

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS

DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA

BACHARELADO EM OCEANOGRAFIA

Pedro Noto Campos Paulino

**VARIABILIDADE SAZONAL DA CONCENTRAÇÃO DE MATERIAL
PARTICULADO EM SUSPENSÃO NA MARGEM CONTINENTAL DE
SERGIPE E SUL DE ALAGOAS**

Recife

2015

Pedro Noto Campos Paulino

**VARIABILIDADE SAZONAL DA CONCENTRAÇÃO DE MATERIAL
PARTICULADO EM SUSPENSÃO NA MARGEM CONTINENTAL DE
SERGIPE E SUL DE ALAGOAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado na Universidade
Federal de Pernambuco como requisito básico para a conclusão do
Curso de Bacharelado em Oceanografia.

Orientador: Prof. Dr. Gilvan Takeshi Yogui

Recife

2015

Catálogo na fonte

Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

P328v Paulino, Pedro Noto Campos.
Variabilidade sazonal da concentração de material particulado em suspensão na margem continental de Sergipe e sul de Alagoas / Pedro Noto Campos Paulino. - Recife: O Autor, 2015.
41 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Gilvan Takeshi Yogui.
TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Departamento de Oceanografia, 2015.

Inclui Referências e Apêndice.

1. Oceanografia. 2. Material particulado em suspensão. 3. Margem continental. 4. Sazonalidade. I. Yogui, Gilvan Takeshi. (Orientador). II. Título.

UFPE

551.46 CDD (22. ed.)

BCTG/2015-224

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA
BACHARELADO EM OCEANOGRAFIA

Av. Arquitetura, s/n 50740-550
Cidade Universitária, Recife, PE, Brasil
Fone: 81.2126-8746



ATA ESPECIAL Nº 01/2015

Aos vinte e quatro dias do mês de julho de dois mil e quinze, às 14h00min, no Auditório do Museu de Oceanografia da UFPE, reuniu-se a Banca Examinadora para Apresentação do Trabalho de Conclusão do Curso de Oceanografia do Acadêmico **PEDRO NOTO CAMPOS PAULINO**, composta pelo Prof. Dr. Gilvan Takeshi Yogui, Orientador e Presidente, Prof. Dr. Ralf Schwamborn e Prof. Dr. Carlos Augusto França Schettini, tendo por título: **“Variabilidade sazonal da concentração de material particulado em suspensão na margem continental de Sergipe e sul de Alagoas”**. Dando início à reunião, o Orientador e Presidente passou a palavra ao acadêmico, que fez a exposição do trabalho, respondendo, posteriormente, às perguntas formuladas pela Banca Examinadora. Encerrando os debates, a Banca Examinadora reuniu-se e considerou o aluno **APROVADO** atribuindo-lhe a NOTA FINAL 9.2. Nada mais havendo a tratar, lavrou-se a presente ata, que após lida e achada conforme foi assinada pelos membros da Banca Examinadora, pelo acadêmico e pelo Secretário do Curso de Bacharelado em Oceanografia.

Recife, 24 de julho de 2015.

Prof. Dr. Gilvan Takeshi Yogui (____) _____
Orientador e Presidente da Banca Examinadora

Prof. Dr. Ralf Schwamborn (____) _____

Prof. Dr. Carlos Augusto França Schettini (____) _____

Acad. Pedro Noto Campos Paulino _____

André Conceição Cordeiro _____
Secretário do Curso de Bacharelado em Oceanografia

AGRADECIMENTOS

A minha mãe, Silvia Maria, por me incentivar a iniciar e permanecer no curso de Oceanografia, assim como por arcar com os custos de uma vida universitária longe de casa. Ao meu pai por me mostrar as maravilhas do mar e do mergulho. Se não fossem vocês, eu não teria condições de perseguir e concretizar o sonho de me tornar um oceanógrafo.

Ao prof. Dr. Gilvan Yogui, orientador e amigo, por todo o conhecimento passado durante as disciplinas do curso e durante o período de estágio, pela paciência e dedicação com seus alunos e por sua franqueza.

Aos colegas de curso, pelo suporte durante as boas e más fases durante esses cinco anos. Pelas conversas de bar, pela companhia nas viagens e congressos, pelas horas de estudo coletivo...

Aos professores responsáveis pelas disciplinas que cursei durante a graduação, por tudo que me ensinaram sobre oceanografia.

Aos colegas do OrganoMAR pela ajuda e pelas dicas nos procedimentos de laboratório.

Aos tripulantes e pesquisadores da embarcação (R/V Seward Johnson) pelo trabalho árduo na coleta e processamento das amostras de água durante as duas campanhas.

A PETROBRAS, pela possibilidade de coleta e análise do material de estudo.

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo caracterizar a distribuição do material particulado em suspensão (MPS) na margem continental de Sergipe e sul de Alagoas em dois períodos do ano. Para tanto, foram realizadas duas campanhas de coleta: uma no período chuvoso (maio/2014) e outra no período de estiagem (dezembro/2014). No total foram coletadas 96 amostras de água por campanha (em diversas profundidades e distâncias da costa). As amostras foram filtradas em filtro de microfibras de vidro (GF/F) com retenção nominal de 0,7 μm . A concentração de MPS nas amostras foi determinada através de método gravimétrico. De acordo com os resultados, as concentrações de MPS variaram entre 0,08 e 16,7 mg L^{-1} na campanha de maio, com valor médio de 4,21 mg L^{-1} . No mês de dezembro esses valores variaram entre 2,66 e 54,2 mg L^{-1} , com média de 4,52 mg L^{-1} . As concentrações de MPS superficial (1 m de profundidade) ao longo da margem continental apresentaram uma variabilidade sazonal. Conforme um modelo proposto a partir de testes estatísticos (Kruskal-Wallis e Student-Newman-Keuls), em maio a influência continental na concentração de MPS se estendeu até a isóbata de 25 metros, recuando para a isóbata de 10 metros em dezembro. A maior influência continental no mês de maio está provavelmente associada a oscilações no vento local, que tendem a propiciar condições favoráveis ao transporte de MPS costeiro em direção ao largo. Em dezembro, a maior incidência de ventos de leste e a intensificação da Corrente do Brasil são os prováveis fatores responsáveis pelo confinamento do MPS costeiro. Nas águas superficiais do talude continental (ambiente oceânico), as concentrações de MPS também foram maiores em maio quando comparadas a dezembro ($p = 0,01$). Possivelmente, as condições mais favoráveis de transporte de água ao largo em maio podem ter contribuído para um aumento da produção primária no ambiente oceânico (isóbata ≥ 400 m), por meio de uma exportação mais eficiente de nutrientes de águas neríticas para águas oceânicas. Verticalmente, a concentração de MPS foi maior na zona eufótica do que na zona afótica ($p < 0,01$). Não houve diferença na concentração de MPS nas massas d'água subsuperficiais da zona afótica ($p > 0,05$). Os dados produzidos neste trabalho são inéditos para a plataforma externa e talude continental de Sergipe e sul de Alagoas, contribuindo para uma melhor compreensão da oceanografia da região e dos impactos gerados pelas barragens do RSF no aporte de MPS para a margem continental. Este trabalho faz parte do Projeto MARSEAL - Caracterização Ambiental da Bacia de Sergipe e Sul de Alagoas, coordenado pelo PETROBRAS/CENPES.

Palavras-Chave: Material particulado em suspensão. Margem continental. Sazonalidade.

ABSTRACT

The aim of this study was to investigate the distribution of suspended particulate matter (SPM) in waters over the continental margin of Sergipe/Alagoas, northeastern Brazil. Scientific cruises were carried out in May, 2014 (wet season) and December, 2014 (dry season). Overall, 192 water samples were collected in both cruises (at various depths and distances from the coastline). Samples were filtered on board using glass microfiber filters (GF/F grade), and SPM concentrations were determined gravimetrically in the laboratory. Average SPM concentrations in May and December were 4.21 mg L^{-1} (range: 0.08 to 16.7 mg L^{-1}) and 4.52 mg L^{-1} (range: 2.66 to 54.2 mg L^{-1}), respectively. Considering SPM concentrations in surface waters of the continental margin, distinct patterns were identified in both sampling seasons. The continental runoff signal reached the 25-m isobath in May, and retreated to the 10-m isobath in December. This pattern is probably associated with local wind oscillations between March and June, creating favorable conditions for offshore transport of the continental runoff signal. Conversely, the easterlies tend to push the Brazil Current over the narrow continental shelf during spring months, constraining SPM offshore transport. Considering only surface waters off the shelf break, SPM concentrations were higher in May than in December. These findings suggest that an efficient nutrient offshore transport in May might have contributed to increase primary production in oligotrophic oceanic waters. Vertically, SPM concentration in waters over the continental slope were higher in euphotic rather than the aphotic zone. No differences were observed in SPM concentration among water masses of the aphotic zone. In conclusion, the data sets of this study are unique and contribute for a better understanding of the regional oceanography as well as the impacts of dam construction in the São Francisco River signal exported to the ocean. This study is part of the MARSEAL Project – Environmental Characterization of Sergipe and Alagoas Basin, coordinated by PETROBRAS/CENPES.

Keywords: Suspended particulate matter. Continental margin. Seasonal variability.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Localização das estações de coleta na margem continental de Sergipe e sul de Alagoas. Transectos destacados pelos retângulos vermelhos.....18
- Figura 2.** Concentração de material particulado em suspensão (mg L^{-1}) na superfície ao longo da margem continental de Sergipe e sul de Alagoas durante o mês de maio (A) e dezembro (B) de 2014.....20
- Figura 3.** Concentração de material particulado em suspensão (mg/L) ao longo de uma seção transversal do cânion São Francisco (Transecto B), durante o mês de maio (A) e dezembro (B). Pontos Brancos = pontos de coleta de água.....21
- Figura 4.** Dados mensais de pluviometria ao longo do ano de 2014 na estação Neópolis (SE), localizada na bacia hidrográfica do baixo Rio São Francisco. Fonte: INPE.....24
- Figura 5.** Dados mensais de pluviometria ao longo do ano de 2014 na estação Estância (SE), localizada na bacia hidrográfica dos rios Real e Piauí. Os dados para os meses de julho e agosto foram desconsiderados por falta de consistência. Fonte: INPE.....25
- Figura 6.** Resultados obtidos pelo teste a posteriori de Student-Newman-Keuls, ilustrando a comparação das concentrações de MPS superficial entre pares de isóbatas durante o mês de maio. As linhas azuis agrupam as isóbatas sem diferença significativa na concentração de MPS. As linhas pretas pontilhadas delimitam zonas de influência na concentração de MPS.....27
- Figura 7.** Resultados obtidos pelo teste a posteriori de Student-Newman-Keuls, ilustrando a comparação das concentrações de MPS superficial entre pares de isóbatas durante o mês de dezembro. As linhas azuis agrupam as isóbatas sem diferença significativa na concentração de MPS. As linhas pretas pontilhadas delimitam zonas de influência na concentração de MPS.....28
- Figura 8.** Perfil vertical da concentração média de material particulado em suspensão (mg L^{-1}) no ambiente oceânico de Sergipe e sul de Alagoas - durante os meses de maio (A) e dezembro (B) - e no ambiente oceânico da Bacia de Campos (RJ). As barras de erro representam o desvio padrão dos grupos de dados de cada profundidade. Fonte: Pedrosa et al. (2006).....31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Posicionamento e profundidades das coletas de água realizadas para análise da matéria orgânica particulada em suspensão.....	19
---	----

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 Fisiografia do Fundo Oceânico	10
1.2 Oceanografia Física do Oceano Atlântico Tropical	11
1.3 Material Particulado em Suspensão	13
1.4 Área de Estudo	14
1.5 Objetivo	17
2. MATERIAL E MÉTODOS	17
2.1 Delineamento Amostral e Filtração das Amostras	17
2.2 Cálculo de MPS	19
2.3 Mapeamento da Distribuição Espacial de MPS	20
2.4 Dados Pluviométricos	20
2.5 Tratamento Estatístico dos Dados	20
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
3.1 Distribuição Geográfica de MPS	21
3.2 Distribuição Vertical de MPS	30
4 CONCLUSÃO	34
REFERÊNCIAS	35
APÊNDICE	38

1 INTRODUÇÃO

1.1 Fisiografia do Fundo Oceânico

O relevo oceânico resulta da combinação da atividade tectônica e dos processos de erosão e deposição dos sedimentos produzidos internamente e de origem continental (Garrison, 2010). O assoalho oceânico pode ser dividido em duas grandes regiões: a borda exterior submersa do continente, chamada margem continental, e a região além desta, denominada bacia oceânica. As margens continentais, por sua vez, são divididas em três províncias individualizadas: a plataforma continental, o talude continental e a elevação ou sopé continental.

A plataforma continental corresponde a extensão rasa e submersa do continente. Essa estende-se a partir da costa em uma inclinação suave ($\sim 1^\circ$), com um incremento médio de 1,7 metros de profundidade a cada quilômetro de extensão (Garrison, 2010). A maior parte do material que compõem a plataforma origina-se a partir da erosão da massa continental adjacente, sendo que esse material é transportado, principalmente, via aporte fluvial (Teixeira et al., 2000).

As plataformas continentais apresentam grande variação de extensão. O valor médio global é de 78 km, mas pode atingir até 1.280 km, como é o caso ao norte da Sibéria, no Oceano Ártico (Garrison, 2010). A largura de uma plataforma varia, principalmente, em função do tipo de limite tectônico local. Em bordas de placas tectônicas (ex.: costa oeste da América do Sul), as plataformas continentais tendem a ser mais estreitas quando comparadas àquelas existentes no interior de uma placa tectônica (ex.: costa leste da América do Sul). A plataforma continental brasileira apresenta maiores dimensões próximo à foz do Rio Amazonas, com largura de cerca de 350 km, e um mínimo em Salvador (BA) com 8 km de extensão (Teixeira et al., 2000).

A transição entre a plataforma continental e o assoalho oceânico profundo é denominado talude continental. Essa região é formada pela acumulação de sedimentos transportados até a borda da plataforma. O talude apresenta maior inclinação que a plataforma continental ($\sim 4^\circ$), com um incremento médio global de 205 metros de profundidade a cada quilômetro de extensão (Garrison, 2010). Na margem continental

brasileira, alcança profundidades entre 2.000 e 3.200 metros no setor Norte, entre 1.600 e 3.600 metros no setor Leste e entre 2.000 e 3.000 metros no setor Sul (Teixeira, 2000).

A quebra da plataforma marca a transição entre plataforma e talude continental, estando localizada em uma profundidade média global de 140 metros (Garrison, 2010). Na margem continental brasileira a quebra da plataforma está localizada em profundidades entre 75 e 80 metros no setor Norte, 40 e 80 metros no setor Leste e até 160 metros no setor Sul (Teixeira et al., 2000).

Em períodos de nível do mar mais baixo (regressão marinha) os rios costeiros formam feições erosivas na margem continental, denominadas cânions submarinos. Mesmo após a subida do nível do mar (transgressão marinha) os cânions continuam sofrendo erosão. Deslizamentos locais ou a ação de terremotos podem provocar uma avalanche abrasiva de sedimentos no talude, através, principalmente, dos cânions submarinos. Esses movimentos, denominados correntes de turbidez, correspondem à principal via de transporte sedimentar entre as margens continentais e as bacias oceânicas (Garrison, 2010).

A maior parte do sedimento exportado da margem continental para a bacia oceânica, via correntes de turbidez, deposita-se na elevação ou sopé continental. A extensão desta província varia entre 100 e 1.000 km, e sua inclinação é de aproximadamente $0,5^\circ$ (Teixeira et al., 2000). Nas bacias oceânicas, o assoalho é constituído essencialmente por crosta oceânica coberta por uma camada de sedimento que pode atingir até 5 km de espessura (Garrison, 2010). Seu relevo bastante plano é interrompido, em algumas áreas, por elevações topográficas de origem vulcânica, as quais podem abranger extensas regiões do fundo das bacias oceânicas.

1.2 Oceanografia Física do Oceano Atlântico Tropical

Existes dois tipos de circulação oceânica: a circulação superficial dirigida pelos ventos e a circulação termohalina. A circulação superficial ocorre na camada superior da coluna d'água (~400 m) altamente misturada pelas forçantes físicas atmosféricas (Garrison, 2000). De fato, a principal força responsável pelas correntes superficiais é o vento. As correntes superficiais oceânicas ocorrem em um padrão de grandes células de

circulação (Garrison, 2010). Essas células de circulação (ou giros) podem ser subdivididos geograficamente pelas correntes que as compõem.

O Giro do Atlântico Sul apresenta um padrão de circulação no sentido anti-horário, e é composto pela Corrente do Brasil a oeste, a Corrente do Atlântico Sul ao sul, a Corrente de Benguela a leste e a Corrente Sul Equatorial ao norte (Silveira et al., 2000). Entre 10 e 14 °S a Corrente Sul Equatorial se bifurca, dando origem à Corrente do Brasil ao sul como à Corrente Norte do Brasil ao norte (Silveira et al., 2000).

A circulação termohalina ocorre abaixo da camada de mistura e é causada pelo deslocamento de massas d'água resultante do gradiente de densidade entre elas. As massas d'água apresentam características de temperatura e salinidade específicas que conferem uma assinatura particular a cada uma delas. Elas não se misturam facilmente em contato uma com a outra, em vez disso, fluem uma sobre a outra de acordo com a sua densidade (as mais densas fluem sob as menos densas e vice-versa), apresentando um padrão de circulação profunda típico para cada região do globo (Garrison, 2010).

No Oceano Atlântico Sul a distribuição vertical das massas d'água ocorre conforme o padrão descrito a seguir. A massa d'água mais superficial, a Água Tropical (AT), forma-se como consequência da diferença entre a alta evaporação e a baixa precipitação características do Oceano Atlântico Equatorial (Stramma e England, 1999). A AT é caracterizada por temperaturas acima de 20 °C e salinidade acima de 36 psu, sendo transportada para sul pela Corrente do Brasil (Silveira et al., 2000). Abaixo desta está a Água Central do Atlântico Sul (ACAS), a qual apresenta temperaturas entre 6 e 20 °C e salinidade entre 34,6 e 36 psu, que flui na região da termoclina (zona de elevado gradiente vertical de temperatura). Essa massa d'água origina-se na confluência entre a Corrente do Brasil e a Corrente das Malvinas, entre 33 e 38° S (Stramma e England, 1999).

Abaixo da termoclina encontra-se a Água Intermediária Antártica (AIA). Esta apresenta temperatura entre 3 e 6 °C e salinidade entre 34,3 e 34,6 psu, sendo formada no processo de crescimento sazonal das calotas polares da Antártica – a água no entorno torna-se mais densa devido ao aumento de salinidade e afunda (Stramma e England, 1999). Abaixo da AIA, está localizada a Água Circumpolar Superior (ACS) e ambas as massas d'água fluem do Hemisfério Sul para o Norte (Silveira et al., 2000).

Subjacente à ACS localiza-se a Água Profunda do Atlântico Norte (APAN), a qual apresenta valores de temperatura entre 3 e 4 °C e salinidade entre 34,6 e 35 psu, ocupando níveis entre 1.500 e 3.000 m ao largo da costa brasileira (Silveira et al., 2000). Há consenso na literatura de que a APAN flui para sul ao longo do contorno oeste do Atlântico até cerca de 32° S, onde pelo menos parte da massa d'água retorna em direção ao equador (Silveira et al., 2000). Abaixo da APAN, e em contato com o fundo, está a Água Antártica de Fundo (AAF), caracterizada por uma salinidade de 34,65 psu e uma temperatura de -0,5 °C (Garrison, 2010). A AAF flui para o norte ao longo do leito marinho e sua maior parte é formada no Mar de Weddell durante o inverno (Garrison, 2010).

1.3 Material Particulado em Suspensão

O material particulado em suspensão (MPS) na água do mar é formado por uma mistura de componentes, os quais podem ser oriundos de fontes externas ou produzidos internamente. O MPS produzido internamente (autóctone) inclui matéria orgânica particulada (MOP), composta por organismos vivos (ex.: fitoplâncton, zooplâncton) e detritos (ex.: organismos mortos, pelotas fecais), e matéria inorgânica particulada (MIP), composta por carapaças secretadas por organismos marinhos (principalmente carbonato de cálcio e sílica biogênica) e precipitados inorgânicos (Chester, 1990).

O MPS oriundo de fontes externas (alóctones) consiste, majoritariamente, de partículas sedimentares formadas a partir do intemperismo continental, incluindo compostos orgânicos adsorvidos à matriz mineral (Chester, 1990). Essas partículas de sedimento chegam aos oceanos principalmente via aporte fluvial e deposição atmosférica (Chester, 1990). Entretanto, segundo Milliman (1991), os rios contribuem com aproximadamente 70% do aporte total de partículas de sedimento para o oceano.

O aporte fluvial de MPS para a plataforma continental envolve diversas etapas desde sua produção ao longo do curso do rio até sua chegada efetiva aos oceanos. Ao final desse trajeto, o MPS é transportado para a plataforma através das plumas costeiras que se estendem a partir da desembocadura de rios. A extensão, forma e dinâmica de uma pluma costeira é determinada pela interação entre diversos fatores, tal como a magnitude

e a pulsação do aporte fluvial, a variabilidade do vento, da maré, das ondas, da batimetria, e das correntes costeiras e oceânicas (Wright, 1977).

O transporte de partículas pela pluma ocorre em estágios. Primeiramente há a deposição das partículas de maior densidade acerca da desembocadura do rio, que geralmente abrange mais de 90% do MPS total (Wright, 1977). As partículas finas que ultrapassam este estágio de deposição inicial se dispersam e sedimentam gradativamente. Apenas as partículas ultrafinas são exportadas e se depositam além do perímetro externo da pluma (Wright, 1977). Entretanto, a dispersão de MPS fluvial é afetada por outros processos relevantes que operam na zona costeira. Antes de atingir seu ponto final de acumulação, as partículas se depositam e sofrem ressuspensão diversas vezes devido principalmente à ação das ondas e das correntes de maré locais (Swift, 1976). A distribuição vertical de MPS é similar na maioria das plataformas continentais, mas sua composição e concentração são altamente variáveis (McCave, 1972). Processos físico-químicos (floculação, agregação e dessorção) e atividades biológicas (produção primária) contribuem para a variabilidade local do material particulado (Dagg et al., 2004).

Em águas superficiais, as concentrações de MPS são mais altas, e mais variáveis, nas regiões costeiras e estuarinas do que em regiões oceânicas. Esse fato resulta de um efeito combinado do aporte continental de MPS pelos rios e pela produção interna de MOP pelos produtores primários (Chester, 1990). A concentração de MPS tende a diminuir com a profundidade, resultado, principalmente, da oxidação da matéria orgânica e da dissolução das carapaças, atingindo um mínimo em determinada região da coluna d'água afastada da superfície e do assoalho oceânico (Chester, 1990). Em profundidades próximas ao fundo, pode haver um aumento na concentração de MPS resultado da ressuspensão de sedimento por correntes de fundo (Chester, 1990).

1.4 Área de Estudo

A região costeira de Sergipe e sul de Alagoas é caracterizada por um clima úmido com alta precipitação anual média (1.355 mm) e alta umidade relativa – média anual de 80% (SIRHSE, 2015). A precipitação total é dividida claramente em uma estação de inverno chuvosa entre abril e julho e uma estação de verão seca entre outubro e janeiro

(SIRHSE, 2015). Nessa região costeira desembocam sete bacias hidrográficas. Os principais rios dessas bacias são (de norte a sul): Rio Coruripe, Rio São Francisco, Rio Japaratuba, Rio Sergipe, Rio Vaza-Barris, Rio Piauí e Rio Real.

O Rio Coruripe desemboca no sul do estado de Alagoas, apresenta bacia de drenagem de aproximadamente 1.562 km² e uma vazão anual média de 0,89 m³ s⁻¹ (SEMARH, 2015). Na região centro-norte do estado de Sergipe desemboca o Rio Japaratuba, o qual apresenta uma bacia de drenagem com 1.735 km² e uma vazão média anual de 3,15 m³ s⁻¹ (SEMARH, 2015). O Rio Sergipe desemboca nas imediações do município de Aracaju na região central do estado de Sergipe. Esse rio apresenta uma área de drenagem de 3.332 km² e uma vazão média anual de 0,94 m³ s⁻¹ (SEMARH, 2015). O Rio Vaza-Barris também desemboca nas imediações do município de Aracaju, mas apresenta uma maior vazão anual média – cerca de 15 m³ s⁻¹ – e sua bacia também drena uma área maior – aproximadamente 16.788 km² (CPRM, 2015). Ao sul, na divisa entre os estados de Sergipe e Bahia, desembocam os rios Piauí e Real. O primeiro apresenta uma bacia de drenagem com 4.150 km² e uma vazão anual média de 20,2 m³ s⁻¹ (SEMARH, 2015). O segundo apresenta uma bacia de drenagem de 4.972 km² e vazão anual média de 20,5 m³ s⁻¹ (CPRM, 2015).

Ao norte, na divisa entre os estados de Sergipe e Alagoas desemboca o Rio São Francisco (RSF). O RSF nasce no estado de Minas Gerais em 1.800 m de altitude, sua extensão é de 2.863 km, com uma bacia de drenagem de 639.219 km², o que corresponde a 7,5% do território nacional (SIRHSE, 2015). Apresenta a maior vazão média anual entre os rios que desembocam nas costas de Sergipe e sul de Alagoas e, portanto, representa a fonte mais importante de MPS local (Souza e Knoppers, 2003).

Em estudo realizado por Souza e Knoppers (2003) foram avaliados os fluxos fluviais de água e sedimentos em suspensão dos principais rios que drenam na Costa Leste Brasileira (CLB), a qual se estende desde a foz do RSF até a foz do Rio Paraíba do Sul (~2000 km de extensão). O RSF apresentou fluxo de água correspondente a 45% da descarga total dos 30 rios investigados ($7,1 \times 10^9$ m³ ano⁻¹), mas apresentou baixo fluxo de sedimento em suspensão (7×10^5 t ano⁻¹), correspondente a 3% do total aportado por 14 rios investigados.

Em condições naturais, as concentrações e fluxos de material em suspensão nos rios, possuem relação com a vazão. O aumento da vazão intensifica a velocidade do escoamento fluvial, a capacidade de transporte do rio e a lavagem das margens, incrementando o material particulado e dissolvido transportados. As alterações nas vazões naturais e a diminuição da carga de material em suspensão do RSF têm sido associadas às construções de barragens em cascata de 1974 a 1995 (Medeiros, 2003; Knoppers *et al.*, 2006; Medeiros *et al.*, 2007).

O MPS na foz do RSF apresentava uma concentração média de 70 mg L^{-1} em 1970, antes da construção das barragens, e passou para apenas 4 mg L^{-1} em 2000, após a construção das mesmas (Knoppers *et al.*, 2006). Milliman (1975) estimou que o aporte de MPS pelo Rio São Francisco no ano de 1970 foi de $69 \times 10^5 \text{ t}$. Esse aporte caiu para $21 \times 10^5 \text{ t ano}^{-1}$ entre 1984 e 1985, segundo estudo realizado por Santos (1993). Mais recentemente, entre os anos de 2000 e 2001 o valor estimado para o aporte de MPS foi de $2,28 \times 10^5 \text{ t ano}^{-1}$ (Werneck-Lima *et al.*, 2001). Ao comparar esses resultados percebe-se uma redução em cerca de 94% o aporte de MPS do RSF para a plataforma continental entre os períodos pré e pós-barragens (Werneck-Lima *et al.*, 2001). Atualmente, o MPS aportado pelo RSF para a região costeira é quase que exclusivamente produzido em uma faixa estreita de 180 km desde a barragem de Xingó até a sua foz (Oliveira, 2003).

A região costeira de Sergipe e sul de Alagoas é dominada por mesomarés, de regime semi-diurno, com altura máxima de 2,6 metros nas marés de sizígia. O regime de ondas é de alta energia. As ondas se propagam na direção média de ESE (azimute de 112°), oscilando mais para o Leste no verão e mais para o Sul no inverno (Oliveira, 2003). A margem alagoana do delta do Rio São Francisco possui um alinhamento normal ao azimute de 130° e a margem sergipana possui um alinhamento normal ao azimute de 170° . Estes alinhamentos explicam o transporte de sedimentos de praia pela deriva litorânea no sentido Sudoeste, de Alagoas para Sergipe, formando bancos de sedimentos marinhos no delta do rio (Oliveira, 2003).

Na margem continental de Sergipe e sul de Alagoas, a largura da plataforma varia entre um mínimo de 8 km em frente a desembocadura do Rio São Francisco e um máximo de 35 km entre as desembocaduras dos rios Japaratuba e São Francisco (Figura 1). A quebra da plataforma na região ocorre a aproximadamente 50 metros de profundidade

(Figueiredo Jr. et al., 2011). A região chama a atenção pela presença de dois cânions submarinos distintos: Japaratuba e São Francisco. O Cânion do São Francisco, localizado em frente à desembocadura do rio de mesmo nome, forma-se a partir da isóbata de 15 metros. Na quebra da plataforma continental o cânion apresenta uma largura de 11 km e um desnível da borda para o fundo de 700 m (Figueiredo Jr. et al., 2011). O Cânion do Japaratuba, localizado em frente à desembocadura do rio de mesmo nome, forma-se a partir da isóbata de 30 metros. Na quebra da plataforma, ele apresenta uma largura de 21 km e um desnível entre a borda e o fundo de mais de 1.400 m (Figueiredo Jr. et al., 2011).

1.5 Objetivo

O presente trabalho teve como objetivo caracterizar a distribuição do material particulado em suspensão (MPS) na margem continental de Sergipe e sul de Alagoas, assim como analisar a variabilidade sazonal deste parâmetro.

2. MATERIAL E MÉTODOS

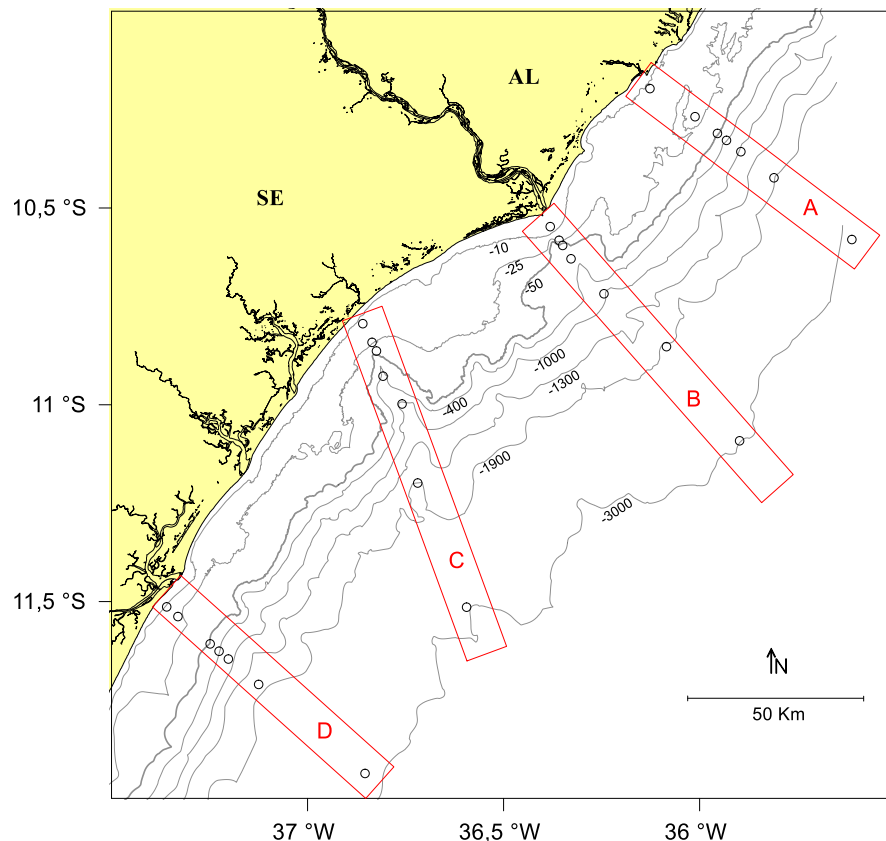
2.1 Delineamento Amostral e Filtração das Amostras

As amostras de MPS foram obtidas como parte do Projeto MARSEAL - Caracterização Ambiental da Bacia de Sergipe e Sul de Alagoas, coordenado pelo PETROBRAS/CENPES. Foram realizadas duas campanhas de coleta: uma no período chuvoso (maio de 2014) e outra no período de estiagem (dezembro de 2014). As estações de coleta de água foram posicionadas sobre 7 isóbatas (10, 25, 50, 400, 1000, 1900 e 3000 m de profundidade) e ao longo de 4 transectos aproximadamente perpendiculares à linha de costa (A, B, C e D), totalizando 28 estações de coleta (Figura 1). O transecto A foi posicionado transversalmente à desembocadura do Rio Coruripe, no município de Barreiras (AL). O transecto B foi posicionado ao longo do cânion do São Francisco e o transecto C ao longo do cânion do Japaratuba. Na divisa entre os estados de Sergipe e Bahia foi posicionado o transecto D, em frente à desembocadura do Rio Real/Piauí.

Em cada estação, as amostras de água foram coletadas em diversas profundidades conforme especificado na Tabela 1. As profundidades de coleta foram definidas considerando, além da superfície e profundidade de máxima clorofila (PMC), os núcleos

das massas d'água observadas na região. As profundidades de 250, 700, 1250 e 2300 metros representam os núcleos da Água Central do Atlântico Sul (ACAS), Água Intermediária Antártica (AIA), Água Circumpolar Superior (ACS) e Água Profunda do Atlântico Norte (APAN), respectivamente. No total foram obtidas 24 amostras por transecto e 96 amostras por campanha.

Figura 1. Localização das estações de coleta na margem continental de Sergipe e sul de Alagoas. Transectos destacados pelos retângulos vermelhos.



As coletas de água foram realizadas com o auxílio de uma roseta equipada com CTD e garrafas de Niskin. Cerca de 10 L água foram destinados à filtração para obtenção de MPS. A filtração das amostras de água foi realizada a bordo com o uso de um conjunto de filtração acoplado a uma bomba de vácuo operada em pressão de trabalho superior a 250 mmHg, de forma a não romper células presentes no MPS. Na filtração foi utilizado filtro de microfibras de vidro com 47 mm de diâmetro e retenção nominal de 0,7 μm (Whatman, modelo GF/F). Os filtros GF/F foram previamente calcinados (450 °C durante 4 horas), identificados e pesados em balança analítica antes do embarque.

Tabela 1. Posicionamento e profundidades das coletas de água realizadas para determinação do material particulado em suspensão. PMC = Profundidade de Máxima Clorofila.

Isóbata	10 m	25 m	50 m	400 m	1000 m	1900 m	3000 m
Profundidades	1 m	1 m	1 m	1 m	1 m	1 m	1 m
de Coleta de	PMC	PMC	PMC	PMC	PMC	PMC	PMC
Água				250 m	250 m	250 m	250 m
					700 m	700 m	700 m
						1250 m	1250 m
							2300 m

2.2 Cálculo de MPS

Em laboratório, os filtros contendo as amostras de MPS foram inicialmente armazenados em freezer (-20 °C). Como primeiro passo do processamento, os filtros foram descongelados e organizados em placas de Petri devidamente identificadas para serem colocados na estufa. Os filtros foram mantidos na estufa (60 °C) por 24 h para a eliminação da água. Em seguida, eles foram pesados em balança analítica. Para garantir que não havia água residual na amostra, os filtros foram novamente levados para a estufa (60 °C) por mais 2 h antes de serem pesados novamente. Este processo se repetiu até que a diferença entre duas pesagens consecutivas do mesmo filtro fosse inferior ao erro da balança analítica.

O peso seco (P_{seco} , em gramas) de cada amostra foi calculado como a diferença entre o resultado da última pesagem realizada (P_{total} , em gramas), conforme o procedimento descrito acima, e o peso do filtro (P_{filtro} , em gramas).

$$P_{seco} = P_{total} - P_{filtro}$$

A concentração de MPS (em mg L⁻¹) foi calculada como o quociente entre o peso seco e o volume filtrado (V, em litros) em cada amostra. O resultado foi multiplicado por 1000 para convertê-lo em miligramas de MPS por litro de água.

$$[MPS] = \frac{P_{seco}}{V} \times 1000$$

2.3 Mapeamento da Distribuição Espacial de MPS

Para melhor visualização da distribuição espacial das concentrações de MPS, foram criados mapas de interpolação (método de Krigagem) dos dados com o uso do programa Surfer (versão 12). A interpolação dos dados permite uma melhor visualização da tendência de distribuição das concentrações de MPS ao longo de um determinado plano. Os mapas da distribuição da concentração de MPS foram criados para todas as profundidades de coleta e ao longo da seção transversal de cada transecto, individualmente para cada período de amostragem.

2.4 Dados Pluviométricos

Para melhor interpretação da distribuição dos dados de MPS entre os períodos amostrados, dados pluviométricos foram obtidos da base de dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), por meio do Sistema Integrado de Dados Ambientais (SIDA). Dados mensais da pluviometria na bacia do baixo Rio São Francisco em 2014 foram compilados a partir da estação Neópolis (10° 28' 48" S; 36° 35' 24" W), localizada a 21 km da foz do rio no estado de Sergipe. Dados mensais da pluviometria da bacia do Rio Real/Piauí foram compilados a partir da estação Estância (11° 13' 48" S; 37° 27' 36" W), localizada a 27 km da foz do rio no estado de Sergipe. Não foram encontrados dados de pluviometria para a bacia do Rio Coruripe (AL).

2.5 Tratamento Estatístico dos Dados

Inicialmente os dados foram testados quanto à sua normalidade e homocedasticidade. Para verificar a normalidade dos dados foi utilizado o teste de Kolmogorov-Smirnov. A homocedasticidade foi verificada através dos testes de Levene (para dados sem distribuição normal) e F (para dados com distribuição normal). Tanto o teste de normalidade como o de homocedasticidade foram executados por meio do programa Minitab v14. Para testar a correlação entre a concentração de MPS e a distância

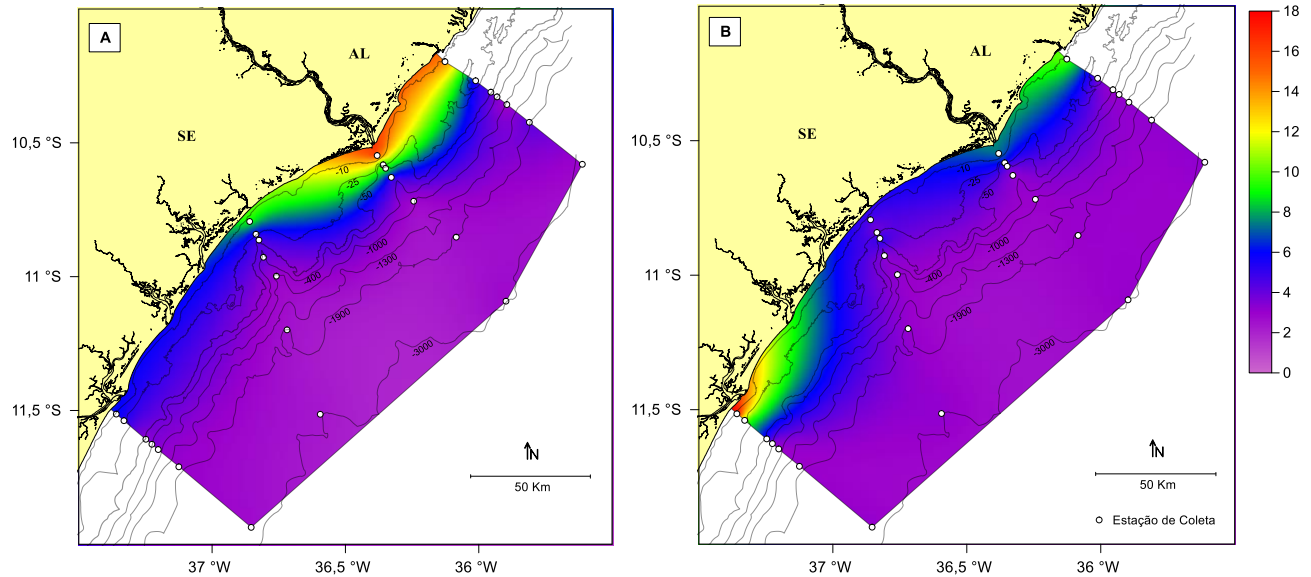
da costa foi utilizado o teste não-paramétrico de Spearman, o qual foi executado por meio do programa Bioestat v5. Análises comparativas foram realizadas para testar a diferença na concentração de MPS entre as isóbatas, entre as massas d'água e entre os períodos pluviométricos (chuvoso e seco). Para essas análises foi utilizado o teste de análise de variância (ANOVA, para dados com distribuição normal e homocedásticos) e o não-paramétrico de Kruskal-Wallis (para dados sem distribuição normal e heterocedásticos) seguido do teste *a posteriori* de Student-Newman-Keuls (SNK). O teste de variância ANOVA foi executado no programa Minitab v14, enquanto que o teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis e o teste *a posteriori* SNK foram executados por meio do programa Bioestat v5. O nível de significância utilizado em todos os testes estatísticos foi $\alpha = 0,05$.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Distribuição Geográfica de MPS

Os resultados completos da concentração de material particulado em suspensão (MPS) nas amostras das duas campanhas oceanográficas estão dispostos no Apêndice 1. Nas águas da plataforma continental (isóbata ≤ 50 m), as concentrações de MPS variaram entre 2,95 e 16,7 mg L⁻¹ na superfície e na PMC durante o mês de maio (período chuvoso), com um valor médio de 8,31 mg L⁻¹. No mês de dezembro (período seco) esses valores variaram entre 2,88 e 54,2 mg L⁻¹, com uma média de 8,81 mg L⁻¹. O padrão de distribuição da concentração de MPS foi diferente entre os dois períodos. No mês de maio os maiores valores foram obtidos na região próxima à foz do RSF, enquanto que em dezembro os maiores valores foram obtidos na região próxima à foz do Rio Real / Piauí (Figura 2).

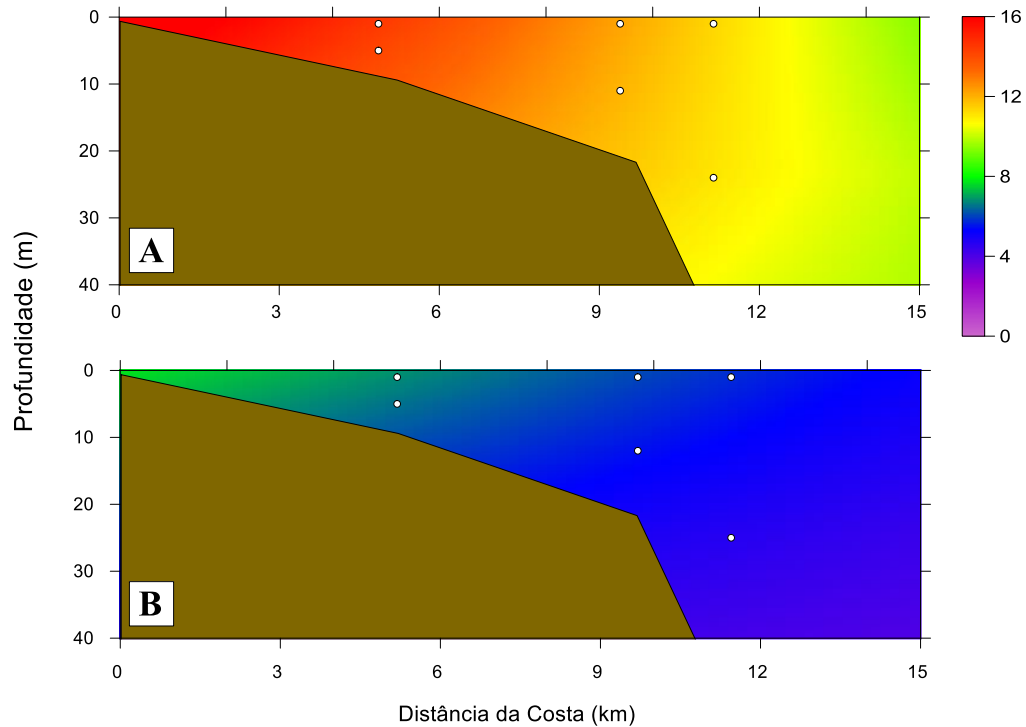
Figura 2. Concentração de material particulado em suspensão (mg L^{-1}) na superfície ao longo da margem continental de Sergipe e sul de Alagoas durante o mês de maio (A) e dezembro (B) de 2014.



A Figura 3 ilustra a distribuição de MPS nas águas da plataforma continental ao longo do transecto B (desembocadura do RSF) em dois períodos do ano. Esses resultados foram comparados estatisticamente. Os dados apresentaram distribuição normal (Kolmogorov-Smirnov; $p > 0,15$) e homocedasticidade (Teste F; $p = 0,24$). Assim, a comparação foi feita por meio de ANOVA. O resultado do teste mostrou que houve diferença significativa nas concentrações de MPS entre os meses de maio e dezembro ($F = 15,3$; $gl = 5$; $p < 0,01$). A concentração média de MPS em maio ($6,78 \text{ mg L}^{-1}$) foi estatisticamente superior àquela encontrada em dezembro ($4,24 \text{ mg L}^{-1}$).

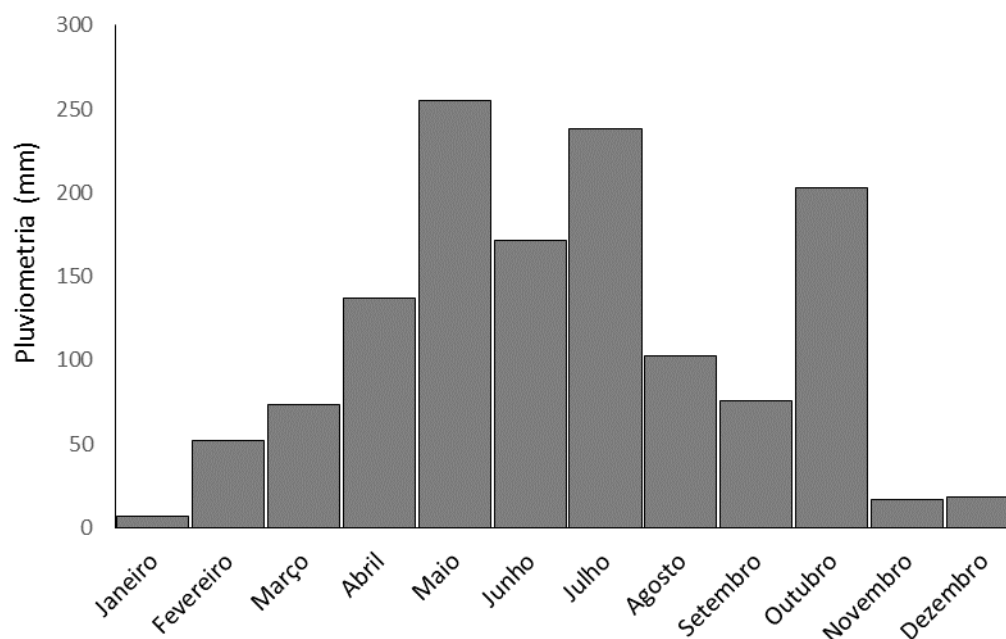
Atualmente, a pluma sedimentar na foz do RSF não é uma pluma fluvial típica e sim uma pluma de ressuspensão com deriva predominantemente para sudoeste (Oliveira, 2009). Medeiros (2003) constatou que o MPS aportado pelo RSF apresentou comportamento não conservativo com aumento expressivo em relação à salinidade na porção da zona de mistura estuarina, situada desde a foz do rio até 8 km em direção ao largo. Esses resultados, juntamente com o regime de alta energia de ondas e a batimetria rasa da foz, caracterizam a ressuspensão como principal fonte que alimenta a pluma do RSF (Oliveira, 2009).

Figura 3. Concentração de material particulado em suspensão (mg L^{-1}) ao longo de uma seção transversal do cânion do São Francisco (Transecto B), durante o mês de dezembro (B) e maio (A). Os pontos brancos representam as estações e profundidades de coleta de água.



Os dados mensais de pluviometria provenientes da estação Neópolis (Figura 3) mostram que o mês de maio apresentou o maior índice pluviométrico de 2014 (255 mm), enquanto o mês de dezembro apresentou o terceiro menor índice (18,5 mm). Esses dados sugerem que a pluviometria teve uma forte influência na variabilidade local da concentração de MPS entre os dois meses de forma que o maior índice de chuvas em maio promoveu uma maior erosão das margens do RSF e um maior fluxo de seus afluentes intermitentes entre a barragem de Xingó e sua foz, resultando em maior aporte de MPS pela pluma do RSF para a plataforma continental neste período.

Figura 4. Dados mensais de pluviometria ao longo do ano de 2014 na estação Neópolis (SE), localizada na bacia hidrográfica do baixo Rio São Francisco.



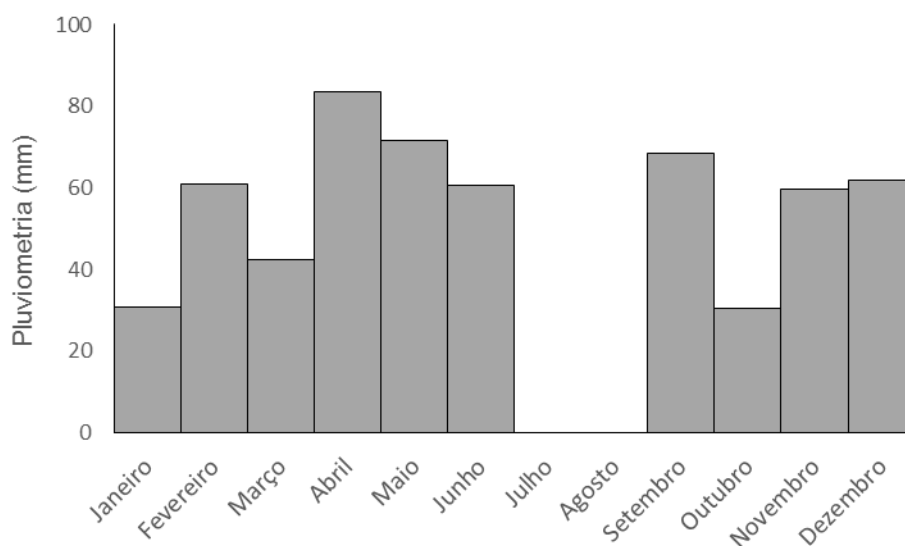
Fonte: INPE (2015).

Alternativamente, a diferença nas concentrações de MPS pode ser consequência das diferentes condições de ressuspensão de sedimento entre os dois meses. Medeiros (2007) caracteriza a ressuspensão sedimentos finos dos depósitos do pró-delta como a principal fonte de MPS na zona de mistura estuarina do RSF, situada desde a foz até 8 km ao largo. O regime de alta energia de ondas e a pulsação da mesomaré semi-diurna representam os principais processos que promovem a ressuspensão de sedimentos finos do fundo em áreas rasas da região (Knoppers et al., 2006). Dessa forma, a variação na concentração de MPS observada entre os dois períodos do ano também pode estar relacionada às variações no regime de ondas da região. Estudos sobre a hidrodinâmica local devem ser conduzidos para investigar melhor uma possível relação entre o regime de ondas e a concentração de MPS ao longo do ano.

Considerando as concentrações de MPS na plataforma continental (isóbatas ≤ 50 m) ao longo do transecto D (desembocadura do Rio Real/Piauí), os valores foram significativamente maiores no mês de dezembro do que no mês maio (Kruskal-Wallis; $H = 4,74$; $gl = 1$; $p = 0,03$). Os dados mensais de pluviometria provenientes da estação

Estância (Figura 4) mostram que o mês de maio apresentou o segundo maior índice pluviométrico de 2014 (71,5 mm), enquanto o mês de dezembro apresentou o quarto maior índice (61,75 mm). A pequena diferença de precipitação entre os dois meses e os altos valores de concentração de MPS encontrados no mês de dezembro sugerem a ressuspensão de sedimentos finos como uma possível fonte local de MPS. Essa ressuspensão de sedimento do fundo poderia ser explicada por uma incidência de ondas de alta energia conforme discutido acima.

Figura 5. Dados mensais de pluviometria ao longo do ano de 2014 na estação Estância (SE), localizada na bacia hidrográfica dos rios Real e Piauí. Os dados para os meses de julho e agosto foram desconsiderados por falta de consistência.



Fonte: INPE (2015).

De maneira geral, as concentrações de MPS superficial foram maiores nas estações mais próximas à costa nas duas campanhas de coleta. Para testar a correlação entre os resultados da concentração de MPS na superfície e a distância da costa, o teste não-paramétrico de Spearman foi utilizado, visto que os dados não apresentaram distribuição normal (Kolmogorov-Smirnov; $p < 0,01$). As duas variáveis apresentaram uma forte correlação negativa ($r_s = -0,754$; $p < 0,0001$; $N = 56$), de modo que a concentração de MPS na superfície (1 m de profundidade) diminuiu gradativamente com o aumento da distância da costa. Em teoria é esperado que a concentração de MPS na superfície da água diminua conforme aumenta a distância da costa. Essa tendência resulta de um efeito

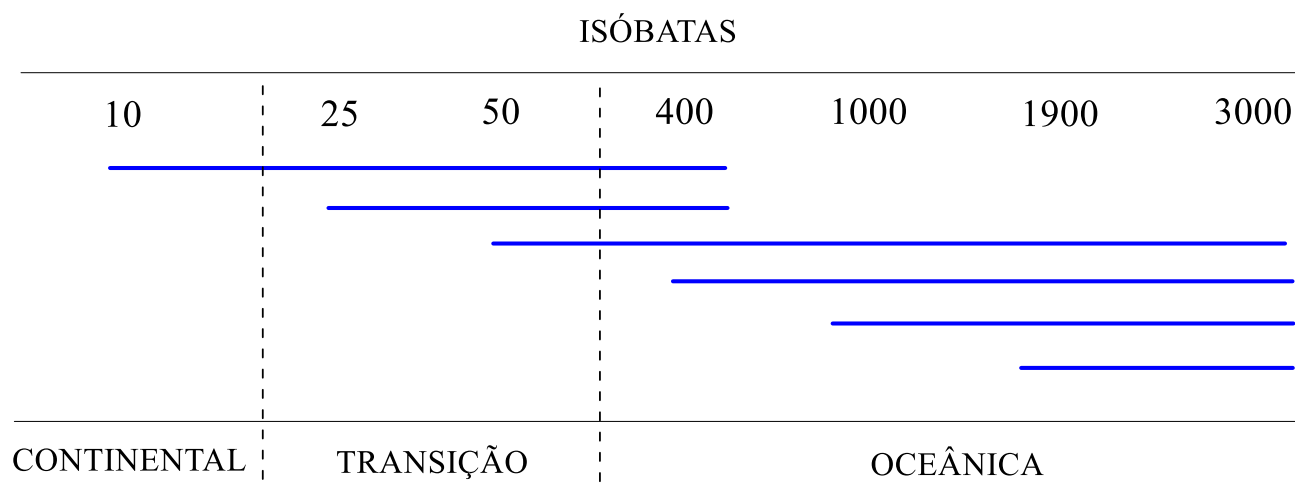
combinado do aporte continental de MPS pelos rios e da produção interna de MOP pelos produtores primários em águas costeiras (Chester, 1990).

Para investigar o limite de influência continental foi realizada uma comparação da distribuição de MPS na superfície entre as diferentes isóbatas. Tal comparação foi feita para as duas campanhas separadamente. Os tratamentos testados não apresentaram distribuição normal (Kolmogorov-Smirnov; $p < 0,01$) mesmo depois de usada a transformação com $\log_{10}$ (Kolmogorov-Smirnov; $p < 0,01$). Dessa forma, a comparação entre as isóbatas foi testada por meio do teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis, seguido pelo teste *a posteriori* de Student-Newman-Keuls (SNK).

No mês de maio (Figura 5), as concentrações de MPS na superfície apresentaram diferença significativa entre os grupos de isóbatas (Kruskal-Wallis; $H = 22,1$; $gl = 6$; $p < 0,01$). De acordo com o teste de comparações múltiplas (*a posteriori*) de SNK, houve diferença significativa nas concentrações de MPS entre as isóbatas de 10 m e 1000 m ($p < 0,01$), 10 m e 1900 m ($p < 0,01$), 10 m e 3000 m ($p < 0,01$), 25 m e 1000 m ($p = 0,01$), 25 m e 1900 m ($p = 0,04$) e entre 25 m e 3000 m ($p < 0,01$). Para melhor visualização, os resultados do teste SNK estão ilustrados na Figura 6.

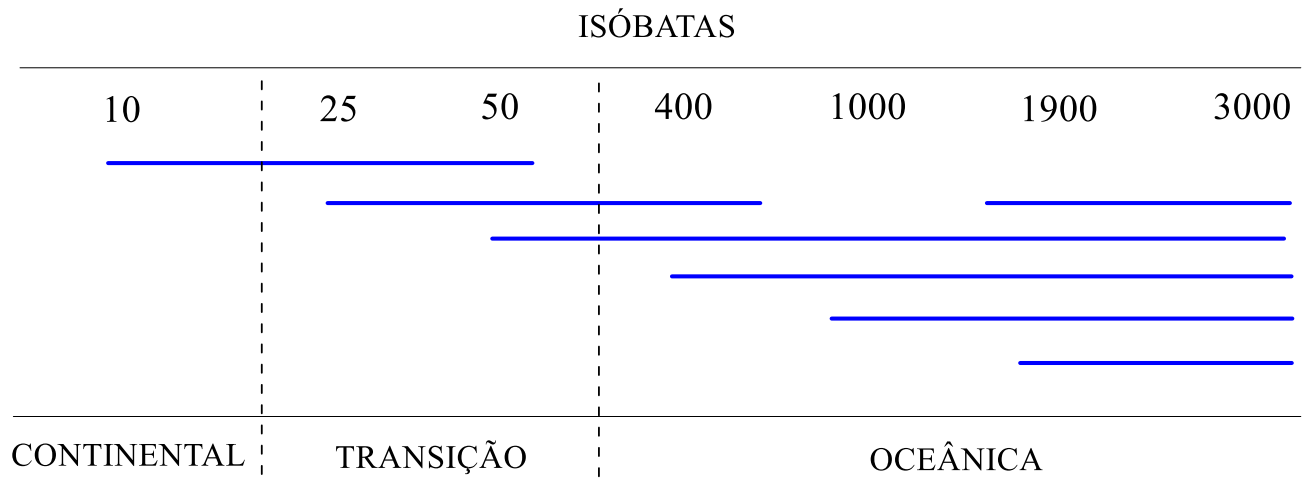
Assumindo que as concentrações de MPS nas isóbatas de 10 e 3000 m são representativas de influências predominantemente continental e oceânica, respectivamente, pode-se propor limites para tais influências. Assim, durante o período chuvoso, a concentração de MPS entre as isóbatas de 10 e 400 m não foi estatisticamente diferente (ver linha pontilhada da direita na Figura 6). Similarmente, o MPS entre as isóbatas de 50 e 3000 m também não foi diferente (ver linha pontilhada da esquerda na Figura 6). Com base nisso, sugere-se que o limite de influência puramente continental na concentração de MPS durante o período chuvoso esteve entre as isóbatas de 25 e 50 m. Por outro lado, sugere-se que o limite de influência puramente oceânica esteve entre as isóbatas de 400 e 1000 m. Neste caso, sugere-se que as isóbatas de 50 e 400 m representam uma zona de transição, com influências tanto continentais como oceânicas na distribuição da concentração superficial de MPS.

Figura 6. Resultados obtidos pelo teste *a posteriori* de Student-Newman-Keuls, ilustrando a comparação das concentrações de MPS superficial entre pares de isóbatas durante o mês de maio. As linhas azuis agrupam as isóbatas sem diferença significativa na concentração de MPS. As linhas pretas pontilhadas delimitam zonas de influência na concentração de MPS (ver texto para maiores detalhes).



Os resultados da concentração de MPS superficial na campanha de dezembro de 2014 (Figura 5) também apresentaram diferença significativa entre as isóbatas (Kruskal-Wallis; $H = 16,5$; $p = 0,01$). Comparando os pares de isóbatas, houve diferença significativa entre as isóbatas de 10 m e 400 m (SNK; $p = 0,02$), 10 m e 1000 m (SNK; $p < 0,01$), 10 m e 1900 m (SNK; $p = 0,02$), 10 m e 3000 m (SNK; $p = 0,02$) e entre 25 m e 1000 m (SNK; $p = 0,04$). Para melhor visualização, os resultados do teste SNK estão ilustrados na Figura 7. Seguindo a mesma lógica da discussão acima, sugere-se que limite de influência continental durante o período seco esteve entre as isóbatas de 10 e 25 m, enquanto o limite de influência oceânica esteve entre as isóbatas de 50 e 400 m. Neste caso, a zona de transição seria representada pelas isóbatas de 25 e 50 m (Figura 7).

Figura 7. Resultados obtidos pelo teste *a posteriori* de Student-Newman-Keuls, ilustrando a comparação das concentrações de MPS superficial entre pares de isóbatas durante o mês de dezembro. As linhas azuis agrupam as isóbatas sem diferença significativa na concentração de MPS. As linhas pretas pontilhadas delimitam zonas de influência na concentração de MPS (ver texto para maiores detalhes).



O MPS presente na zona de influência continental poderia ser tanto autóctone (ex.: fitoplâncton) quanto alóctone (ex.: argilo-minerais de origem continental). No caso do MPS autóctone, a produção primária estaria sob forte influência do aporte de nutrientes continentais. Já o MPS presente na zona de influência oceânica seria exclusivamente autóctone. Neste caso, a produção primária seria realizada através da absorção de nutrientes provenientes exclusivamente de águas oceânicas oligotróficas. Na zona de transição, a concentração de MPS seria influenciada pelos dois sinais e os produtores primários utilizariam nutrientes de ambas as fontes.

Comparando as zonas de influência propostas acima para as duas campanhas, pode-se afirmar que a influência continental durante o mês de dezembro (período seco) ficou limitada a uma isóbata mais próxima da costa (10 m). Neste período a influência oceânica também se expressou mais próximo à costa, a partir da isóbata de 400 metros. Esses resultados sugerem a existência de um padrão sazonal de distribuição de MPS superficial na margem continental de Sergipe e sul de Alagoas. Oliveira (2009) sugere a existência de um padrão sazonal de circulação na plataforma adjacente à foz do RSF. Tal padrão estaria relacionado a variações entre o escoamento superficial da corrente costeira e das correntes de contorno oeste do Atlântico Sul. Estas correntes - Corrente do Brasil

(CB) e Corrente Norte do Brasil (CNB) - originam-se a partir da bifurcação da Corrente Sul Equatorial (CSE). A localização da bifurcação varia ao longo do ano e sua migração tem uma relação estreita com o sinal sazonal do regime dos ventos alísios. Segundo Rodrigues et al. (2006), no verão a bifurcação da CSE está localizada mais ao norte ($\sim 10^{\circ}\text{S}$) enquanto que no inverno localiza-se mais ao sul ($\sim 14^{\circ}\text{S}$). Dessa maneira, durante o verão a corrente de contorno que tende a fluir sobre a margem continental de Sergipe e sul de Alagoas é a CB, em sentido sul, enquanto que no inverno é a CNB, em sentido norte. Favorecidas pela pouca extensão da plataforma continental, as alterações no campo de correntes oceânicas superficiais da borda oeste do Atlântico Sul exercem uma influência significativa sobre as águas costeiras próximas à foz do RSF (Oliveira, 2009).

Enquanto o sinal sazonal dos ventos alísios rege a migração da CSE e interfere nas correntes da borda oeste do Atlântico Sul, os ventos locais incidentes geram grande influência sobre as correntes costeiras da plataforma continental (Silveira, 2000). As consequências dessa dinâmica alteram as direções de escoamento das massas d'água costeira e oceânica, gerando diferentes fluxos superficiais de mistura (Oliveira, 2009). Segundo Oliveira (2009), as oscilações mais frequentes na direção do vento local, e consequentemente da corrente costeira, promovem maior dispersão de MPS em direção à região oceânica durante o outono (março a junho). Durante os meses de setembro a novembro, o regime de ventos que atinge a plataforma continental passa a incidir preferencialmente de leste e há um aumento na capacidade de transporte de água da Corrente do Brasil (Rodrigues et al., 2006). Embora mais comum nos meses de primavera citados acima, esse fenômeno pode ser antecipado ou retardado (Rodrigues et al., 2006). Todos esses fatores compõem uma dinâmica superficial favorável para um avanço das massas d'água oceânica sobre a plataforma adjacente ao RSF (Oliveira, 2009).

Com base na discussão acima, a maior zona de influência continental observada durante o mês de maio de 2014 está provavelmente relacionada à maior dispersão de MPS para a região oceânica no outono, fruto das oscilações mais frequentes da direção do vento local. No mês de dezembro, a influência oceânica no MPS expressou-se mais próximo à costa, resultado provável da incidência predominante dos ventos de leste e da maior capacidade de transporte da Corrente do Brasil. No presente estudo não foram analisados os dados físicos obtidos durante as duas campanhas oceanográficas, pois isso

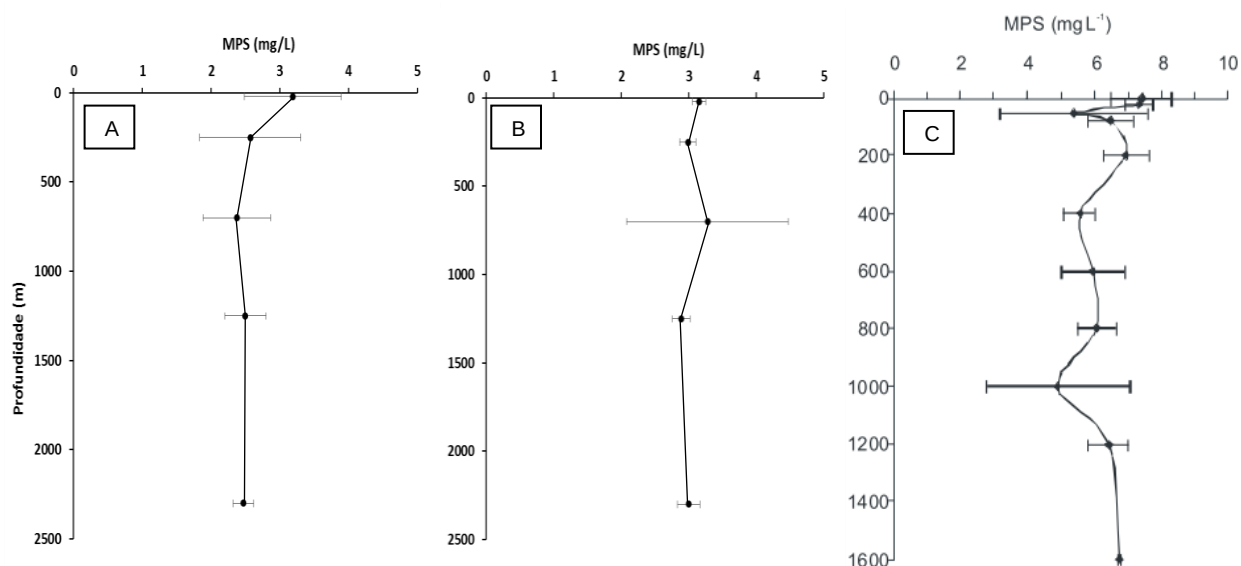
será feito por outros grupos de pesquisa envolvidos no Projeto MARSEAL. Tais dados poderiam eventualmente apoiar a discussão acima.

Nas águas do talude continental (isóbata ≥ 400 m), as concentrações de MPS variaram entre 2,72 e 9,73 mg L⁻¹ na superfície e na PMC durante o mês de maio, com um valor médio de 3,29 mg L⁻¹. No mês de dezembro esses valores variaram entre 2,66 e 3,61 mg L⁻¹, com uma média de 3,14 mg L⁻¹. Para investigar a diferença na concentração de MPS nas águas do talude continental entre os dois períodos do ano, o teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis foi executado. O resultado do teste mostrou que os dois períodos apresentaram diferença significativa entre si ($H = 5,74$; $gl = 1$; $p = 0,01$). As maiores concentrações obtidas no mês de maio podem estar relacionadas ao maior transporte *offshore* de MPS e nutrientes associado à maior oscilação dos ventos locais (Oliveira, 2009). O maior aporte de nutrientes resulta em uma maior produção primária e, conseqüentemente, em um aumento na concentração de MPS autóctone. Alternativamente, os maiores valores obtidos em maio podem estar relacionados a melhores condições de transporte vertical de nutrientes (a partir de massas d'água subsuperficiais) durante esse período.

3.2 Distribuição Vertical de MPS

Nas águas do talude continental, a distribuição vertical de MPS não apresentou grandes variações com a profundidade para as duas campanhas (Figura 8). Aparentemente, a distribuição horizontal de MPS em cada massa d'água também foi homogênea. O teste de Kruskal-Wallis foi executado para comparar a diferença na concentração de MPS em cada massa d'água entre os períodos de amostragem (chuvoso e seco). Não houve diferença significativa na concentração de MPS entre os dois períodos de amostragem em nenhuma das massas d'água de subsuperfície: ACAS ($H = 2,17$; $gl = 1$; $p = 0,14$), AIA ($H = 3,01$; $gl = 1$; $p = 0,08$), ACS ($H = 4,04$; $gl = 1$; $p = 0,12$) e APAN ($H = 2,33$; $gl = 1$; $p = 0,12$). Dessa forma, os resultados a seguir são descritos considerando os dados relativos às duas campanhas em conjunto.

Figura 8. Perfis verticais da concentração média de material particulado em suspensão (mg L^{-1}) no ambiente oceânico de Sergipe e sul de Alagoas - durante os meses de maio (A) e dezembro (B) - e no ambiente oceânico da Bacia de Campos, RJ (C). As barras de erro representam o desvio padrão dos grupos de dados de cada profundidade. O perfil da Bacia de Campos foi reproduzido de Pedrosa et al. (2006).



As concentrações de MPS na profundidade de 250 metros, correspondente ao núcleo da Água Central do Atlântico Sul (ACAS), variaram entre 0,08 e 3,52 mg L^{-1} , apresentando um valor médio de 2,78 mg L^{-1} . Na profundidade de 700 metros, correspondente ao núcleo da Água Intermediária Antártica (AIA), as concentrações de MPS variaram entre 0,98 e 3,16 mg L^{-1} , apresentando um valor médio de 2,83 mg L^{-1} .

Na profundidade de 1250 metros, correspondente ao núcleo da Água Circumpolar Superior (ACS), as concentrações de MPS variaram entre 1,93 e 3,05 mg L^{-1} , apresentando um valor médio de 2,69 mg L^{-1} . Na profundidade de 2300 metros, correspondente ao núcleo da Água Profunda do Atlântico Norte (APAN), as concentrações de MPS variaram entre 2,27 e 3,15 mg L^{-1} , apresentando um valor médio de 2,73 mg L^{-1} .

Pedrosa et al. (2006) conduziu uma análise hidroquímica da água na Bacia de Campos (RJ) entre as isóbatas de 700 e 1700 m. O material particulado em suspensão foi uma das variáveis hidroquímicas analisadas. O perfil vertical elaborado pelo autor apresentou um padrão similar ao obtido no mês de maio no presente trabalho, de forma que os maiores valores foram obtidos na camada superficial (Figura 8). As concentrações

obtidas na Bacia de Campos variaram entre 1,5 e 9,2 mg L⁻¹. Os maiores valores foram encontrados na superfície, acima dos 200 m de profundidade e, segundo Pedrosa et al. (2006), houve diferença significativa entre os valores ao longo da coluna d'água. A diferença na concentração de MPS entre as margens continentais de SE/AL e RJ está provavelmente associada à produtividade primária de ambas. As maiores concentrações obtidas por Pedrosa et al. (2006) estão provavelmente associadas ao fato do ambiente oceânico da região sudeste brasileira ser reconhecidamente mais produtivo.

Para investigar diferenças na concentração de MPS entre as diferentes massas d'água na região do talude continental, o teste de Kruskal-Wallis foi utilizado. Neste teste, foram considerados os resultados das duas campanhas em conjunto, a partir da isóbata de 400 m. A profundidade de máxima clorofila foi excluída da análise devido às variações de profundidade em cada estação de amostragem. As massas d'água comparadas foram: superfície (AT), 250 m (ACAS), 700 m (AIA), 1250 m (ACS) e 2300 m (APAN). O resultado do teste mostrou que houve diferença significativa entre as massas d'água ($H = 26,9$; $gl = 4$; $p < 0,01$). Comparando os pares de massas d'água, aqueles que apresentaram diferença significativa foram: AT e ACAS (SNK; $p = 0,02$), AT e AIA (SNK; $p = 0,0056$), AT e ACS (SNK; $p = 0,02$) e AT e APAN (SNK, $p = 0,04$). Assim, a única massa d'água distinta das demais foi a Água Tropical (AT). Essa diferença na concentração de MPS está provavelmente relacionada a produção de MPS autóctone pelos produtores primários na zona eufótica.

A diferença entre as concentrações de MPS na zona eufótica e na zona afótica também foi testada. Para a comparação foram consideradas as concentrações de MPS das duas campanhas em conjunto a partir da isóbata de 1000 metros, visto que essa faixa apresentou influência exclusivamente oceânica durante os dois meses (ver discussão acima). O grupo de amostras da zona eufótica foi formado pelas concentrações de MPS na superfície e na PMC. O grupo da zona afótica foi formado pelas concentrações nas demais profundidades (250 m, 700 m, 1250 m e 2300 m). Assim, assumiu-se que o limite entre as zonas eufótica e afótica situava-se em alguma profundidade entre a PMC (máx. = 155 m) e 250 m.

Visto que os grupos não apresentaram distribuição normal, mesmo depois da tentativa de normalização com $\log_{10}$ (Kolmogorov-Smirnov; $p < 0,01$), a diferença entre

eles foi testada por meio do teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis. O resultado do teste mostrou que houve diferença significativa entre as concentrações de MPS nas camadas eufótica e afótica ($H = 12,9$; $p < 0,01$) de forma que a camada eufótica apresentou valores significativamente maiores. Em águas oceânicas superficiais, o MPS presente é resultado, principalmente, da síntese de MOP pelos produtores primários que vivem na zona eufótica. Abaixo da zona eufótica não há mais produção de MOP via fotossíntese e os processos destrutivos da matéria orgânica são dominantes (Chester, 1990). Assim, existe a tendência da concentração de MPS ser maior na zona eufótica do que na zona afótica.

4 CONCLUSÃO

Considerando as concentrações de MPS na superfície da água (em toda a margem continental), houve uma diferença sazonal na influência do continente entre os dois meses investigados. Em maio, a influência predominantemente continental na concentração de MPS se estendeu até a isóbata de 25 metros e em dezembro ela recuou para a isóbata de 10 metros. A maior influência continental no mês de maio pode estar associada às fortes oscilações no vento local, que propiciam condições favoráveis ao transporte *offshore* do MPS costeiro. Em dezembro, a maior incidência dos ventos de leste e a intensificação da Corrente do Brasil são os prováveis fatores responsáveis pelo confinamento do MPS costeiro.

Nas águas do talude continental, as concentrações de MPS em cada massa d'água subsuperficial (ACAS, AIA, ACS e APAN) não foram diferentes entre as campanhas oceanográficas. As concentrações também não foram diferentes entre as massas d'água subsuperficiais mencionadas acima. No entanto, a concentração de MPS na superfície (AT) foi estatisticamente maior do que nas massas d'água subsuperficiais. Na superfície ainda houve diferença significativa nas concentrações superficiais de MPS entre os dois períodos amostrados, de modo que os maiores valores foram obtidos no mês de maio. Em águas oceânicas superficiais, o MPS presente é resultado, principalmente, da síntese de MOP pelos produtores primários que vivem na zona eufótica. Em maio, as condições mais favoráveis de transporte de água *offshore* podem ter contribuído para um aumento na produção primária, por meio de uma exportação mais eficiente de nutrientes em comparação com o mês de dezembro.

Os dados produzidos neste trabalho são inéditos para a plataforma externa e talude continental de Sergipe e sul de Alagoas. As informações geradas podem servir de base para futuros estudos de impacto ambiental (EIA), como, por exemplo, aqueles exigidos pelo IBAMA nos processos de licenciamento de novos empreendimentos da indústria de petróleo e gás. Além disso, esses dados também são importantes para uma melhor compreensão dos impactos gerados pelas barragens construídas ao longo do Rio São Francisco no aporte de MPS para a margem continental.

REFERÊNCIAS

Chester, R. Marine geochemistry. Londres: Chapman and Hall, 1990. 698p.

CPRM, 2015 – Serviço Geológico do Brasil. Disponível em <http://cprm.gov.br/>, acessado em 13/07/2014.

Dagg, M., Benner, R., Lohrenz, S., Lawrence, D.; Transformation of dissolved and particulate materials on continental shelves influenced by large rivers: plume processes. *Continental Shelf Research*, v.24, p. 833-858, 2004.

Figueiredo Jr., A. G. *et al.* Geomorfologia da plataforma continental da bacia Segipe-Alagoas. XIII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário ABEQUA; 2011.

Garrison, Tom. Fundamentos de Oceanografia. 1 ed. São Paulo: Cengage Learning, 2010. 526 p.

INPE 2015. Instituto Nacional de Pesquisa Espacial. Disponível em: <<http://www.inpe.br/>>, acessado em 05/07/2015.

Knoppers, B.; Medeiros, P.R.P.; Souza, W.F.L.; Jennerjahn, T. The São Francisco Estuary, Brazil. In: Wangersky, P. (ed.) *The Handbook of Environmental Chemistry*, Vol. 5- Water Pollution: estuaries. Springer Verlag, Berlin, 2006. 51-70 pp.

McCave, I.N. Transport and escape of fine-grained sediment from shelf areas. In: D.J.P. Swift, D.B. Duane and O.H. Pilkey (Editors), *Shelf Sediment Transport: Process and Pattern*. Dowden, Hutchinson and Ross, 1972, p.225-248.

Medeiros, P.R.P. Aporte Fluvial, Transformação e Dispersão do Material Biogênico no Estuário do Rio São Francisco, Após a Construção da Usina Hidroelétrica do Xingo (AL/SE). Tese (Doutorado em Geociências). Instituto de Geociências. Universidade Federal Fluminense, 2003. 145p.

Medeiros, P.R.P.; Knoppers, B.A.; Santos Junior, R.C.; Souza, W.F.L. Aporte fluvial e dispersão da matéria particulada em suspensão na zona costeira do estuário do rio São Francisco (SE/AL). *Geoch. Bras*; 2007. p. 209-228.

Milliman, J.D.; Upper continental margins sedimentation of Brazil: Part VI. A synthesis. *Contrib. Sedimentol.*, v. 4, 1975. p.151-176.

Milliman, J.D. 1991. Flux and fate of fluvial sediment and water in coastal seas. In: R.F.C. Mantoura.; J.M. Martin & R. Wollast. (Eds) *Ocean Margin Processes in Global Change*. John Wiley & Sons, New York. 60-90 pp. Oliveira A.M. 2003. Estudo hidrodinâmico-sedimentológico do Baixo São Francisco, estuário e zona costeira adjacente (AL/SE). Relatório Final. In: ANA/GEF/PNUMA/ OEA. Projeto de Gerenciamento Integrado das Atividades Desenvolvidas em Terra na Bacia do São Francisco. Universidade Federal de Alagoas, Alagoas, 33 p.

Oliveira A. M. Estudo hidrodinâmico-sedimentológico do Baixo São Francisco, estuário e zona costeira adjacente (AL/SE). Relatório Final. In: ANA/GEF/PNUMA/ OEA. Projeto de Gerenciamento Integrado das Atividades Desenvolvidas em Terra na Bacia do São Francisco. Universidade Federal de Alagoas, Alagoas, 2006. 33 p.

Oliveira, E. G. Impacto de barragens sobre a dispersão de matéria e a sustentabilidade da pluma costeira do Rio São Francisco (AL/SE): análise espacial e temporal por sensoriamento remoto. Tese (Doutorado em Geociências). Instituto de Química. Universidade Federal Fluminense, 2009. 158 p.

Pedrosa, P; Susuki, M. S.; Rezende, C. E. Hidroquímica de massas d'água oceânicas em regiões da margem continental brasileira, Bacia de Campos, Estado do Rio de Janeiro, Brasil. *Geochimica Brasiliensis* (Rio de Janeiro), v. 20, 2006. p. 104-122.

Rodrigues, R. R.; Rothstein, L. M.; Wimbush, M. Seasonal variability of the South equatorial current bifurcation in the atlantic ocean: a numerical study. *Journal of Physical Oceanography*, v.37, 2006. p.16-30.

Santos, C. M. M. Geoquímica do carbono e nitrogênio orgânico particulado transportados durante um ano hidrológico (1984-1985) pelo rio São Francisco, Brasil e transferidos ao

seu estuário. Tese (Mestrado em Geoquímica). Instituto de Geografia. Universidade Federal da Bahia, 1993, 70 p.

Santos, E.S.; Aplicação de marcadores geoquímicos para avaliação dos impactos nas barragens nos sedimentos do estuário do Rio São Francisco (SE/AL). Tese (Doutorado em Geoquímica). Instituto de Geociências. Universidade Federal Fluminense, 2007, 139p.

SEMARH, 2015 – Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos. Disponível em <http://semarh.se.gov.br>, acessado em 13/07/2015.

Silveira, I. C. A. Da, Schmidt, A. C. K., Campos, E. J. D., Godoi, S. S. De & Ikeda, Y. A corrente do Brasil ao largo da costa leste brasileira. *Brazilian J. Oceanogr.* 48, 2000. p 171–183.

SIRHSE 2015. Sistema de Informação Sobre Recursos Hídricos. Disponível em <http://sirhse.semarh.se.gov.br>, acessado em 02/07/2015.

Souza, W.L.F & Knoppers, B. Fluxos de água e sedimentos a costa leste do Brasil: relações entre a tipologia e as pressões antrópicas. *Geoch. Bras.* 2003. p 57-074.

Stramma, L. & England, M. On the water masses and mean circulation of the South Atlantic Ocean. *Geophys. Res.*1999.

Swift, D.J.P. Coastal sedimentation. In: D.J. Stanley and D.J.P. Swift (Editors), *Marine Sediment Transport and Environmental Management*. Wiley, New York, 1976. p. 255-310.

Teixeira, W.; Toledo, M. C. M.; Fairchild, T. R.; Taioli, F. (Orgs.) *Decifrando a Terra*. São Paulo: Oficina de Textos, 2000. 568 p.

Werneck-Lima, J.E.F.; Santos, P.M.C. dos; Chaves, A.C.M.; Scilewski, L.R. Diagnóstico do fluxo de sedimentos em suspensão na Bacia do Rio São Francisco. ANEEL-ANA, Embrapa Cerrados, Brasília, 2001.108p.

Wright, L.D.; Sediment transport and deposition at river mouths: a synthesis. *Geol Soc Am Bull*, v.88, p.857–868, 1977.

APÊNDICE

Apêndice 1. Concentração de material particulado em suspensão (MPS) nas amostras coletadas nas duas campanhas oceanográficas: período chuvoso (maio de 2014) e período seco (dezembro de 2014).

ID Amostra	Estação	Profundidade (m)	MPS (mg L ⁻¹)	
			Período Chuvoso	Período Seco
OM01150	A1	1	14,45	9,98
OM01151	A1	10	11,27	7,78
OM01152	A2	1	5,05	4,00
OM01153	A2	11	6,32	4,40
OM01154	A3	1	4,54	2,88
OM01155	A3	16	6,68	3,14
OM01156	A4	1	3,19	3,17
OM01157	A4	78	2,87	3,12
OM01158	A4	250	2,45	2,78
OM01159	A6	1	2,85	3,21
OM01160	A6	100	2,88	2,96
OM01161	A6	250	2,84	2,96
OM01162	A6	700	2,79	2,97
OM01163	A8	1	4,27	3,20
OM01164	A8	105	2,71	3,25
OM01165	A8	250	2,51	2,99
OM01166	A8	700	2,55	7,07
OM01167	A8	1250	2,36	2,79
OM01168	A9	1	2,84	3,19
OM01169	A9	90	2,53	2,93
OM01170	A9	250	2,64	2,95
OM01171	A9	700	2,50	2,86
OM01172	A9	1250	2,70	3,03
OM01173	A9	2300	2,56	2,80
OM01176	B1	1	16,30	7,34
OM01177	B1	5	16,70	8,58
OM01178	B2	1	7,95	6,24
OM01179	B2	11	11,87	6,54

Apêndice 1 (continuação). Concentração de material particulado em suspensão (MPS) nas amostras coletadas nas duas campanhas oceanográficas: período chuvoso (maio de 2014) e período seco (dezembro de 2014)

ID Amostra	Estação	Profundidade (m)	MPS (mg L ⁻¹)	
			Período Chuvoso	Período Seco
OM01180	B3	1	10,30	3,69
OM01181	B3	24	11,10	3,69
OM01182	B4	1	4,71	3,27
OM01183	B4	63	9,73	3,21
OM01184	B4	250	3,39	2,92
OM01185	B6	1	2,75	3,00
OM01186	B6	88	2,76	3,61
OM01187	B6	250	2,69	3,22
OM01188	B6	700	2,75	2,91
OM01189	B8	1	2,60	3,02
OM01190	B8	96	2,62	3,28
OM01191	B8	250	3,52	2,92
OM01192	B8	700	2,59	2,93
OM01193	B8	1250	2,94	2,83
OM01194	B9	1	2,85	3,11
OM01195	B9	100	2,48	3,28
OM01196	B9	250	2,76	3,00
OM01197	B9	700	2,78	2,78
OM01198	B9	1250	2,34	3,01
OM01199	B9	2300	2,27	3,15
OM01200	C1	1	9,26	4,57
OM01201	C1	8	8,90	4,61
OM01202	C2	1	5,30	3,47
OM01203	C2	13	3,06	3,98
OM01204	C3	1	4,33	5,50
OM01205	C3	25	5,64	5,77
OM01206	C4	1	4,06	3,26
OM01207	C4	46	4,30	3,32
OM01208	C4	250	2,44	3,23
OM01209	C6	1	2,94	3,17

Apêndice 1 (continuação). Concentração de material particulado em suspensão (MPS) nas amostras coletadas nas duas campanhas oceanográficas: período chuvoso (maio de 2014) e período seco (dezembro de 2014)

ID Amostra	Estação	Profundidade (m)	MPS (mg L ⁻¹)	
			Período Chuvoso	Período Seco
OM01210	C6	82	3,13	3,07
OM01211	C6	250	2,57	3,10
OM01212	C6	700	2,44	3,16
OM01213	C8	1	2,52	3,11
OM01214	C8	92	2,64	3,14
OM01215	C8	250	2,59	3,09
OM01216	C8	700	2,46	2,98
OM01217	C8	1250	2,64	3,05
OM01218	C9	1	2,38	3,19
OM01219	C9	82	2,82	3,17
OM01220	C9	250	2,43	2,86
OM01221	C9	700	2,36	3,06
OM01222	C9	1250	1,93	2,90
OM01223	C9	2300	2,60	3,12
OM01224	D1	1	6,09	18,18
OM01225	D1	12	10,45	54,17
OM01226	D2	1	5,23	10,03
OM01227	D2	20	9,83	21,67
OM01228	D3	1	2,95	5,42
OM01229	D3	36	5,81	5,84
OM01230	D4	1	4,11	3,30
OM01231	D4	50	4,38	3,19
OM01232	D4	250	2,52	2,88
OM01233	D6	1	3,10	2,96
OM01234	D6	74	2,72	2,66
OM01235	D6	250	2,97	2,89
OM01236	D6	700	2,08	2,85
OM01237	D8	1	3,09	3,10
OM01238	D8	122	2,98	3,00
OM01239	D8	250	0,08	2,97
OM01240	D8	700	0,98	2,92
OM01241	D8	1250	2,54	2,80

Apêndice 1 (continuação). Concentração de material particulado em suspensão (MPS) nas amostras coletadas nas duas campanhas oceanográficas: período chuvoso (maio de 2014) e período seco (dezembro de 2014)

ID Amostra	Estação	Profundidade (m)	MPS (mg L ⁻¹)	
			Período Chuvoso	Período Seco
OM01242	D9	1	2,71	3,12
OM01243	D9	90	2,88	2,95
OM01244	D9	250	2,71	2,99
OM01245	D9	700	2,23	2,82
OM01246	D9	1250	2,51	2,68
OM01247	D9	2300	2,43	2,91