - Gráficos de correlação. (a) Relação entre o teor de matéria orgânica e densidade do sedimento; (b) Relação entre o teor de matéria orgânica e porosidade do sedimento.

Quanto à presença de carbonato, o sedimento local apresentou baixas concentrações, com os valores em porcentagem variando entre 4,1 e 13,7, indicando pouca representatividade para o presente estudo. Os resultados encontrados por Bêrredo *et al* (2008) revelaram valores parecidos de carbonato, em média, registrou-se 12,33 % no sedimento de Manguezal da Baía de Guaratuba, Paraná.

Os gráficos da Figura 12 a seguir mostram que o teor de carbonato não interfere na densidade nem na porosidade do sedimento, como já era esperado em função da baixa concentração encontrada nas amostras. Os dois gráficos apresentaram um espalhamento muito grande dos valores, impedindo que relações diretas entre esses parâmetros pudessem ser feitas.

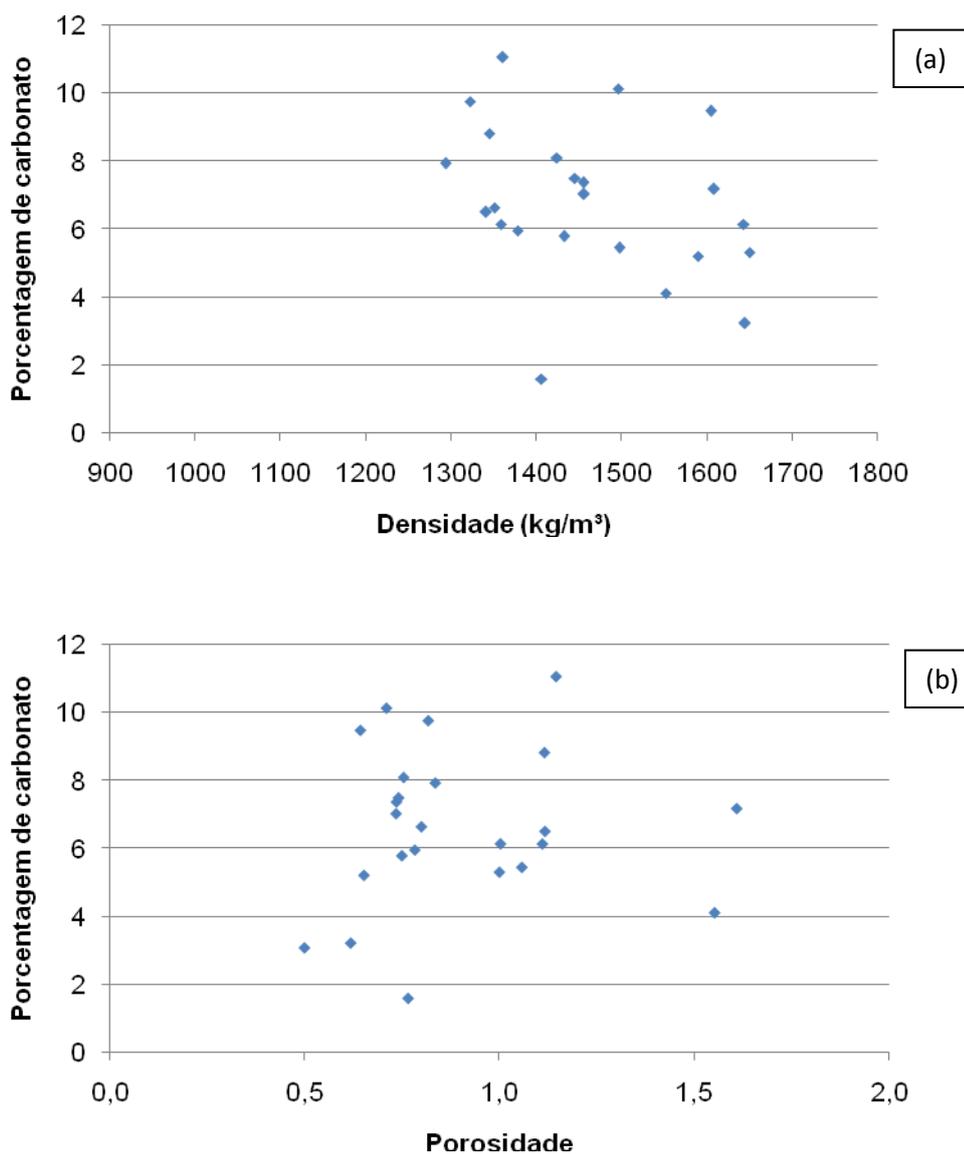


Figura 12 - Gráficos de correlação. (a) Relação entre o teor de carbonato e densidade do sedimento; (b) Relação entre o teor de carbonato e porosidade do sedimento.

As concentrações de areia encontradas foram bastante significativas, apresentando uma média de 65,3% entre os meses de coletas. Na Figura 13 está representada a variação do teor de areia ao longo do período de monitoramento. Nos quatro primeiros meses, quantidade de areia para ambos os pontos variaram de forma semelhante, isso porque o aumento da energia do sistema, devido a pluviosidade, proporcionou a entrada deste tipo de sedimento na planície de maré.

Depois, verificou-se que esse comportamento mudou entre os meses de abril/08 e setembro/08, período de seca, em que a dinâmica local foi determinada principalmente pela maré. Entretanto, quando se registrou momentos de maior energia - estes por sua vez associadas a entradas de frentes frias (com chuvas e ventos) típicas dessa época do ano – o sedimento foi retirado do ponto 2 e colocado no ponto 1, como pode ser observado claramente no gráfico.

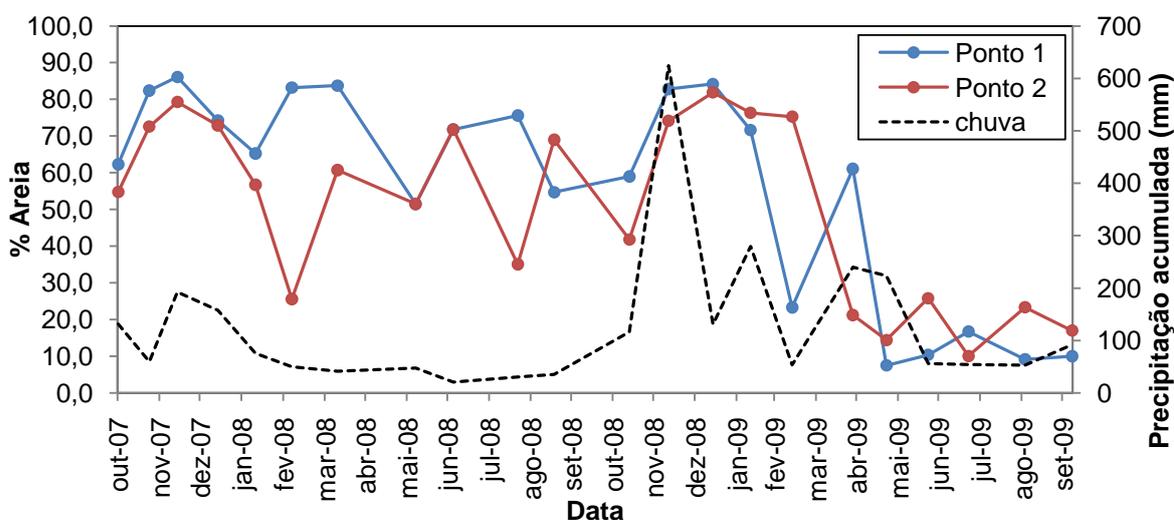


Figura 13 - Variação do teor de areia e da pluviosidade ao longo do período de monitoramento.

Houve um decaimento significativo do teor de areia em ambos os pontos nos últimos meses da pesquisa, associado à menor disponibilidade de areia no sistema. Durante este período houve a instalação dos pilares da ponte da Passagem causando uma grande interferência através do revolvimento do fundo e disponibilização de sedimento na coluna d'água, além da própria presença dos pilares que podem agir como uma barreira física alterando a hidrodinâmica local (Figura 14).

Possivelmente esta interferência antropogênica pode ter causado alguma alteração no padrão esperado. Neste caso, a granulometria do sedimento da planície de maré alterou-se significativamente, apresentando maior teor da fração silte/argila em função da sua maior disponibilização pela atividade. De acordo

com a dinâmica das correntes de maré, esse sedimento foi se acumulando aos poucos no sistema.



Figura 14 - Nova Ponte da Passagem. Em azul são mostradas as estruturas de sustentação da ponte que foram instaladas.

Os resultados também mostraram que o teor de areia interferiu de forma direta na densidade do sedimento, como esperado, mostrando uma tendência de aumento da densidade com o aumento da concentração de areia (Figura 15). A tipologia do fundo da planície de maré encontrado em cada mês de coleta foi fundamental para caracterização da granulometria do sedimento.

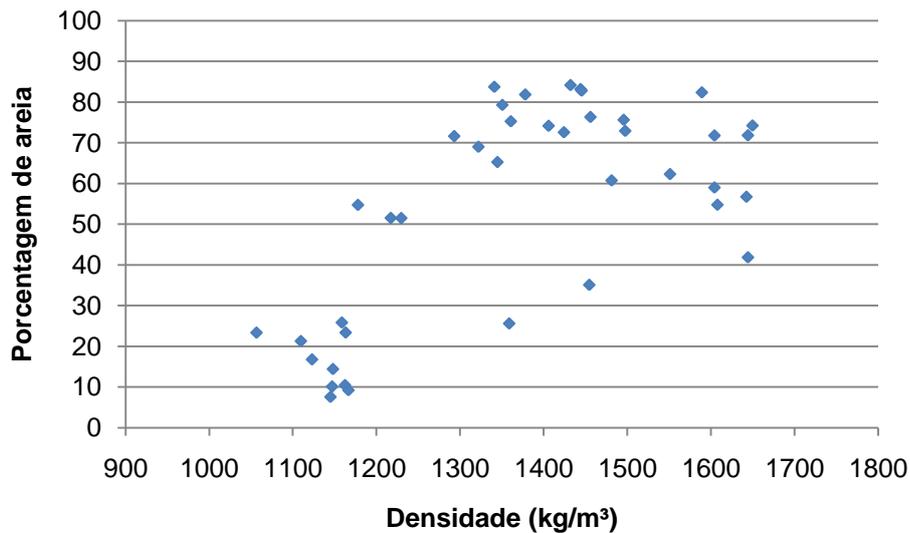


Figura 15 – Relação entre teor de areia em porcentagem e densidade (kg/m³) do sedimento.

O gráfico da Figura 16 mostrou que a correlação entre quantidade de areia e porosidade apresentou uma concentração dos valores, não permitindo verificar qualquer tendência em relação a esses parâmetros.

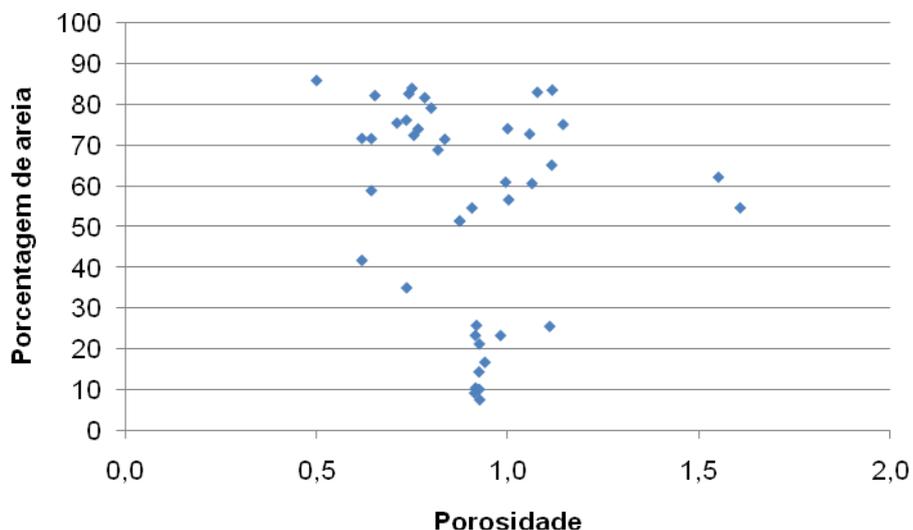


Figura 16 - Gráficos de correlação. (a) Relação entre o teor de areia e densidade do sedimento; (b) Relação entre o teor de areia e porosidade do sedimento.

O resultado da correlação entre densidade e porosidade está representado no gráfico da Figura 17. A tendência observada apresenta uma correlação inversa, quanto maior a densidade menor a porosidade, como era esperado. Os valores desses parâmetros condizem com os da Figura 18 (Whitehouse, 2000).

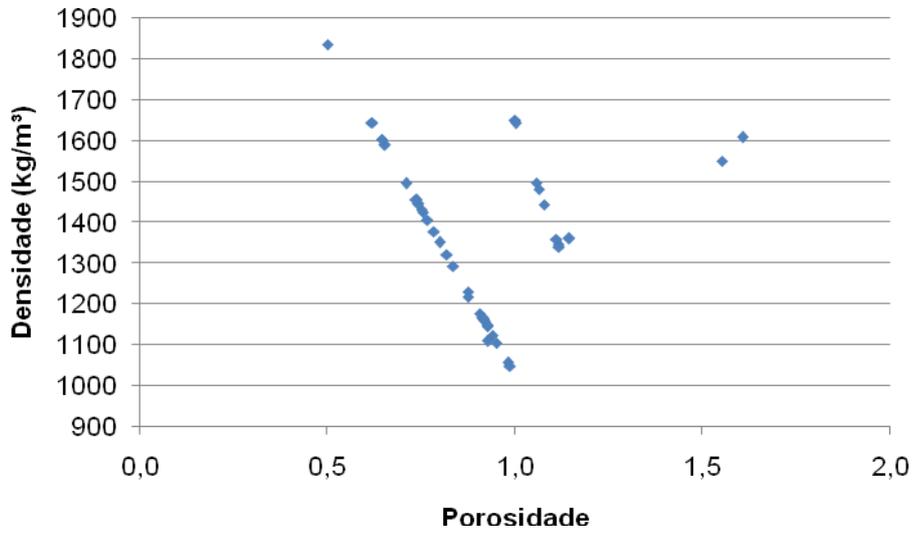


Figura 17 - Relação entre densidade e porosidade do sedimento.

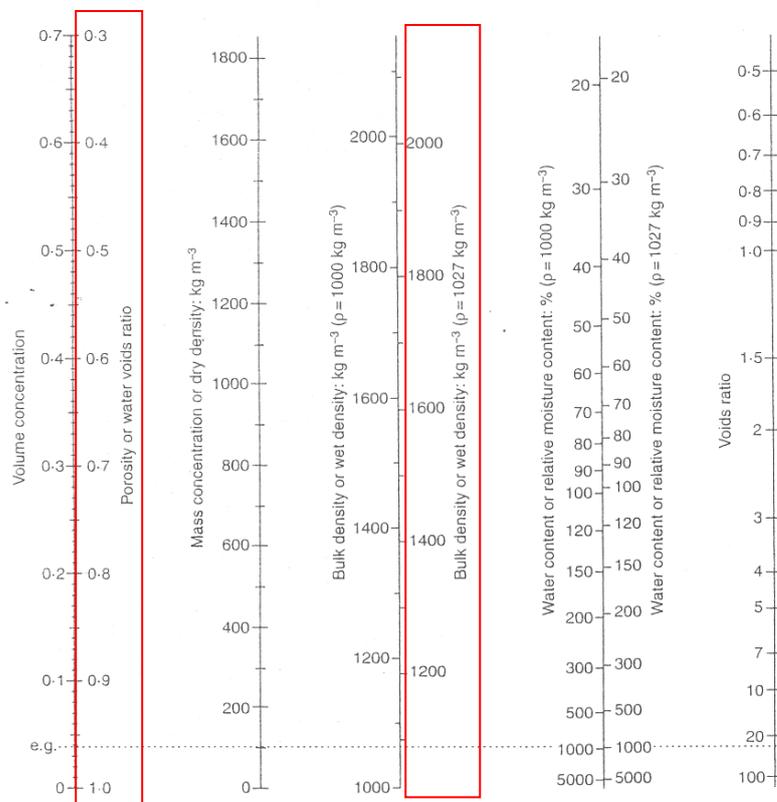


Figura 18 - Relação das propriedades densidade e porosidade (Adaptado de Whitehouse, 2000). Os retângulos vermelhos mostram os valores de densidade e da porosidade.

A porosidade é uma propriedade física definida pela relação entre o volume dos poros e o volume total do solo ou rocha, sendo caracterizada em rochas sedimentares pelos espaços entre os grãos. O tamanho e a forma das partículas, bem como outros fatores, podem influenciar a porosidade do sedimento (KARMANN, 2003)

Deve-se ressaltar que um sedimento argiloso apesar de possuir alta porosidade, em função do seu arranjo mineralógico, apresenta uma baixa permeabilidade, pois os poros são muito pequenos e a água fica presa por adsorção logo nos primeiros centímetros da camada sedimentar, impedindo que a água percole entre os poros (KARMANN, 2003). Devido à baixa quantidade de água e ao tempo de consolidação deste fundo ele apresenta uma densidade mais elevada. Em contrapartida, as características se alteram quando o fundo apresenta um grande teor de água, neste caso a densidade diminui, apresentando características de lama fluida. De mesmo modo, um solo mais arenoso também pode estar associado ao fundo consolidado, com alto grau de compactação e densidade e baixa porosidade.

Esses dois comportamentos (de solo argiloso e arenoso) foram identificados no presente trabalho, como pôde ser observado nos resultados do campo 2 em que o valor de densidade e teor de areia foram alto (1589 kg/m^3 e 86 %) e a porosidade foi baixa (0,5), revelando características de um solo mais arenoso com fundo consolidado. No campo 17, os valores foram diferentes apresentando características de lama fluida, com densidade de 998 kg/m^3 , teor de lama de 78% e porosidade 0,9.

Avaliou-se também a propriedade densidade ao longo do período de monitoramento (Figura 20). Houve uma tendência geral da densidade diminuir com o tempo, relacionado possivelmente a intempéries (chuvas) e ações antrópicas (obras).

Berlmant *et al* (1993) e Whitehouse (2000), descreveram as características dos diferentes tipos de fundo, definindo três estágios principais que dependem da concentração no ambiente e da densidade: as lamas fluidas são móveis e ficam suspensas na coluna d'água logo acima da superfície do sedimento com valores

de densidade até 1080 kg/m^3 ; as lamas fluidas estacionárias não são móveis e apresentam densidade até 1150 kg/m^3 ; e o fundo consolidado com as maiores densidades entre 1300 a 1700 kg/m^3 . Os resultados demonstram que os três tipos de fundo foram encontrados na área de estudo.

Entre outubro de 2007 e abril de 2008, os valores de densidade tinham características de fundo consolidado. Segundo Whitehouse (2000), consolidação é o processo no qual há gradual expulsão da água intersticial pelo próprio peso do sedimento acompanhado por um aumento da densidade e da sua resistência com o tempo.

Apesar da estação chuvosa do ano 2007, o volume de água que chegou ao sistema não gerou energia suficiente para movimentar o fundo uma vez que um fundo com essas propriedades dificilmente é erodido (Figura 19) sendo necessário condicionantes fortes o suficiente para alterar essa característica. Ou talvez não trouxe material suficiente para formar superfície de lama fluida.

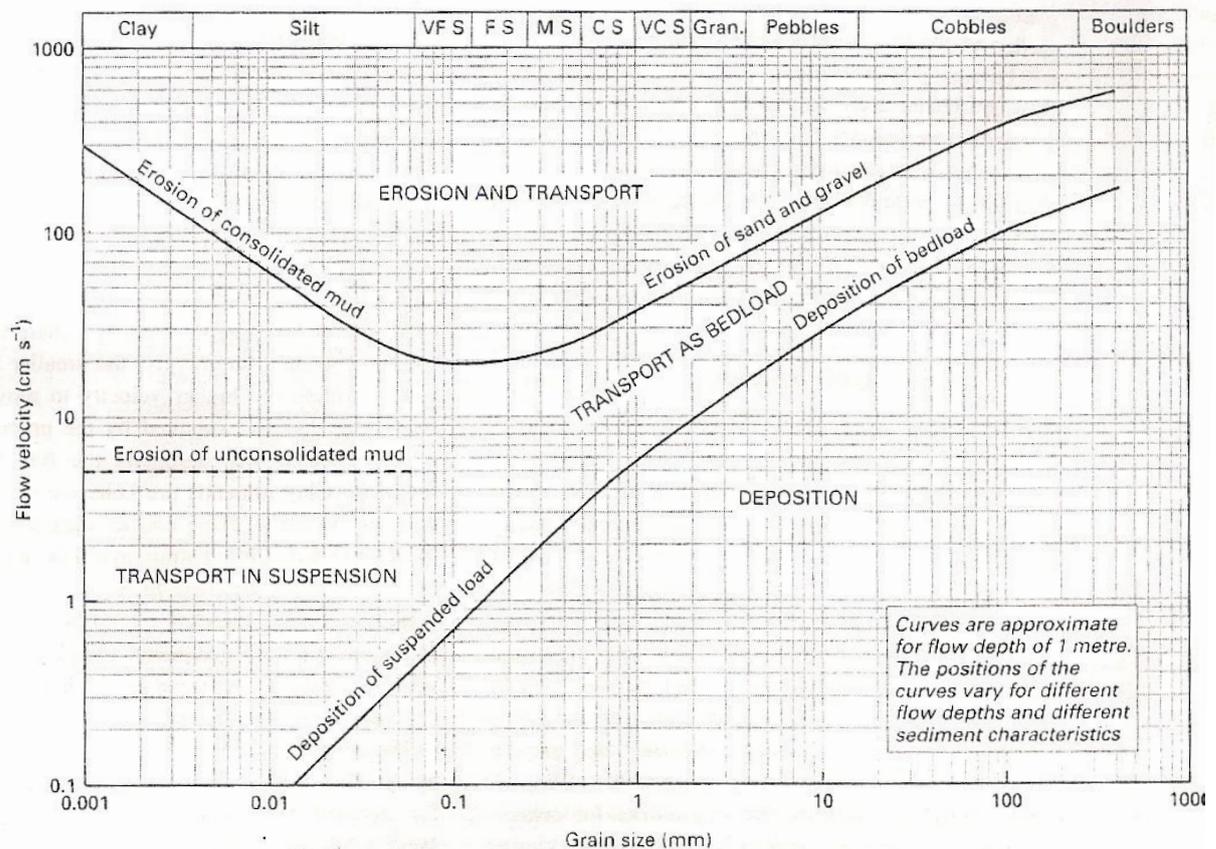


Figura 19 - Diagrama de Hjulstrom, mostrando a relação entre o tamanho da partícula e velocidade do fluxo (Reineck and Singh, 1975).

O pico de chuva registrado no mês de novembro/08 foi determinante para alterar as propriedades do fundo da planície de maré na área de estudo. Observou-se que após essas intensas chuvas e possivelmente em função da quantidade de material disponível no sistema, a densidade decaiu constantemente até apresentar características de lama fluida móvel. Associado a esse fato, inferiu-se que a intervenção antrópica ocorrida nesse período também foi determinante para modificar esse comportamento.

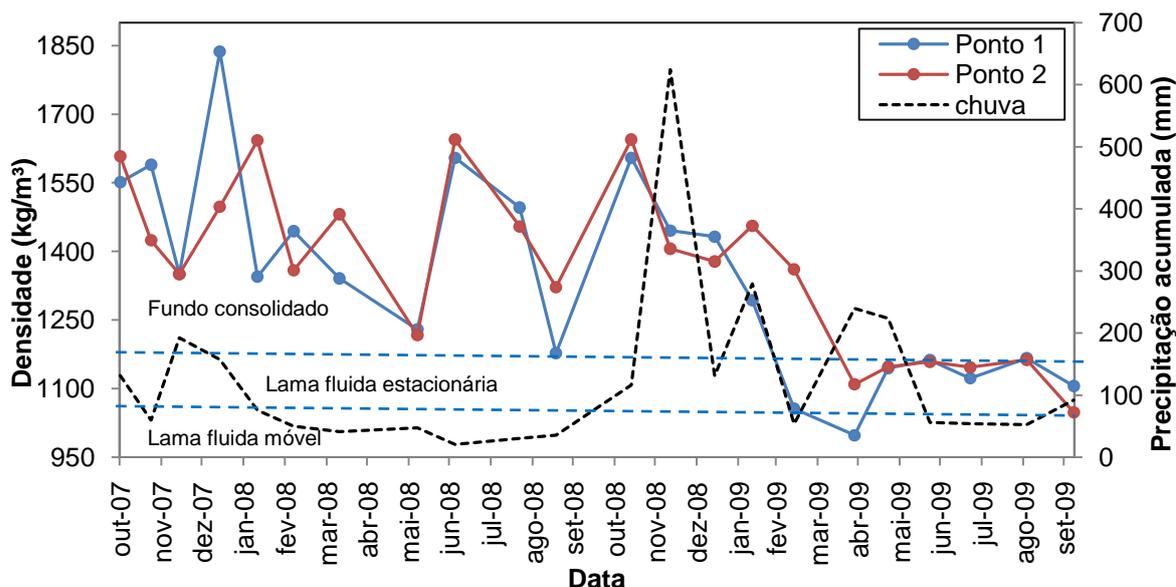


Figura 20 - Variação da densidade e da pluviosidade ao longo do período de monitoramento.

A avaliação da influência do tempo de consolidação na densidade do sedimento teve como finalidade compreender o comportamento do sedimento equivalente ao período diurno e noturno relacionando possíveis variáveis que interferem nessa dinâmica. Os resultados estão ilustrados a seguir (Figuras 21, 22, 23 e 24).

Os resultados mostraram uma tendência geral do aumento da densidade com o tempo de consolidação nos experimentos sob ação da luz. Permitindo, assim, maior resistência do sedimento às forças hidrodinâmicas tornando-o mais difícil de ser erodido e aumentando a sua estabilidade (WHITEHOUSE, 2000).

Estudos mostram que esta relação é válida para sedimentos com lama e matéria orgânica (TORFS *et al.*, 1996), como é o caso do sedimento usado neste estudo. A estabilidade do sedimento se dá por meio dos microorganismos (como microalgas e bactérias que se encontram no sedimento) os quais secretam uma matriz mucilaginosa formando na superfície do sedimento o biofilme (EPS). Este, por sua vez, tende a estabilizar a camada superficial do sedimento (DECHO, 2000).

O oxigênio gerado pela atividade fotossintética das diatomáceas fica armazenado em bolhas no biofilme. No entanto, durante este período a presença

das algas e conseqüente produção de EPS são responsáveis por manter a estabilidade do sedimento.

Algumas exceções foram encontradas, como pode ser observado nos resultados dos campos 6 e 8, em que a densidade do sedimento diminuiu em relação ao tempo de consolidação. Possivelmente a atividade bacteriana foi capaz desestabilizar o sedimento em função da produção das bolhas de gás.

Os experimentos que foram colocados no escuro apresentaram uma tendência de desestabilização do sedimento ao longo do tempo de consolidação.

A atividade de respiração das bactérias e algas presentes no sedimento é responsável pelo alto consumo de oxigênio durante esse período. Ressaltando que no escuro a atividade fotossintética não acontece. No entanto, o oxigênio que ficou armazenado forma bolhas no sedimento é em parte consumido por esses microorganismos, formando camadas de baixa densidade e menor estabilidade. Outro fator importante que acontece é a eventual liberação dos gases para a coluna d'água que também causa o mesmo efeito de desestabilização no sedimento (QUARESMA *et al.*, 2004; FRIEND *et al.*, 2005; e SUTHERLAND *et al.*, (1998).

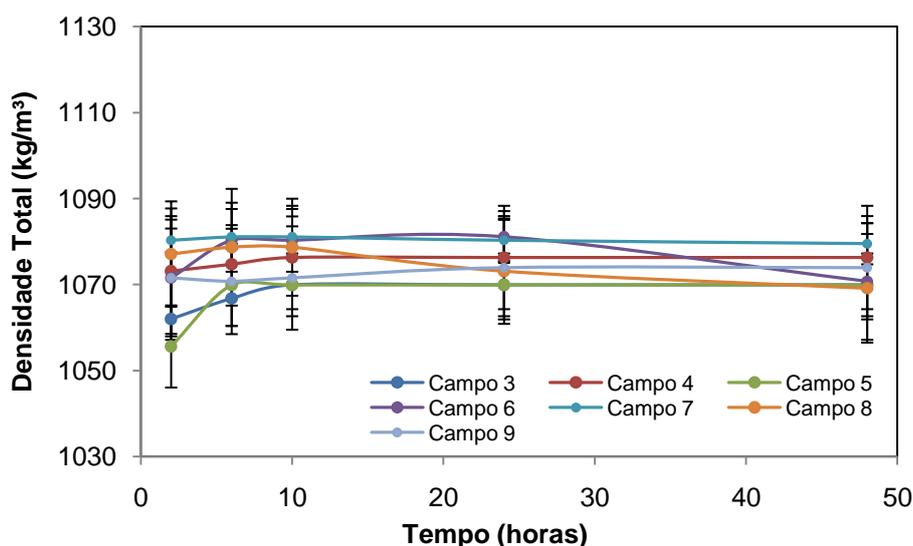


Figura 21 - Relação entre o tempo de consolidação e densidade do sedimento no ponto 1 sob ação da luz.

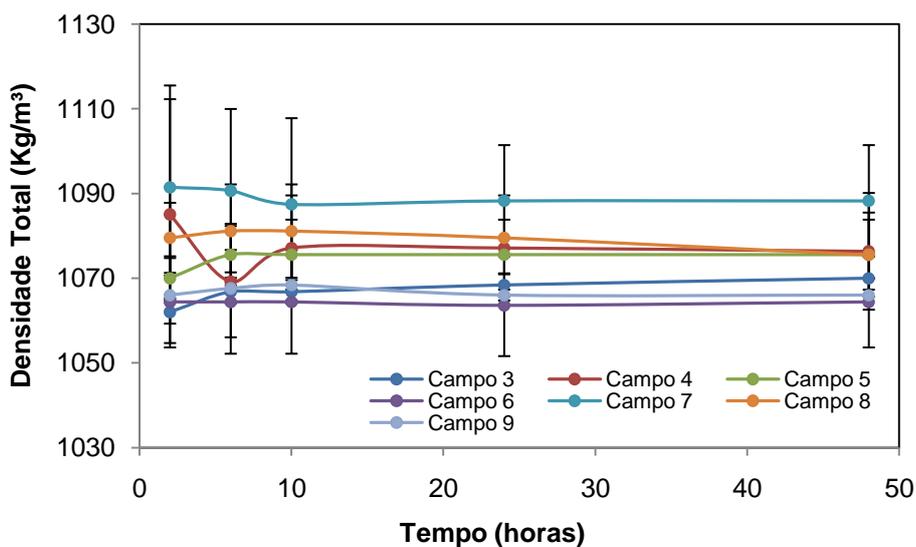


Figura 22 - Relação entre o tempo de consolidação e densidade do sedimento no ponto 1 sem ação da luz.

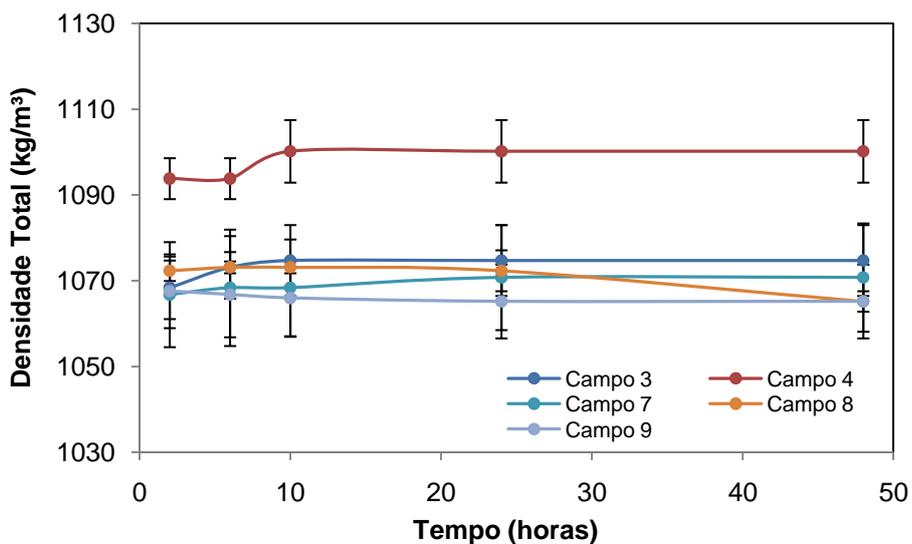


Figura 23 - Relação entre o tempo de consolidação e densidade do sedimento no ponto 2 sob ação da luz.

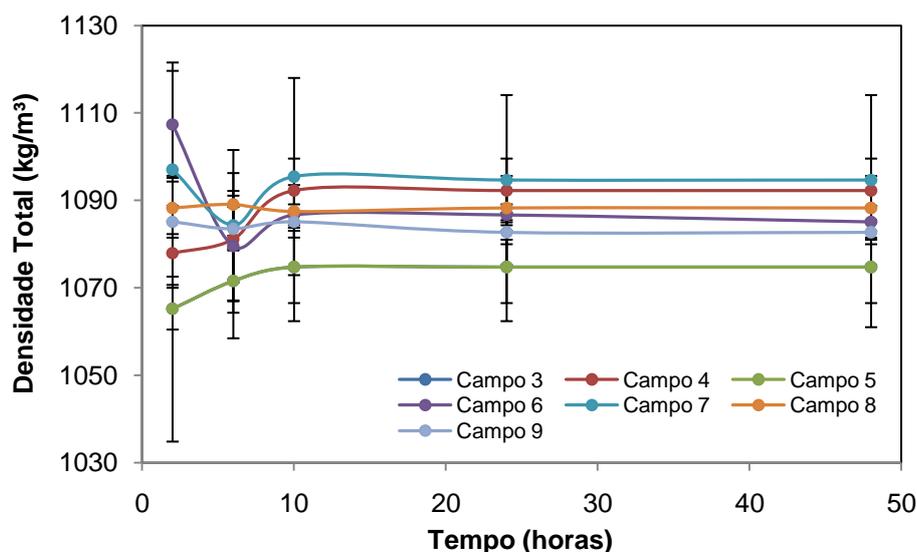


Figura 24 - Relação entre o tempo de consolidação e densidade do sedimento no ponto 2 sem ação da luz.

5.2 MORFOLOGIA DA PLANÍCIE DE MARÉ

O período de monitoramento compreendeu o período de outubro de 2007 a outubro de 2009, ressaltando que nos meses de maio e outubro de 2008 e agosto de 2009 não foram realizadas medições, portanto cada campo corresponde a um período de um mês. No primeiro campo foram instalados os pólos acrecionais e as medições da altura do sedimento não foram feitas, devido à necessidade de estabilização da superfície antes do início das medições.

A tendência geral observada após o período de monitoramento é de acreção. A caracterização da morfologia superficial da planície de maré apresentou um padrão de variações sazonais após os dois anos de monitoramento. (Figura 25) As principais forçantes que controlam a morfodinâmica da área de estudo estão relacionadas às condicionantes meteorológicas (fator chuva) e hidrodinâmicas (fator maré).

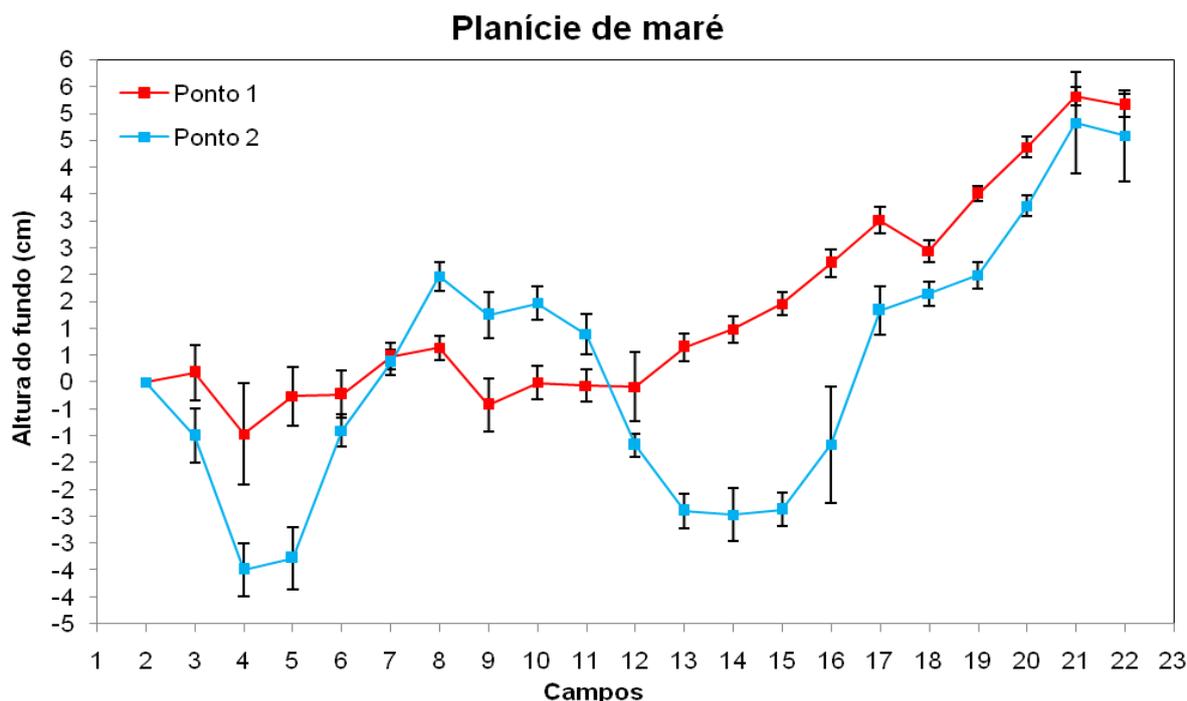


Figura 25 - Média da Variação Morfológica Superficial dos pontos amostrais 1 e 2.

Quaresma *et al.*, (2007) não encontraram um padrão de variações sazonais no comportamento da planície de maré em Hythe-UK. Esse fato foi associado ao perfil encontrado no período de verão em que se registrou erosão, apesar do sistema apresentar menor energia nesta época do ano. Os resultados mostraram que o processo de erosão esteve ligado a menor disponibilidade de sedimento no sistema devido a menor erosão do *cliff*, feição morfológica muito encontrada nessa região. Outro fator que influenciou foi a intensa movimentação de diversas embarcações no estuário que geraram ondas que, por sua vez, adicionaram ao sistema uma energia não característica no verão de regiões temperadas, por isso, o processo de erosão observado.

Na estação chuvosa do ano de 2007/08 (Figura 26) observou-se que o Ponto 1 manteve-se estável e o Ponto 2 sofreu erosão de aproximadamente 3,5 cm. Nessa época do ano, a pluviosidade é marcante e definida como condicionante meteorológica responsável pela dinâmica local. O volume de chuva na bacia hidrográfica aumenta significativamente influenciando a chegada de sedimento no sistema (DALMASHIO, 2008).

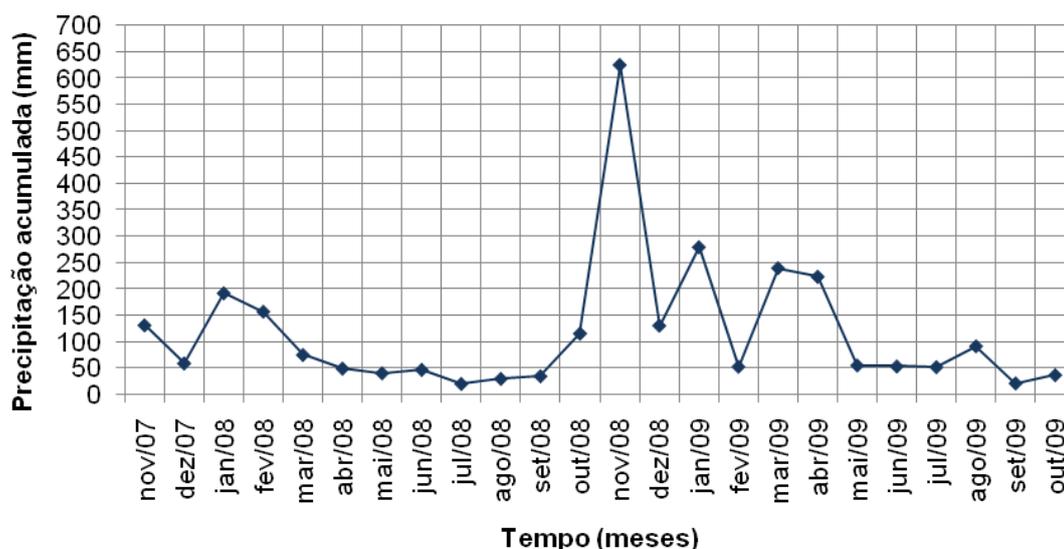


Figura 26 – Variação temporal da precipitação entre novembro de 2007 e outubro de 2009. Fonte: INMET (<http://www.inmet.gov.br/sonabra/maps/automaticas.php>).

As principais fontes de sedimentos que contribuem para o fluxo de um curso d'água são material erodido do leito, aporte de sedimento devido ao escoamento superficial sobre os terrenos da bacia e a ação da precipitação (OLIVEIRA, 2003). Os estudos de Oliveira (2003) feitos na região também mostraram que a vazão do rio, chuva e aporte de sedimento são fatores interligados e que a vazão é influenciada diretamente pela pluviosidade e que conseqüentemente influencia na hidrossedimentologia. A concentração de material particulado em suspensão aumenta durante a estação chuvosa devido ao transporte de material sedimentar erodido na bacia hidrográfica.

Em função das chuvas, o nível d' água é mais alto e pode alcançar as partes mais altas da planície de maré e superfície do manguezal, e devido à maior energia do sistema, as partes mais baixas e próximas ao canal sofrem erosão (Ponto 2); o sedimento que sofreu ressuspensão juntamente com o que chega ao sistema proveniente da bacia hidrográfica, é depositado nas partes mais altas (Ponto 1) (Figura 27).

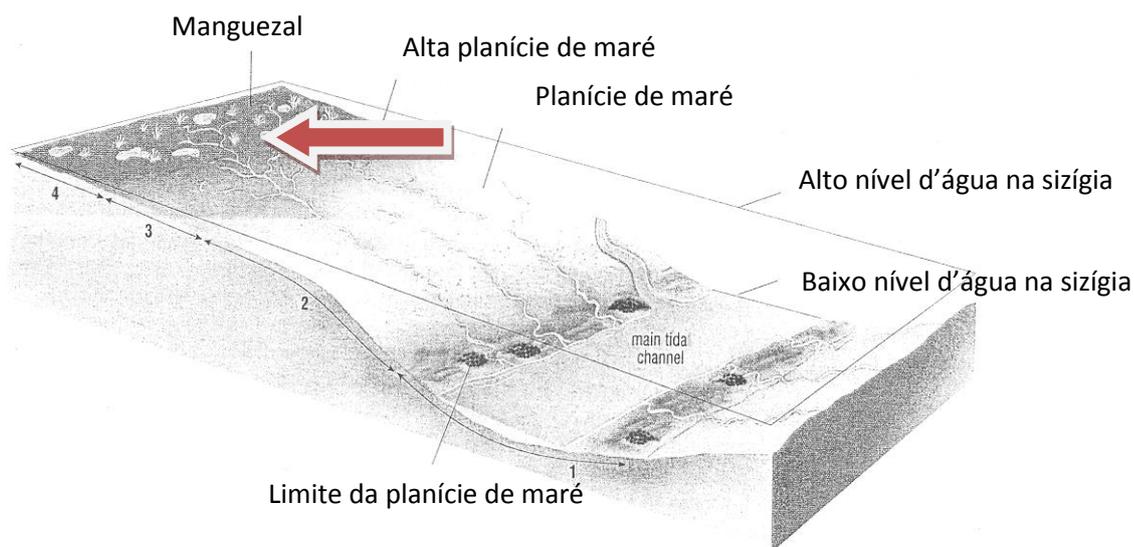


Figura 27 – Área entre-marés (Adaptado de Open University, (1999). Seta indicando que durante a maré alta na sizígia ou eventos de intensa chuva, o sedimento chega a alta planície de maré e superfície do manguezal.

Deloffre *et al.*, (2005) também encontraram uma forte dependência entre a morfodinâmica e o ciclo hidrológico. Segundo eles, a planície de maré Oissel do Rio Sena-França, em momentos de maior energia do sistema, ou seja, maior descarga fluvial, sofre um processo de intensificação na sedimentação e sob menor energia, o processo de erosão prevalece. Vale ressaltar que diferentemente neste caso, o período de cheia não ocorre nos meses de verão como na área de estudo do presente trabalho e sim, nos meses de inverno. Por isso, os processos também se alteram, mas as condicionantes principais que controlam a dinâmica do sedimento no estuário do Rio Sena são fluxo do rio e maré.

Andersen e Pejrup (2001), Le Hir *et al.*, (2000) e Bassoulet *et al.*, (2000) também realizaram estudos com o objetivo de analisar a morfodinâmica de planícies de maré e os resultados obtidos confirmam que existe um perfil de comportamento relacionado a sazonalidade de cada região. Diferentemente da área de estudo do presente trabalho, em climas temperados, os processos de acreção e deposição no período de verão podem ser atribuídos a uma combinação de fatores como pouca ação de ondas, aumento da atividade biológica na superfície do sedimento.

A estabilidade observada no Ponto 1 também pode estar relacionada à presença da atividade biológica de microorganismos bentônicos. Apesar de não terem sido feitas medições diretas de clorofila para quantificar o biofilme, pelas análises visuais durante os campos pôde-se identificar a presença deste na camada superficial do sedimento. Os fatores como radiação solar e temperatura são muito importantes para o desenvolvimento desses organismos na superfície do sedimento, principalmente nos meses de verão onde esses fatores se intensificam ressaltado-se que este ponto fica menos tempo coberto por água o que confere uma maior radiação solar (Figura 28).



Figura 28 - Planície de maré emersa (Ponto 1). Seta em vermelhando indicando a exposição da área à radiação solar.

Korman e Deckere (1998) realizaram um estudo no estuário de Dollard, Holanda, e associaram as variações temporais dos processos de erosão/deposição às atividades biológicas de diatomáceas bentônicas. Eles observaram que à medida que a quantidade desses microorganismos aumentava, a velocidade crítica de erosão aumentava também, isso porque o biofilme formado proporciona adesão das partículas no sedimento aumentando sua resistência a erosão. Por isso o sedimento se torna mais resistente à ressuspensão pela ação de ondas e marés e pode se consolidar.

A estação seca caracterizou um comportamento morfológico diferenciado. A tendência observada foi de acresção, o Ponto 1 continuou estável e o Ponto 2

comparado com o período anterior cresceu 2 cm. A dinâmica da região nesse momento é determinada pela principal forçante hidrodinâmica da região que é a maré com poucas ocorrências de chuvas, estas associadas somente aos momentos de entrada de frentes frias no sistema. Com a diminuição da energia do sistema, a quantidade de sedimentos transportados está relacionada com a dinâmica da maré que pode mobilizar partículas já depositadas e transportá-las, restringindo a troca sedimentar dentro desse pequeno sistema. O nível d'água também diminuiu e o alcance do fluxo da corrente ficou mais limitado às partes baixas da planície de maré, por isso não se verificou modificações na morfologia do Ponto 1, mas sim no Ponto 2 devido a sua localização. .

Observou-se ainda durante esse período, a tendência normal de uma planície de maré, se comportar como uma praia. Segundo Pethick (1992) o comportamento do sistema planície de maré-marisma e as mudanças da dinâmica de uma praia devido à chegada de tempestades são similares. Assim, nos momentos de maior energia (entrada de frentes frias), houve retirada de sedimento próximo ao mangue e depósito próximo ao canal, caracterizando um perfil morfológico mais planar a fim de facilitar a dissipação da energia.

Após o primeiro ano de estudo, verificou-se que o Ponto 2 é mais sensível a alterações sazonais do que o Ponto 1, por estar mais próximo do canal, ou seja, é mais suscetível às forçantes hidrodinâmicas e meteorológicas.

Comparando-se a estação chuvosa do ano 2008-09 e 2007-08 foi observado que o padrão sazonal inicialmente identificado sofreu modificação significativa no Ponto 1. Esse fato deve-se em parte aos registros de chuva que foram mais intensos no segundo ano de estudo. No mês de novembro de 2008, os valores de precipitação foram elevados caracterizando maior aporte de sedimento ao sistema com valores de deposição equivalente a 3 cm no Ponto 1. Entretanto, o Ponto 2 registrou erosão da ordem de 2,5 cm onde pôde-se identificar um ciclo sazonal de comportamento da morfologia superficial da planície de maré.

Juntamente com o fator chuva, outro importante detalhe merece ser mencionado neste trabalho, apesar de nenhuma pesquisa direta ter sido feita a

respeito disto. Vale ressaltar como descrito anteriormente que neste mesmo período estava em andamento a obra da nova Ponte da Passagem. É possível afirmar que o processo de intervenção ressuspendeu o sedimento do fundo do canal o qual foi transportado pelas correntes de maré para se depositar nas áreas mais abrigadas do sistema, além de deixar o sedimento local mais suscetível ao transporte uma vez que ainda não está totalmente consolidado.

O mês de abril de 2009 marcou o início da estação seca, e o processo de acreção manteve-se de forma intensa, atingindo 5,5 cm no Ponto 1 e 5 cm no Ponto 2. Isto revela que o comportamento observado nesse período não foi esperado, uma vez que o mesmo período do ano anterior apresentou comportamento diferenciado, evidenciando que a intervenção antrópica foi determinante para tal alteração. Pode-se dizer também que o período de seca registrado nesse ano, apresentou momentos importantes de chuva nos meses entre abril e setembro, com valores superiores ao mesmo período do ano passado. Aumentando assim, a entrada de sedimento no sistema manguezal-planície de maré favorecendo o processo de deposição. O último mês do período de monitoramento indicou que houve processo de erosão, marcando o início de uma nova estação chuvosa.

5.3 TAXA DE TRANSPORTE DE SEDIMENTO

Os dados de corrente mostraram que o período de enchente durou aproximadamente 5 horas (Figura 30A) e que as correntes mais fortes ocorreram próximo à estufa de maré, com valores de aproximadamente 0,07 e 0,09 m/s (Figura 30B).

A partir das componentes longitudinais e transversais da velocidade, analisou-se o comportamento da corrente ao longo do ciclo de maré. Ressalta-se que os valores positivos da componente longitudinal indicam fluxo em direção a entrada do canal (norte) e os da componente transversal fluxo em direção ao continente (para dentro do sistema).

A velocidade transversal apresentou aumento durante a enchente e mudança de sentido no final, quando começa a fluir em direção ao canal.

Esse fato pode estar associado à chuva registrada durante o levantamento de campo, por volta das 14 horas. É provável que a chuva tenha elevado o nível d'água na superfície do manguezal e na planície de maré. Em função do gradiente de velocidade formado pela declividade da área (Figura 29), houve escoamento da água acumulada para o canal. Devido à chuva também pode ter ocorrido eventos de vento que, possivelmente encontraram a vegetação de manguezal como obstáculo para mudar de sentido e aumentar a velocidade do fluxo em direção ao canal.

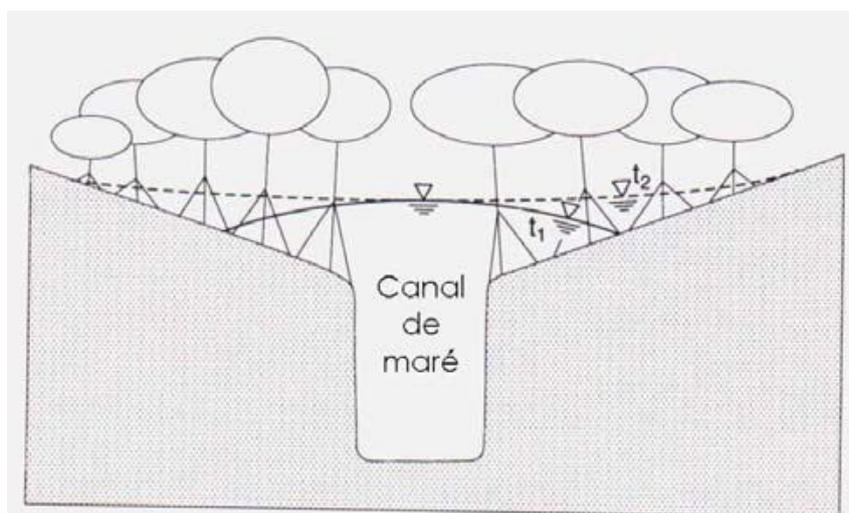
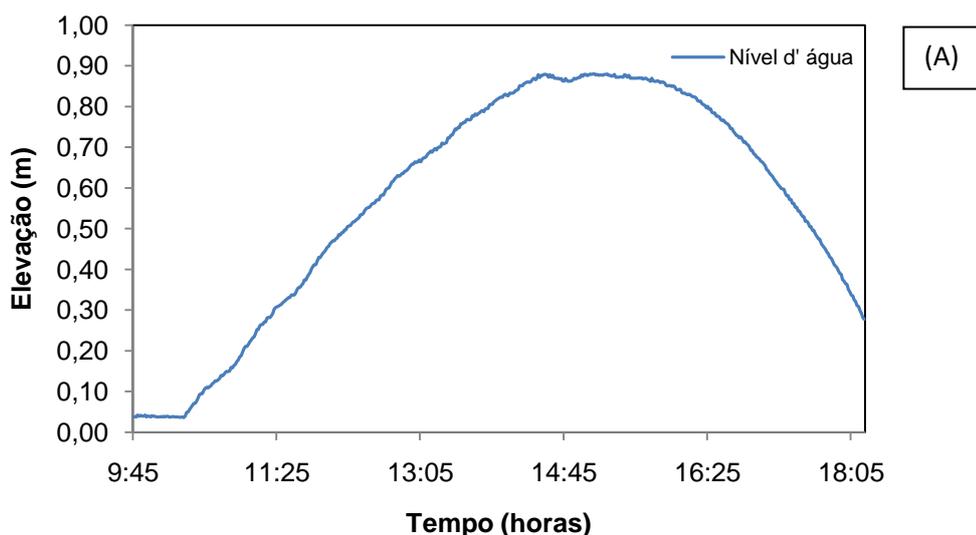


Figura 29 - Níveis d'água em um canal de maré e na floresta do manguezal durante a enchente e a vazante, adaptado de WOLANSKI *et al.* (1992) apud RIGO (2004).

Rigo (2004) também realizou um trabalho de modelagem no Canal da Passagem para avaliar o escoamento em regiões estuarinas associadas a manguezais e concluiu que próximo ao final de enchente há escoamento em direção à saída do canal. Isso implica em dizer que a mudança da corrente que normalmente só é esperada quando começa a vazante, neste caso ocorre no final da enchente. Então se associa a mudança no sentido da corrente transversal ao comportamento registrado também por Rigo (2004).

O período de vazante foi caracterizado por apresentar um pico de velocidade transversal (0,05 m/s) logo no início, indicando fluxo em direção ao canal.

A velocidade longitudinal aumentou durante o período de enchente, com fluxo em direção ao norte do canal. Como na componente transversal, a longitudinal apresentou pico de velocidade e mudança no sentido da corrente próxima ao período de estufa de maré. No entanto, o período de vazante foi marcado pela direção da corrente em direção ao norte do canal. Esse fato pode ser explicado, provavelmente, em função do transporte secundário que ocorre nas áreas de planície de maré devido à maior fricção do fundo.



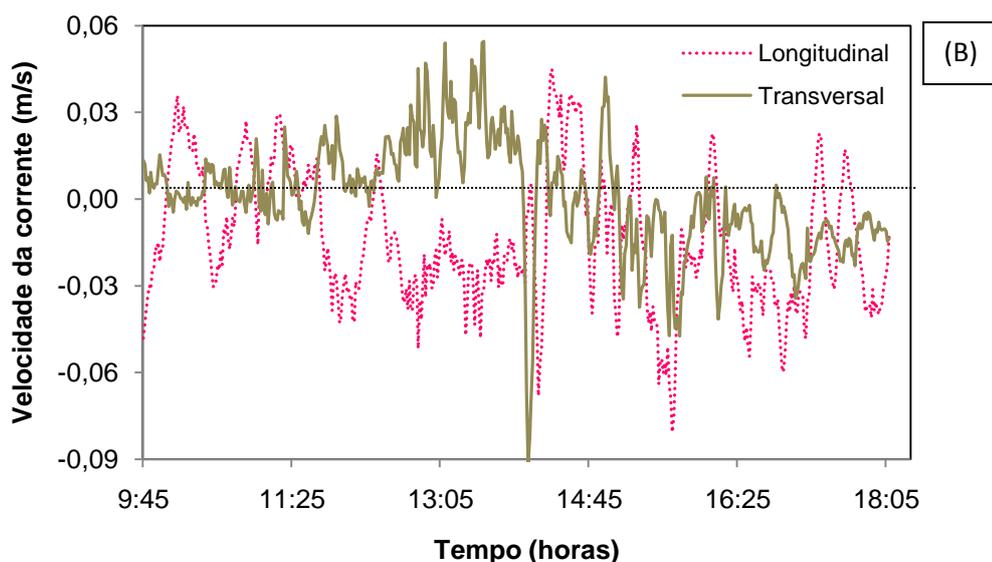


Figura 30 - (A) nível d' água, (B) velocidade da corrente de maré. Os valores positivos da componente transversal indicam fluxo em direção ao continente e os valores negativos da componente longitudinal indicam fluxo em direção a norte do canal.

Em relação ao material particulado em suspensão, as maiores concentrações ocorreram em dois momentos do período de enchente e em um da vazante, conseqüentemente, ocorreram às maiores taxas de transporte de MPS.

A partir da análise do gráfico da Figura 32 C, identificou-se os processos que ocorreram ao longo de um ciclo de maré conforme o esquema da Figura 31. O aumento da concentração de MPS no final da enchente indica que a força de fricção crítica foi excedida pela ação da corrente, erodindo a superfície da planície de maré (WHITEHOUSE, 2000). Enquanto que na estufa de maré, a baixa concentração do material está relacionada ao processo de sedimentação que ocorreu em razão da menor velocidade.

Já o início do período de vazante foi marcado pelo aumento da velocidade da corrente propiciando a ressuspensão desse sedimento recém depositado. Devido às propriedades físico-químicas do sedimento coesivo, e a maior concentração de sedimento na coluna d'água, o sedimento pode ter floculado e posteriormente depositado no fundo o que implica em dizer que a força crítica de deposição foi excedida durante esse período.

Em relação à taxa de transporte de MPS, associou-se à concentração de MPS (Figura 32D). A direção da taxa de transporte é preponderante em direção

ao continente (Figura 33). A concentração de MPS durante a enchente foi maior que a vazante. Implica, portanto, que o material transportado para dentro do sistema ficou retido propiciando a acresção da superfície da planície. O que é corroborado pela Figura 24.

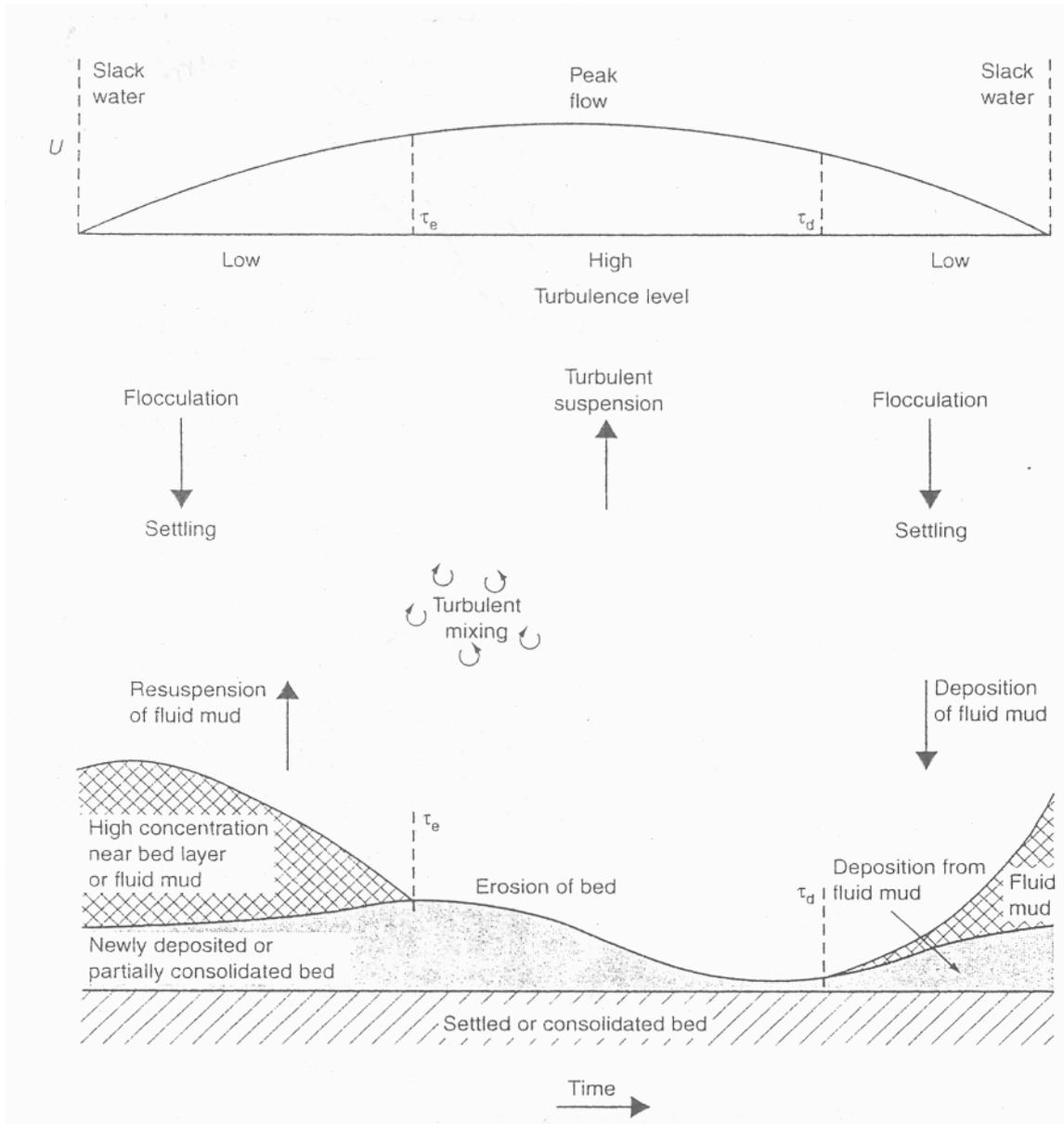


Figura 31 - Esquema dos processos de erosão, transporte, deposição e consolidação do sedimento lamoso, adaptado de Whitehouse (2000).

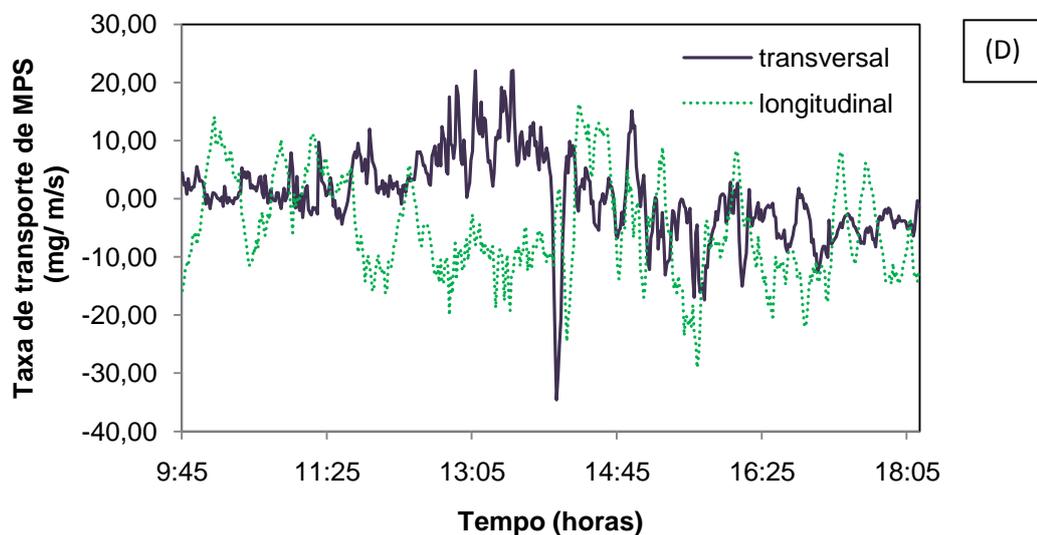
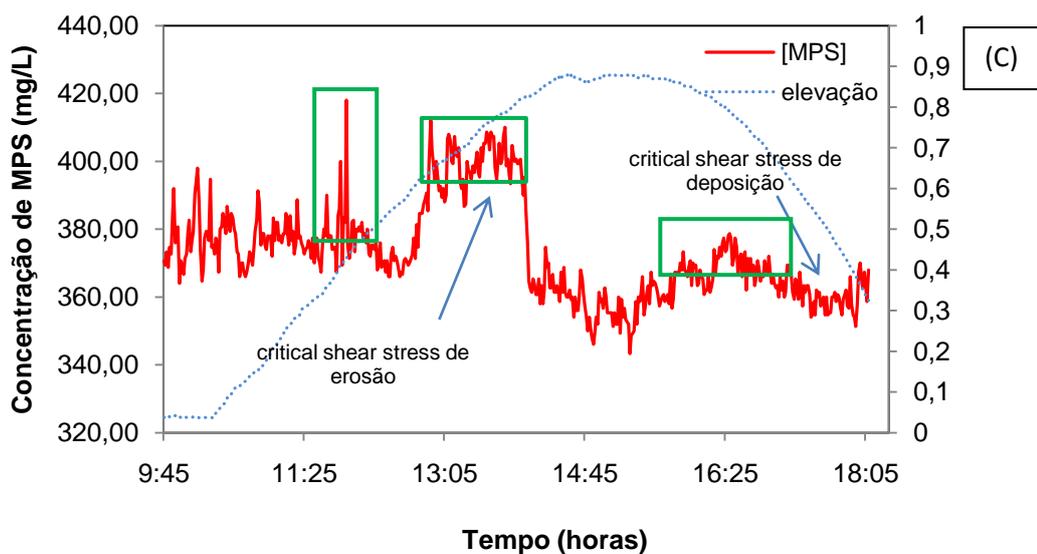


Figura 32 - (C) concentração de material em suspensão e (D) taxa de transporte de sedimento. Os valores positivos da componente transversal indicam entrada de sedimento no sistema (em direção ao continente) e os valores negativos da componente longitudinal indicam a direção ao norte do canal. Os quadrados verdes indicam as maiores concentrações de material particulado em suspensão. As setas azuis indicam os limites críticos de erosão e de deposição.

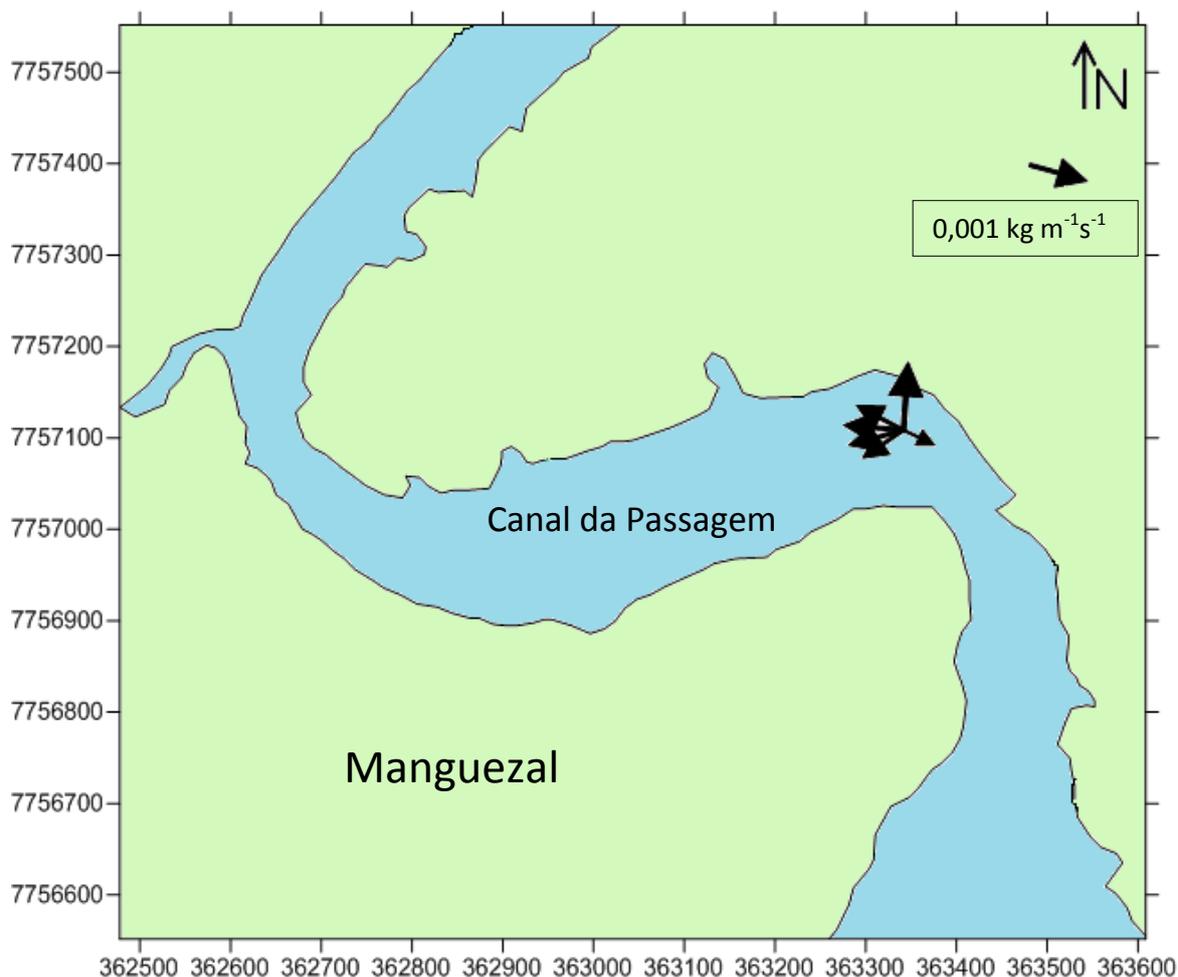


Figura 33 – Mapa esquemático mostrando os vetores da taxa de transporte de MPS.

De acordo com o gráfico (Figura 34), os maiores valores de tensão cisalhante estão relacionados à maior taxa de transporte de sedimento (Figura 32D). Segundo Whitehouse (2000), a tensão cisalhante é o parâmetro hidrodinâmico mais relevante quando se estuda os processos de erosão, suspensão e deposição do sedimento lamoso, representando a força de fricção exercida pelo fluxo no fundo.

Há um aumento da tensão cisalhante no final do período de enchente e no início da vazante. As altas taxas de transporte de sedimento caracterizam maior fricção no fundo. Enquanto que durante o período de estufa de maré a fricção exercida no fundo da planície é menor, pois se registrou velocidades próximas a zero indicando uma diminuição do fluxo.

Durante a enchente e a vazante registrou-se eventos de aumento da tensão cisalhante no fundo, porque houve aumento da velocidade da corrente nas componentes transversal e longitudinal, gerando acréscimo da taxa de transporte de sedimento e maior fricção.

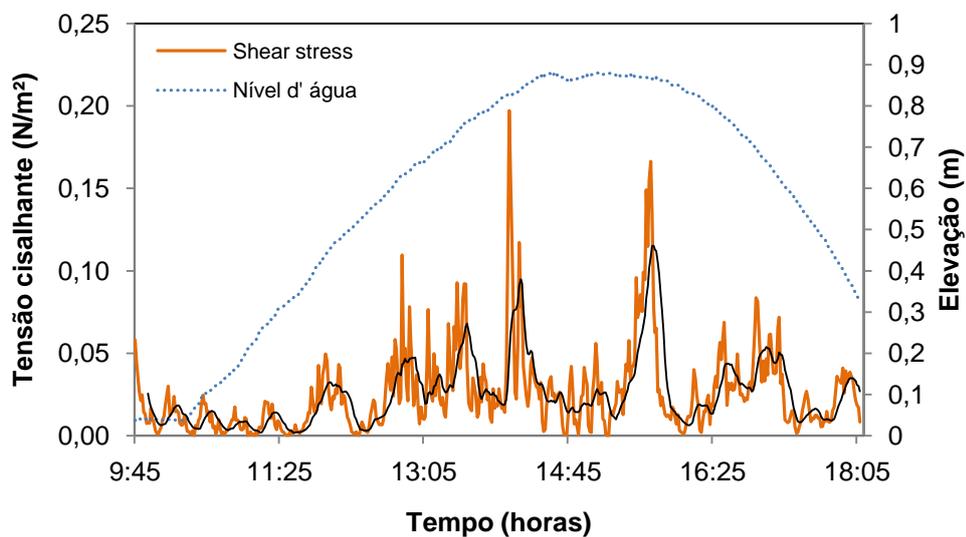


Figura 34 - Tensão cisalhante (N/m²) ao longo do período de monitoramento.

5 – CONCLUSÕES

- As variáveis sedimentológicas caracterizaram a área de estudo como um ambiente de altos teores de matéria orgânica, baixa concentração de carbonato e teor de areia variando entre baixas e altas concentrações;
- As condicionantes fluxo do rio e ação da maré foram determinantes para a entrada de matéria orgânica no sistema manguezal-planície de maré;
- A densidade do sedimento foi associada à quantidade de matéria orgânica em função da propriedade coesiva desse sedimento. Em relação à porosidade, o resultado foi bem menos significativo em função do espalhamento muito grande dos valores;
- Quanto à presença de carbonato, por causa dos baixos teores encontrados revelou pouca relação com a densidade e porosidade;
- A granulometria do sedimento foi alterada significativamente, mostrando um decaimento do teor de areia nos últimos meses da pesquisa, associado à instalação dos pilares da ponte da Passagem que podem ter causado uma grande interferência através do revolvimento do fundo e disponibilização de sedimento na coluna d'água além da própria presença dos pilares que podem agir como uma barreira física alterando a hidrodinâmica local;
- O pico de chuva registrado no mês de novembro/08 foi determinante para alterar as propriedades do fundo da planície de maré. Observou-se que após essas intensas chuvas e possivelmente em função da quantidade de material disponível no sistema, a densidade decaiu constantemente até apresentar características de lama fluida móvel;

- O tempo de consolidação mostrou ser muito importante para a estabilidade do sedimento. De uma forma geral, os experimentos sob a ação da luz apresentaram maior densidade e estabilidade; enquanto que, os experimentos colocados no escuro apresentaram a tendência de desestabilização do sedimento associado à presença de bolhas de gás aprisionadas no sedimento, ou pela sua liberação na coluna d'água diminuindo a densidade do sedimento;
- A tendência geral observada após o período de monitoramento é de acresção. A caracterização da morfologia superficial da planície de maré apresentou um padrão de variações sazonais após os dois anos de monitoramento. As principais forçantes que controlam a morfodinâmica da área de estudo estão relacionadas às condicionantes meteorológicas (chuva) e hidrodinâmicas (maré).
- Durante o primeiro ano de monitoramento, o Ponto 2 foi mais sensível a alterações sazonais do que o Ponto 1, em função da proximidade do canal sendo mais suscetível às forçantes hidrodinâmicas e meteorológicas;
- O processo de intervenção na Ponte da Passagem ressuspendeu o sedimento do fundo do canal, o qual foi transportado pelas correntes para se depositar nas áreas mais abrigadas do sistema, e permitiu o processo de acresção da planície de maré;
- A velocidade transversal da corrente mudou o sentido no final do período de enchente, quando começa a fluir em direção ao canal. Esse fato foi associado à chuva registrada durante o levantamento de campo que elevou nível d'água na superfície do manguezal e na planície de maré formando um gradiente de velocidade em função da declividade da área e aumentou o escoamento da água acumulada em direção ao canal;
- A velocidade longitudinal da corrente no período de vazante fluiu em direção ao norte do canal, em função do transporte secundário que ocorre nas áreas de planície de maré devido à maior fricção do fundo.

- As maiores concentrações de material particulado em suspensão ocorreram em dois momentos importantes, final da enchente e meio da vazante, associadas às maiores taxas de transporte de MPS.
- A taxa de transporte de MPS é preponderante em direção ao continente, indicando que o material transportado para dentro do sistema ficou retido propiciando a acresção da superfície da planície, corroborando com o comportamento da morfologia superficial da planície de maré, principalmente após o mês de abril de 2009.
- A tensão cisalhante está diretamente relacionada às maiores taxas de transporte de sedimento.

6 REFERÊNCIAS

ALBINO, J. **Processos de sedimentação atual e morfodinâmica das Praias de Bicanga a Povoação**. ES. Tese de Doutorado. Programa de Pós-graduação em Geologia Sedimentar. Instituto de Geociências USP. 1999.

ALLEN, J.R.L.; PIE, K. **Salt marshes – Morphodynamics, Conservation and Engineering Significance**, Cambridge University Press, Cambridge, 179 p. 1992.

AMOS, C. L., SUTHERLAND, T. F. A rapid technique for the determination of dry sediment mass from saturated marine sands: **Journal of Sedimentary Research**, v. 64 [3], p. 668-670. 1994.

AMOS, C.L.; BERGAMASCO, A.; UMGIESSER, G.; CAPPUCCI, S.; CLOUTIER, D.; DENAT, L.; FLINDT, M.; BONARDI, M.; CRISTANTE, S. The stability of tidal flats in Venice Lagoon—the results of 2 in-situ measurements using two benthic, annular flumes. **Journal of Marine Systems**. 2004.

ANDERSEN, T.J., 2001. Seasonal variation in erodibility of two temperate, microtidal mudflats. **Estuarine, Coastal and Shelf Science** 53, 1–12.

ANDERSEN, T.J., PEJRUP M. 2001. Suspended sediment transport on a temperate, microtidal mudflat, the Danish Wadden Sea. **Marine Geology**. 173: 69-85.

ANDERSEN, T.J.; FREDSOE J.; PEJRUP M. 2007. In situ estimation of erosion and depositional threshold by Acoustic Doppler Velocimeter (ADV). **Estuarine, Coastal and Shelf Science** 75 327e 336.

BASSOULLET, PH., HIR, P.LE.; GOULEAU, D., ROBERT, S. 2000 Sediment transport over an intertidal mudflat: field investigation and estimation of fluxes within the “Baie de Marennes-Oleron” (France). **Continental Shelf Research**. 20: 1635-1653.

BÊRREDO, J. F.; COSTA, M. L.; VILHENA, M. P. S. P.; SANTOS, J. T. Mineralogia e geoquímica de sedimentos de manguezais da costa Amazônica: o exemplo do estuário do rio Marapanim (Pará). **Revista Brasileira de Geociências**. 38(1): 24-35. 2008.

BERLMANT,

BLACK, K. S 1997 Microbiological factors contributing the erosion resistente in natural cohesive sediments. In: Burt, N.; Parker, R.; Watts, J. **Cohesive Sediments**. Chichester UK, John Wiley & Sons, p.231-244.

BLACK, K. S.; PATERSON, D. M. 1998. Litoral Investigation of sediment properties. An Introduction, In: Black, K. S., Paterson, D. M., e Cramp, A. (Org.) **Sedimentary Processes in the Intertidal Zone**, Londres, Geological Society of London, 1-10. 139 p.

BIRD, E. **Coastal Geomorphology: An Introduction**. 2008. 438 p.

CARTER, R.W.G. 1988. **Coastal Environments**, Londres: Academic Press, 617p.

CARTER, C.H.; GUY, D. E. 1988. Coastal Erosion: processes, timing and magnitude at the bluff toe. **Marine Geology**, 84, 1-17.

CASSINI, P. S., **Biodegradabilidade do Óleo Pesado (Petróleo) e suas frações no sedimento de manguezal da Região de Vitoria- ES**. Monografia (Graduação em Oceanografia). Curso de Oceanografia, Universidade do Espírito Santo, 2008.

DALMASCHIO, R. G.; **Análise da vazão e descarga sólida na região de transição entre estuário e o rio Santa Maria da Vitória – ES, Brasil**. Monografia (Graduação em Oceanografia)-Curso de Oceanografia, Universidade Federal do Espírito Santo, 2008.

DIAS, M.H.B.. **Distribuição de matéria orgânica, nitrogênio e fósforo de uma seção transversal do manguezal no estuário da baía de Vitória**. Monografia (Graduação em Oceanografia). Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005.

DECHO, Alan W. 2000. **Microbial biofilms in intertidal systems: an overview**. Continental shelf Research, v.20, p.1257-1273.

DEFEW, E.C., TOLHURST, T.J., PATERSON, D.M.. 2002. Site-specific features influence sediment stability of intertidal flats. **Hydrology and Earth System Sciences** 6: 971–982.

DELOFFRE J.; LAFITE R; LESUEUR, P; LESOURD, S; VERNEY, R; GUE´ZENNEC, L. 2005. Sedimentary processes on an intertidal mudflat in the upper macrotidal Seine estuary, France. **Estuarine, Coastal and Shelf Science** 64: 710 e 720.

DHN. **Tábua das marés**. Diretoria de Hidrografia e Navegação, Marinha do Brasil. Disponível em: < <http://www.mar.mil.br/dhn/chm/tabuas/index.htm>>.

DRONKERS, J., 1986, “Tidal Asymmetry and Estuarine Morphology”, **Netherlands Journal of Sea Research**, 20 (2/3): 117-131.

DYER K.R. 1989. Sediment processes in estuaries: future research requirements. **Journal of Geophysical Research** 94(c10)-14, 327-332.

DYER, K.R. 1998. The typology of intertidal mudflats. In: **Sedimentary Processes in the Intertidal Zone** (Eds K.S. Black, D.M. Paterson and A. Cramp), Geological Society Special Publication 139, London. pp. 11-24.

FRIEND, P. L.; COLLINS, M. B.; HOLLIGAN, P. M. 2003. Day-night variation of intertidal flat sediment properties in relation to sediment stability. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**. 58: 663-675.

FURUKAWA, K., WOLANSKI, E. & MUELLER, H., 1997, "Currents and Sediment Transport in Mangrove Forests". **Estuarine, Coastal and Shelf Science**. 44: 301-310.

H.K. Ha.; W.-Y. Hsu.; J.P.-Y. Maa.; Y.Y. Shao.; C.W. Holland. Using ADV backscatter strength for measuring suspended cohesive sediment concentrations, **Continental Shelf Research**. 2009.

INGRAN. R.L. Sieve Analysis. In: Carver, R.E. (Org) **Procedures in Sediment Petrology**. Nova York: Willey. Interscience. 1971, 653 pp.

INMET. Consulta dados da estação automática Vitória. Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em:<<http://www.inmet.gov.br/sonabra/maps/automaticas.php>>. 2009.

KARMANN, IVO. Ciclo de água, Água Subterrânea e sua ação geológica. In: TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C. M.; FAIRCHILD, T. R.; TAIOLI, F.(Org.) **Decifrando a Terra**. São Paulo: O.Textos, 2000.

KORNMAN, B. A.; DECKERE, E. M. G. T. Temporal variation in sediment erodibility and suspended sediment dynamics in the Dollard estuary In: K.S. BLACK, D.M. PATERSON AND A. CRAMP (Org.). **Sedimentary Processes in the Intertidal Zone**, Geological Society Special Publication 139, London. pp. 11-24.1998

LE HIR, P.; ROBERTS, W., CAZAILLET, O.; CHRISTIE, M. BASSOULLET, P.; BACHER, C. 2000. Characterization of intertidal flat hydrodynamics. **Continental Shelf Research**. 20: 1443-1459.

MACIEL, M.A.; CHACALTANA, J.T.A.; RIGO, D. **Padrão de escoamento no Canal da Passagem**. In: V Seminário Estadual sobre Saneamento e Meio Ambiente, 2003.

MACIEL, M.A. **Modelagem do padrão de escoamento no Canal da Passagem (Vitória, ES)**. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federaldo Espírito Santo, 2004.

MAZDA, Y.; KANAZAWA, N. & WOLANSKI, E., 1995, "Tidal Asymmetry in Mangrove Creeks", **Hydrobiologia**, 295: 51-58.

MAZDA, Y.; WOLANSKI, E.; KING, B.; SASE, A.; OHTSUKA, D. & MAGI, M. 1997. "Drag Force Due to Vegetation in Mangrove Swamps", **Mangrove and Salt Marshes**, 1:193-199.

MEHTA, A. J. Cohesive sediment transport I: Process Description. **Journal of Hydraulic Engineering**. 115: 1076-1093. 1987.

MEHTA A.J. 1991. Review notes on cohesive sediments erosion. **Coastal Sediments**, Kraus N.C.; Gingerich K.J.; Kriebel D.L. (Org.), ASCE, 40-53.

MOOK, D.H.; HOSKIN, C.M. 1982. Organic determination by ignition: caution advised, **Estuarine, Coastal and Shelf Science**.

MOBERG, F.; RÖNNBÄCK, P. Ecosystem services of the tropical seascape: interactions, substitutions and restoration. **Ocean & Coastal Management**. 46: 27-46, 2003.

OLIVEIRA, R. M. dos S. **Distribuição dos sedimentos em trechos do rio Santa Maria da Vitória - ES**. 2003. 109 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Departamento de Engenharia Ambiental, UFES, Vitória, 2003.

OPEN UNIVERSITY. OCEANOGRAPHY COURSE TEAM. **Waves, tides, and shallow-water processes**. 2nd ed. Oxford: Butterworth/Heinemann; Milton Keynes: Open Univ, 1999. 227p.

PATERSON, D.M; TOLHURST, T.J; KELLY, J.A; HONEYWILL, C; D. E DECKERE; E.M.G.T. HUET; V., SHAYLER; S.A., BLACK; K.S., DE BROUWER, J; DAVIDSON, I 2000. Variations in sediment properties, Skeffling mudflats, Humber Estuary, UK. **Continental Shelf Research**. 20: 1373–1396.

PETHICK. J.S. 1988. Long-term accretion rates on tidal salt marshes. **Journal of Sedimentary Petrology**. 51 (3): 571-577.

PETHICK. J.S. 1992. Saltmarshes Geomorphology. In: **Saltmarshes: Morphodynamics, Conservation and Engineering Significance**. J.R.L.Allen and K. Pye (Org.), Cambridge University Press, Cambridge. pp. 41-62.

PETHICK, J.S. 1996. The geomorphology of mudflats. In: K.F. Nordstrom and C.T. Roman (Org.). **Estuarine Shores: Evolution, Environments and Human Alteration**, Chichester: John Wiley & Sons, pp. 185-211.

POSTMA, H. 1967. Sediment transport and sedimentation in the estuarine environment. In: G.M. Lauff (Org). **Estuaries**. New York: AAAS, pp. 158-179.

PRITCHARD. D;. HOGGA, A.J; ROBERTS, W. 2002. Morphological modelling of intertidal mudflats: the role of cross-shore tidal currents. **Continental Shelf Research** 22: 1887–1895.

QUARESMA, Valéria da Silva. **The Influence of shell transport on the morphology and erosion of a salt marsh: Hythe, Southampton water.** 2004. Tese (Doutorado em Dinâmica Sedimentar), Universidade de Southampton, Southampton, 2004.

QUARESMA, V. S.; AMOS, C. L.; FLINDT, M. The Influence of biological activity and consolidation time on laboratory cohesive beds. **Journal of Sedimentary Research**, v.74, n.2, p.184-190, mar.2004.

QUARESMA, V. S. et al. **Sedimentary Processes over intertidal flat: A field investigation at Hythe flats, Southampton Water (UK).** Mar. Geol. (2007).

REINECK, H. E; SINGH, I. B. **Depositional Sedimentary Environments.** New York: Springer, 1975.

RIGO, D. 2004. **Análise do escoamento em regiões estuarinas com manguezais – medições e modelagem na Baía de Vitória, ES.** Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Oceânica). Universidade Federal do Rio de Janeiro.

ROMAN, C.T. AND NORDSTROM, K.F. 1996. Environments, processes and interactions of estuarine shores. In: **Evolution, Environments and Human Alterations.** K.F.Nordstrom and C.T. Roman (Org.), Chichester: John Wiley & Sons, 1996. p. 1-12.

ROSSI, M.; AGUIAR MATTOS, I.F. 2002 Mangrove soils in São Paulo state: physical and chemical characterization. **Revista do Departamento de Geografia**, n. 15, p. 101-113.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y. “Introdução”, In: SCHAEFFER-NOVELLI, Y. **Manguezal: Ecossistema entre a Terra e o Mar**, São Paulo: Caribbean Ecological Research, 1995.

SOLSBY, Richard. **Dynamics of marine sediments: a Manual Practical Application.** Oxford: HR Wallingford. 1997. 259 p.

SONTEK. 2009. Disponível em www.sontek.com. 2009.

SUGUIO, Kenitiro.. Introdução à Sedimentologia. São Paulo: Edgard Blucher. Ed. da USP, 1973. 317 p.

SUTHERLAND, T. F.; AMOS, C. L.; GRANT, J. 1998. The effect of buoyant biofilms on the erodibility of sublittoral sediments of a temperate microtidal estuary. **Limnological Oceanography**. 43(2): 225-235.

TORFS, D., MITCHENER, H., HUYSENTRUYT, H., AND TOORMAN, E. 1996. “Settling and consolidation of mud/sand mixtures.” **Coastal Engineering**, 29:1–2, 27–45.

TRENTO, A. E. **Dinâmica de Flocculação no Transporte de Sedimentos Finos**. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

WHITEHOUSE, R.; SOLSBY, R; ROBERTS, W.; MITCHENER, H. **Dynamics of estuarine muds**. 1. ed. Londres: Thomas Telford Publishing. 2000. 210 p.

WINTERWERP, J.C.; VAN KESTEREN, W.G.M. Introduction to the physics of cohesive sediments in the marine environment. In: **Developments in Sedimentology**, Amsterdam: T. Van Loon, Elsevier, 2004.

WOLANSKI, E & RIDD, P. "Tidal Mixing and Trapping in Mangrove Swamps", **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, 23: 759-771. 1986.

WOLANSKI, E.; MAZDA, Y.; RIDD, P. Mangrove Hydrodynamics, In: ROBERTSON, A. I.; ALONGI, D. M. **Tropical Mangrove Ecosystems. Coastal and Estuarine Studies** 41, American Geophysical Union, Washington. 1992.