

AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DE MÉTODOS DE ARMADILHAS DE SEDIMENTOS PARA DETERMINAÇÃO DO TRANSPORTE COSTEIRO DA PRAIA DA ROMANA, ILHA DOS GUARÁS (NORDESTE DO PARÁ)

Leilanne Almeida RANIERI ¹ & Maâmar EL-ROBRINI ²

(1) Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará – PPGG/IG/UFGA. Avenida Augusto Corrêa, 1. CEP 66075-110. Belém, PA. Endereço eletrônico: leilanne.ranieri@gmail.com
(2) Grupo de Estudos Marinhos e Costeiros – GEMC/CNPQ. Cidade Universitária Prof. José da Silveira Neto, Caixa Postal 8617, Universidade Federal do Pará. Avenida Augusto Corrêa, 1. CEP 66075-110. Belém, PA. Endereço eletrônico: robrini@ufpa.br

Introdução
Área de Estudo
Materiais e Métodos
 Método de Traps Portáteis
 Método de Armadilhas Eólicas
Resultados e Discussões
 Transporte Eólico
 Transporte Longitudinal
Conclusões
Agradecimentos
Referências Bibliográficas

RESUMO – A Praia da Romana é governada por ondas, com altura média de 1,5 m, ventos (média de 4,6 m/s) predominantemente de NE e regime de meso-macromarés semidiurnas (altura de 4,3 m – março/2010; 3,4 m – agosto/2010). A metodologia consistiu em coletas de sedimentos com armadilhas e medições de intensidade de correntes longitudinais e ventos locais em janeiro, março e agosto de 2010. Nas armadilhas eólicas, o peso acumulado de sedimentos foi muito baixo, variando de 0,02 g a 0,8 g (máximo ocorrido em agosto no setor leste, assim como a velocidade dos ventos: 6,7 m/s). Nos *traps* portáteis, o peso mínimo ocorreu em março (setor leste, maré vazante: 0,74 g/h/m³), e o máximo em janeiro (setor central, maré enchente: 139 g/h/m³). A intensidade das correntes longitudinais variou de 0,20 m/s (maré vazante) a 1,41 m/s (maré enchente). Concluiu-se que a maior força do transporte de sedimentos na praia é a corrente de maré enchente, que intensifica as correntes longitudinais do setor leste ao oeste. Secundariamente, os ventos de NE que minimizam a perda de sedimentos na praia, especialmente nos setores central e leste. Posteriormente as ondas, mantendo o sentido do transporte (E-W) devido suas incidências na costa com direção NE.

Palavras-chave: Praia da Romana, transporte de sedimentos, praia de meso-macromarés, Nordeste do Pará.

ABSTRACT – L.A. Ranieri & M. EL-Robrinini - *Experimental evaluation of the sediments traps methods for determination of the coastal transport in the Romana Beach, Guarás Island (Northeastern of Pará State)*. The Romana Beach is ruled by waves, with an average height of 1,5 m, winds (average of 4,6 m/s) predominantly from the NE and semidiurnal meso-macrotidal (ranging from 4,3 m – march/2010; 3,4 m – august/2010). The methodology consisted of sediments samples with traps and intensity measurements of longshore currents and local winds during the months of january, march and august 2010. In the wind traps, the accumulated weight of sediments was very low, ranging from 0,02 g to 0,8 g (maximum occurred in August in the eastern sector, as well as the wind speed: 6,7 m/s). Larger quantities of sediment were collected from the eastern to the western sectors, coinciding with the prevailing wind direction (NE), whose maximum speed occurred in august (6.7 m/s in the eastern sector). In the portable traps, the minimum weight occurred in march (eastern sector, ebb tide: 0,74 g/h/m³), and the maximum in january (central sector, rising tide: 139 g/h/m³). The intensity of the longitudinal currents ranged from 0,20 m/s (ebb tide) to 1,41 m/s (rising tide). It was concluded that the largest forcing of sediment transport on the beach is the flood tide current, which intensifies the longitudinal currents from the eastern to the west sectors. Secondly, the NE winds which minimize the loss of sediments on the beach, especially in the central and eastern sectors. Then the waves, maintain the direction of E-W transport because to their incidences on the coast with direction NE.

Keywords: Romana Beach, sediment transport, meso-macrotidal beach, Northeastern of Pará.

INTRODUÇÃO

A praia é um depósito de sedimentos não coesivos e inconsolidados (areia ou cascalho) sobre a zona costeira (Komar, 1976). Segundo King (1973), a praia representa um ambiente sedimentar costeiro condi-

cionado pela interação dos sistemas de ondas incidentes sobre a costa.

Para Short (1999), as praias ocorrem em todas as latitudes, climas, amplitudes de marés e tipos de costas.

Este amplifica o conceito de praia quando define que a extensão e características das praias arenosas são dependentes da variação de maré, altura de onda, período de onda, tamanho do grão e forma da praia.

As praias destacam-se como um dos ecossistemas mais frágeis do planeta (Braga, 2007) por serem ambientes de proteção contra a ação destrutiva imposta pelos processos costeiros. Estes processos (marés, ondas, correntes e ventos) modelam a praia pela função de determinar o transporte e distribuição de sedimentos ao longo da mesma.

O comportamento do transporte sedimentar litorâneo dita, por sua vez, de setor para setor da praia características de erosão e deposição de sedimentos. Por isso o estudo do transporte de sedimentos em praias é tão importante para o monitoramento da dinâmica costeira de determinado local.

A Praia da Romana está inserida na faixa arenosa da Ilha dos Guarás/PA, enquadrando-se no Nordeste do Pará (NE do Pará), no setor denominado como Costa Atlântica do Salgado Paraense, de acordo com MMA (1996).

No NE do Pará as praias são dominadas pelo regime de meso-macromarés semi-diurnas que induz a formação das correntes de marés e exerce um importante papel na circulação local, influenciando fortemente o transporte sedimentar litorâneo (Souza Filho & Paradella, 2002; Souza Filho & Paradella, 2003).

Nos trabalhos referentes ao transporte litorâneo de sedimentos estão subdivididos três processos principais: o transporte eólico de sedimentos, o transporte longitudinal e o transporte transversal de sedimentos.

O transporte eólico é responsável pelo retransporte dos sedimentos depositados na face praial em função do transporte transversal. Segundo Villwock et al. (2005), depois que a areia mobilizada por ondas e correntes é depositada na praia, sendo exposta ao ar, ela seca e é movimentada pelos ventos. Grandes quan-

tidades de areia são transportadas por saltação ou arraste ao longo da costa.

O transporte que ocorre na zona de arrebatamento, de *surf* e na zona do espraiamento, corresponde ao transporte longitudinal e transversal de sedimentos. O primeiro representa os movimentos no perfil praial ora no sentido continente-oceano (*onshore-offshore*) ora no sentido contrário, através dos quais a morfologia tende a se adaptar a hidrodinâmica reinante. O segundo consiste no encaminhamento longitudinal dos sedimentos costeiros por ventos, ondas e correntes longitudinais. Este tipo de transporte é conhecido, também, como deriva litorânea (Fontoura, 2004).

A obliquidade das ondas na praia leva, por processo de deriva litorânea, os sedimentos de uma para a outra periferia da praia. Quando houver suprimento sedimentar e o transporte longitudinal for ativo, a praia encontra-se em um estado instável, em equilíbrio dinâmico (Oliveira et al., 2010).

As limitações físicas de medições *in situ* do transporte de sedimentos em praias, principalmente o longitudinal, restringem os estudos nestes ambientes à parte subárea. Estas limitações devem-se ao fato de que na parte submersa da praia, os altos níveis de turbulência gerados pela arrebatamento das ondas e força das correntes dificultam a realização de experimentos.

Diante destes fatos, investigou-se sobre diversos métodos desenvolvidos em todo mundo, que na literatura oferecem resultados razoáveis. Desta avaliação foram escolhidos os métodos de armadilhas de sedimentos (técnica da medição *in situ*) para serem aplicados, testados e avaliados.

O objetivo principal deste estudo foi analisar o comportamento do transporte de sedimentos na Praia da Romana durante um ciclo sazonal e durante meio ciclo de maré, buscando identificar o agente de transporte mais expressivo na área de estudo durante estas condições distintas.

ÁREA DE ESTUDO

A Praia da Romana está localizada na Ilha dos Guarás (Mariteua), município de Curuçá, NE do Pará. Segundo Mácola & EL-Robrini (2004), a Praia da Romana representa uma verdadeira praia barreira de 5 km, alimentada por cordões arenosos altamente dinâmicos no tempo. Está situada na foz do rio Pará, em uma área de alta hidrodinâmica (Figura 1). A Ilha dos Guarás enquadra-se na Reserva Extrativista Mãe Grande de Curuçá, decretada no dia 13 de dezembro de 2002 (DOU, 2002).

No NE do Pará predominam feições geomorfológicas características, tais como, extensos depósitos

de lama de planície de maré, estuários, baixios, pântanos salinos, *cheniers*, dunas, praias e leques de lavagens associados (Souza Filho, 1995; Souza Filho & EL-Robrini, 1996; Santos, 1996; Silva, 1996).

A costa é do tipo estuarina, recortada por amplas reentrâncias (“rias”) e cobertura interna caracterizada por um manto de faixas arenosas (Palma, 1979).

De acordo com Barbosa & Pinto (1973), o litoral de “rias” corresponde à faixa de sedimentos recentes associados a uma série de ilhas, bacias e canais, presentes em toda a linha de costa, possuindo direção preferencial NE-SW. O relevo litorâneo do município

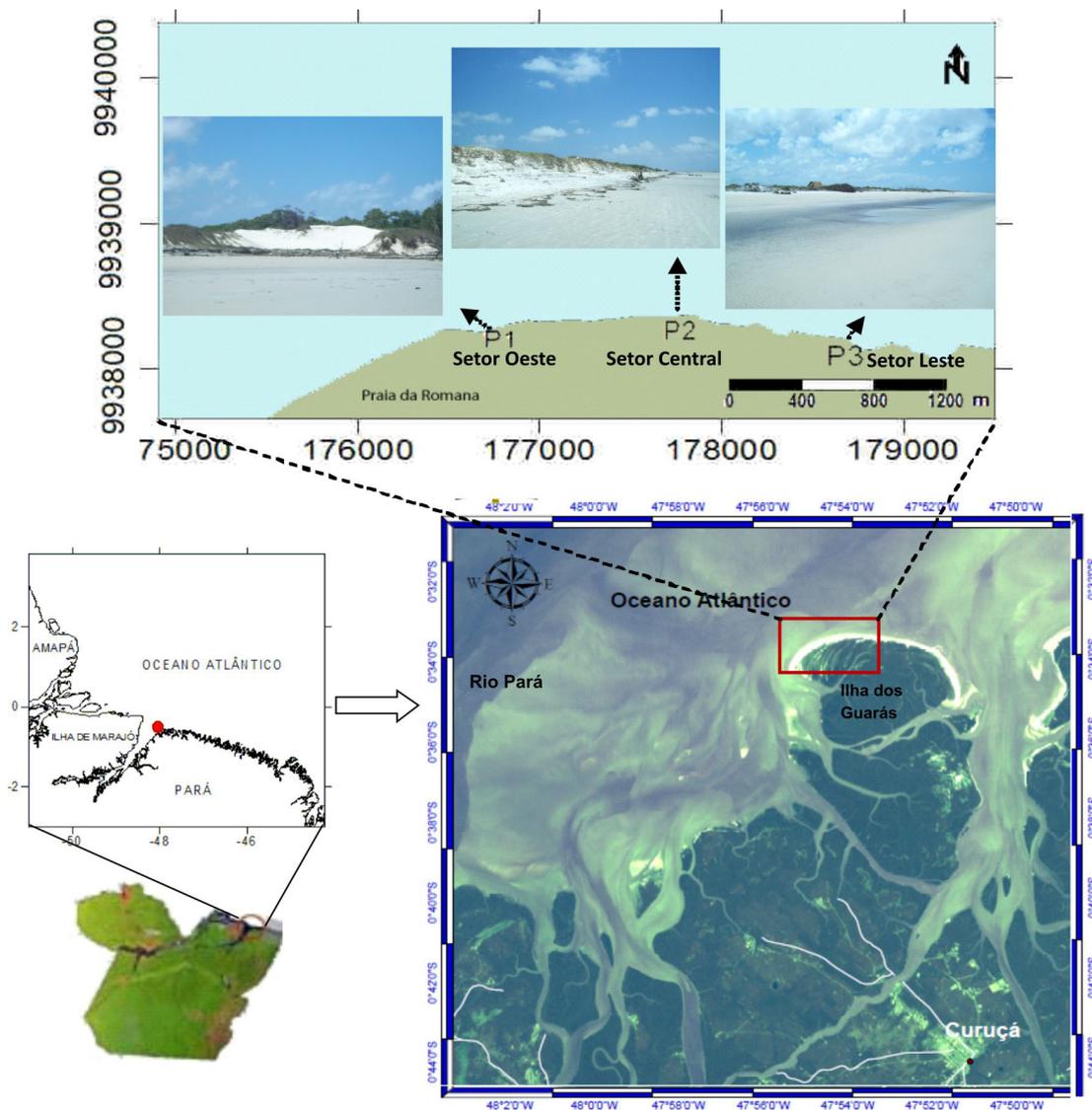


FIGURA 1. Mapa de localização da Praia da Romana, município de Curuçá/PA (NE do Pará).

de Curuçá sugere este tipo de costa em submersão, onde a Ilha dos Guarás é uma dessas séries de ilhas citadas anteriormente.

Segundo Mácola & El-Robrini (2004), na Ilha dos Guarás ocorrem os seguintes subambientes de planície de maré: manguezal, *cheniers*, deltas de maré, dunas e praias-barreiras, formadas por um conjunto de barras coalescentes, podendo indicar um processo de progradação.

O clima do NE do Pará é do tipo Am (Tropical Úmido), que é caracterizado por ser quente e úmido (Clima Equatorial Amazônico), de acordo com a classificação de Köppen (1948). O clima é quente e úmido em função da proximidade com o Equador e da floresta Amazônica, que transporta umidade.

A pluviosidade é elevada, a média anual gira em torno de 2.500 mm/ano e a temperatura apresenta uma

pequena variação anual, oscilando entre 18°C (mínima) e 33°C (máxima), com média de 27°C, sendo os valores mais elevados, observados nos meses de agosto a outubro, com máximo de 42°C (El-Robrini et al., 2006).

Segundo Martorano et al. (1993) há um período menos chuvoso (de junho a novembro) e outro mais chuvoso (dezembro a maio), sendo a época de maiores concentrações de chuvas entre fevereiro e abril, com um máximo de 216 dias de sol ao ano e mínimo de 200 dias de insolação.

O regime de ventos dominante no NE do Pará é representado pelos alísios de NE. Os ventos alísios de NE atuam continuamente, durante o ano todo, com máximo de dezembro a março, quando se somam aos alísios de SE. Estes são responsáveis pelo transporte de sedimentos da plataforma continental interna em direção a costa (Geyer et al., 1996). A velocidade

média dos ventos é de 3,9 m/s durante o período mais chuvoso (março), e 5,37 m/s durante o período menos chuvoso (agosto), segundo as medições feitas na Praia da Romana em 2010.

As ondas são formadas a partir dos ventos alísios. Estes cruzam a plataforma continental em direção a oeste, gerando *trends* de ondas incidentes, que associados a morfologia de fundo, ocasionam correntes de deriva litorânea para noroeste (Geyer et al., 1996). Na Praia da Romana, as ondas apresentam alturas de 1,5m após a zona de arrebenção em direção à costa.

O NE do Pará sofre a influência do regime de meso-macromarés (amplitudes >2m - >4m, respectivamente) semidiurnas.

Na Ilha dos Guarás o regime de macromarés é dominante no período mais chuvoso (altura de 4,3 m

em março de 2010), enquanto que o de mesomarés é dominante no período menos chuvoso (altura de 3,4 m em agosto de 2010), de acordo com DNH (2010).

As correntes de marés são as principais correntes que atuam no Nordeste do Pará. Secundariamente, são as correntes litorâneas resultantes da chegada das ondas à costa. Estas são responsáveis pelo transporte de grandes quantidades de sedimentos da plataforma continental para o litoral (Braga, 2007). As correntes de marés são as principais responsáveis pela presença dos inúmeros bancos de areias que se dispõem perpendicularmente à costa na foz do rio Pará e na área *offshore* da Ilha dos Guarás (Mácola & El-Robrini, 2004).

Segundo DNH (1994), a velocidade das correntes de marés na Baía de Curuçá (PA) alcança cerca de 210 a 306 cm/s, durante a vazante.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foi realizada uma campanha de campo para o reconhecimento da área de estudo nos dias 17 e 18 de outubro de 2009, onde se delimitou os três pontos de experimentação das armadilhas de sedimentos, compreendendo os setores leste, central e oeste da Praia da Romana (Figura 1). Os pontos escolhidos foram distantes 1 km entre si. Para a aplicação dos experimentos foram realizadas 3 campanhas de campo, divididas em três períodos distintos: (a) de transição sazonal, no início do período mais chuvoso (31 de janeiro de 2010), correspondente às condições atmosféricas normais; (b) em meio ao período mais chuvoso, em dia de maré equinocial (29 de março de 2010), cujas condições atmosféricas são mais expressivas; e (c) no período menos chuvoso (27 de agosto de 2010), correspondente às condições atmosféricas normais.

O trabalho consistiu em coletas de sedimentos com armadilhas e medições de intensidade das correntes e dos ventos. A aplicação da metodologia compreendeu meio ciclo de maré, pois ocorreu durante a maré vazante e enchente, ou seja, foi realizada duas vezes em cada setor. Na maré vazante foi do setor oeste ao setor leste e, na maré enchente, o trajeto oposto (setor leste ao setor oeste).

MÉTODO DE TRAPS PORTÁTEIS

O método de *traps* portáteis, idealizado por Kraus & Dean (1987), consiste de uma torre vertical (Figuras 2C e 2D) na qual são dispostas janelas com abertura de 15 x 9 cm (Figura 2A) revestidas por um tecido de poliéster em forma de coador, para permitir a passagem da água e reter os sedimentos.

Nestas janelas podem ser fixadas 10 redes (*traps*) com malha de abertura de 63 μ m, coincidindo com o limite inferior do tamanho dos sedimentos não coesivos

(areia muito fina). As redes 1 a 6, de baixo para cima, tem comprimento de 60 cm, as redes 7 e 8 tem comprimento de 70 cm e as redes 9 e 10 de 110 cm, sendo estes últimos, os de maior comprimento, pois após a zona de arrebenção os maiores fluxos são observados próximos a superfície (Fontoura, 2004). O tamanho da torre (armação das redes) foi de 1,80 m.



FIGURA 2. *Traps* portáteis de coleta de sedimentos (a). Detalhe da fixação (b). Torre de *traps*, vista frontal (c). Torre de *traps*, vista lateral (d). Fonte: Fontoura (2004).

Estes números, valores e especificações foram mantidos de acordo com o estabelecido por Kraus (1987).

Como aplicado por Fontoura (2004), as redes foram montadas de forma que as bocas de captura ficaram afastadas 4 cm do corpo da torre (Figura 2B) diminuindo a interferência com o fluxo perturbado e a erosão que ocorre próximo às pernas da torre, cujo comprimento foi de 3,80 cm. Foram confeccionadas 45 redes (de nylon com malha de abertura de 63 µm) no total.

O método dos *traps* portáteis foi aplicado na parte submersa da praia com o intuito de verificar, em duas situações: maré vazante e maré enchente, o comportamento do transporte longitudinal de sedimentos e a densidade de sedimentos mobilizados na coluna d'água.

Em campo, o conjunto de *traps* fixado à torre foi posicionado em sentido contrário da corrente longitudinal, os pés da torre foram completamente enterrados no fundo até que a boca do primeiro *trap* tocasse o solo, o operador se posicionou na parte traseira da armadilha, entre esta e a praia, e o tempo de coleta foi de 2 minutos e 25 segundos.

Os *traps* 2 a 10, de baixo para cima, foram responsáveis pela coleta dos sedimentos em suspensão e o *trap* número 1, responsável por coletar sedimentos transportados junto ao fundo.

Antes de cada coleta foi feita medição da altura de onda com auxílio de uma régua graduável para identificar o limite máximo de redes da torre metálica a ser colocado da base ao topo, e foi medida a intensidade das correntes longitudinais com o auxílio de um balão cheio com água a fim de identificar a direção da corrente, para que se soubesse em qual posição colocar a torre. Para medição da intensidade das correntes foi medida a distância entre o ponto de liberação e retirada do balão transportado no tempo de 2 minutos e 45 segundos.

O fluxo de sedimentos que passa pela torre é dado por um conjunto de equações (Wang et al., 1998) utilizadas para estimar o cálculo do transporte de sedimentos. O fluxo que passa entre duas redes é calculado pela equação (1).

$$\Delta F_i = \frac{\left(\frac{F_{i+1}}{Z_{i+1}} + \frac{F_{i-1}}{Z_{i-1}} \right) \Delta Z_i}{2} \quad (1)$$

onde ΔF_i é a quantidade de sedimentos que flui no espaço entre dois *traps* adjacentes, F_{i+1} e F_{i-1} são as quantidades medidas pelos dois *traps* em questão (superior e inferior), enquanto que Z_{i+1} e Z_{i-1} representam a dimensão vertical da boca do *trap* superior e inferior respectivamente (Fontoura, 2004).

O fluxo total de sedimentos que passa através de uma estação de medição é dado pela soma dos fluxos individuais (F_i) que passam por cada *trap* somados aos fluxos nos espaços entre cada dois *traps* adjacentes (ΔF_i). O fluxo total (I) é calculado pela equação (2).

$$I = \sum_{i=1}^N (F_i) + \sum_{i=1}^{N-1} (\Delta F_i) \quad (\text{Kg/h/m}^2) \quad (2)$$

Para inserção dos dados nas fórmulas acima, as amostras de sedimentos adquiridas em campo tiveram de ser lavadas, secadas em estufa, pesadas e, posteriormente, submetidas a peneiramento para separação das diferentes frações granulométricas, onde utilizou-se um conjunto de peneiras com os seguintes intervalos em mm: 0,71 – 0,50 – 0,35 – 0,25 – 0,18 – 0,125 – 0,09 – 0,063 – <0,063, de acordo com a metodologia sugerida por Suguio (1973). Para a separação do silte e argila, as frações menores que 0,063 mm foram colocadas em centrífuga a 1200 RPM por um tempo de 2 minutos.

MÉTODO DE ARMADILHAS EÓLICAS

O estudo do transporte eólico foi feito com o uso de dois tipos de armadilhas para sedimentos: uma acumulativa (Figura 3A) e outra discretizada (Figura 3B) de acordo com Maia (1998) e Leatherman (1978).

A primeira acumula todo o material transportado através de uma seção vertical. Esta armadilha é formada por um tubo de PVC com 1 m de comprimento e 4 cm de diâmetro, com duas aberturas verticais em lados opostos, a frontal possui 70 cm de comprimento x 1 cm de largura e a posterior 70 cm de comprimento x 2,5 cm de largura.

A outra armadilha discretiza o transporte de sedimentos na vertical, discriminando-os em função da altura. É formada por um tubo de PVC de 2 cm de diâmetro e 5 cm de comprimento, possuindo uma abertura frontal de 1 cm² de área (1x1cm) e uma posterior de 4 cm² (2x2cm) de área.

As aberturas posteriores das armadilhas são recobertas por uma tela com malha de 63 mm. A parte superior e inferior do tubo é fechada com um tampão de PVC. A parte inferior possui um comprimento de 30 cm, que é encravada no chão e funciona como coletor de sedimentos. A fabricação dos dois tipos de armadilhas foi artesanal.

O método de armadilhas eólicas foi aplicado na parte aérea (zona de pós-praia) da praia com o intuito de verificar o transporte unidirecional dos sedimentos conduzidos para cada setor, e a densidade de sedimentos mobilizada verticalmente.

Durante as horas correspondentes à maré vazante foi fixado o par de armadilhas após a linha de maré

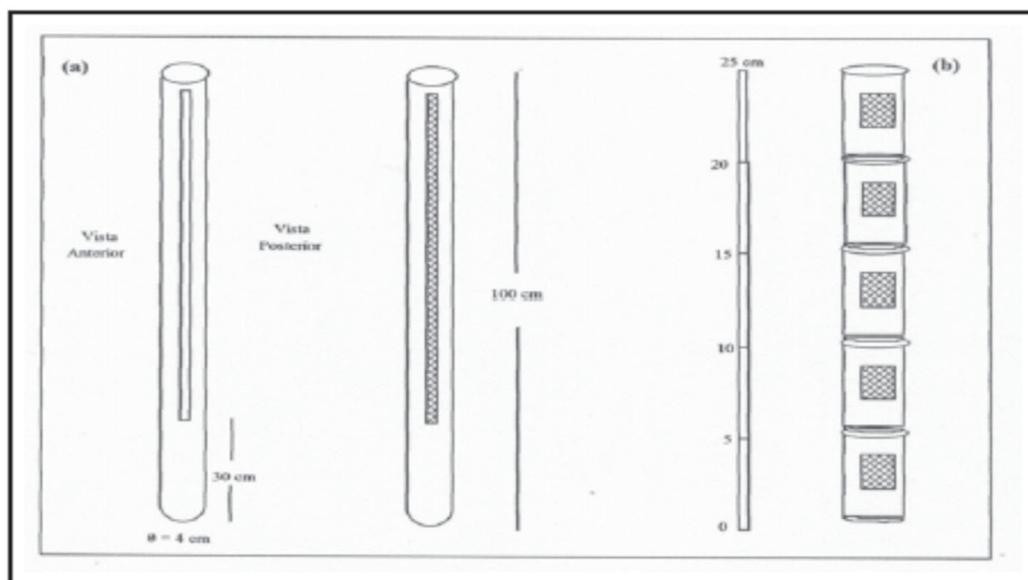


FIGURA 3. Modelos de armadilhas para sedimentos em transporte eólico. Armadilha acumulativa (a) e armadilha discretizada (b). Fonte: Maia 1998.

alta do setor oeste ao setor leste da praia. Realizaram-se medições de direção dos ventos com auxílio de bússola a fim de identificar a direção preferencial dos ventos para fixar o par de armadilhas contra os ventos. Anotou-se a hora de fixação e retirada das armadilhas, esta última ocorreu durante a maré enchente, do setor leste ao setor oeste.

Foram feitas medições de velocidade dos ventos com auxílio de anemômetro, durante a fixação e retirada dos pares de armadilhas em cada setor da praia. As

medições ocorreram no intervalo de 5 minutos, num tempo total de 20 minutos, constando, portanto, de 5 medições na qual se obteve a média.

Em laboratório, os sedimentos contidos nas armadilhas foram retirados e pesados em balança de alta precisão. Contudo, como o tempo de coleta de sedimentos em cada armadilha eólica foi variável, estimaram-se os valores dos pesos encontrados em cada armadilha para 6 horas de operação (meio ciclo de maré).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

TRANSPORTE EÓLICO

Nos experimentos com as armadilhas eólicas discretizadas (Figura 4) obteve-se o peso (g) maior nos tubos (nível) mais próximos do leito da praia, principalmente em agosto (período menos chuvoso), quando há acreção sedimentar, indicando maior transporte por deslizamento e rolamento das partículas de sedimentos, pois a velocidade média dos ventos é moderada na Praia da Romana (Tabela 1). Maiores quantidades de sedimentos foram coletadas do setor leste ao setor oeste, coincidindo com a direção predominante dos ventos (NE).

Os menores ângulos de direção dos ventos ocorreram no setor oeste em janeiro e março. Em agosto, a direção dos ventos foi principalmente de leste (E).

O peso total (g) dos sedimentos retidos em cada armadilha eólica acumulativa foi pouco variável entre os três setores da Praia da Romana e entre os meses de janeiro e março cujo intervalo do peso total foi de

0,02 a 0,2 g (Figura 5). Exceção ocorreu em agosto para o setor oeste, onde se obteve a maior quantidade de sedimentos coletados (0,883 g).

Em janeiro e março o peso total (g) obtido nas armadilhas eólicas acumulativas também foi maior no setor oeste, sendo de 0,197 g em janeiro e 0,024 g em março (Figura 5). Resultado que foi condizente, em janeiro, com a velocidade dos ventos registrada neste mês (Figura 6): ventos mais intensos no setor oeste (média de 4,4 m/s). Contudo, em março e agosto (Figura 5), o peso total obtido para o setor oeste não foi condizente ao registrado para velocidade dos ventos nos referidos meses, cujos valores médios (4,9 m/s: agosto; 3,5 m/s: março) foram mais baixos que nos outros setores de medições (Tabela 2).

A velocidade dos ventos e, conseqüentemente, o transporte eólico foi bem intenso no setor oeste, principalmente em agosto (4,9 m/s), implicando em duas hipóteses: (a) que as medições de velocidade

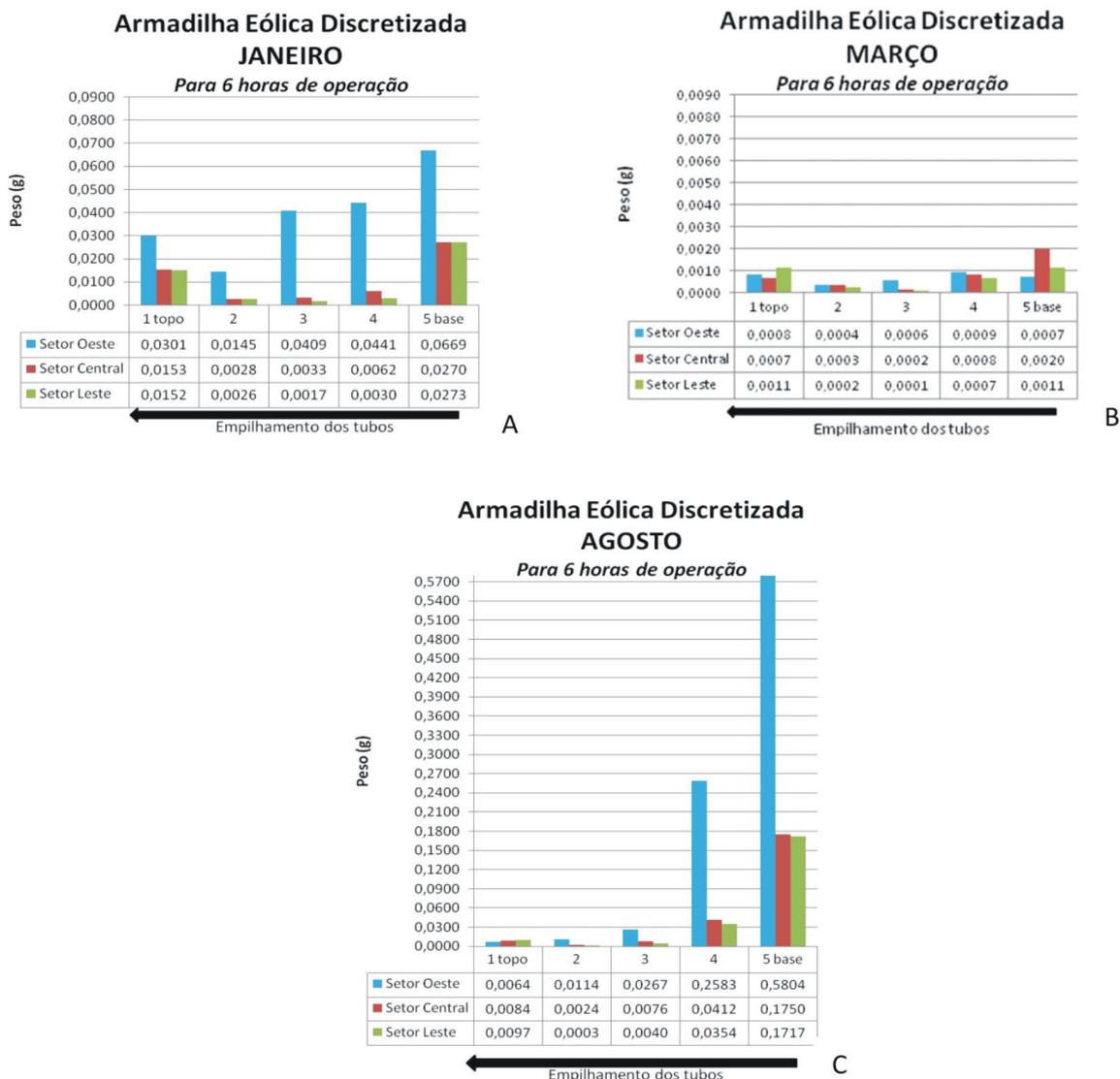


FIGURA 4. Peso (g) obtido em cada nível das armadilhas eólicas discretizadas.

TABELA 1. Média da direção preferencial dos ventos registrada durante a maré vazante e enchente na Praia da Romana.

	Direção dos Ventos Locais		
	Setor Oeste	Setor Central	Setor Leste
Janeiro	55° NE	72° NE	60° NE
Março	39° NE	67° NE	53° NE
Agosto	90° E	64° NE	90° E

dos ventos ocorreram em instantes desfavoráveis à condição predominante dos ventos e (b) que a maior extensão da pista de ventos em direção ao setor oeste, propiciada pela maior distância ao canal de maré que interceptar a Ilha dos Guarás transversalmente, tenha resultado nesta não equivalência entre a velocidade dos ventos e a quantidade de sedimentos retidos nas armadilhas eólicas.

Esta última hipótese se sobressai em relação à outra ao considerar que a granulometria de areia fina predomina por toda a Praia da Romana, mais precisamente entre o intervalo de 2,5 - 3 F, ou seja, sedimentos facilmente passíveis de se transportar, e que a direção predominante do transporte eólico é de NE, portanto, do setor leste ao setor oeste.

Como no setor leste a pista de ventos é menor devido à proximidade com o canal de maré, houve menos sedimentos finos envolvidos no transporte eólico vindo da direção NE, por isso o peso total (g) obtido nas armadilhas eólicas foi menor neste setor, mesmo sendo a velocidade média dos ventos a mais elevada em março e agosto (Tabela 2). Ao contrário, no setor oeste, a maior distância do canal de maré, propiciou a maior pista de ventos e maior quantidade de sedimentos finos sendo transportados para as armadilhas eólicas.

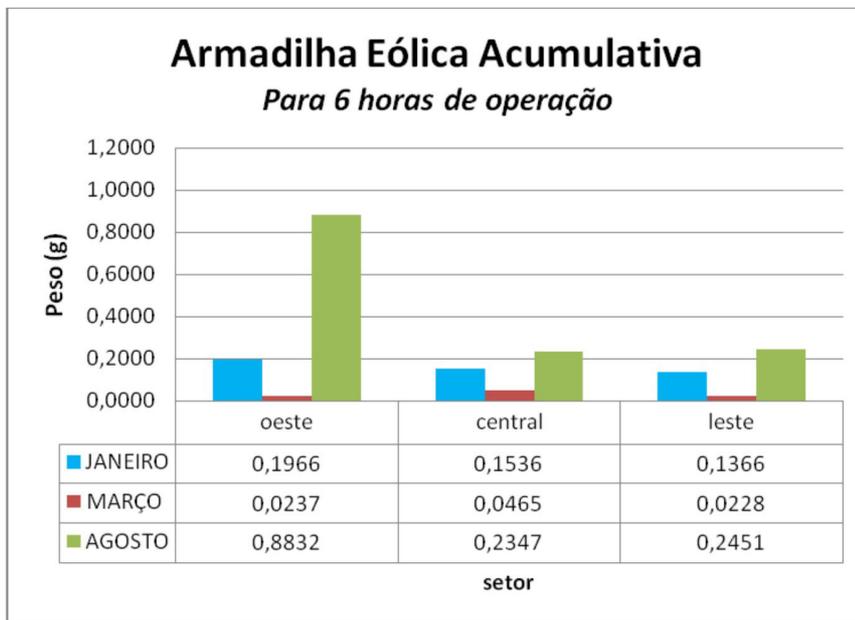


FIGURA 5. Peso total (g) obtido nas armadilhas eólicas acumulativas.

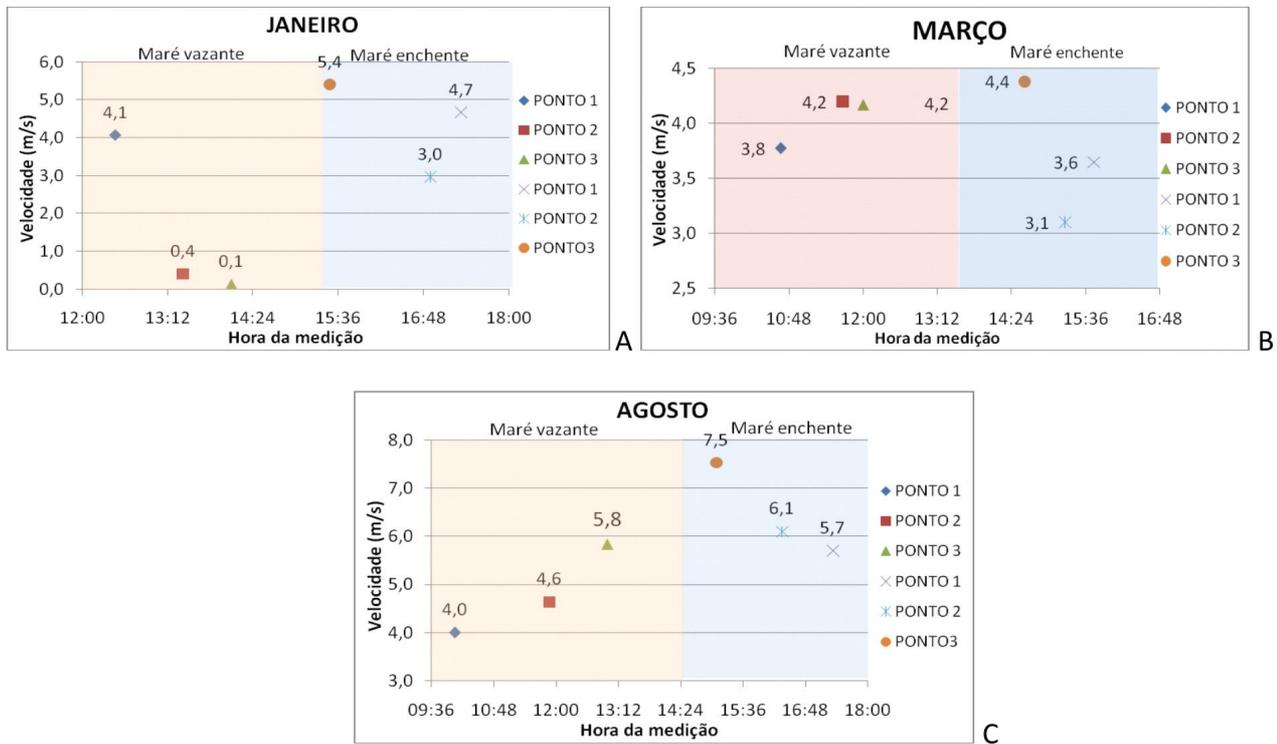


FIGURA 6. Intensidade dos ventos registrada nos setores oeste (P1), central (P2) e leste (P3) durante a maré vazante e enchente.

TABELA 2. Média da velocidade dos ventos locais (m/s) registrada na Praia da Romana.

Velocidade dos Ventos Locais (m/s)			
	Setor Oeste	Setor Central	Setor Leste
Janeiro	4,4	1,7	2,8
Março	3,5	3,6	4,3
Agosto	4,9	5,4	6,7

TRANSPORTE LONGITUDINAL

Durante a maré enchente, aumenta a quantidade de sedimentos retidos nos *traps* portáteis, assim como aumenta a intensidade das correntes (Figura 7). Este fato foi observado em todos os meses de experimentação dos *traps* portáteis (Figura 8). Isto é devido à influência da corrente de maré enchente ser maior que a corrente de maré vazante na Praia da Romana.

O peso total de sedimentos retidos nos *traps* portáteis foi maior nos primeiros *traps* (mais próximos do fundo), como verificado por Fontoura (2004) na zona de *surf* das praias adjacentes aos molhes da Barra do Rio Grande/RS. Este autor constatou que os maiores transportes ocorreram quase sempre próximo do fundo, diminuindo gradativamente em direção a superfície, sendo que 50-80 % do transporte se realizou na camada entre o fundo.

A distribuição vertical apresentou uma tendência mais aleatória, visto que se trata de um estudo em uma área de meso-macromarés onde a influência das correntes fica mais expressiva. Contudo, apesar do transporte de fundo não representar percentual elevado em relação ao total do peso retido em cada setor, pode-se dizer que é o transporte mais expressivo na Praia da Romana, especialmente durante a maré vazante.

Em janeiro, no setor oeste, durante a maré enchente (Figura 8A), a condição climática (tempo

chuvoso) durante a experimentação propiciou aumento na intensidade dos ventos locais (Figura 6) e, conseqüentemente, na energia de ondas. Estes processos encadeados devido ao clima desfavorável podem ter influenciado na suspensão dos sedimentos.

Soares (2005) ao aplicar o método de *traps* portáteis na zona de *surf* da praia de Camburi/ES, constatou que os picos de transporte em camadas subsequentes à camada do fundo estão relacionados às maiores energias de ondas, gerando conseqüentemente grandes turbulências que pode ter sido a causa da aleatoriedade da distribuição vertical das concentrações de sedimentos e também das taxas de transporte.

Durante a maré vazante em janeiro (Figura 8A), o setor oeste foi o de maior coleta de sedimentos nos *traps* portáteis, pois a intensidade da corrente foi diminuindo em direção a este setor (Figura 7), indicando uma tendência acumulativa de sedimentos nesta direção. Já em agosto, apesar do peso obtido nos *traps* portáteis ter sido maior no setor central (Figura 8C), verifica-se através da análise granulométrica dos sedimentos coletados (Figura 11) que o setor oeste foi o de acumulação de sedimentos, pois o percentual de areia muito fina (3,5 a 4 Φ), silte (5 Φ) e argila (9 Φ) foi elevado, alcançando em conjunto, mais de 80% do total coletado nos *traps* superiores (Figura 8A), propiciando a redução do peso da massa de sedimentos

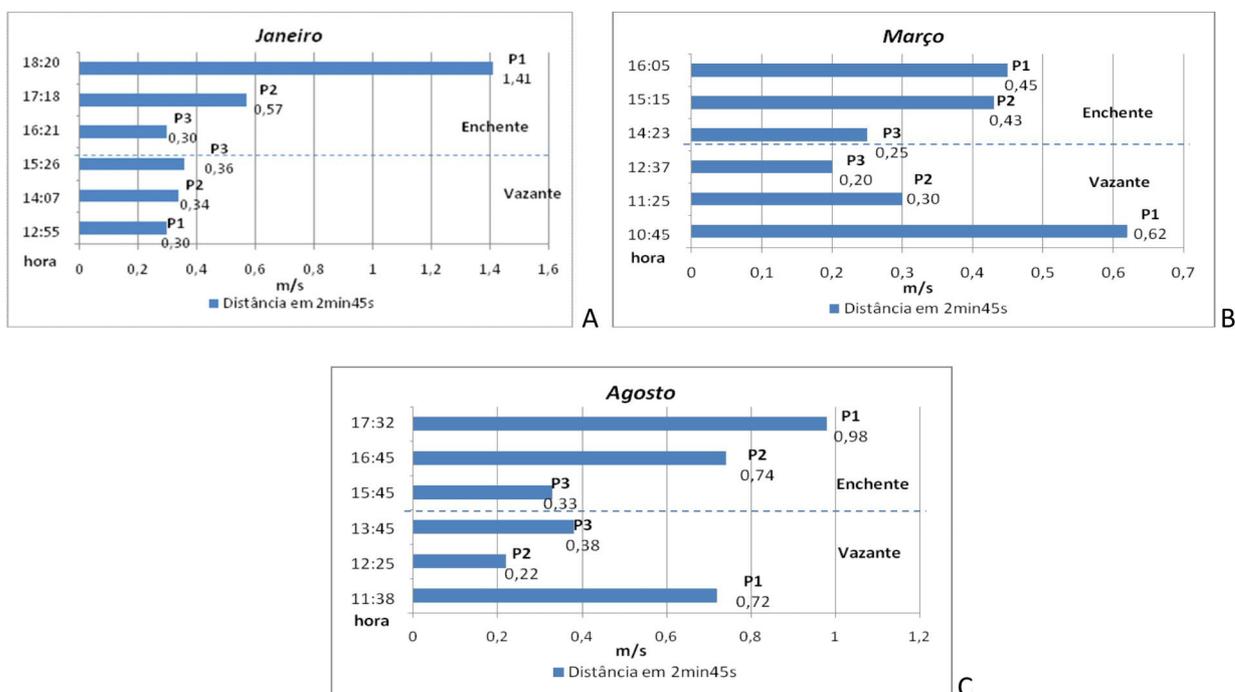


FIGURA 7. Velocidade das correntes longitudinais (m/s), com direção W, registrada na Praia da Romana durante a maré vazante e enchente. P1: setor oeste; P2: setor central; P3: setor leste.

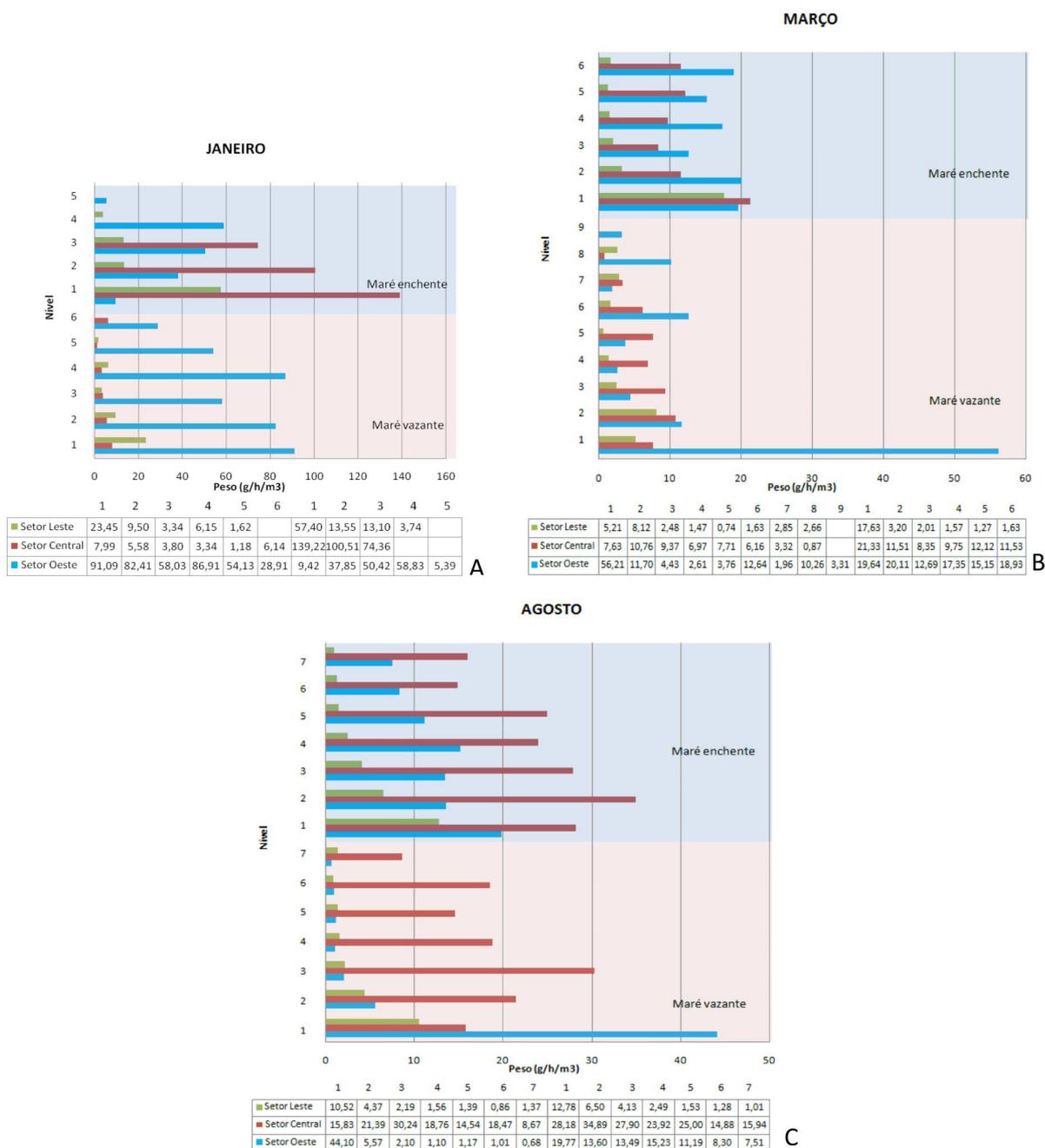


FIGURA 8. Fluxo de sedimentos obtidos em cada *trap* portátil (nível) aplicado nos setores oeste, central e leste da Praia da Romana.

coletados nos *traps* portáteis do setor oeste em agosto, durante a maré vazante (Figura 8C).

Em março ocorreu uma discrepância no peso do último *trap* (de fundo) aplicado no setor oeste, durante a maré vazante (Figura 8B), onde se reteve elevada quantidade de sedimentos (56,21 g/h/m³) devido ao soterrado com o fundo durante o tempo de coleta. Contudo, este soterramento não inviabilizou a maior proporção de sedimentos coletados no *trap* de fundo, visto que se o soterramento ocorreu foi porque o fluxo da corrente e dos sedimentos que passava pelo último *trap* foi grande.

Com exceção deste fato, a quantidade de sedimentos envolvida em cada *trap* (nível) foi pouco variável, tanto na maré vazante como na maré enchente de março (Figura 8B), indicando melhor homogeneização dos grãos de sedimentos na coluna d'água, somado pela maior quantidade de silte e argila (5 a 9 Φ) (Figura 10), e material orgânico suspenso, oriundo da maior degradação de manguezais neste mês de marés equinociais, onde se observa aumento do nível das águas, maior erosão e descarga fluvial.

Fontoura (2004) também constatou alterações no comportamento da distribuição vertical de sedimentos

em determinado ponto de experimentação de *traps* portáteis na praia do Mar Grosso/RS em função da forte presença de matéria orgânica e argila em suspensão. A matéria orgânica em suspensão atingiu concentrações elevadas na zona de quebra, ocupando toda a coluna desde o fundo até a superfície e diminuindo a concentração em direção a praia.

Em março, tanto na maré vazante como na maré enchente, os sedimentos coletados nos *traps* portáteis tiveram peso maior do setor leste ao setor oeste (Figura 8B), enquadrando este último como um setor de acumulação de sedimentos.

Durante a maré enchente dos experimentos realizados em janeiro e agosto, a maior quantidade de sedimentos sendo transportada nos *traps* portáteis do setor central (Figuras 8A e 8C) o caracterizaria também como um setor de acumulação de sedimentos, contudo ao analisar os dados obtidos de intensidade das correntes longitudinais (Figura 7) e a granulometria dos sedimentos (Figuras 9D e 11D), percebe-se que o setor central apresenta maiores características de setor de transporte de sedimentos, pois a intensidade das correntes longitudinais aumenta do setor leste ao setor oeste (Figura 7), e o percentual de sedimentos menos finos (areia fina: 2,5 a 3 Φ) foi maior no setor central durante a maré enchente, assim como foi menor o percentual de silte e argila (5 a 9 Φ) (Figuras 9D e 11D), indicando uma boa capacidade de transporte.

No setor oeste, esta capacidade não é reduzida,

visto que a intensidade das correntes longitudinais foi ainda maior (0,98 m/s), porém como houve maior percentual de sedimentos muito finos (areia muito fina: 3,5 a 4 Φ , silte e argila: 5 a 9 Φ) envolvidos na zona de espraiamento deste setor, em virtude do transporte eólico elevado em direção ao mesmo durante a baixamar, os *traps* portáteis apresentaram pesos menores do que os do setor central durante a maré enchente de janeiro e agosto.

Em todos os meses estudados (Figura 8), os *traps* portáteis do setor leste foram os que obtiveram o menor peso de sedimentos coletados, indicando o início da célula de circulação costeira, fluindo para a direção oeste. O baixo peso obtido nos *traps* portáteis é devido, principalmente, pela granulometria dos sedimentos, pois o setor leste foi o que apresentou maior percentual de sedimentos muito finos (3,5 a 9 Φ), tanto na maré vazante (Figuras 9E, 10E, 11E) como na maré enchente (Figuras 9F, 10F, 11F), especialmente nos *traps* superiores, onde os pesos obtidos foram menores (Figura 8).

A existência do canal de maré adjacente ao setor leste propicia esta alta quantidade de sedimentos mais finos, especialmente silte e argila, pois em canais de marés são despejadas grandes quantidades de partículas finas de sedimentos. O efeito do transporte transversal de sedimentos durante o espraiamento de ondas pode ter conferido a permanência dos sedimentos mais finos no transporte longitudinal.

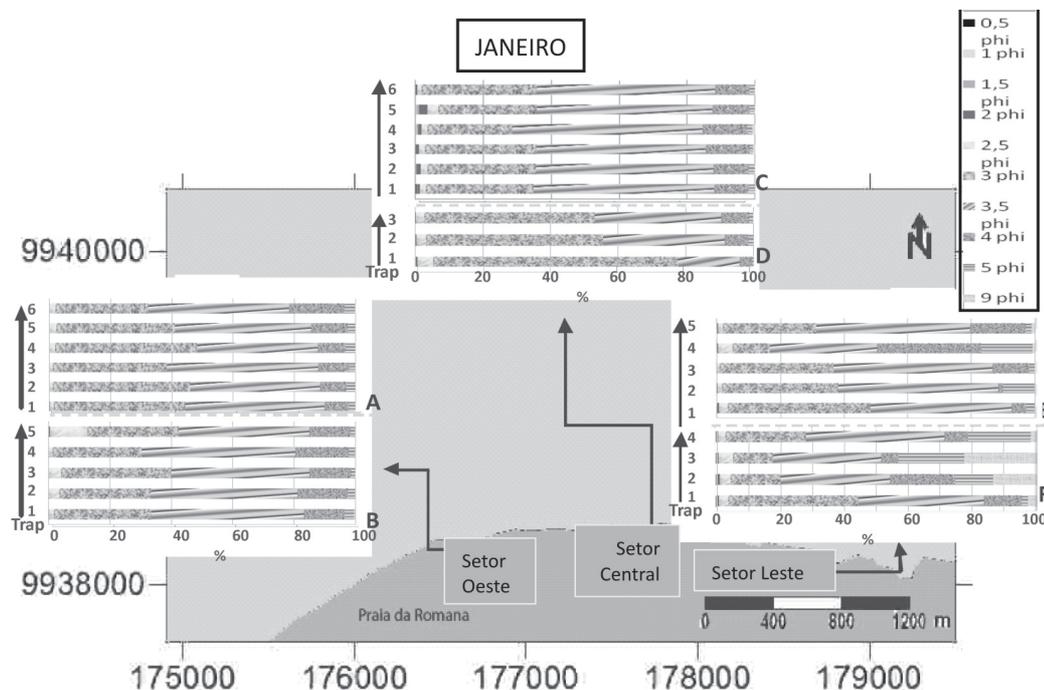


FIGURA 9. Percentual granulométrico dos sedimentos coletados nos *traps* portáteis aplicados em janeiro de 2010. Experimentos durante a maré vazante nos setores oeste (A), central (C) e leste (E). Experimentos durante a maré enchente nos setores oeste (B), central (D) e leste (F).

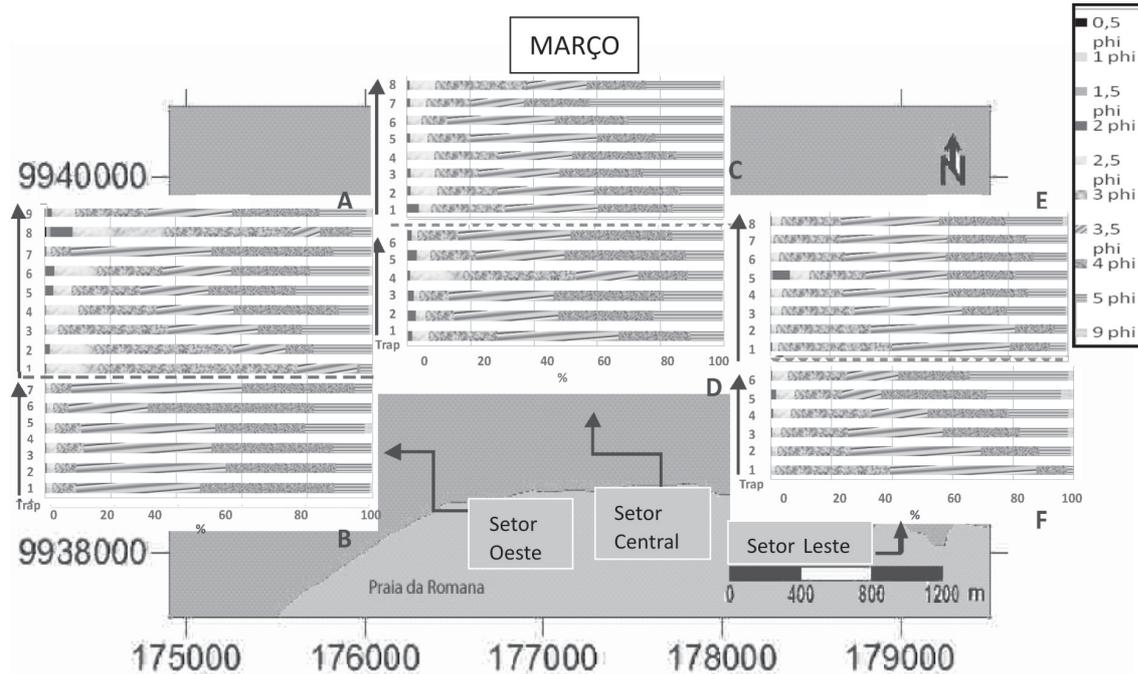


FIGURA 10. Percentual granulométrico dos sedimentos coletados nos *traps* portáteis aplicados em março de 2010. Experimentos durante a maré vazante nos setores oeste (A), central (C) e leste (E). Experimentos durante a maré enchente nos setores oeste (B), central (D) e leste (F).

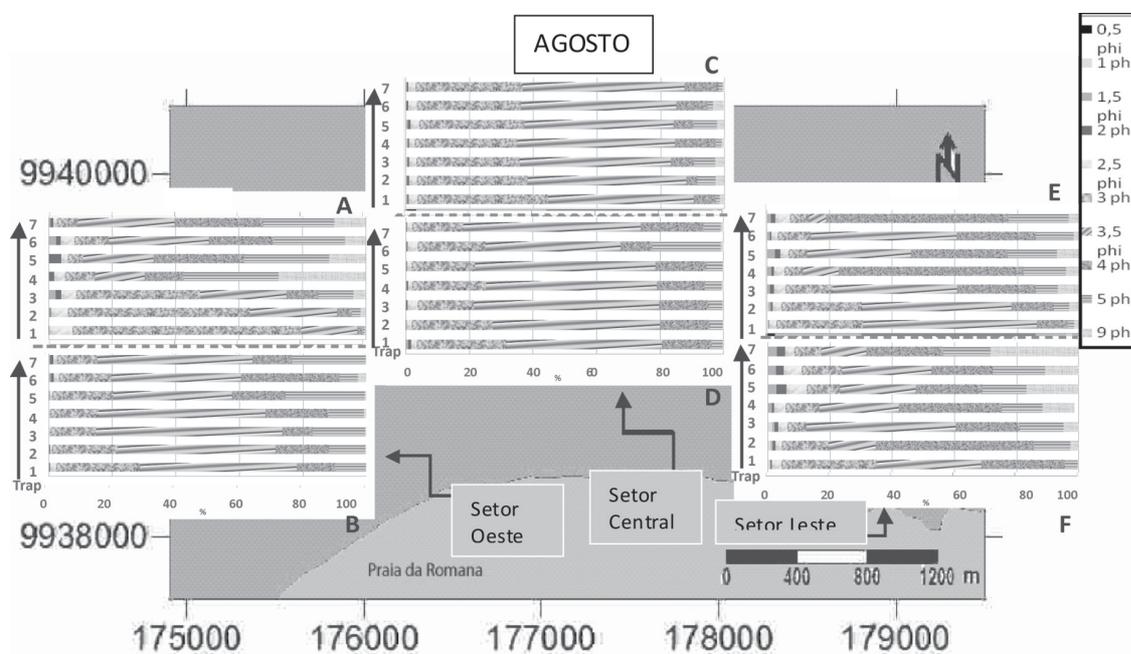


FIGURA 11. Percentual granulométrico dos sedimentos coletados nos *traps* portáteis aplicados em agosto de 2010. Experimentos durante a maré vazante nos setores oeste (A), central (C) e leste (E). Experimentos durante a maré enchente nos setores oeste (B), central (D) e leste (F).

CONCLUSÕES

Os dados medidos de velocidade dos ventos não foram condizentes com os resultados obtidos no método de armadilhas eólicas em março e agosto de 2010, pois a extensão diferenciada da pista de ventos em cada setor experimentado da Praia da Romana pode ter ocasionado esta falta de relação entre o parâmetro vento e o peso total dos sedimentos coletados nas armadilhas.

No setor leste a pista de ventos é menor devido à proximidade com o canal de maré que intercepta a Ilha dos Guarás transversalmente. Por isso houve menos sedimentos finos envolvidos no transporte eólico vindo da direção NE, podendo-se concluir que o peso total retido nas armadilhas eólicas é dependente não somente da granulometria e da intensidade dos ventos em cada setor da praia, mas também da localização em que as armadilhas são instaladas.

Se há uma mesma direção predominante dos ventos por toda extensão da área de estudo é de se esperar que o setor que apresente algum obstáculo ao transporte eólico obtenha menor quantidade de sedimentos retidos nas armadilhas.

Além disso, no método de armadilhas eólicas obtiveram-se quantidades muito baixas (miligramas) de grãos de sedimentos, devido ao tempo de operação ter sido de meio ciclo de maré. Esta baixa quantidade de sedimentos coletados dificultou o manuseio de retirada dos mesmos nos tubos que constituem as armadilhas e impossibilitou a caracterização textural dos sedimentos.

Na aplicação do método dos *traps* portáteis para verificação do transporte longitudinal pode-se constatar a importância da medição da intensidade das correntes longitudinais como ferramenta de comparação com os dados obtidos dos sedimentos coletados nos *traps* portáteis. Além desta medição, a análise granulométrica dos sedimentos aumenta a veracidade dos resultados obtidos do peso total da massa de sedimentos de cada *trap* portátil, pois a maior ocorrência de sedimentos mais ou menos finos de setor para setor estudado é

muito mais determinante na classificação da circulação costeira dos sedimentos de determinada área de estudo.

Durante a maré enchente aumentou a quantidade de sedimentos retidos nos *traps* portáteis, principalmente mais finos, e aumentou a intensidade das correntes longitudinais (fluindo de leste para oeste) devido à adição do efeito da corrente de maré enchente sobre estas. Este fato foi observado em todos os meses de coleta de sedimentos com *traps* portáteis e constata que a influência da corrente de maré enchente é maior que a corrente de maré vazante na Praia da Romana e, que o transporte de sedimentos é de leste para oeste, sendo o setor leste de erosão e os setores central e oeste de transporte de sedimentos, durante a maré enchente, devido a elevada intensidade das correntes nestes locais.

Durante a maré vazante as correntes longitudinais fluem no mesmo sentido (sentido leste-oeste) devido à frente de ondas que chega à costa na direção NE. O transporte de sedimentos mantém-se para direção W, porém o setor oeste apresenta tendência acumulativa de sedimentos, pois a intensidade das correntes longitudinais aparentemente não recebe influência da corrente de maré vazante no mesmo sentido de propagação como ocorre durante a fase de enchente.

Conclui-se que a maior forçante do transporte e da distribuição de sedimentos na Praia da Romana é a corrente de maré enchente, pois quando esta ocorre, a intensidade das correntes longitudinais é acrescida e, conseqüentemente, o transporte de sedimentos eleva-se na direção W. Secundariamente, os ventos vindos de NE, pois os mesmos suprem a retirada de sedimentos mais finos, removidos pelas correntes costeiras, especialmente nos setores central e oeste. Posteriormente, as ondas exercem influência na intensidade e direção do transporte de sedimentos na Praia da Romana, pois geram correntes longitudinais que mantêm o fluxo de sedimentos em direção W durante a maré vazante.

AGRADECIMENTOS

Aos membros do Grupo de Estudos Marinhos e Costeiros (GEMC) da Universidade Federal do Pará (UFPA) pela parceria na realização deste trabalho. Ao Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica (PPGG) da UFPA e à CAPES pelo financiamento da bolsa de estudos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BARBOSA, G.V. & PINTO, M.N. Geomorfologia da Folha AS 23 (São Luiz) e parte da Folha AS 24 (Fortaleza): Geologia, Geomorfologia, Solos, Vegetação e Uso Potencial da Terra.

In: Projeto RADAM (Coord.), **Levantamento de Recursos Naturais - Projeto RADAM (Brazil)**. Rio de Janeiro: GB (Brazil), v. 3, p. 52-88, 1973.

2. BRAGA, F.P.S. **Morfologia e sedimentologia da praia de macromaré de Ajuruteua, Pará: Um estudo para definição de índices de sensibilidade ambiental ao derramamento de óleo.** Belém, 2007. 116 p. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) – Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará.
3. DHN – DEPARTAMENTO DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO. **Tábuas de Maré (Pará).** In: DHN (Coord.), **Costa do Brasil e alguns portos estrangeiros.** Rio de Janeiro: DHN, p. 1-6, 1994.
4. DHN – DEPARTAMENTO DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO. **Tábuas de Marés.** Disponível em: <http://www.mar.mil.br/dhn/chm/tabuas/index.htm>. Acessado em: 8jan2010.
5. DOU – DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO. **Decreto nº 4.519**, de 13 de dezembro de 2002. Presidência da República. Casa Civil. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/D4519.htm. Acessado em: 14jul2010.
6. EL-ROBRINI, M.; ALVES, M.A.M.S.; SOUZA FILHO, P.W.M.; EL-ROBRINI, M.H.S.; SILVA JÚNIOR, O.G.; FRANÇA, C.F. Atlas de erosão e progradação da zona costeira do Estado do Pará – Região Amazônica: Áreas oceânica e estuarina. In: MUEHE, D. (Coord.), **Atlas de Erosão e Progradação da Zona Costeira Brasileira.** São Paulo, p. 1-34, 2006.
7. FONTOURA, J.A.S. **Hidrodinâmica costeira e quantificação do transporte longitudinal de sedimentos não-coesivos na zona de surfe das praias adjacentes aos molhes da barra do Rio Grande, RS, Brasil.** Porto Alegre, 2004. 273 p. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
8. GEYER, W.R.; BEARDSLEY, R. C.; LENTZ, S.J.; CANDELA, J.; LIMEBURNER, R.; JOHNS, W.E.; CASTRO, B.M.; SOARES, I.D. Physical oceanography of the Amazon shelf. **Continental Shelf Research**, v. 16, p. 575-616, 1996.
9. KING, C.A.M. (Coord.). **Beaches and coasts.** London: Edward Arnold, 403 p., 1959.
10. KOMAR, P.D. (Coord.). **Beach Processes and Sedimentation.** New Jersey: Prentice-Hall, 129 p., 1976.
11. KÖPPEN, W. **Climatología: con un estudio de los climas de la tierra.** México: Fondo de Cultura Económica, 479 p., 1948.
12. KRAUS, N.C. Application of portable traps for obtaining point measurements of sediment transport rates in the surf zone. **Journal of Coastal Research**, v. 3, n. 2, p. 139-152, 1987.
13. KRAUS, N.C. & DEAN, J.L. Longshore sediment transport rate distributions measured by trap. In: N.C. KRAUS (Coord.), **Coastal Sediments 87.** New York: American Society of Civil Engineers, p. 881-896, 1987.
14. LEATHERMAN, S.P. A new eolian sand trap design. **Sedimentology**, v. 25, p. 303-306, 1978.
15. MÁCOLA, G & EL-ROBRINI, M. **Ilha dos Guarás (Mariteua) – Município de Curuçá (NE do Pará): Aspectos Físicos, Meteorológicos e Oceanográficos.** Belém: Convênio Departamento Nacional de Produção Mineral/ Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais, 35 p., 2004.
16. MAIA, L.P. **Procesos costeros y balance sedimentario a lo largo de Fortaleza NE-Brasil – implicaciones para una gestión costera ordenada.** Barcelona, 1998. 268 p. Tese (Doutorado em Geologia) – Departamento de Estratigrafia e Paleontologia, Universidade de Barcelona.
17. MARTORANO, L.G.; PEREIRA, L.C.; CESAR, E.G.M.; PEREIRA, I.C.B. **Estudos Climáticos do Estado do Pará, Classificação Climática (Köppen) e Deficiência Hídrica (Thornthwhite, Mather).** Belém: Convênio Superintendência da Amazônia/ Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), 53 p., 1993.
18. MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Perfil dos Estados Litorâneos do Brasil: Subsídios à Implantação do Programa Nacional de Gerenciamento Costeiro.** Brasília: Plano Nacional de Meio Ambiente, 301 p., 1996.
19. PALMA, J.J.C. Geomorfologia da Margem Continental Norte Brasileira. In: PETROBRAS (Coord.), **Geomorfologia da Margem Continental Brasileira e Áreas Adjacentes.** Rio de Janeiro: Serie Projeto Reconhecimento Global da Margem Continental Brasileira, v. 7, p. 7-24, 1979.
20. OLIVEIRA, U.R.; BARLETTA, R.C.; PEIXOTO, J.R.V.; HORN FILHO, N.O. Características morfodinâmicas da praia do Pântano do Sul, Ilha de Santa Catarina, Brasil. **Pesquisas em Geociências**, v. 36, n. 3, p. 237-250, 2010.
21. SANTOS, V.F. **Estratigrafia Holocênica Morfodinâmica Atual da Planície Costeira da Ilha de Algodão e Marudá.** Belém, 1996. 138 p. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) – Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará.
22. SHORT, A.D. Beaches. In: SHORT, A.D. (Coord.), **Handbook of beach and shore face morphodynamics.** Chichester: John Wiley & Sons, p. 1-19, 1999.
23. SILVA, M.S. **Morfoestratigrafia e Evolução da Planície Costeira de Salinópolis - NE do Estado do Pará.** Belém, 1996. 122 p. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) – Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará.
24. SOARES, S.B. **Avaliação experimental da taxa longitudinal de transporte de sedimentos e sua previsão usando formulações globais na zona de surfe da Praia de Camburiú, Vitória-ES.** Vitória, 2005. 113 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo.
25. SOUZA FILHO, P.W.M. **A Planície Costeira Bragantina (NE do Para): Influência das Variações do Nível do Mar na Morfoestratigrafia Costeira durante o Holoceno.** Belém, 1995. 123 p. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) – Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará.
26. SOUZA FILHO, P.W.M. & EL-ROBRINI, M. Morfologia, Processos de Sedimentação e litofácies dos ambientes morfosedimentares da Planície Costeira Bragantina, Nordeste do Estado do Pará (Brasil). **Geonomos**, v. 4, p. 1-16, 1996.
27. SOUZA FILHO, P.W.M. & PARADELLA, W.R. Recognition of the main geobotanical features along the Bragança mangrove coast (Brazilian Amazon Region) from Landsat TM and RADARSAT-1 data. **Wetlands Ecology and Management**, v. 10, n. 2, p. 123-132, 2002.
28. SOUZA FILHO, P.W.M. & PARADELLA, W.R. Use of synthetic aperture radar for recognition of Coastal Geomorphological Features, land-use assessment and shoreline changes in Bragança coast, Pará, Northern Brazil. **Annals of the Brazilian Academy of Sciences**, v. 75, n. 3, p. 341-356, 2003.
29. SUGUIO, K. **Introdução a sedimentologia.** São Paulo: Edgard Blücker, 342 p., 1973.
30. VILLWOCK, J.A.; LESSA, G.C.; SUGUIO, K.; ANGULO R.J.; DILLENBURG, S.R. Geologia e geomorfologia de regiões costeiras. In: SOUZA, C.R.G.; SUGUIO, K.; OLIVEIRA, A.M.S.; OLIVEIRA, P.E. (Coords.), **O Quaternário do Brasil.** Ribeirão Preto: Holos, p. 94-113, 2005.
31. WANG, P.; KRAUS, N.C.; DAVIS R.A. Total longshore sediment transport rate in the surf zone: Field measurements and empirical predictions. **Journal of Coastal Research**, v. 14, n. 1, p. 269-282, 1998.

*Manuscrito Recebido em: 22 de março de 2011
Revisado e Aceito em: 4 de outubro de 2011*