



**Aplicação de Modelo de Tendência Direcional de Transporte ao
Longo de uma Ilha-Barreira: Restinga da Marambaia (RJ, SE Brasil)**
Applying a Sediment Trend Analysis Model to
Barrier-Island: Restinga da Marambaia (RJ, SE Brazil)

Breylla Campos Carvalho & Josefa Varela Guerra

*Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Oceanografia, Programa de Pós-Graduação em Oceanografia
Rua São Francisco Xavier, 524, Bloco E, Sala 4028, 20550-900, Rio de Janeiro, RJ*

E-mails: breylla.carvalho@uerj.br; josefa@uerj.br

Recebido em: 17/09/2019 Aprovado em: 03/02/2020

DOI: http://doi.org/10.11137/2020_2_101_118

Resumo

Diferentes métodos de estudo foram desenvolvidos para definir os padrões de transporte de sedimentos, sendo um deles o modelo de tendência direcional de transporte de sedimentos (GSTA), que se baseia na análise da variabilidade espacial dos parâmetros granulométricos – média (μ), desvio-padrão (σ) e assimetria (Sk). Neste trabalho, o complemento GisedTrend, que opera em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG), foi implementado para analisar a dinâmica sedimentar da margem interna da restinga da Marambaia. Esta feição isola parcialmente a baía de Sepetiba do oceano adjacente, localizando-se no litoral sul do estado do Rio de Janeiro. Os resultados mostram que os sedimentos da área emersa da ilha-barreira são predominantemente compostos por areias médias bem selecionadas, enquanto que as amostras coletadas a partir da isóbata de 2 m exibem progressivo afinamento em direção às áreas mais profundas, de areia fina para silte fino, tornando-se mal selecionadas na mesma direção. Quatro casos de tendência direcional foram avaliados e os resultados permitiram identificar áreas de remoção e acumulação de sedimentos, bem como inferir os mecanismos responsáveis pelos padrões observados, como correntes geradas pelo vento, marés e dispersão de plumas de sedimentos em suspensão.

Palavras-chave: *Dinâmica Sedimentar; Vetor de Transporte; Análise de Partículas; GisedTrend; GSTA; Baía de Sepetiba*

Abstract

Distinct methods have been developed to help determine sediment transport patterns in coastal environments, including the so-called grain-size trend analysis models (GSTA) that are based on the analysis of the spatial variability of grain-size parameters - mean (μ), standard deviation (σ) and skewness (Sk). In this paper, the GisedTrend plugin, which operates in a Geographic Information System (GIS) environment, was applied to improve the understanding of the sedimentary dynamics along Marambaia's barrier island bayside margin. This feature partially isolates Sepetiba bay, located in the southern Rio de Janeiro coast, from the open ocean. Results showed that the barrier island sediments are predominantly medium, well-selected sands whereas samples collected beyond the 2-m isobath exhibit a progressive fining towards the deeper areas, where sediments are poorly-sorted fine silts. Four trend cases were evaluated and the results allowed the identification of areas of sediment removal or accumulation as well as to infer which mechanisms are responsible for the observed patterns, such as wind-generated currents, tides and the dispersal of suspended-sediment plumes.

Keywords: *Sedimentary Dynamics; Transport Vector; Particle Analysis; GisedTrend; GSTA; Sepetiba Bay*

1 Introdução

Sabe-se que tanto as proporções das diferentes classes de sedimentos como a textura dos sedimentos clásticos podem fornecer informações sobre a história do transporte do material e o ambiente de deposição (Nichols, 2009). Assim, juntamente com a composição mineralógica, a análise granulométrica, expressa através de parâmetros estatísticos, permite descrever e interpretar um ambiente deposicional, e prever o movimento futuro do sedimento, o desenvolvimento da morfologia e a interpretação de processos passados da área estudada (Pethick, 1984). Desta forma, a distribuição dos parâmetros estatísticos em uma área torna possível delimitar compartimentos de significados dinâmicos distintos (Fúlfaro & Ponçano, 1976).

De acordo com Gao & Collins (1991), a partir da distribuição granulométrica em um ambiente é possível: a) identificar os ambientes deposicionais; b) identificar diferentes mecanismos controladores do transporte de sedimentos pela análise da curva de frequência acumulada da distribuição granulométrica; c) comparar características específicas da distribuição sedimentar, delineando os padrões de transporte.

Com o intuito de compreender melhor os padrões de transporte de sedimentos, foram desenvolvidos modelos de análise de tendência direcional de transporte de sedimentos (GSTA). Parte-se do pressuposto de que as tendências são respostas à variedade de processos como abrasão, transporte seletivo e a adição de partículas sedimentares produzidas localmente (Komar, 1987; Gao & Collins, 1992). Incertezas existem ao definir a tendência do transporte usando um único parâmetro granulométrico (média $[\mu]$, desvio-padrão $[\sigma]$ e assimetria $[Sk]$) e, por isso, obtém-se melhores resultados ao combiná-los (McLaren, 1981).

Os modelos GSTA têm ampla aplicação, incluindo obras de engenharia costeira, programas de dragagem, estudos ambientais e investigações sedimentológicas (Le Roux & Rojas, 2007) nos mais diversos tipos de ambientes, como rios (Mohd-Lokman *et al.*, 1998; Asselman, 1999), estuários (Mallet *et al.*, 2000; Barthlomä & Flemming, 2007;

Maillet *et al.*, 2011), praias (Delgado *et al.*, 2002; Masselink *et al.*, 2008; Poizot *et al.*, 2013), lagoas (Papatheodorou *et al.*, 2012) e plataformas continentais (Duman *et al.*, 2006; Duc *et al.*, 2007).

Segundo Poizot *et al.* (2008) os três modelos principais seriam: a) método 1D, STA[®] (método de McLaren, 1981), b) método 2D ponto a ponto (método de Gao & Collins, 1991, 1992) e c) método 2D (método de Le Roux, 1994a, 1994b). Posteriormente, Asselman (1999) modificou o modelo de Gao & Collins, utilizando-o em um Sistema de Informações Geográficas (SIG) através do uso de ferramentas geoestatísticas, que foram posteriormente refinadas por Poizot *et al.* (2006). Poizot & Méar (2010) desenvolveram um complemento (*GisedTrend*) acoplado ao programa QGIS 2.18, que consiste numa modificação dos métodos de Gao & Collins (1991, 1992) e de Le Roux (1994a).

Neste trabalho, o complemento *GisedTrend* foi utilizado para identificar os padrões de tendência de transporte de sedimentos ao longo da margem interna de uma ilha-barreira localizada no litoral sul do estado do Rio de Janeiro, SE Brasil (Figura 1). A motivação para a realização deste trabalho se deve em parte ao pouco conhecimento atual a respeito da evolução desse setor costeiro, bem como as escassas informações dos padrões atuais de transporte de sedimentos, fato que dificulta o prognóstico de sua evolução em um cenário de subida do nível do mar. Os modelos conceituais elaborados até o momento se baseiam em observações da distribuição de organismos presentes em amostras de sedimentos coletadas no interior da baía (Brönimann *et al.*, 1981; Moura *et al.*, 1982), na observação de feições morfológicas (Borges, 1990), ou modelagem numérica da circulação (Cunha *et al.*, 2006). Outro ponto relevante diz respeito ao estreitamento do setor central da restinga da Marambaia, atribuído à divergência de correntes provenientes do setor norte da baía de Sepetiba, fato que ocasionaria a remoção dos sedimentos desta área (Roncarati & Barrocas, 1978). Contudo, essa hipótese busca explicar a diminuição da largura do setor central da restinga sem qualquer observação direta do padrão de circulação ou do transporte de sedimentos. Assim, este trabalho visou aplicar uma técnica que tem obtido grande sucesso em distintos

ambientes sedimentares, de modo a contribuir para a compreensão do sentido predominante de transporte de sedimentos neste setor do litoral fluminense.

2 Materiais e Métodos

2.1 Área de Estudo

A restinga da Marambaia é uma ilha-barreira (na concepção de Pilkey *et al.*, 2009; Stutz & Pilkey, 2011; Otvos, 2012) com orientação leste-oeste, cerca de 40 km de extensão e 120 a 1800 metros de largura (Oliveira *et al.*, 2008), com sua parte submersa se estendendo até cerca de 2 metros de profundidade. A ilha-barreira limita a livre comunicação da baía de Sepetiba com o oceano Atlântico, que ocorre através de duas aberturas localizadas na extremidade oeste e, de maneira limitada, na extremidade leste (Figura 1).

Estudos anteriores realizados na área de estudo (por exemplo Ponçano, 1976; Borges, 1990; Pereira, 1998) mostraram que existe uma grande di-

versidade de sedimentos superficiais, os quais refletem a história geológica recente deste setor do litoral brasileiro. Desta forma, são encontrados tanto sedimentos de origem fluvial, atualmente trazidos para a baía pelos cursos que deságuam no setor nordeste da baía, como sedimentos de origem marinha. Ponçano (1976) analisou 273 amostras de sedimentos superficiais coletados em toda a baía de Sepetiba e verificou que os sedimentos gradam desde areias na região de comunicação com o oceano a lamas na desembocadura dos cursos d'água situados no setor nordeste da baía (Figura 2a). O canal de entrada oeste apresenta areia grossa, com algumas manchas de lama enquanto a margem da ilha-barreira voltada para a baía apresenta areia média. As baías (Marambaia e Sepetiba) apresentam-se cobertas por silte e a porção leste da baía de Sepetiba mostra presença de argila nas desembocaduras dos rios. Na região do principal canal de comunicação com o oceano, Ponçano (1976) registrou a presença de bolas de lama. O grau

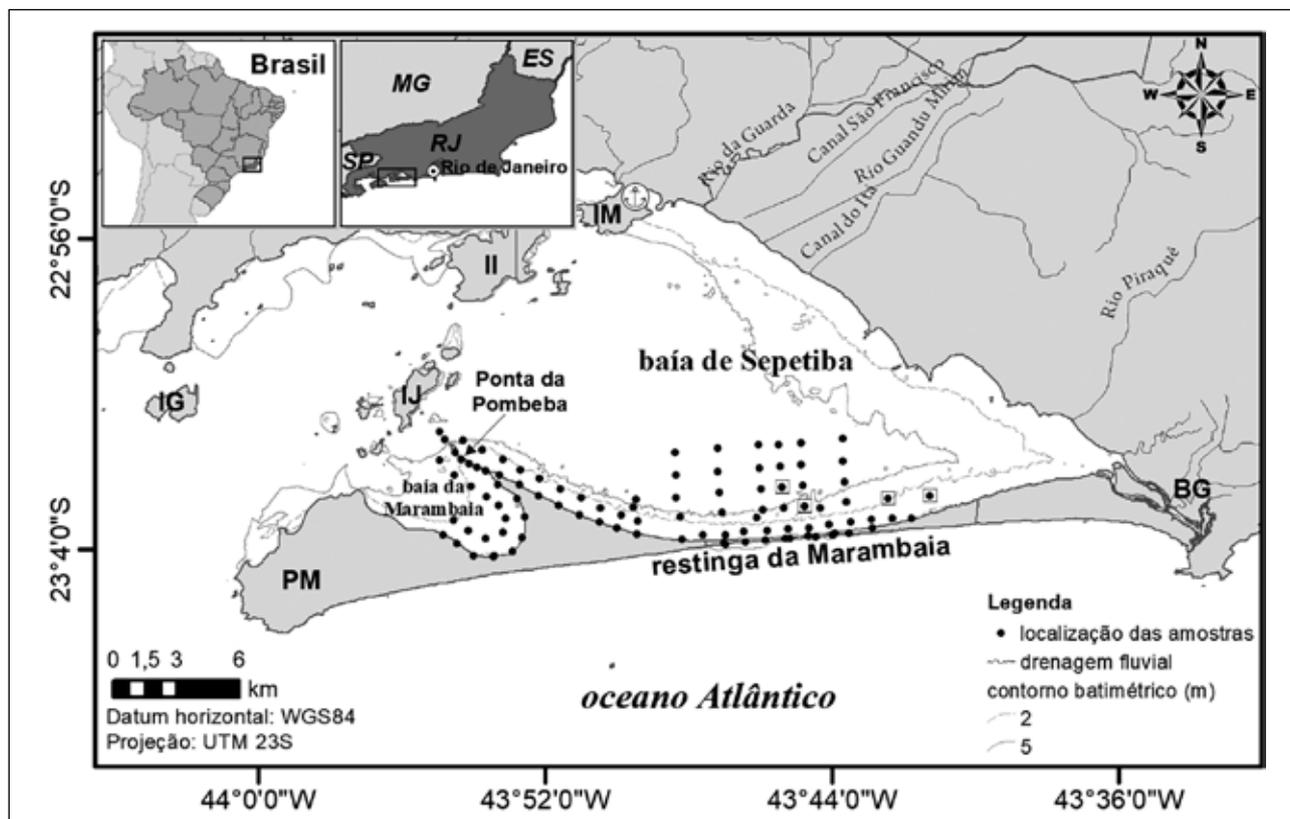


Figura 1 Localização da área de estudo e dos pontos de coleta das amostras de sedimentos. Legenda: IM – Ilha da Madeira; II – Ilha de Itacuruçá; IJ – Ilha de Jaguanum; IG – Ilha Guaíba; PM – Pico da Marambaia; BG – Barra de Guaratiba. Os quadrados indicam amostras em que o percentual de areia grossa foi superior a 40%.

de seleção (Figura 2b) revela três setores distintos: a área do canal oeste (onde varia de moderadamente bem selecionada a moderadamente selecionada), a área da ilha-barreira (bem selecionada a moderadamente bem selecionada), e a baía propriamente dita, com predominância de amostras mal e muito mal selecionadas. A assimetria (Figura 2c) se mostra muito negativa na porção leste da baía, coincidindo com as áreas de desembocadura dos cursos d'água (porção leste da baía de Sepetiba), na região da ilha da Madeira e a oeste da ilha de Itacuruçá, e negativa próximo à entrada da baía. Em boa parte do canal de acesso à baía e na própria ilha-barreira, as amostras descritas por Ponçano (1976) são quase simétricas, com algumas áreas assimetricamente positivas.

A circulação hidrodinâmica da baía de Sepetiba é fortemente influenciada pela descarga de água doce proveniente de canais e rios adjacentes e a troca de águas com o oceano é dificultada pela restinga da Marambaia (Fragoso, 1999). O principal mecanismo gerador de correntes na baía é a maré, que é do tipo estacionária. Em geral, as correntes de maré enchente são mais intensas que as de maré vazante, porém de menor duração (Fonseca, 2013).

Os ventos predominantes são de nordeste e leste-nordeste, devido à topografia local e a proximidade com o mar, de acordo com estudo realizado pela Secretaria de Estado do Meio Ambiente (1998) e em geral são fracos (Fonseca, 2013). Os ventos de quadrante sul-sudoeste ocorrem esporadicamente, são intensos e associados à passagem de frentes frias (Fonseca, 2013).

2.2 Coleta e Análise de Sedimentos

No ano de 2013 foram coletadas cem amostras de sedimentos, equidistantes entre 1 e 2 km, na parte emersa e submersa da restinga da Marambaia, na Ponta da Pombeba e nas baías da Marambaia e Sepetiba (Figura 1). Nas áreas emersas, as amostras foram coletadas com uma pá e nas áreas submersas com um busca-fundo Van Veen. Em laboratório as amostras foram processadas segundo as técnicas clássicas de análise de sedimentos (Krumbein & Pettijohn, 1938), onde foram eliminados os sais solúveis, a matéria orgânica (H_2O_2 a 10%) e os carbo-

natos (HCl a 30%). A fração de sedimentos grossos ($> 0,062mm$) de cada amostra foi peneirada a intervalos de $0,5 \phi$, enquanto a fração fina ($< 0,062 mm$) foi inicialmente peneirada a úmido para separação da fração grossa e posteriormente as frações silte e argila foram determinadas através do analisador de partículas por difração a laser MalvernTM. Os parâmetros estatísticos foram obtidos através do programa GRADISTAT versão 8.0 (Blott & Pye, 2001), baseando-se no método proposto por Folk & Ward (1957).

Os mapas de classificação dos parâmetros estatísticos foram elaborados no programa ArcGISTM 10.2, usando o método de interpolação Inverso das Distâncias (IDW). Esse interpolador assume que cada ponto amostral tem influência local que diminui com a distância, ou seja, quanto mais próximo estiver um ponto do outro, maior deverá ser a correlação entre seus valores (Wei & McGuinness, 1973; Varela & Sena, 2008; ESRI, 2014).

2.3 Modelos de Tendência Direcional de Transporte de Sedimentos

McLaren (1981) foi o primeiro pesquisador a desenvolver um modelo conceitual e empírico de transporte de sedimentos com base no estudo de parâmetros granulométricos combinados. Tendo em vista que as variações de tendências entre duas amostras de sedimentos podem ser definidas como: mais fina (F) ou mais grossa (C) em relação à média, melhor (B) ou pior (P) selecionada e com assimetria positiva (+) ou negativa (-) (Poizot *et al.*, 2008), a combinação desses parâmetros define quatorze casos de tendência. No entanto, apenas quatro casos são explorados nos modelos GSTA, pois são os que mais dominam na natureza: FB-, CB+, CB- e FB+ (Le Roux & Rojas, 2007).

McLaren (1981) e McLaren & Bowles (1985) implementaram um método que parte do pressuposto de que a distribuição granulométrica nos ambientes sedimentares é afetada pelo arrasto seletivo, transporte e deposição, e como resultado os sedimentos tendem a se tornar mais finos, bem selecionados e mais negativamente assimétricos na direção do transporte. Cada par de amostras é comparado

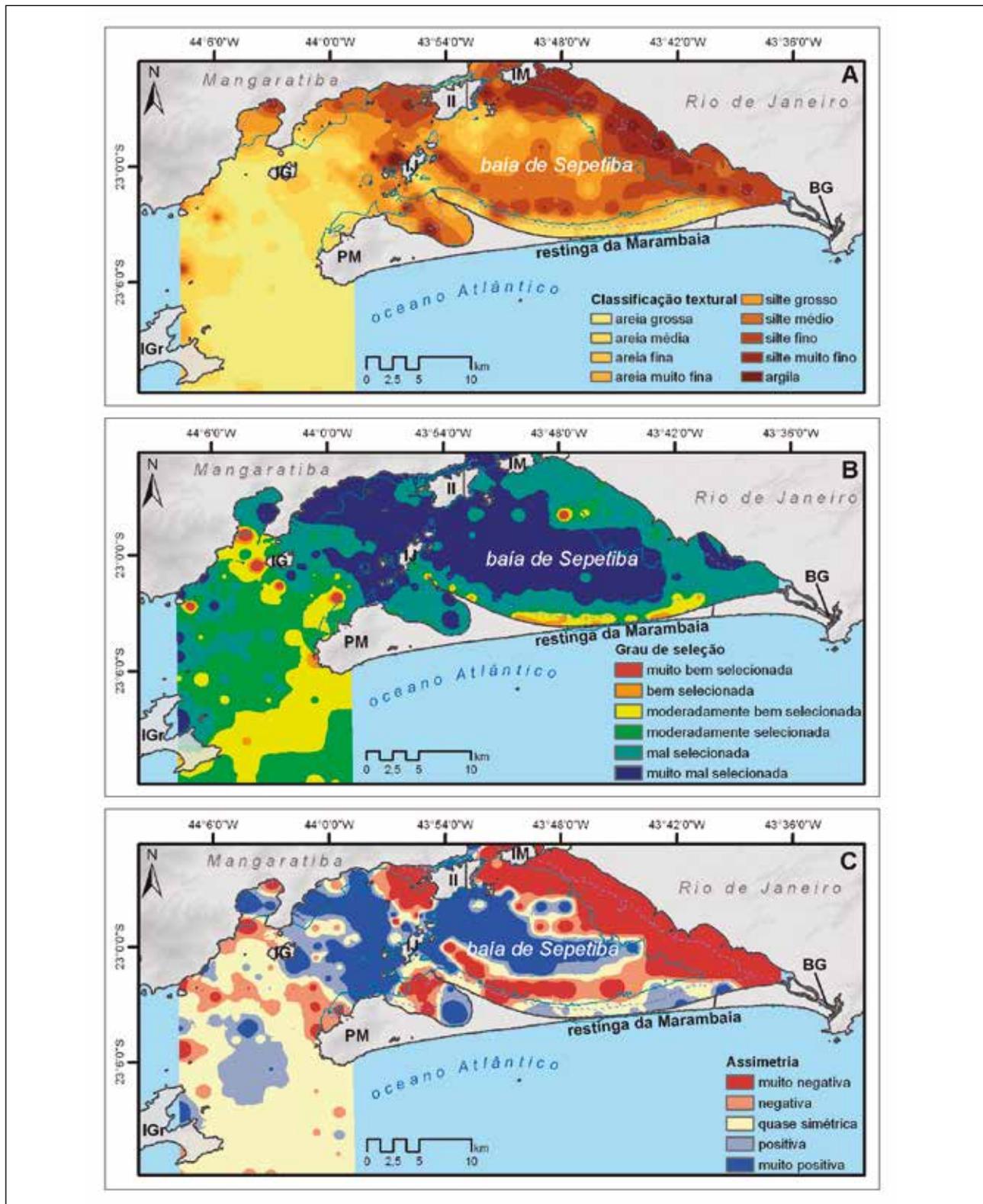


Figura 2 Classificação dos parâmetros granulométricos para as amostras de Ponçano (1976): (a) tamanho médio das amostras; (b) grau de seleção; (c) assimetria. Legenda: IM – Ilha da Madeira; II – Ilha de Itacuruçá; IJ – Ilha de Jaguanum; IG – Ilha Guaíba; IGr – Ilha Grande; PM – Pico da Marambaia; BG – Barra de Guaratiba. A linha tracejada indica a isóbata de 2m e a linha contínua, a de 5m. Nota: Para o presente trabalho, os pontos de amostragem foram digitalizados e vetorizados através do programa ArcGIS™ 10.2 e compilados com os dados da análise granulométrica em um banco de dados digital.

ao longo de uma linha de amostragem, sendo por isso considerado um método unidimensional, com a possibilidade de existirem até oito casos de tendência (combinação dos parâmetros F, C, B, P, + e -). Um teste de significância (*Z-score*) é aplicado para determinar a direção de transporte preferencial e validá-la.

Gao & Collins (1991, 1992) desenvolveram um modelo que proporciona tratamento bidimensional aos dados, com aplicação mais fácil e resultados mais significativos (Asselman, 1999; Poizot *et al.*, 2008). Neste método, cada amostra é comparada à sua vizinha tomando como base uma distância característica (*Dcr*), normalmente o máximo intervalo de amostragem. Se a distância entre duas amostras for menor que a distância *Dcr*, elas são consideradas vizinhas e seus parâmetros granulométricos são comparados. Se algum dos casos de tendência selecionados for identificado entre as duas amostras, então um vetor de tendência é definido no sentido da amostra com melhor grau de seleção. Vale destacar que um vetor de maior tamanho mostra tendência direcional com maior probabilidade de ser verdadeira, ou seja, apresenta maior robustez estatística (Gao & Collins, 1992; Asselman, 1999). Gao & Collins (1992) sugerem a aplicação de um teste estatístico em que um valor crítico L_x é definido (p. ex. L_{95} para um intervalo de confiança de 95%), permitindo estabelecer se a significância do comprimento do vetor residual é estatisticamente válida ou não (Chang *et al.*, 2001).

O método de Le Roux (1994a, b) baseia-se no fato de o transporte sedimentar acontecer ao longo de frentes unidirecionais extensas e amplas, e não apenas ponto a ponto. Neste método, grupos de cinco amostras são usadas para definir os vetores de tendência, com uma estação central e quatro estações satélites localizadas nas principais radiais a iguais distâncias da estação central. Os parâmetros granulométricos de cada amostra são combinados, resultando em um número adimensional, procedimento que dá igual importância a todos os parâmetros. Uma análise vetorial convencional é então aplicada para extrair o sentido e a magnitude principal (Le Roux & Rojas, 2007). Ao fim do procedimento, a distribuição dos vetores é estatisticamente analisada através do teste não-paramétrico de Watson (1966), a fim de validá-la ou não (Le Roux *et al.*, 2002).

2.4 Aplicação do Modelo Gisedtrend

No método proposto por Poizot & Méar (2010), os vetores de tendência são gerados a partir de modificações nos métodos 2D ponto-a-ponto (Gao & Collins, 1992) e 2D (Le Roux 1994a, b), através do complemento GisedTrend, que se encontra integrado a um ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG), neste caso o programa QGIS 2.18, permitindo o desenvolvimento dos seguintes aspectos (Poizot & Méar, 2010): (1) seleção de um *buffer* composto por estações de amostragem vizinhas, criada através de uma distância característica fornecida pelo pesquisador; (2) utilização de uma barreira fornecida por meio de uma camada vetorial (linha ou polígono) que representa obstáculos como ilhas; (3) comparação dos parâmetros estatísticos entre cada estação vizinha usando os casos de tendência definidos, em que o impacto de cada estação sobre o vetor final é inversamente proporcional à distância da estação analisada. Outro incremento proposto pelos autores diz respeito à análise de múltiplos casos de tendência de transporte, sendo possível escolher duas abordagens (Poizot & Méar, 2010): (1) apenas combinar os casos de tendência, logo o vetor final é a soma vetorial de todos os casos testados; (2) ou usar a operação “exclusiva ou” (XOR), em que apenas um caso de transporte é adotado para uma determinada localização. A escolha do caso a ser adotado é governada por dois requisitos: o maior número de ocorrências de cada caso encontrado e a melhor homogeneidade direcional. Este último requisito é avaliado pelo comprimento do vetor obtido pela soma dos vetores para cada caso particular.

A geoestatística dos parâmetros estatísticos é importante para a obtenção da distância geoestatística (*Dg*), que é determinada pela análise do semi-variograma, o qual indicará até que distância existe correlação espacial entre os parâmetros (Poizot *et al.*, 2006). Para o presente estudo, a distância geoestatística calculada foi de 3716 m (Figura 3).

Para o cálculo dos vetores de tendência foi criada uma grade regular dos parâmetros estatísticos, tendo como base a grade amostral original (irregular). Esta grade regular foi obtida através da análise de um histograma das distâncias mínimas entre as amostras, adotando-se o valor mais frequente. Este procedimento tem sido usado por alguns pesquisadores a fim de se obter resultados mais fidedignos (Asselman, 1999; Ríos *et al.*, 2003; Friend *et al.*,

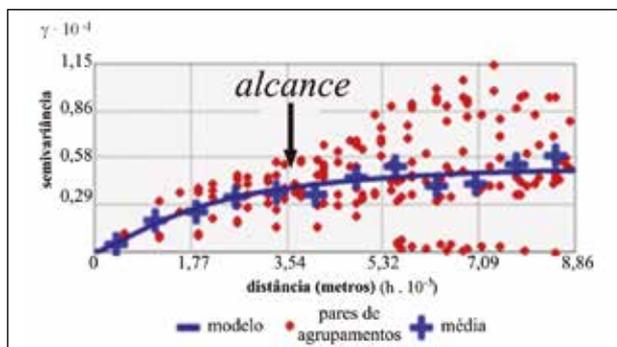


Figura 3 Semivariograma utilizado para obter a distância geoestatística (D_g).

2006; Lucio *et al.*, 2006; Poizot *et al.*, 2006). Para as amostras analisadas, a distância mínima mais frequente foi de 800 m. Em seguida, foram elaborados mapas para os casos de tendência FB-, CB+, CB- e FB+ combinados utilizando a função XOR e para os casos de tendência FB-, CB+, CB- e FB+ somados. Utilizou-se o teste de significância de Watson, a 95% de confiança, conforme sugerido por diversos autores (Gao & Collins, 1992; Le Roux *et al.*, 2002; Poizot *et al.*, 2008).

3 Resultados

3.1 Parâmetros Texturais

Quanto à classificação textural, a parte emergida da ilha-barreira apresenta areia média, com raras ocorrências de areia grossa (Figura 4a). Destaca-se que a região da extremidade mais distal da Ponta da Pombeba tem uma porcentagem razoável (~15%) de sedimentos finos (< 0,062 mm) na sua composição. A partir de 2 m de profundidade em direção ao centro da baía de Sepetiba há gradação de areia fina a silte fino. Vale destacar que as amostras coletadas nas estações indicadas por quadrados (Figura 1) são classificadas como areia grossa (com até 60% dessa fração), destoando das amostras do seu entorno. A baía da Marambaia apresenta cobertura sedimentar de areia muito fina, com algumas regiões de silte muito grosso.

O grau de seleção (Figura 4b) apresenta uma distribuição bem demarcada nos diversos subambientes: na ilha-barreira, tanto na sua parte emergida quanto submersa (até 2 m de profundidade), as amostras variam de bem selecionadas a moderadamente

bem selecionadas; já nas áreas da baía da Marambaia e de Sepetiba as amostras são moderadamente selecionadas a mal selecionadas, com algumas amostras muito mal selecionadas, coincidindo com as áreas lamosas. Outra vez destaca-se uma estação indicada por um quadrado (Figura 1), classificada como moderadamente bem selecionada enquanto em seu entorno as amostras são mal selecionadas.

Boa parte das amostras analisadas apresenta assimetria positiva ou muito positiva (Figura 4c). Na região da Ponta da Pombeba, na área sudoeste da baía da Marambaia e na parte central da ilha-barreira as amostras apresentam-se quase simétricas, com algumas ocorrências de amostras com assimetria negativa. Na extremidade mais distal da Ponta da Pombeba e na porção leste da baía da Marambaia as amostras apresentam assimetria muito positiva.

3.2 Aplicação do Modelo de Tendência Direcional de Transporte (Gisedtrend)

Para a malha regular, os vetores de transporte CB- e CB+ apresentaram resultados estatisticamente mais robustos nas áreas submersas (Figura 5). Com a malha irregular, o setor central da restinga da Marambaia mostrou tendências de transporte mais significativas estatisticamente para os casos FB- e FB+ (Figura 5 a, b), enquanto que na Ponta da Pombeba verificou-se maior robustez dos casos CB- e CB+ (Figura 5c, d).

Para o caso de transporte CB- (Figura 5), é possível notar duas tendências principais: a primeira, em que os vetores da baía da Marambaia convergem para a área emergida da Ponta da Pombeba; e a segunda, na porção central da baía, onde os vetores se orientam no sentido de norte para sul, ou seja, em direção à ilha-barreira. Observa-se também a convergência dos vetores da área central para a porção leste da baía de Sepetiba. Na Ponta da Pombeba, os vetores de transporte se orientam da extremidade mais distal em direção à restinga da Marambaia (Figura 5a).

No caso de transporte CB+, que difere do anterior somente em relação à assimetria (Figura 5), os vetores localizados na baía da Marambaia assim

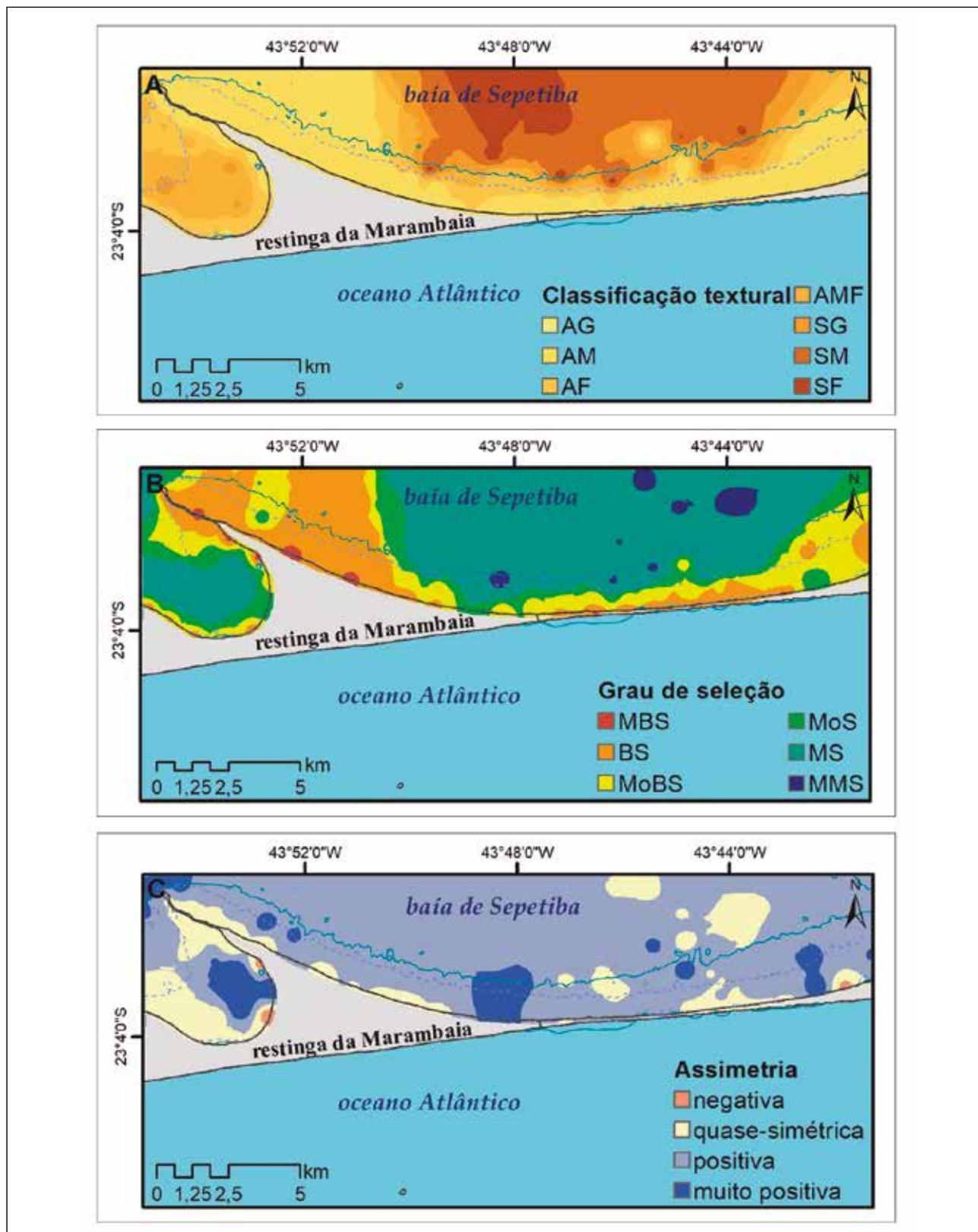


Figura 4 Classificação dos parâmetros texturais das amostras: (a) tamanho médio das amostras; (b) grau de seleção; (c) assimetria. A linha tracejada indica a isóbata de 2m e a linha contínua, a de 5m. Legenda: AG – areia grossa, AM – areia média, AF – areia fina, AMF – areia muito fina, SG – silte grosso, SM – silte médio, SF – silte fino, MBS – muito bem selecionada, BS – bem selecionada, MoBS – moderadamente bem selecionada, MoS – moderadamente selecionada, MS – mal selecionada, MMS- muito mal selecionada.

como alguns vetores localizados na parte oeste da ilha-barreira convergem para a Ponta da Pombeba. Ao longo da própria Ponta da Pombeba, esse caso de tendência mostra sentido contrário ao caso anterior, exceto a amostra mais distal que exibe sentido igual ao caso CB- (Figura 5b).

O caso de transporte FB- (Figura 5) apresenta poucas tendências de transporte significativas. Ao longo da área emersa do setor central da restinga da Marambaia, este caso mostra o predomínio do sentido oeste para leste (Figura 5c). O caso de transporte FB+, que difere do anterior quanto à assimetria positiva (Figura 5), mostra uma tendência dominante dos vetores em direção ao centro da baía de Sepetiba. No setor central da restinga nota-se a divergência dos vetores na área central (Figura 5d).

O mapa que apresenta todos os casos de tendência somados vetorialmente, mostra a predominância da convergência dos vetores em direção à Ponta da Pombeba e de vetores orientados da área central da baía em direção à ilha-barreira, ou seja, de norte para sul (Figura 6). Outra tendência significativa é a que sugere a ocorrência de transporte paralelo à parte central da ilha-barreira, nas áreas mais rasas (profundidade menor que 2 m). Na Ponta da Pombeba, verifica-se o sentido da extremidade distal, em que há presença de vetores mais robustos estatisticamente, em direção à restinga (Figura 6a), enquanto que no setor central da restinga notam-se áreas de divergência e convergência de vetores de transporte e a presença de vetores mais robustos em uma área em que se observam eventos de transposição durante a passagem de frentes frias, quando ocorrem marés meteorológicas (Figura 6b).

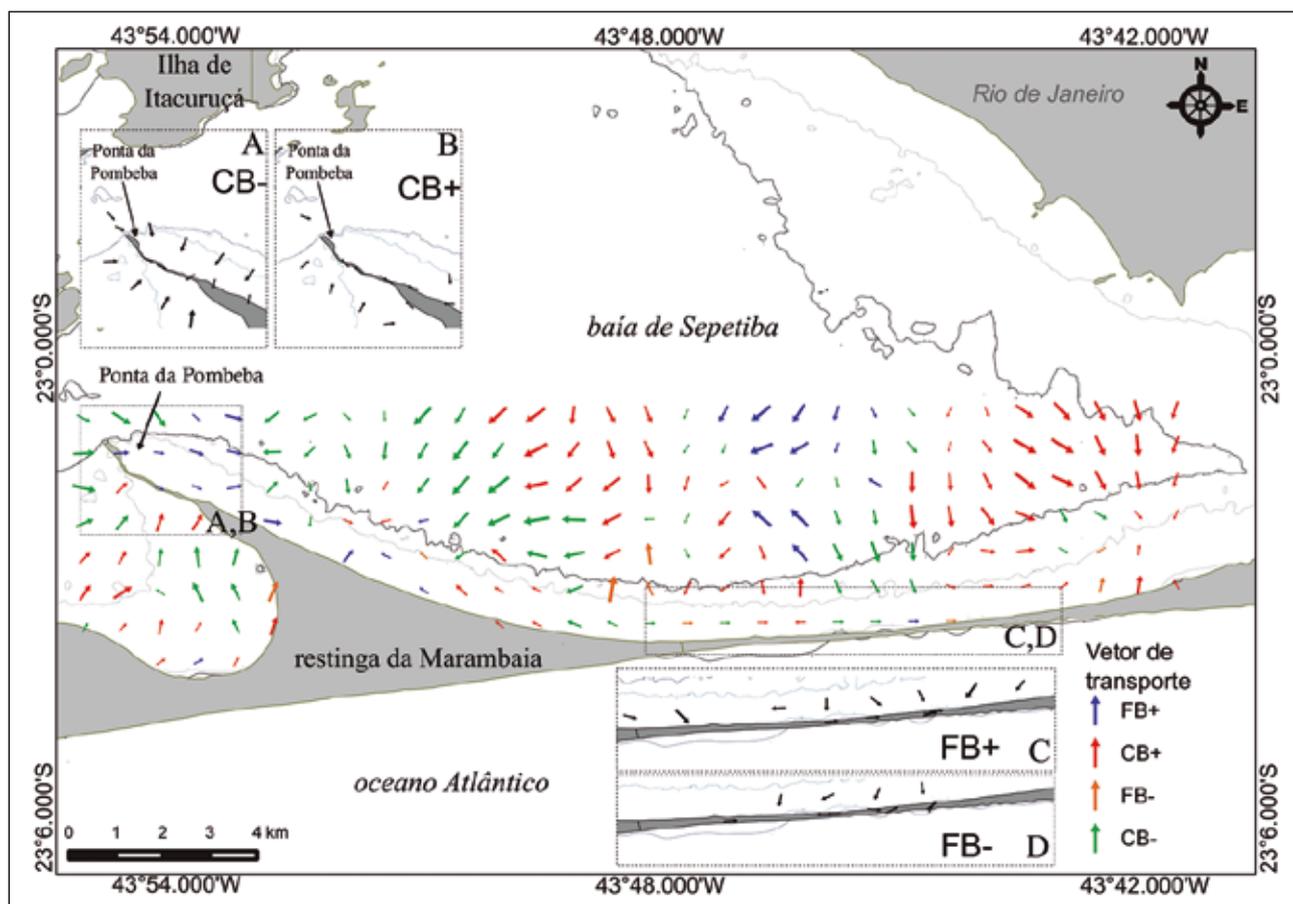


Figura 5 Vetores de tendência definidos pelo modelo GSTA usando o complemento GisedTrend para os casos de transporte CB-, CB+, FB- e FB+ combinados com a função XOR, a partir de uma malha regular. A partir de uma malha irregular, os casos de transporte (a) CB- e (b) CB+ foram aplicados isoladamente para a Ponta da Pombeba e os casos de transporte (c) FB- e (d) FB+ foram aplicados isoladamente para o setor central da restinga da Marambaia. A linha tracejada indica a isóbata de 2m e a linha contínua, a de 5m.

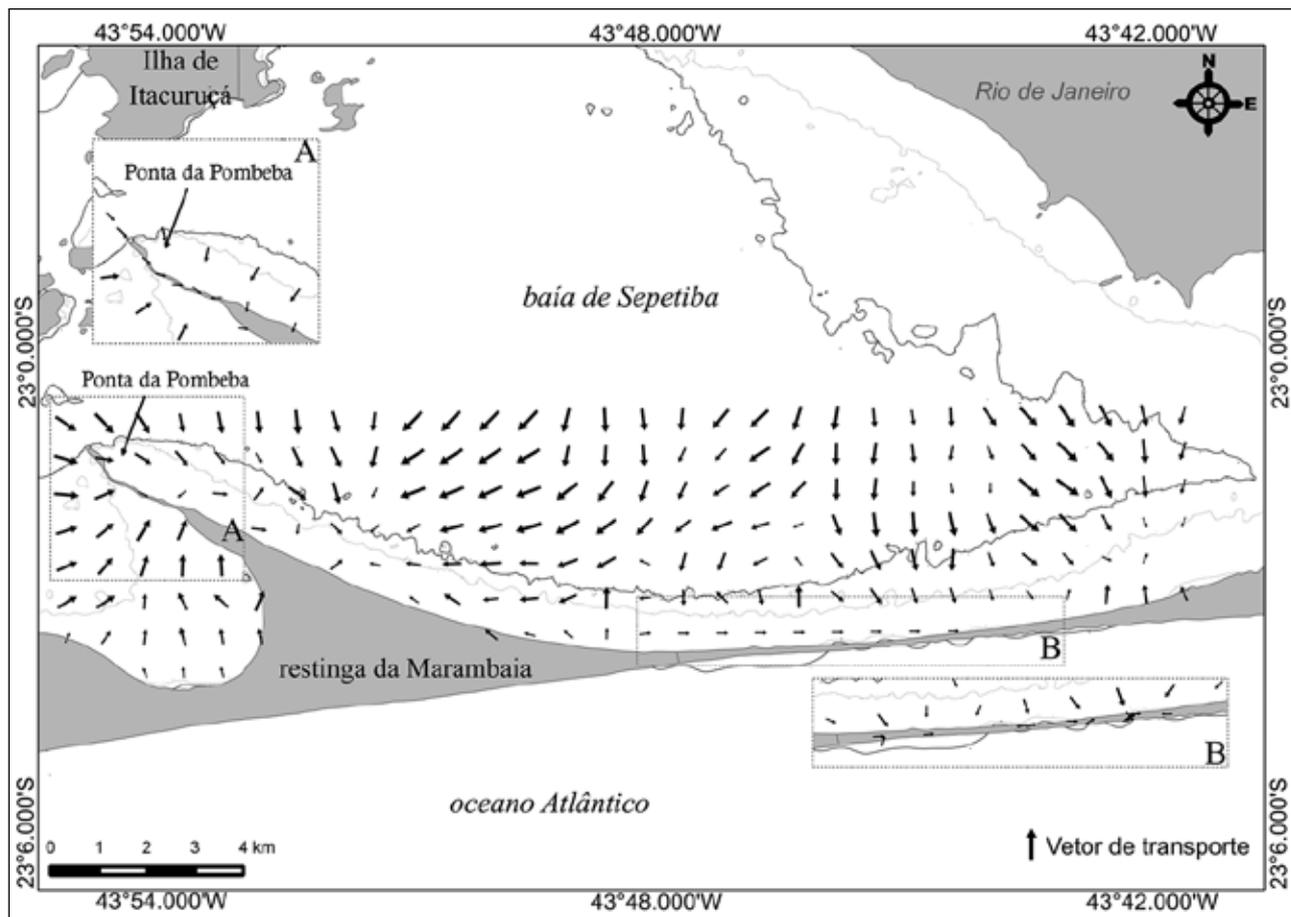


Figura 6 Vetores de tendência definidos pelo modelo GSTA usando o complemento GisedTrend para os casos de transporte CB-, CB+, FB- e FB+ somados, a partir de uma malha regular. A partir de uma malha irregular, os casos de transporte CB-, CB+, FB- e FB+ somados foram aplicados isoladamente (a) para a Ponta da Pombeba e (b) para o setor central da restinga da Marambaia. A linha tracejada indica a isóbata de 2m e a linha contínua, a de 5m.

4 Discussão

A interpretação dos resultados obtidos com a aplicação de modelos de tendência direcional de transporte apresenta muitos desafios pois refletem a complexidade e variabilidade temporal dos processos responsáveis pela distribuição espacial dos sedimentos. Na área de estudo, os mapas de classificação dos parâmetros estatísticos e os vetores de tendência de transporte permitem distinguir três compartimentos:

- restinga da Marambaia (até 2 m de profundidade);
- Ponta da Pombeba;
- baía da Marambaia e de Sepetiba.

A restinga, incluindo sua porção submersa até 2 m de profundidade, apresenta sedimentos de granulometria média com bom selecionamento, como resposta aos processos responsáveis pela sua redistribuição pelas correntes (Ponçano, 1976; Borges, 1990; Carvalho, 2014) e como consequência de sua história evolutiva ao longo dos últimos 2000-3000 anos (Friederichs *et al.*, 2013; Ramos, 2013; Mattoso, 2014; Dadalto, 2017). Para diversos autores (Ponçano, 1976; Roncarati & Barrocas, 1978; Borges, 1990) a porção central da ilha-barreira é uma área erosiva, onde haveria uma bifurcação das correntes, ocasionando a retirada de sedimentos para as áreas a leste e a oeste. Segundo estudo realizado por Borges (1990), o aumento da profundidade transversalmente à área central da ilha-barreira, as escarpas erosivas presentes na porção emersa, presença de turfa e vegetação menos densa seriam indicativos da erosão ali existente.

A aplicação do modelo de tendência direcional de transporte à porção central da restinga (em sua área emersa) mostrou que os casos FB- e FB+ (Figuras 5c, d) foram os mais significativos. A assimetria negativa indica que há uma adição de sedimentos mais grossos à amostra ou a remoção seletiva dos sedimentos finos, enquanto a assimetria positiva indica adição de sedimentos finos à amostra ou remoção seletiva dos mais grossos (Friedman & Sanders, 1978). No setor mais raso adjacente à restinga (profundidade < 2 m), observa-se o transporte

lateral desde a área oeste até sua região central. Na área analisada, a coexistência desses dois casos e o transporte lateral na área rasa sugere uma dinâmica governada principalmente por correntes geradas pelos ventos e, secundariamente, pelas correntes de maré. Esta é uma área em que é possível observar tanto através de imagens de satélite como através de voos sobre a área, a frequente existência de altas concentrações de Material Particulado em Suspensão na região adjacente à margem norte da restinga (Figura 7).

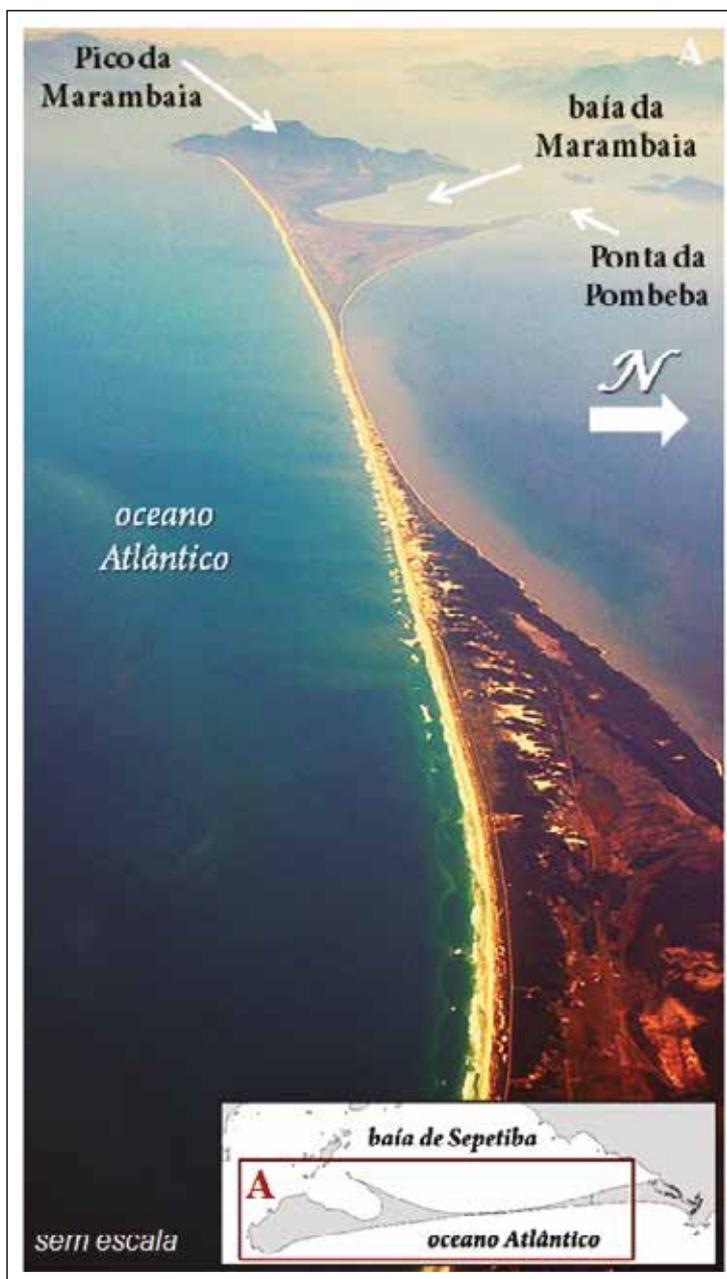


Figura 7 Vista panorâmica da restinga da Marambaia com destaque para o estreitamento da porção central (~100 m em 2004 segundo Oliveira *et al.*, 2008) e a grande quantidade de sedimento em suspensão ao longo da margem norte da restinga, evidenciando transporte ativo e/ou ressuspensão *in situ*. Fotografia de Paulo Carvalho, tirada em 12/06/2007.

Na região submersa adjacente ao setor oeste da ilha-barreira é visível um extenso campo de dunas (do tipo *finger bars*) (Figura 8), indicando transporte ativo de sedimentos arenosos em direção à Ponta da Pombeba, como verificado por Gomes *et al.* (2019). Estas formas de fundo são possivelmente o resultado de uma complexa interação entre o padrão geral da circulação da baía de Sepetiba, fortemente influenciado pela maré (Fonseca, 2013) e a ação das

ondas e correntes geradas pelos ventos locais. Já no setor leste, a presença de esporões formados na foz de pequenos canais, evidenciam o transporte de sedimentos do centro da restinga para leste (Borges, 1990). Como pode ser observado na Figura 9, a foz destes canais apresenta ativo transporte de sedimentos, sempre com o acúmulo de sedimentos na sua foz, ora mais pronunciados, ora menos, sempre com o sentido de transporte para leste.

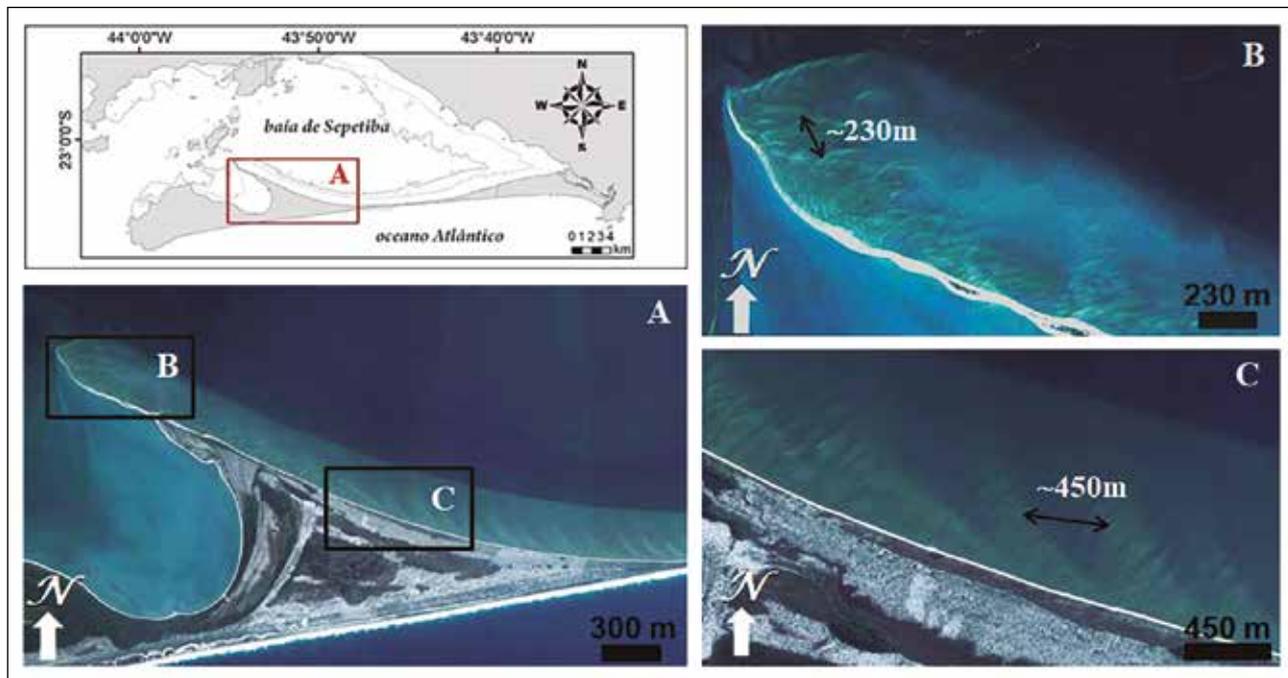


Figura 8 Formas de fundo observadas na região da Ponta da Pombeba (A). Notam-se (B) feições menores, com comprimento de cerca de 100m, sobreposta às dunas subaquáticas e (C) dunas subaquáticas com sentido NO-SE e comprimento de até 450m. Imagens provenientes do Google Earth Pro para o dia 26/03/2003. Fonte: modificado de Dadalto (2017).

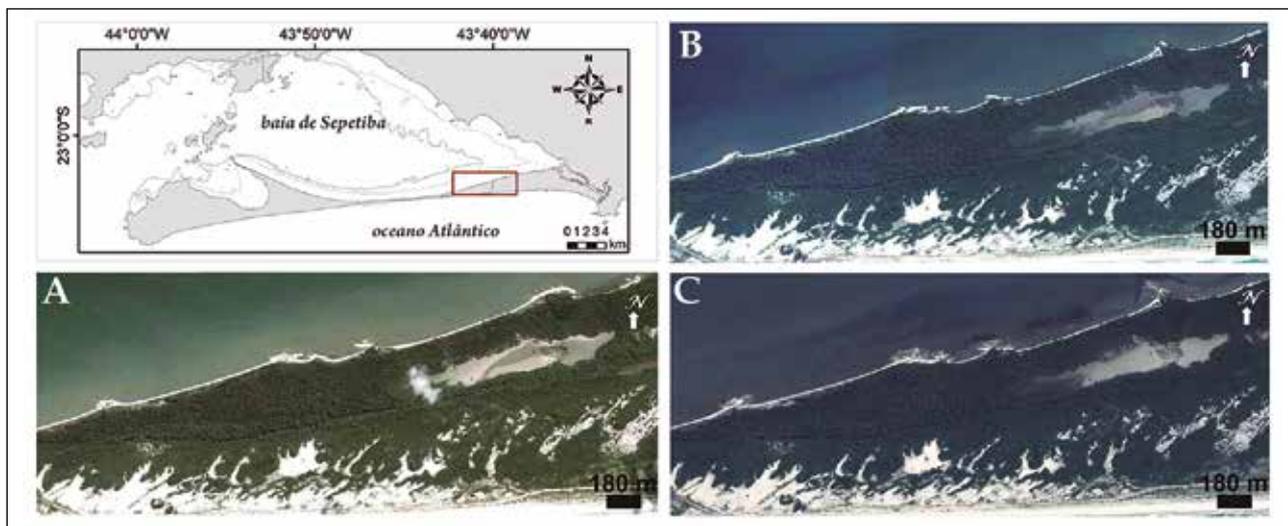


Figura 9 Presença de esporões na porção leste da ilha barreira. Em diferentes datas é possível visualizar a dinâmica de transporte nesta área: (A) 14 de julho de 2006, (B) 07 de maio de 2014 e (C) 03 de abril de 2015. Fonte: Google Earth.

A Ponta da Pombeba, caracterizada por areias médias bem selecionadas e quase simétricas, é tida como uma área que vem sofrendo erosão, tendo sua parte mais distal subaereamente desconectada da ilha-barreira (Figura 10). A análise multitemporal de imagens Landsat e CBERS-2, realizada por Oliveira *et al.* (2006), indicou o decréscimo da área do pontal arenoso que em 1975 tinha 0,82 km² e em 2004 passou a 0,55 km²; no entanto, os autores ressaltam que, por ser uma feição rasa, as estimativas sobre a variação da área da Ponta da Pombeba através de imagens de satélite são sujeitas a imprecisões. A aplicação do modelo GSTA, resultou em duas tendências principais ao longo da Ponta da Pombeba, os casos de tendência CB- e CB+ (Figura 5a, b). Esses casos expressam o alto dinamismo que ocorre neste setor, mostrando um padrão de transporte que tende a adicionar sedimentos mais grossos no sentido da extremidade da Ponta para a restinga e adicionar sedimentos mais finos no sentido inverso, fato atestado pela presença de amostras caracterizadas como areia

média e com teor de lama de até 15%. Tal complexidade foi documentada por D'Oliveira (2015), por ocasião do registro de correntes e propriedades físico-químicas das águas nas duas margens da Ponta da Pombeba, entre 19 e 20 de maio de 2012. De acordo com o autor, em ambos os setores, verifica-se que a direção das correntes atua em reflexo à maré (ora em direção ao pontal arenoso, ora em direção à baía), sendo que os maiores sinais de amplitude do eco ocorrem durante os momentos de vazante, quando são registradas as maiores intensidades das correntes (> 0,4m/s), assim sugerindo uma ressuspensão *in situ* dos sedimentos.

As baías (Sepetiba e Marambaia) se caracterizam pela presença de silte muito mal selecionado, tendo áreas que variam de quase simétrica a positiva. A porção centro-leste da baía de Sepetiba apresenta porcentagens de argila (~8%), caracterizando um ambiente da baixa energia, reflexo da influência fluvial, já que ali se encontram as principais desem-

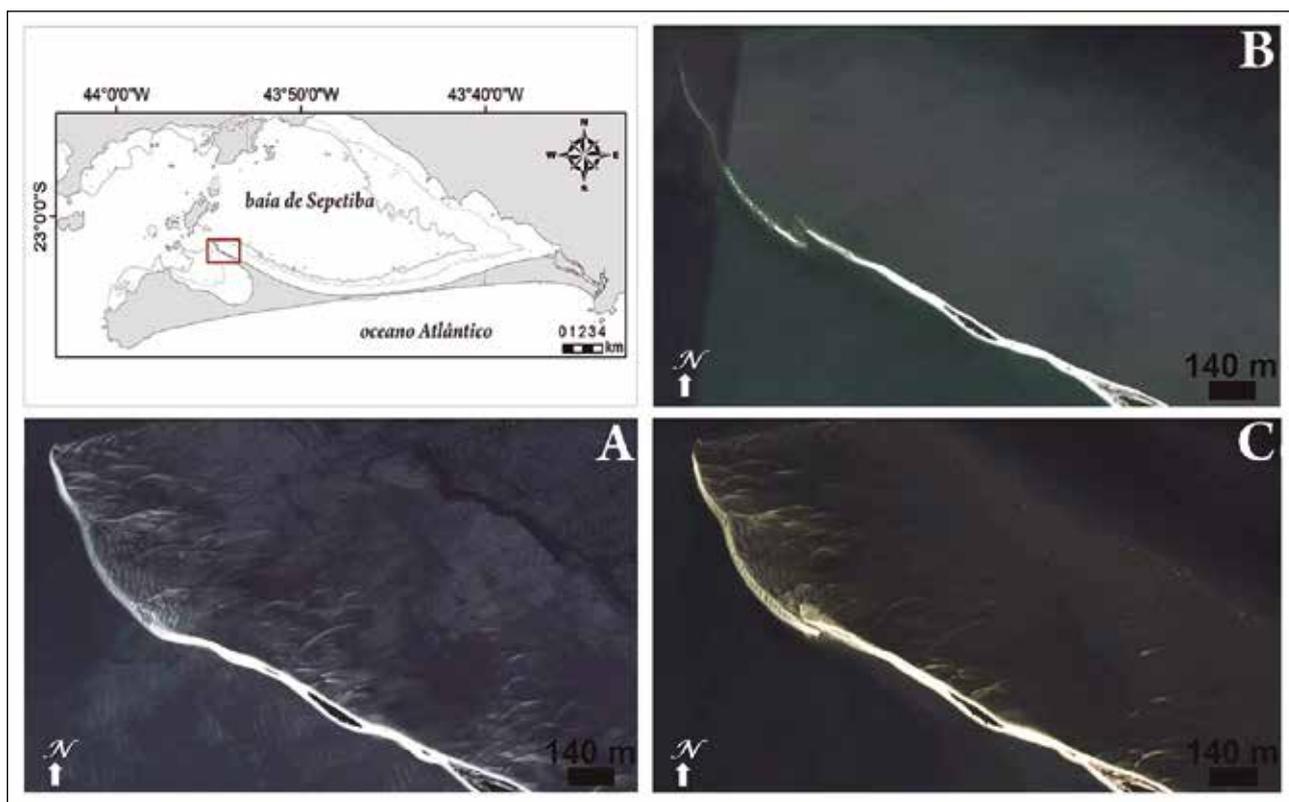


Figura 10 Detalhe da Ponta da Pombeba, com sua parte mais distal ora conectada, ora desconectada. Em imagem de satélite de 31 de agosto de 2012 (a) a parte mais distal encontra-se conectada ao pontal, já em 18 de novembro de 2014 (b) e 17 de abril de 2015 (c) a parte distal encontra-se desconectada. Fonte: Google Earth.

bocaduras fluviais de rios da região (Figura 1). O aumento do acúmulo de sedimentos finos nestas áreas deveu-se em grande parte a alterações antropogênicas, como a transposição do rio Paraíba do Sul, conectando-o à baía de Sepetiba através do rio Guandú, e as dragagens realizadas no canal de acesso principal ao porto de Itaguaí, o que levou ao aumento da descarga de sedimentos finos nas últimas seis décadas (Lacerda *et al.*, 2004; Moli-sani *et al.*, 2006; Lacerda *et al.*, 2007; Patchineelam *et al.*, 2011).

Os vetores de tendência obtidos na região das baías de Sepetiba e da Marambaia apresentam mais casos CB⁻ e CB⁺, ou seja, os sedimentos se tornam mais grossos, bem selecionados e com assimetria positiva ou negativa ao longo do transporte, em que é possível observar tendências de transporte tanto em direção à ilha-barreira, a partir de oeste e leste, e mesmo da ilha-barreira para a baía (Figura 6), podendo evidenciar um transporte por tração das partículas mais grossas. Nota-se que ocorre uma divergência dos vetores de transporte, que se limita a 5 m de profundidade, indo de encontro ao modelo conceitual de Brönnimann *et al.* (1981) que propõe a redistribuição dos sedimentos mais finos, possivelmente pela ação dos ventos que criam correntes superficiais que transportam os sedimentos supridos pela drenagem continental. No entanto, não se nota a bifurcação proposta por Roncarati & Barrocas (1978) nas áreas mais rasas (até 2 m de profundidade) e que, segundo os autores, seria responsável pela erosão do setor central. Conforme McLaren & Bowles (1985) e Mailliet *et al.* (2011), o caso CB⁺ pode ser interpretado como resultado do processo de transporte ou como um depósito residual. Na área de estudo é possível entender esse caso com resultado do processo de transporte, em que há adição de finos, muito possivelmente oriundos da parte nordeste da baía (Figura 5).

Os vetores de tendência FB⁻ e FB⁺ são menos presentes na área de estudo, no entanto resultam de processos importantes. O caso de tendência FB⁻ mostra a remoção seletiva dos sedimentos mais finos, e o caso FB⁺ a adição dos mesmos, provavelmente como resultado da convergência dos sedimentos transportados para a área central da baía (Figura

5). Em trabalho realizado por Sánchez *et al.* (2010) na Bahía de Magdalena (México), os autores relataram que os vetores de transporte encontrados tinham trajetórias similares às correntes residuais da maré. Embora medições correntométricas de longa duração ainda não estejam disponíveis para este setor da baía de Sepetiba, é possível sugerir que estes dois casos de tendência de transporte representem os sentidos das residuais da maré, tendo em vista a sua importância na baía de Sepetiba. Em trabalho realizado por Carvalho (2014), foram realizados três fundeios simultâneos de 25 horas para coleta de dados hidrográficos e correntométricos, sob condição de maré de sizígia na área próxima à restinga da Marambaia. Verificou-se a presença de assimetria da maré, registrando-se maiores velocidades das correntes no período de vazante, possivelmente associadas à influência dos ventos. Quanto à direção das correntes, na superfície elas tendem a fluir em direção à restinga. Já próximo ao fundo, se alternam em direção à baía em alguns momentos e em direção à restinga, em outros.

Com o intuito de delinear os padrões de transporte de sedimentos na área de estudo através da análise dos parâmetros granulométricos e dos mapas de tendência de transporte de sedimentos, foi elaborado um mapa síntese dos padrões de transporte mais significativos e das possíveis áreas de acumulação e remoção de sedimentos (Figura 11).

Observa-se que a Ponta da Pombeba apresenta áreas de acumulação de sedimentos, enquanto sua porção mais distal apresenta tendências que apontam a retirada de sedimentos. Na baía de Sepetiba, na área central próximo à isóbata de 5 m e na parte mais a leste, notam-se áreas de acumulação de sedimentos, enquanto que os setores localizados no setor acima da isóbata de 5 m se caracterizam como áreas de remoção de sedimentos. Na porção mais próxima à restinga, também se verifica a remoção, porém através da ressuspensão dos sedimentos (Figura 7). A porção central emersa da restinga da Marambaia mostra áreas de acumulação e de retirada de sedimentos, como resposta às correntes de maré que exercem grande influência sobre a hidrodinâmica local (Carvalho, 2014). Duman *et al.* (2004) ao analisarem os vetores de tendência direcional na baía

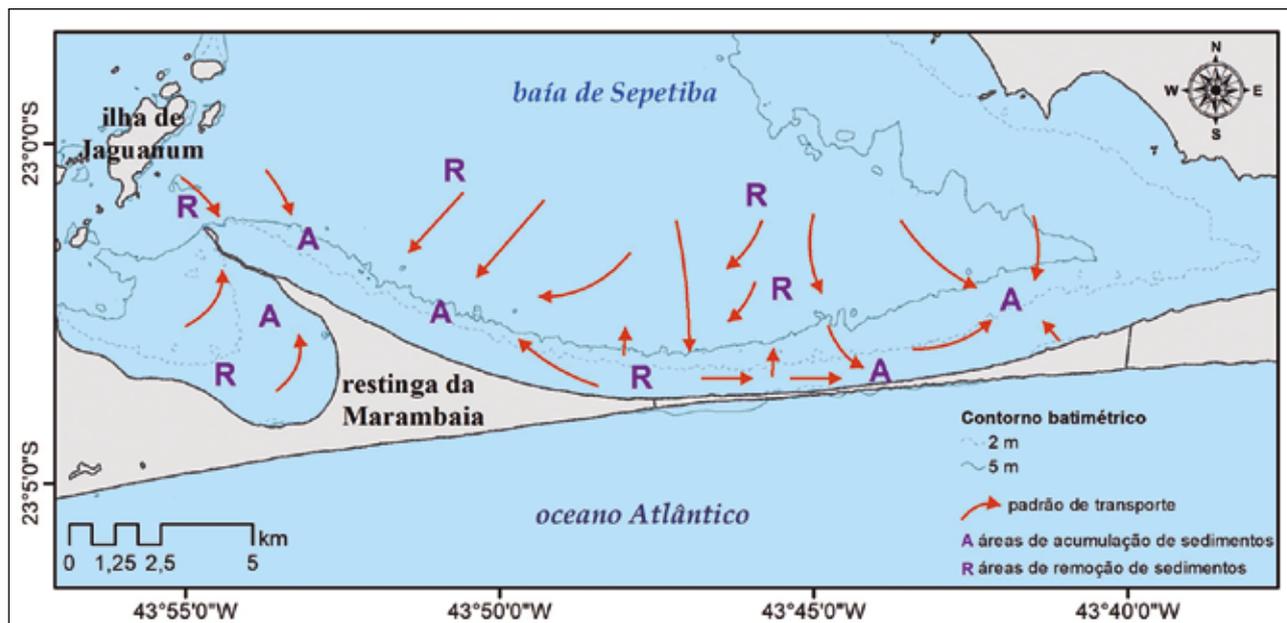


Figura 11 Esquema dos padrões de transporte de sedimentos, incluindo áreas de acumulação e remoção de sedimentos.

de Izmir (Turquia), relataram a relação das correntes geradas por ventos, o fluxo da descarga fluvial e a entrada de água marinha como fatores que regem o transporte de sedimentos na região e que os vetores computados refletiam essa dinâmica, tendo considerado a convergência de vetores como indicativo de áreas de acumulação de sedimentos. Do mesmo modo, Balsinha (2012) verificou no estuário do Tejo (Portugal), áreas de acumulação de sedimentos onde havia convergência dos vetores, observação também verificada neste trabalho na região da Ponta da Pombeba e nos setores oeste e leste da baía de Sepetiba (Figura 6).

A baía da Marambaia apresenta características morfológicas que atestam as áreas de retirada

e de acumulação mostradas na Figura 11. A análise dos vetores de tendência mostra que a parte sudoeste desta baía é uma área de remoção de sedimentos. Por outro lado, a porção NE (uma das margens da Ponta da Pombeba) é observada como uma área de acumulação. As mudanças nas características morfológicas da linha de costa da baía da Marambaia atestam as tendências encontradas: desde o pico da Marambaia até a parte central da baía são observadas escarpas erosivas, associadas às áreas de remoção de sedimentos, que gradativamente desaparecem, dando lugar a uma linha de costa plana e mais retilínea, reiterando o fato de ali ser uma área de acumulação (Figura 12).

Figura 12 Mudança no padrão praias do cordão arenoso da baía da Marambaia: (A) presença da escarpa erosiva associada às áreas de remoção de sedimentos; (B) área mais plana, associada às áreas de acumulação de sedimentos.



5 Conclusões

Os resultados obtidos mostram três setores principais relacionados à classificação dos parâmetros granulométricos, com destaque para a ilha-barreira da Marambaia, a baía de Sepetiba e Ponta da Pombeba. Essa setorização se reflete nas condições de transporte obtidas pelo modelo de tendência direcional de transporte aplicado, em que há maior frequência dos casos de transporte CB+ e CB- para a Ponta da Pombeba e área central da baía e casos de transportes FB- e FB+ mais frequentes no setor central da restinga da Marambaia.

Os trabalhos realizados por Borges (1990) e Gomes *et al.* (2019) fornecem importantes subsídios para os resultados obtidos para a Ponta da Pombeba, em que os autores apontam a existência de formas de fundo que indicam o transporte de sedimentos da ilha-barreira para a Ponta. Estudos prévios apontam a região da Ponta da Pombeba e o setor central da ilha-barreira como áreas de erosão (Roncarati & Barrocas, 1978; Borges, 1990; Oliveira *et al.*, 2006), o que não foi integralmente observado neste trabalho, em que a divergência dos vetores limita-se à isóbata de 5m, provavelmente porque as variáveis que regem o transporte de sedimentos até esta isóbata não são os mesmos que atuam nas áreas mais rasas. Já a região da Ponta da Pombeba se mostra mais complexa, com pontos de acúmulo e retirada de sedimentos, o que possivelmente reflete a variabilidade temporal da ação de múltiplos processos que atuam no transporte de sedimentos.

A utilização da malha regular apresentou melhores resultados nas áreas das baías de Sepetiba e da Marambaia. No entanto, o uso da malha irregular, que reflete o padrão amostral nas áreas emersas (Ponta da Pombeba e setor central da restinga da Marambaia) proporcionou resultados mais próximos da realidade verificada em campo.

A aplicação do modelo GSTA GisedTrend proporcionou a aplicação de casos de tendências de transporte (CB-, CB+, FB- e FB+) para que se pudesse entender a dinâmica sedimentar na área de estudo. Os resultados desta aplicação são suportados pelas evidências morfológicas e sedimentológicas encontradas na área de estudo, bem como mostram

a influência de diversas variáveis nos padrões de transporte de sedimentos, como correntes geradas pelo vento e correntes de maré, reiterando o grau de complexidade existente nesta região.

6 Agradecimentos

Este estudo foi financiado por duas agências de fomento: FAPERJ (E-26/ 103.248/2011) e CAPES, que forneceu uma bolsa de mestrado à primeira autora (Edital Ciências do Mar 2010 – Sedimentos finos em estuários e PC: formação e dinâmica de depósitos lamosos [AUX-PE 530/2010 / Processo 23038,051592/2009-42]).

7 Referências

- Asselman, N.E.M. 1999. Grain-size trends used to assess the effective discharge for floodplain sedimentation, river Waal, the Netherlands. *Journal of Sedimentary Research*, 69 (1): 51–61.
- Balsinha, M. 2012. Sediment trend analysis: A tool for understanding sediment pathways in marine environments (case study: the continental shelf of Tagus estuary, Portugal). In: IAS MEETING OF SEDIMENTOLOGY, 29, Schladming, 2012. *Third circular*, Loeben, International Association of Sedimentologists, p. 237-237.
- Bartholomä, A. & Flemming, B.W. 2007. Progressive size sorting along an intertidal energy gradient. *Sedimentary Geology*, 202 (3): 464-472.
- Borges, H.V. 1990. *Dinâmica Sedimentar da Restinga da Marambaia e Baía de Sepetiba*. Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Dissertação de Mestrado, 82p.
- Blott, S.J. & Pye, K. 2001. GRADISTAT: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surface Processes and Landforms*, 26: 1237-1248.
- Brönimann, P.; Moura, J.A & Dias-Brito, D. 1981. *Ecologia dos Foraminíferos e microrganismos associados da área de Guaratiba/Sepetiba: modelo ambiental e sua aplicação na pesquisa de hidrocarbonetos*. Relatório 3549, PETROBRÁS. 81p.
- Carvalho, B.C. 2014. *Aplicação de múltiplas ferramentas no estudo do transporte de sedimentos na margem interna da restinga da Marambaia (baía de Sepetiba, RJ)*. Programa de Pós-graduação em Oceanografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Dissertação de Mestrado, 139p.
- Chang, Y.H.; Scrimshaw, M.D. & Lester, J.N. 2001. A revised grain-size trend analysis program to define net sediment transport pathways. *Computers and Geosciences*, 27: 109–114.
- Cunha, C.L.N.; Rosman, P.C.C. & Ferreira, T.C.N.M. 2006. Hydrodynamics and water quality models applied to Sepe-

- tiba Bay. *Continental Shelf Research*, 26: 1940–1953.
- Dadalto, T.P. 2017. *Arquitetura estratigráfica e evolução geológica da restinga da Marambaia (RJ)*. Programa de Pós-graduação em Geologia e Geofísica Marinha, Universidade Federal Fluminense, Tese de Doutorado, 273p.
- Delgado, I.; Alcantara-Carrio, J.; Alejo, I.; Alonso, I. & Louzao, M. 2002. Influence of hydrodynamics and sedimentary characteristics of Barqueiro Ria on Arealonga beach dynamics. *Journal of Coastal Research*. Special Issue 36: 231–239.
- D’Oliveira, V.S. 2015. *Circulação e transporte de sedimentos no entorno da Ponta da Pombeba, baía de Sepetiba (RJ)*. Faculdade de Oceanografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Monografia em Oceanografia, 64p.
- Duc, D.M.; Nhuan, M.T.; Ngoi, C.V.; Nghi, T.; Tien, D.M.; van Weering, T.C.E. & van den BERGH, G.D. 2007. Sediment distribution and transport at the nearshore zone of the Red River delta, Northern Vietnam. *Journal of Asian Earth Sciences*. 29 (4): 558–565.
- Duman, M.; Avci, M.; Duman, S.; Demirkurt, E. & Duzbastilar, M.K. 2004. Surficial sediment distribution and net sediment transport pattern in Izmir Bay, western Turkey. *Continental Shelf Research*, 24 (9): 965–981.
- Duman, M.; Duman, S.; Lyons, T.W.; Avci, M.; Izdar, E. & Demirkurt, E. 2006. Geochemistry and sedimentology of shelf and upper slope sediments of the south-central Black Sea. *Marine Geology*. 227 (1–2): 51–65.
- ESRI – Environmental Systems Research Institute, Inc. 2014. *ArcGIS Help 10.2, 10.2.1, and 10.2.2* [online]. Disponível em: <<http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.2/>>. Acesso em: 12 nov. 2018.
- Folk, R.L. & Ward, W.C. 1957. Brazos river bar: a study in the significance of grain-size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*. 27 (1): 3–26.
- Fonseca, S.A.R. 2013. *Observações dos Padrões de Circulação e do Fluxo de Material Particulado em Suspensão nas Proximidades do Canal de Acesso à Baía de Sepetiba (RJ)*. Programa de Pós-graduação em Oceanografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Dissertação de Mestrado, 78p.
- Fragoso, M.R. 1999. *Estudo numérico da circulação marinha da região das baías de Sepetiba e Ilha Grande (RJ)*. Programa de Pós-graduação em Oceanografia Física, Universidade de São Paulo, Dissertação de Mestrado, 109p.
- Friend, P.L.; Velegrakis, A.F.; Weatherston, P.D. & Collins, M.B. 2006. Sediment transport pathways in a dredged ria system, southwest England. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 67 (3): 491–502.
- Friederichs, Y.L.; Reis, A. T.; Silva, C.G.; Toulemonde, B. & Guerra, J. V. 2013. Arquitetura Sísmica do Sistema Fluvio-estuarino da Baía de Sepetiba Preservado na Estratigrafia Rasa da Plataforma Interna Adjacente, Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Geociências*, 43 (1): 124-138.
- Fúlfaro, V.J. & Ponçano, W.L. 1976. Sedimentação atual do estuário e baía de Santos: um modelo geológico aplicado a projetos de expansão da zona portuária. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 1, Ouro Preto, 1976. *Anais*, Ouro Preto, ABGE, p. 67-90.
- Gao, S. & Collins, M. 1991. A critique of the Mc Laren Method for defining sediment transport paths: discussion. *Journal of Sedimentary Petrology*, 61 (1): 143–146.
- Gao, S. & Collins, M. 1992. Sand sediment transport patterns inferred from grain-size trends based upon definition of “transport vectors”. *Sedimentary Geology*, 80: 47–60.
- Gomes, C.L. da S.; Guerra, J.V. & Gallo, M.N. 2019. Mapeamento de bancos transversais (tipo “finger bars”) na margem norte da restinga da Marambaia (Baía de Sepetiba, RJ). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 19, Santos, 2019. *Anais*. Santos, INPE, p. 2770-2773.
- Komar, P. D. 1987. Selective gravel entrainment and the empirical evaluation of flow competence. *Sedimentology*, 34: 1165–1176.
- Krumbein, W.C. & Pettijohn, F. 1938. *Manual of sedimentary petrology*. Appleton-Century-Crofts, New York, 549 p.
- Lacerda, L.D.; Marins, R.V.; Barcellos, C. & Molisani, M. 2004. Sepetiba Bay: A case on the environmental geochemistry of heavy metals in a subtropical coastal lagoon. In: Lacerda, L.D.; Santelli, R.E.; Duuerma, E.K. & Abrão, J.J. (ed). *Facets of Environmental Geochemistry in Tropical and Subtropical Environments*. Springer Verlag, p. 239-318.
- Lacerda, L.D.; Paraquetii, H.H.M.; Molisani, M.M. & Barnardes, M.C. 2007. Transporte de materiais na interface continente-mar na baía de Sepetiba, Rio de Janeiro. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE CIÊNCIAS DO MAR, 12, Florianópolis, 2007. *Anais*, Florianópolis, AOCEANO, p. 1-3.
- Le Roux, J.P. 1994a. An alternative approach to the identification of sand sediment transport paths based on a grain-size trends. *Sedimentary Geology*, 94: 97–107.
- Le Roux, J.P. 1994b. Net sand sediment transport patterns inferred from grain size trends, based upon definition of transport vectors—comment. *Sedimentary Geology*, 90: 153–156.
- Le Roux, J.P. & Rojas, E.M. 2007. Sediment transport patterns determined from grain-size parameters: overview and state of the art. *Sedimentary Geology*, 202: 473-488.
- Le Roux, J.P.; O’Brian, R.D.; Rios, F. & Cisternas, 2002. M. Analysis of sediment transport paths using grain-size parameters. *Computers and Geosciences*, 28: 717–721.
- Lucio, P.S.; Bodevan, E.C.; Dupont, H.S. & Ribeiro, L.V. 2006. Directional kriging: a proposal to determine sediment transport. *Journal of Coastal Research*, 22 (6): 1340–1348.
- Mallet, C.; Howa, H.; Garlan, T.; Sottolichio, A.; Le Hir, P. & Michel, D. 2000. Utilization of numerical and statistical techniques to describe sedimentary circulation patterns in the mouth of the Gironde estuary. *Earth and Planetary Science Letters*, 331: 491–497.
- Maillet, G.M.; Poizot, E.; Sabatier, F.; Vella, C. & Méar, Y. 2011. Pattern of sediment transport in a microtidal river mouth using geostatistical sediment-trend analysis. *Journal of sedimentary Reseach*, 81: 138-152.
- Masselink, G.; Buscombe, D.; Austin, M.; O’Hare, T. & Russel, P. 2008. Sediment trend models fail to reproduce small-scale sediment transport on an intertidal beach. *Sedimentology*, 55: 667-687.
- Mattoso, Y.M. 2014. *Evolução do sistema de paleocanais da*

- Baía de Sepetiba*. Faculdade de Oceanografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Monografia em Oceanografia, 87p.
- McLaren, P. 1981. An interpretation of trends in grain size measures. *Journal of Sedimentary Petrology*, 51 (2): 611–624.
- McLaren, P. & Bowles, D. 1985. The effects of sediment transport on grain-size distributions. *Journal of Sedimentary Petrology*, 55 (4): 457–470.
- Mohd-Lokman, H.; Rosnan, Y.; Ejria, S.; Shazili, N.A.M. & Kasim, K.K.Y. 1998. Deducing sediment transport direction and the relative importance of rivers on a tropical microtidal beach using the “McLaren model”. *Environmental Geology*, 34 (2–3): 128–134.
- Molisani, M.M.; Kjerfve, B. & Lacerda, L.D. 2006. Water discharge and sediment load to Sepetiba Bay from an anthropogenically-altered drainage basin, SE Brazil. *Journal of Hydrology*, 331: 425–433.
- Moura, J.A.; Dias-Brito, D. & Brönniman, P. 1982. Modelo ambiental de laguna costeira clástica - Baía de Sepetiba, RJ. In: SIMPÓSIO DO QUATERNÁRIO NO BRASIL, 4, Rio de Janeiro, 1982. *Atas*, São Paulo, Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, p. 135–152.
- Nichols, G. 2009. *Sedimentology and Stratigraphy*. New York, Wiley, 432 p.
- Oliveira, F.S.C.; Kampel, M. & Amaral, S. 2006. Avaliação multi-temporal da evolução geomorfológica da Restinga da Marambaia, Rio de Janeiro – Brasil. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL EN PERCEPCIÓN REMOTA Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA, 12, Cartagena, 2006. *Anais*, Cartagena, SELPER, p. 1-7.
- Oliveira, F.S.C.; Kampel, M. & Amaral, S. 2008. Multitemporal assessment of the geomorphologic evolution of the Restinga of Marambaia, Rio de Janeiro, Brazil. *International Journal of Remote Sensing*, 29: 5585–5594.
- Otvos, E.G. 2012. Coastal barriers – Nomenclature, processes, and classification issues. *Geomorphology*, 139–140: 39–52.
- Papathodorou, G.; Avramidis, P.; Fakiris, E.; Christodoulou, D. & Kontopoulos, N. 2012. Bed diversity in the shallow water environment of Pappas lagoon in Greece. *International Journal of Sediment Research*, 27 (12): 1–17.
- Patchineelam, S.M.; Saanders, C.J.; Smoak, J.M.; ZEM, R.C.; Oliveira, G. & Patchineelam, S.R. 2011. A historical evaluation of anthropogenic impact in coastal ecosystems by geochemical signatures. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 22 (1): 120–125.
- Pereira, S.D. 1998. *Influência da variação relativa do nível do mar no manguezal de Guaratiba – Baía de Sepetiba - RJ*. Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Tese de Doutorado, 133p.
- Pethick, J. 1984. *An Introduction to Coastal Geomorphology*. London, Edward Baltimore, 260 p.
- Pilkey, O.H.; Cooper, J.A.G. & Lewis, D.A. 2009. Global Distribution and Geomorphology of Fetch-Limited Barrier Islands. *Journal of Coastal Research*, 25 (4): 819–837.
- Poizot E. & Méar Y. 2010. Using a GIS to enhance grain size trend analysis. *Environmental Modelling and Software*, 25: 513–525.
- Poizot, E.; Méar, Y. & Biscara, L. 2008. Sediment Trend Analysis through the variation of granulometric parameters: A review of theories and applications. *Earth-Science Reviews*, 86: 15–41.
- Poizot, E.; Méar, Y.; Thomas M. & Garnaud S. 2006. The application of geostatistics in defining the characteristic distance for grain size trend analysis. *Computers and Geosciences*, 32: 360–370.
- Poizot E.; Anfuso G.; Méar Y. & Bellido C. 2013. Confirmation of beach accretion by grain-size trend analysis: Camposoto beach, Cádiz, SW Spain. *Geo-Marine Letters*, 33 (4): 263–272.
- Ponçano, W.L. 1976. *Sedimentação atual na Baía de Sepetiba, Estado do Rio de Janeiro: contribuição à avaliação da viabilidade geotécnica de implantação de um porto*. Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade de São Paulo, Dissertação de Mestrado, 278p.
- Ramos, S.S. 2013. *Arquitetura sísmica do complexo sedimentar da Restinga da Marambaia – região de Sepetiba/RJ*. Faculdade de Oceanografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Monografia em Oceanografia, 55p.
- Ríos, F.; Ulloa, R. & Corréa, I.C.S. 2003. Determination of net sediment transport patterns in Iquique Harbor, Chile, through grain-size trend analysis: a test of methods. *Pesquisa em Geociências*, 30 (1): 65–81.
- Roncarati, H. & Barrocas, S.L.S. 1978. *Projeto Sepetiba: estudo geológico preliminar dos sedimentos recentes superficiais da Baía de Sepetiba, município do Rio de Janeiro, Itaguaí e Mangaratiba*. Rio de Janeiro, CENPES-Petrobrás, 79 p.
- ROSMAN, P.C.C. 1998. *Modelagem Computacional de Circulação Hidrodinâmica e Transporte de Contaminantes na Baía de Sepetiba, RJ – Relatório COPPETEC-ET-170334.02/98*. Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ, 150 p.
- Sánchez, A.; Choumiline, E.; López-Ortiz, B.E.; Aguiñiga, S.; Sánchez-Vargas, L.; Romero-Guadarrama, A. & Rodríguez-Meza, D. 2010. Patrón de transporte de sedimento em Bahía Magdalena, Baja California Sur, México, inferido del análisis de tendencias granulométricas. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 38 (2): 167–177.
- Signorini, S.R. 1980. A study of the circulation in Bay of Ilha Grande and Bay of Sepetiba: part I. A survey of the circulation based on experimental field data. *Boletim do Instituto Oceanográfico*, 29 (1): 41–55.
- Stutz, M.L. & Pilkey, O.H. 2011. Open-ocean barrier islands: global influence of climatic, oceanographic, and depositional settings. *Journal of Coastal Research*, 27 (2): 207–222.
- Varela, C.A. & Sena Junior, D.G. 2008. *Estudo do interpolador IDW para utilização em agricultura de precisão*. Disponível em: < http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/varela/Downloads/IT190_principios_em_agricultura_de_precisao/Aulas/Estudo%20do%20interpolador%20idw%20arcview.htm >. Acesso em: 13 nov. 2018.
- Watson, G.S. 1966. The statistics of orientation data. *Journal of Geology*, 74 (2): 786–797.
- Wei, E.C. & McGuinness, J.L. 1973. *Reciprocal distance squared method: a computer technique for estimating areal precipitation (Report ARS-NC-8)*. Illinois, Agricultural Research Service, 38 p.