



DISTRIBUIÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA EM SEDIMENTOS SUPERFICIAIS DE UM ESTUÁRIO TROPICAL HIPEREUTROFIZADO (BACIA DO PINA - PE, BRASIL)

Bruno Varella Motta da COSTA^{1*}

¹Departamento de Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brasil. E-mail: brunovmcosta@gmail.com

*Autor correspondente

RESUMO. Estuários recebem aportes de matéria orgânica (MO) de múltiplas fontes. Esses aportes ficam registrados no sedimento, onde a MO se distribui nas frações granulométricas. O objetivo do presente trabalho foi avaliar a distribuição da MO em sedimentos de um estuário tropical eutrofizado (Bacia do Pina - PE, Brasil). Amostras (n = 13) de sedimento foram coletadas em dezembro de 2014, processadas para separação das frações granulométricas e analisadas quanto ao percentual de carbono inorgânico, carbono orgânico (CO), carbono total (CT) e concentração de pigmentos fotossintéticos (clorofila + feopigmentos). A predominância de CO na composição do CT sedimentar refletiu maiores aportes de MO de produtores primários e fontes antrópicas relativamente à produção secundária de organismos bentônicos. A concentração de pigmentos no sedimento foi reduzida e não refletiu a eutrofização da área de estudo. Os produtos de degradação dos pigmentos predominaram no sedimento, indicando que o microfitobentos não contribuiu na composição da MO sedimentar. O CO sedimentar se concentrou nas frações granulométricas silte e argila, que contiveram em média 88% do CO sedimentar. A distribuição de CO no sedimento integral e na fração areia fina foi regulada pelo percentual de lama no sedimento, refletindo o controle hidrodinâmico sobre a deposição de partículas.

Palavras-Chave: carbono orgânico, carbono inorgânico, clorofila, feopigmentos, eutrofização.

ABSTRACT. Estuaries receive organic matter (OM) from multiple sources. These inputs are registered in sediments, where OM is distributed among the granulometric fractions. The aim of this work was to evaluate the OM distribution in surface sediments of an eutrophic tropical estuary (Pina Sound - PE, Brazil). Sediment samples (n = 13) were collected in December 2014 and then processed in order to separate the granulometric fractions. Sedimentary inorganic carbon, organic carbon (OC), total carbon (TC) and pigments (chlorophyll + pheopigments) contents were determined using established analytical methods. The predominance of sedimentary OC over inorganic carbon reflected higher OM inputs from primary producers and anthropogenic sources than secondary production of benthic organisms. Sedimentary pigments content were low and did not reflect the eutrophic condition of Pina Sound. Pigment-derived degradation products (pheopigments) predominated in sediments, indicating that microphytobenthos did not contribute significantly to sedimentary OM composition. Sedimentary OC concentrated in fine-grained particles such as silt and clay. On average, silt and clay contained 88% of sedimentary OC. The distribution of sedimentary OC in bulk sediments and fine sand fraction was regulated by sedimentary mud content, reflecting the hydrodynamic control on deposition of suspended particles.

Keywords: organic carbon, inorganic carbon, chlorophyll, pheopigments, eutrophication.

INTRODUÇÃO

Matéria orgânica (MO) é uma expressão genérica que designa a mistura de compostos orgânicos no ambiente. O aporte de MO controla processos-chave nos ecossistemas marinhos, como a regulação dos níveis de O₂ dissolvido e a reciclagem de nutrientes (Pinckney *et al.*, 2001), a penetração da luz solar e a produção primária (Rezende *et al.*, 2010), o sequestro de CO₂ da atmosfera e a preservação de carbono orgânico (CO) no sedimento (Andrews *et al.*, 2008; Watanabe and Kuwae, 2015). Nas últimas décadas, ecossistemas costeiros registraram aportes excessivos de MO (eutrofização) devido à crescente urbanização nas bacias hidrográficas (Diaz and Rosenberg, 2008; Nixon, 1995).

Ecossistemas costeiros como os estuários atuam como filtros biogeoquímicos que retêm e mineralizam a MO produzida e/ou liberada por fontes biogênicas e antrópicas (Cloern *et al.*, 2014; Maher and Eyre, 2012). Nesses ecossistemas, a retenção da MO ocorre principalmente através da deposição de partículas finas em suspensão sob condições hidrodinâmicas calmas (Maciel *et al.*, 2016; Pejrup, 1988; Schettini *et al.*, 2013), formando a matriz sedimentar. No sedimento, a distribuição, isto é, concentração, da MO varia em função do percentual de partículas finas depositadas e da magnitude dos aportes orgânicos tais como produtividade primária marinha (Fagherazzi *et al.*, 2014; Lesen, 2006).

A distribuição da MO sedimentar tem sido estudada utilizando diferentes marcadores biogeoquímicos (Emerson and Hedges, 2008). Alguns marcadores são específicos, relacionando-se a determinadas fontes ou processos (e.g. clorofila e feopigmentos quantificam a produção primária marinha e a degradação da MO lábil) (Bianchi *et al.*, 2000; Leavitt, 1993), enquanto outros marcadores são generalistas (e.g. teor de MO ou CO sedimentar) (Emerson and Hedges, 2008). A utilização conjunta desses marcadores permite avaliar a distribuição e composição da MO no sedimento e em diferentes frações granulométricas (Liu *et al.*, 2013; Megens *et al.*, 2002; Ogrinc *et al.*, 2005).

A Bacia do Pina está inserida na densamente povoada cidade de Recife (nordeste do Brasil), que contém aproximadamente 1,6 milhão de habitantes e densidade demográfica de 7.494 habitantes km⁻² (Fig. 1; IBGE, 2017). Esse estuário tem sido caracterizado como ambiente de retenção de MO proveniente de manguezais (área ~ 3,2 km²) (Ferreira and Lacerda, 2016), fragmentos de Mata Atlântica (~ 13,4 km²) (CPRH, 2016), produtores primários planctônicos (Santiago *et al.*, 2010) e bentônicos (e.g. tapetes de algas, Santos *et al.*, 2009) bem como fontes antrópicas difusas (e.g. esgoto doméstico; Maciel *et al.*, 2016; Zanardi-Lamardo *et al.*, 2016). Aportes excessivos de MO originam condição de eutrofia (produtividade primária planctônica > 11 mg C m⁻² h⁻¹) na Bacia do Pina (Feitosa and Passavante, 1991; Nixon, 1995). Como consequência, produtores fitoplanctônicos, esgoto doméstico e plantas superiores são as principais fontes da MO sedimentar no sublitoral da Bacia do Pina (Oliveira *et al.*, 2014).

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a distribuição da MO em sedimentos superficiais da Bacia do Pina. A distribuição da MO foi avaliada no sedimento integral e em diferentes frações granulométricas para identificar qual fração contém a maior proporção da MO sedimentar. Adicionalmente, os fatores que regulam a distribuição da MO sedimentar foram avaliados.

MATERIAIS E MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDO

A Bacia do Pina está inserida no Sistema Estuarino do Rio Capibaribe (SERC), recebendo aportes orgânicos através dos rios Capibaribe, Jordão, Tejió e do canal de maré chamado Rio Pina (Fig. 1). Ao longo do ano, as normais climatológicas na área de estudo definem claramente dois períodos: seco (setembro-fevereiro) e chuvoso (março-agosto). O período seco é caracterizado por normais climatológicas de baixa pluviosidade acumulada ($< 150 \text{ mm mês}^{-1}$), alta insolação total (240 h mês^{-1}) e temperatura média compensada de 26 °C (INMET, 2017). Em contraste, o período chuvoso exibe alta pluviosidade acumulada ($> 200 \text{ mm mês}^{-1}$), baixa insolação total (185 h mês^{-1}) e temperatura média compensada de 25 °C (INMET, 2017).

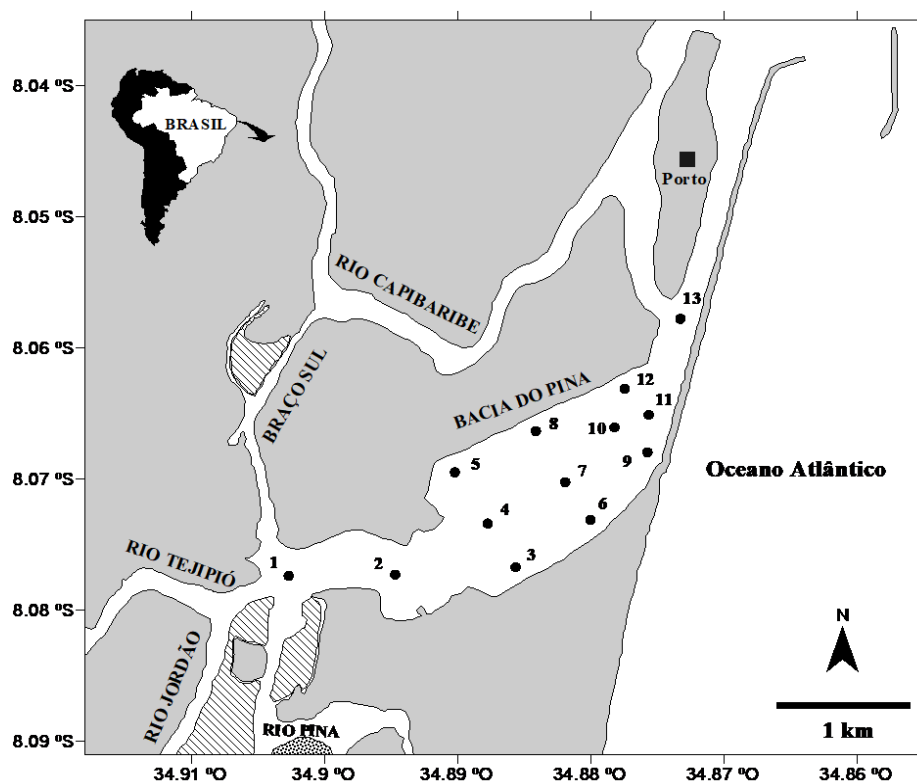


Figura 1. Estações de coleta na Bacia do Pina, localizada na costa de Pernambuco, Brasil. As áreas hachuradas representam viveiros de cultivo de camarão. A área pontilhada representa uma porção do Parque dos Manguezais. Os círculos representam as estações de coleta na região sublitoral.

O SERC recebe aportes elevados de nutrientes de fontes difusas (Noriega and Araujo, 2009; Zanardi-Lamardo *et al.*, 2016). Esse estuário tem sido classificado como eutrófico a hipereutrófico devido aos elevados valores de produção e produtividade primárias observados na coluna de água (Anjos *et al.*, 2012; Feitosa *et al.*, 1999; Flores-Montes *et al.*, 2011; Santiago *et al.*, 2010). As estimativas de produção primária terrestre e aquática no SERC ainda são escassas (Tab. 1), porém sugerem maior aporte de MO proveniente da produção primária terrestre e aquática no período seco relativamente ao chuvoso.

Tabela 1. Dados de biomassa, produção primária e produtividade primária dos principais grupos de produtores primários inseridos no Sistema Estuarino do Rio Capibaribe (PE, Brasil). Legenda: FT = fonte terrestre; FAD = fonte aquática dulcícola; FAE = fonte aquática estuarina; FAM = fonte aquática marinha.

Grupo	Descrição	Área (km ²)	Biomassa (t C km ⁻²)	Produção (mg C m ⁻²)		Produtividade (mg C m ⁻² h ⁻¹)		Referência
				Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	
FT	Mata Atlântica	13,4	4850	121000 ^a	54000	20 ^b	20	CPRH (2016); Jende <i>et al.</i> (2011); Silva and Silva (2014)
	Manguezal	3,20						Ferreira and Lacerda (2016)
FAD	Macroalga		241 ^c / 363 ^d					Xavier <i>et al.</i> (2016)
	Fitoplâncton			120 ^e	8			Almeida <i>et al.</i> (2012)
FAE	Fitoplâncton			12 ^f	3,29	92	9,23	Anjos <i>et al.</i> (2012); Feitosa and Passavante (1991); Nascimento <i>et al.</i> (2003)
	Microfitobentos			305 ^g				Valença and Santos (2013)
FAM	Fitoplâncton			4,44 ^h	5,83			Resurreição <i>et al.</i> (1996)

^{a,b} Produção e produtividade de serapilheira, assumindo que o C compõe 50% da biomassa vegetal. ^c Biomassa média de macroalgas na área urbana do Rio Capibaribe, assumindo que o C compõe 50% da biomassa seca. Anualmente, essa biomassa varia entre 211 e 282 t C km⁻² (Xavier *et al.*, 2016). ^d Biomassa média de macroalgas na área não urbana do Rio Capibaribe, assumindo que o C compõe 50% da biomassa seca. Anualmente, essa biomassa varia entre 320 e 430 t C km⁻² (Xavier *et al.*, 2016). ^e Produção primária média anual no Açude de Apipucos (PE, Brasil), variando entre 68 e 173 mg C m⁻² no período seco e entre 7 e 10 mg C m⁻² no período chuvoso. A unidade original (mg (Clorofila *a*)/m³) foi convertida para a base de área (m²) conforme descrito em Kampel (2003). ^f Produção primária média anual no baixo estuário do SERC, variando entre 3,35 e 24 mg C m⁻² no período seco (Nascimento *et al.*, 2003). ^g Produção primária média (*n* = 3) no sublitoral raso, que fica exposto à luz durante a maré baixa. ^h Produção primária média anual na plataforma continental (estação localizada a 18 km da entrada do Porto do Recife), variando entre 3,30 e 5,84 mg C m⁻² no período seco e entre 2,51 e 11 mg C m⁻² no período chuvoso (Resurreição *et al.*, 1996).

COLETA E PROCESSAMENTO DAS AMOSTRAS DE SEDIMENTO

Amostras (*n* = 13) de sedimento foram coletadas no sublitoral, isto é, região permanentemente coberta por água (Lalli and Parsons, 1997), da Bacia do Pina (Fig. 1). As

amostras foram coletadas em dezembro de 2014 utilizando um amostrador van Veen (área superficial igual a 0,051 m²). A camada superficial (0 - 10 cm) foi removida com colher de aço inoxidável, acondicionada em recipientes de alumínio e mantida refrigerada em caixa térmica. No laboratório, as amostras foram congeladas a -20 °C para posterior processamento. Alíquotas do sedimento integral foram separadas e destinadas para análise granulométrica, análise elementar, concentração de clorofila e concentração de feopigmentos. Após separação das alíquotas, o sedimento total foi processado para separação das frações areia média (AM, de 250 a 500 µm), areia fina (AF, de 125 a 250 µm), areia muito fina (AMF, de 63 a 125 µm), silte (de 4 a 63 µm) e argila (< 4 µm).

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA E SEPARAÇÃO DAS FRAÇÕES

A análise granulométrica do sedimento foi conduzida conforme proposto por Suguio (1973). Sedimento seco foi previamente submetido a tratamento de digestão com peróxido de hidrogênio (H₂O₂, 10% m/v) por 96 h para remoção do excesso de MO (Schumacher, 2002). Em seguida, o sedimento foi peneirado através de malha de 63 µm utilizando água destilada para separação das frações areia (≥ 63 µm) e lama (< 63 µm). As frações areia foram separadas através de peneiramento seco em agitador mecânico e a massa contida em cada peneira foi pesada. A suspensão contendo a fração lama foi submetida à técnica da pipetagem para amostragem das frações silte e argila. Antes da pipetagem, 1 g do anti-floculante pirofosfato de sódio anidro ([Na₄P₂O₇] = 3,75 mM) foi adicionado à suspensão, homogeneizando-a e aferindo o volume para 1 L. Após adição do pirofosfato, esperou-se um período mínimo de 4 h para iniciar a pipetagem utilizando uma pipeta graduada de 20 mL. Após pipetagem, a suspensão de finos foi transferida para béquer previamente pesado e seca em estufa. Em seguida, o béquer seco foi pesado para quantificação da massa de sedimentos finos.

As frações AM, AF, AMF, silte e argila foram também separadas para posterior análise elementar. O sedimento integral foi peneirado por via úmida para separação das frações areia e lama. O peneiramento úmido foi escolhido para evitar efeitos associados a tratamentos como liofilização e sonicação do sedimento tais como formação e destruição de agregados de partículas (silte e argila), respectivamente (Barbanti and Bothner, 1993; Liu *et al.*, 2013). A fração areia foi liofilizada e submetida ao peneiramento seco para separação das frações AM, AF e AMF. A fração lama foi transferida para tubos de centrífuga de 50 mL e centrifugada para separação das frações silte (0,004 a 0,063 mm) e argila (< 0,004 mm) (Poppe *et al.*, 1988). O tempo de centrifugação (TC) necessário para separação das frações silte e argila foi estimado a partir da Eq. 1 (Poppe *et al.*, 1988).

$$T_C = 0,114 \times \frac{\eta \ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)}{r^2 N^2 (\rho - \rho_0)} \quad / \text{Eq. 1/}$$

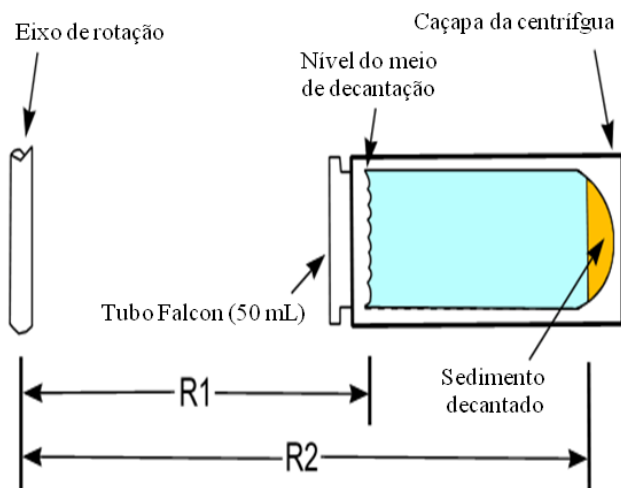


Figura 2. Esquema das distâncias (cm) dos raios inicial (R_1) e final (R_2) em relação ao eixo da centrífuga (modificado de Poppe and Eliason, 2009).

onde: T_C é o tempo de centrifugação (s); η e ρ_0 são a viscosidade (poise) e a densidade (g cm^{-3}) do meio de decantação (água destilada) a 25 °C; R_1 (7 cm) e R_2 (15,7 cm) são os raios da centrífuga em relação ao seu eixo de rotação (Fig. 2); r é o raio (cm) das partículas de argila a serem separadas, equivalendo a

0,000195 cm; N é a velocidade angular (rotações por segundo) programada na centrífuga; ρ é a densidade média das partículas, equivalendo a $2,65 \text{ g cm}^{-3}$. Dessa forma, o T_C estimado para separação de silte e argila a $8,3 \text{ rev s}^{-1}$ (500 rpm) foi aproximadamente 180 s.

ANÁLISE ELEMENTAR

Os percentuais de carbono inorgânico (CI) e carbono orgânico (CO) foram quantificados no sedimento integral e nas frações AM, AF, AMF, silte e argila. As amostras foram inicialmente descarboxatadas conforme descrito em procedimento de operação padrão para quantificação do percentual de CI e posterior quantificação de CO (Vieira-Campos *et al.*, 2017).

Os percentuais de CO foram determinados nas amostras descarboxatadas utilizando um analisador elementar EuroVector (modelo EA3000). O analisador elementar foi configurado com um reator CHN contendo óxido de cromo (Cr_2O_3), cobre elementar (Cu) e óxido de cobalto envelopado com prata ($\text{Co}_3\text{O}_4/\text{Ag}$). A quantificação dos percentuais elementares foi feita após determinação do fator de resposta (fator K) do analisador elementar utilizando sedimento certificado (CO = 9,15%) (Costa and Yogui, 2017). O percentual de CO foi corrigido para a massa original das amostras, ou seja, antes da descarboxatação, utilizando a Eq. 2 (Hedges and Stern, 1984).

$$E_C = E_O \times \left(\frac{100 - P_{\text{CaCO}_3}}{100} \right) \quad \text{/Eq. 2/}$$

onde: E_C equivale ao percentual de CO corrigido; E_O equivale ao percentual original e P_{CaCO_3} equivale ao percentual de carbonato de cálcio do sedimento.

BALANÇO DE MASSAS DO PERCENTUAL DE CARBONO ORGÂNICO

O balanço de massas foi conduzido para avaliar a proporção de CO contido em cada fração do sedimento. Esse balanço utilizou a proporção das frações granulométricas AM, AF, AMF, silte

e argila no sedimento integral e os percentuais elementares em cada fração através da Eq. 3 (Megens *et al.*, 2002).

$$M_{CO} = f_{AM} \times PE_{AM} + f_{AF} \times PE_{AF} + f_{AMF} \times PE_{AMF} + f_{Silte} \times PE_{Silte} + f_{Argila} \times PE_{Argila} \quad /Eq. 3/$$

onde: M_{CO} é a massa estimada de carbono orgânico presente no sedimento integral; f é a proporção de cada fração granulométrica, isto é, o percentual da fração dividido por 100 e PE é a proporção elementar de CO em cada fração, isto é, o percentual de CO dividido por 100. Após obtenção do M_{CO} foi calculada a proporção de CO presente em cada fração. Assumiu-se inicialmente que as frações cascalho, areia muito grossa e areia grossa não continham proporções significativas de CO. Dessa forma, o balanço de massas não incluiu essas frações.

QUANTIFICAÇÃO DE CLOROFILA E FEOPIGMENTOS

Alíquotas de sedimento integral foram liofilizadas no escuro por 24 h para posterior extração dos pigmentos (Brito *et al.*, 2009). Para extração, 0,5 g de sedimento liofilizado foi pesado em tubos de centrífuga (15 mL), adicionando-se em seguida 10 mL de acetona (90% v/v em água destilada). Os tubos foram agitados manualmente e mantidos em freezer a -20 °C por aproximadamente 20 h. Após esse período, os tubos foram centrifugados (4000 rpm por 15 min) e os extratos foram destinados para leitura no espectrofotômetro. A absorbância dos extratos foi medida nos comprimentos de onda 630, 647, 664, 665 e 750 nm - antes e após acidificação com 100 µL de HCl (0,1 M) (EPA, 1997). As equações de Lorenzen (1967) foram utilizadas para quantificar a concentração de clorofila a e de feopigmentos nos extratos (Eqs 4 e 5).

$$[C_E a] = A \times K \times (665_0 - 665_a) \quad /Eq. 4/$$

$$[C_E feop] = A \times K \times (R \times 665_0 - 665_a) \quad /Eq. 5/$$

onde: respectivamente; A é o coeficiente de absorção da clorofila (11); K é a constante que relaciona a redução da absorbância à concentração de clorofila (2,43); R é a razão máxima entre as absorbâncias (665₀:665_a) na ausência de feopigmentos (1,7); 665₀ é a absorbância antes da acidificação (corrigida para as leituras de turbidez feitas no comprimento de onda 750 nm); e 665_a é a absorbância após acidificação (também corrigida para as leituras de turbidez feitas no comprimento de onda 750 nm).

As concentrações de clorofila e feopigmentos dos extratos foram relativizadas à massa de sedimento submetido a extração através da Eq. 6 (EPA, 1997).

$$[C_S] = \frac{C_E \times v}{m_a \times l} \quad /Eq. 6/$$

onde: C_S é a concentração (µg (Clorofila) g⁻¹p.s.) de pigmento no sedimento na base de peso seco (p.s.); C_E é a concentração (mg L⁻¹) de pigmento no extrato; v é o volume de acetona usado para extração (10 mL); m_a é a massa (g) de sedimento extraído; e l é o caminho ótico da cubeta (1 cm). A precisão média da quantificação de clorofila e feopigmentos foi 0,78 µg g⁻¹ p.s. e 3,76 µg g⁻¹ p.s., respectivamente.

ANÁLISE ESTATÍSTICA

A normalidade das variáveis e dos resíduos bem como a homogeneidade das variâncias foram avaliadas utilizando os testes de Anderson-Darling e Bartlett, respectivamente. Esses testes indicaram que os percentuais de CO nas frações AM e AF não se ajustaram à distribuição normal e não apresentaram variâncias homogêneas. Por isso, o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis foi utilizado para comparar os percentuais medianos de CI e CO entre as frações do sedimento (H_0 = não há diferenças significativas entre os percentuais elementares das frações). Após rejeição de H_0 , o teste a posteriori de Dunn foi utilizado para identificar as diferenças significativas. A análise de correlação de Pearson foi utilizada para avaliar a relação entre as variáveis após logaritmização dos percentuais de CO nas frações AM e AF. O teste t avaliou a significância estatística desses coeficientes de correlação. Em todos os testes foi utilizado o nível de significância (α) igual a 0,05.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA E DISTRIBUIÇÃO DA MOS NO SEDIMENTO INTEGRAL

O sedimento coletado na Bacia do Pina apresentou percentual de cascalho reduzido (< 10%), com exceção da amostra coletada na estação 6 (28%) (Fig. 3). A fração areia compôs de 7 a 80% do sedimento integral (Fig. 3), sendo predominantemente composta pelas frações AM, AF e AMF. As frações cascalho, areia muito grossa e areia grossa foram compostas por pedregulhos, grãos de areia e fragmentos de conchas de moluscos. Em contraste, as frações AM, AF e AMF foram compostas por grãos de areia, fragmentos de moluscos e detritos provenientes de plantas superiores. Os percentuais de silte e argila, que formam a fração lama, variaram de 4,5 a 34% e de 12 a 57%, respectivamente. A fração argila predominou sobre a fração silte em todas as amostras (Fig. 3).

Os percentuais de CI e CO variaram de 1,39 a 3,80% e de 0,69 a 3,42%, respectivamente. A soma dos percentuais de CI e CO equivale ao percentual de carbono total (CT) no sedimento (Schumacher, 2002), que variou de 2,18 a 6,49% (Fig. 4). O CT sedimentar foi predominantemente composto por CI nas estações 1, 2, 4, 6 e 10 (Fig. 4), enquanto o CO predominou nas estações 5, 7, 8, 11, 12 e 13 (Fig. 4). Nas estações 3 e 9 não houve predominância de CI ou CO (Fig. 4). Em sedimentos estuarinos, o CI sedimentar é um marcador da produção secundária de moluscos, foraminíferos e ostrácodos (Bouillon *et al.*, 2011), enquanto o percentual de CO reflete o aporte de MO de fontes biogênicas (e.g. biomassa e detritos) e antrópicas (Andrews *et al.*, 2008). Na Bacia do Pina, a predominância do CI sedimentar reflete a elevada produção secundária de moluscos bivalves amplamente utilizados como recurso alimentar e o descarte das conchas desses organismos pelos marisqueiros (Galeão and Souza, 2015; Oliveira *et al.*, 2014). Em contraste, a predominância do CO

sedimentar reflete a elevada produção primária na coluna de água da Bacia do Pina (ver estimativas na Tab. 1) e o aporte de detritos.

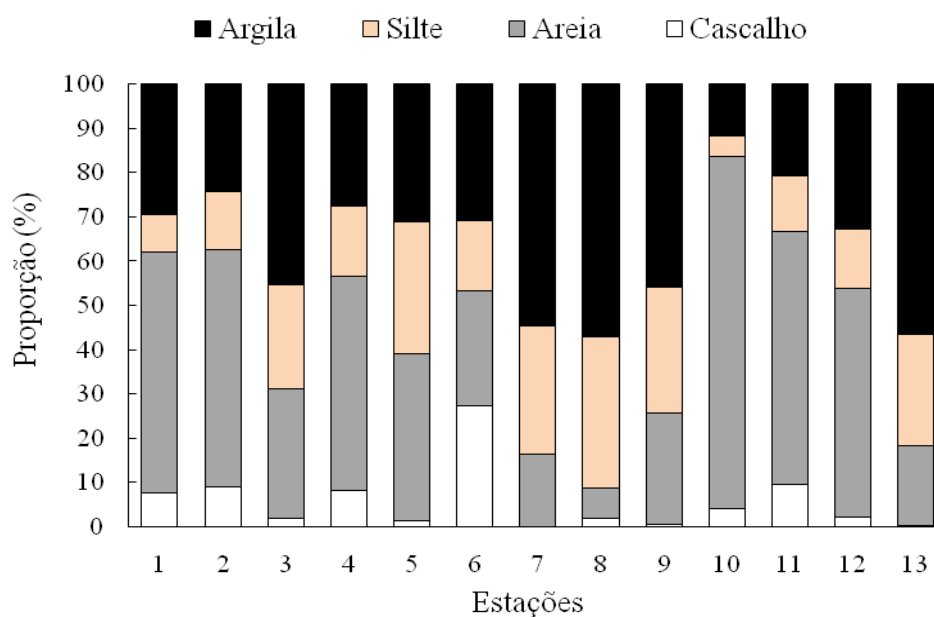


Figura 3. Distribuição percentual das frações granulométricas no sedimento coletado na Bacia do Pina.

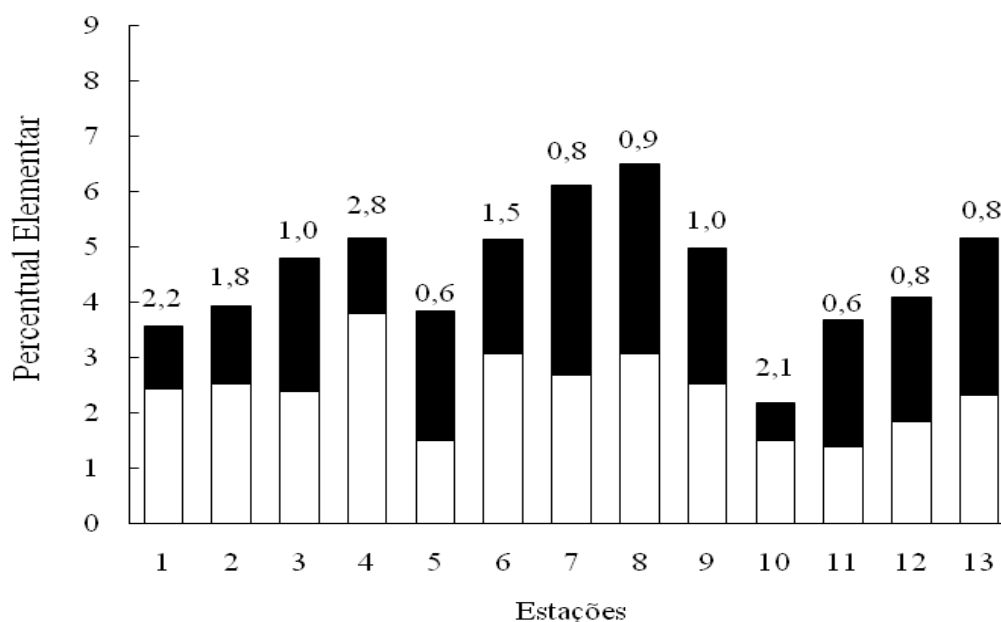


Figura 4. Percentuais elementares de carbono inorgânico (barras não preenchidas) e carbono orgânico (barras preenchidas) no sedimento integral coletado na Bacia do Pina. Os números apresentados equivalem à razão entre os percentuais de carbono inorgânico e orgânico.

A contribuição de fontes biogênicas, isto é, produtores primários, para a composição da MO sedimentar foi estimada a partir da concentração de clorofila a. Essa concentração variou de 2,9 a 33 $\mu\text{g g}^{-1}$ p.s. (mediana: 5,9 $\mu\text{g g}^{-1}$ p.s.). A concentração de clorofila a nos sedimentos da Bacia do Pina foi similar aos valores reportados para sedimentos de ecossistemas costeiros em outras regiões do mundo (Tab. 2). A concentração de clorofila a no sedimento é um marcador da produtividade primária do fitoplâncton e do microfitobentos (Burford *et al.*, 1994; Lesen, 2006). A produtividade primária planctônica é sensível a aportes elevados de MO e nutrientes, com valores maiores que 11 $\text{mg C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ sendo observados em ecossistemas costeiros eutrofizados (Nixon, 1995). No período seco, a Bacia do Pina é caracterizada como um estuário hipereutrófico (produtividade primária: 92 $\text{mg C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) (ver Tab. 1). Apesar disso, a concentração de clorofila a no sedimento superficial parece não refletir a eutrofização na área de estudo. Isso provavelmente ocorre porque a produção primária do fitoplâncton e do microfitobentos é predominantemente consumida por herbívoros, degradada ($\sim 90\%$ da produção) e transportada antes de ser preservada na MO sedimentar (Cloern *et al.*, 2014; Duarte and Cebrián, 1996).

A concentração de clorofila a foi normalizada para a base de CO a fim de avaliar a contribuição da produção do microfitobentos para composição da MO sedimentar (Moreno and Niell, 2004). Essa concentração foi reduzida ($< 4000 \mu\text{g g}^{-1} \text{ CO}$) (Moreno and Niell, 2004), variando de 129 a 964 $\mu\text{g g}^{-1} \text{ CO}$ (mediana: 409 $\mu\text{g g}^{-1} \text{ CO}$). Isso indica que o microfitobentos não contribui significativamente na composição da MO sedimentar no sublitoral da Bacia do Pina. Essa análise é corroborada pela quantificação dos feopigmentos, cujas concentrações variaram de 18 a 112 $\mu\text{g g}^{-1}$ p.s. (mediana: 40 $\mu\text{g g}^{-1}$ p.s.). A razão feopigmentos/clorofila a variou de 3,4 a 12 (mediana: 6,3), indicando predominância de detritos na composição dos pigmentos. Em sedimentos com elevada contribuição do microfitobentos normalmente observam-se razões feopigmentos/clorofila a próximas do valor unitário (Gontharet *et al.*, 2015; Valença and Santos, 2013). A elevada razão feopigmentos/clorofila a nas amostras coletadas no sublitoral da Bacia do Pina reflete os processos de degradação da produção fitoplanctônica. No sublitoral da Bacia do Pina, a profundidade varia de 3 a 5 m (Schettini *et al.*, 2016a) e a penetração da luz solar normalmente não ultrapassa 1 m de profundidade (Nascimento *et al.*, 2003; Santiago *et al.*, 2010). Dessa forma, não há produção significativa do microfitobentos em sedimentos da zona afótica da Bacia do Pina.

Tabela 2. Concentrações de clorofila *a* reportadas em sedimentos estuarinos e marinhos costeiros. Legenda: LQ = limite de quantificação.

Local	Clorofila <i>a</i> (µg g ⁻¹ p.s.)			Referência
	Mínimo	Máximo	Mediana	
<i>Estuário</i>				
Sublitoral da Bacia do Pina (Brasil)	2,9	33	5,9	Presente estudo
Estuários do Mar Interior de Seto (Japão)	5,9	8,2	6,7	Magniet <i>et al.</i> (2000)
Estuários na costa leste do Atlântico Norte	9	320		Kelly <i>et al.</i> (2001)
Estuário do Rio Palmones (Espanha)	2	15		Moreno and Neill (2004)
Estuário do Rio Tejo (Portugal)	21	77		Cartaxana <i>et al.</i> (2006)
Estuário Cochín (Índia)	0,05	19	7,1	Gireeshkumar <i>et al.</i> (2013)
Manguezais da costa oeste da Índia	3,53	26		Resmi <i>et al.</i> (2016)
<i>Plataforma continental</i>				
Mar dos Corais (Austrália)	< LQ	19	7,7	Alongi <i>et al.</i> (1987)
Grande Barreira de Corais (Austrália)	0,1	2	0,5	Alongi <i>et al.</i> (1989)
Golfo de Carpentaria (Austrália)	0,005	0,7		Burford <i>et al.</i> (1994)
Baía de Ubatuba (Brasil)	6,1	37	23	Muniz <i>et al.</i> (2006)
Baía de Sonmiani (Paquistão)	0,8	4,9	2,0	Farooq and Siddiqui (2011)
Costa da Guiana Francesa	1,1	11	5,4	Gontharet <i>et al.</i> (2015)

DISTRIBUIÇÃO DA MO NAS FRAÇÕES DO SEDIMENTO

Os percentuais de CI e CO nas frações areia variaram de 0,17 a 1,65% (mediana: 0,67%) e de 0,16 a 11% (mediana: 0,75%), respectivamente. Em contraste, nas frações silte e argila esses percentuais variaram de 1,39 a 3,04% (mediana: 2,20%) para CI e de 2,60 a 5,32% (mediana: 3,33%) para CO. Os percentuais de CI e CO foram significativamente maiores nas frações silte e argila relativamente às frações areia (teste de Kruskal-Wallis, $H = 45$ para CI e $H = 38$ para CO, $gl = 4$, $p < 0,0001$). Não houve diferenças significativas entre os percentuais elementares nas frações AM, AF e AMF bem como entre os percentuais elementares nas frações silte e argila (Fig. 5). O aumento significativo dos percentuais elementares nas frações silte e argila reflete o processo de concentração à medida que o tamanho dos grãos diminui (Mayer, 1994a). Esse processo regula a distribuição, isto é, variação na concentração, da MO em sedimentos marinhos e estuarinos (Liu *et al.*, 2013; Mayer *et al.*, 1985; Mayer, 1994b) e sugere uma diferença na composição da MO presente nas frações areia e lama. Na fração lama, a MO encontra-se adsorvida aos minerais em função de interações eletroestáticas (Hedges and Hare, 1987; Keil *et al.*, 1994). Em contraste, na fração areia a MO é formada por macrofragmentos de origem biológica dispersos entre os grãos e/ou por biofilmes que crescem sobre os grãos (Jesus *et al.*, 2009). Nas amostras da Bacia do Pina, macrofragmentos provenientes de plantas superiores foram abundantes nas frações areia. Nas frações AM e AF das amostras coletadas nas estações 11 e 13, a massa desses macrofragmentos foi maior que a massa dos grãos de areia, resultando em valores extremos de percentuais de CO ($> 7\%$) (Fig. 5B).

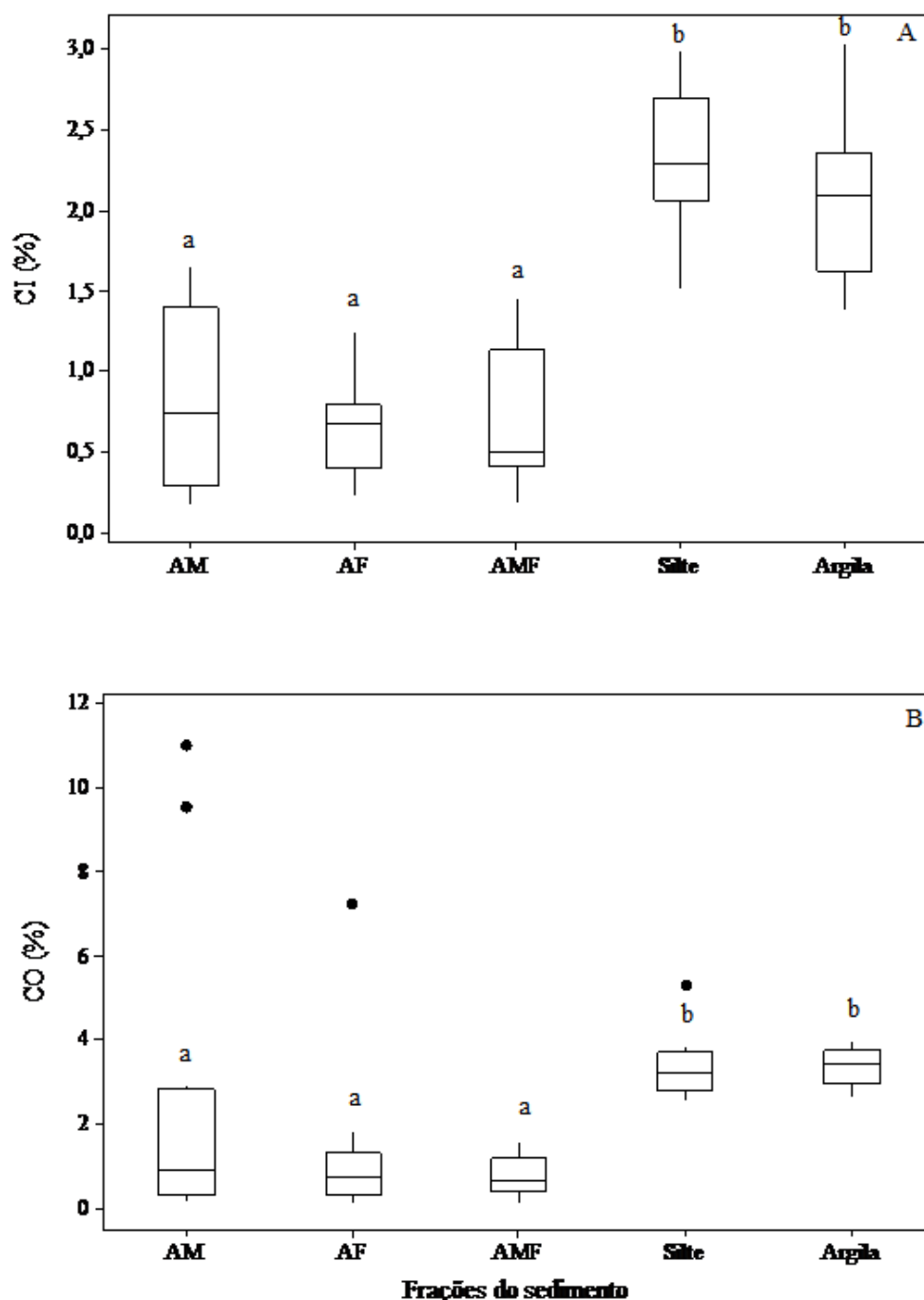


Figura 5. Boxplots com os percentuais de carbono inorgânico (A) e carbono orgânico (CO) (B) nas frações do sedimento (areia média - AM, areia fina - AF, areia muito fina - AMF, silte e argila). Letras iguais indicam ausência de diferenças significativas entre as medianas ($\alpha = 0,05$). Os círculos preenchidos equivalem a valores extremos.

BALANÇO DE MASSAS

No geral, a diferença entre a massa estimada de CO (M_{CO} na Eq. 3) e a massa real de CO no sedimento integral foi $< 10\%$, indicando que não houve perdas importantes de CO através do peneiramento úmido das amostras. O balanço de massas indicou que, na maioria das

amostras, mais de 80% da massa de CO sedimentar esteve concentrada na fração lama do sedimento (Fig. 6). Na estação 11 essa proporção foi menor (60%) devido a elevada proporção de macrofragmentos de plantas superiores na fração areia (Fig. 6). Esse resultado reflete a elevada retenção de sedimentos finos em suspensão e MO particulada no estuário da Bacia do Pina (Maciel *et al.*, 2016; Schettini *et al.*, 2016a). A retenção ocorre porque os rios são a principal fonte de material particulado em suspensão para a área de estudo. Adicionalmente, forças coesivas agregam as partículas finas em suspensão (principalmente os argilo-minerais) (Burchard *et al.*, 2018), que são depositadas sob condições hidrodinâmicas calmas (Pejrup, 1988). Na Bacia do Pina, condições hidrodinâmicas calmas produzem uma taxa de sedimentação elevada ($0,45 \text{ cm ano}^{-1}$; Xavier *et al.*, D. A., 2016).

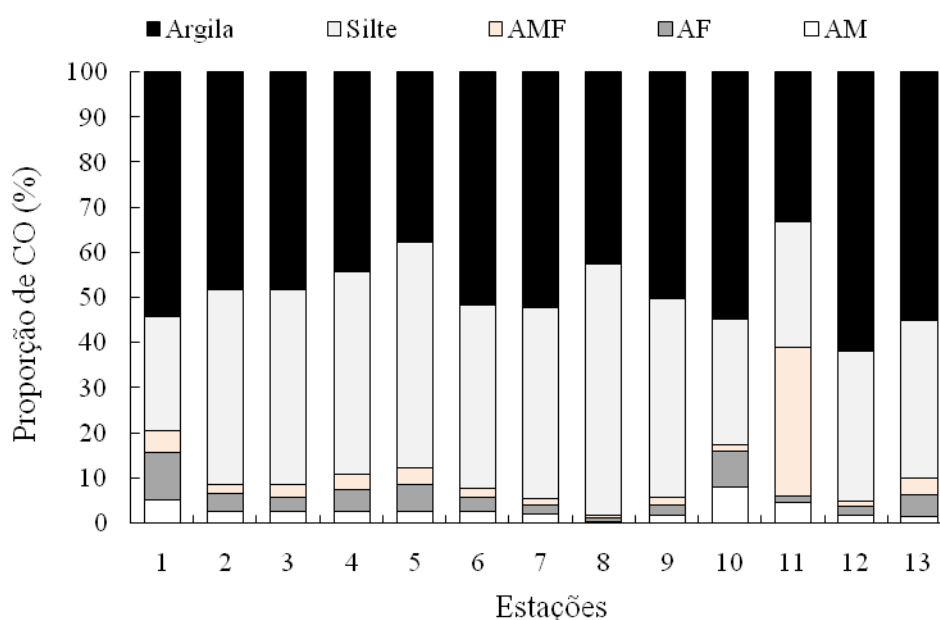


Figura 6. Proporção (%) de carbono orgânico (CO) contido nas frações areia média (AM), areia fina (AF), areia muito fina (AMF), silte e argila do sedimento coletado na Bacia do Pina.

FATORES QUE REGULAM A DISTRIBUIÇÃO DE CO

Os fatores que regulam a distribuição de CO no sedimento integral e nas frações do sedimento foram avaliados através da matriz de correlação linear das variáveis (Tab. 3). O percentual de CO no sedimento integral e a concentração de pigmentos (clorofila a + feopigmentos) se correlacionaram significativamente com o percentual de lama no sedimento (Tab. 3). Essas correlações refletem o controle granulométrico sobre a distribuição de CO no sedimento integral (Mayer *et al.*, 1985) e o controle hidrodinâmico sobre a deposição de sedimentos finos em suspensão e detritos provenientes da produção primária planctônica (Fagherazzi *et al.*, 2014; Pejrup, 1988). Resultado similar foi reportado por Fagherazzi *et al.* (2014) em sedimentos coletados no canal da Ilha Plum, Estados Unidos. Interessantemente, a

concentração de pigmentos no sedimento integral se correlacionou significativamente apenas com o percentual de CO na fração silte (Tab. 3). Isso indica que a fração silte (4 a 63 μm) registra acuradamente a produção primária planctônica. No SERC, partículas finas em suspensão com diâmetro variando de 4 a 36 μm predominam na coluna de água (Schettini *et al.*, 2016b). Provavelmente, a fração silte contém a maior densidade de produtores fitoplanctônicos na área de estudo (Borges *et al.*, 2012).

Tabela 3. Matriz de correlação linear das variáveis analisadas no sedimento. Os valores abaixo e acima da diagonal equivalem ao coeficiente de correlação linear de Pearson e à probabilidade p , respectivamente. Valores em negrito indicam correlações significativas ($p < 0,05$).

	Lama (%)	CO (%)	Pigmentos [$\mu\text{g g}^{-1}\text{p.s.}$]	logCO _{AM} (%)	logCO _{AF} (%)	CO _{AMF} (%)	CO _{Silte} (%)	CO _{Argila} (%)
Lama (%)	----	< 0,0001	0,009	0,12	0,002	0,17	0,24	0,88
CO (%)	0,89	----	0,01	0,03	0,02	0,13	0,09	0,39
Pigmentos [$\mu\text{g g}^{-1}\text{p.s.}$]	0,69	0,66	----	0,24	0,11	0,28	0,009	0,32
Log CO _{AM} (%)	0,45	0,60	0,35	----	0,01	0,15	0,23	0,29
Log CO _{AF} (%)	0,78	0,64	0,46	0,66	----	0,34	0,72	0,71
CO _{AMF} (%)	0,40	0,44	0,32	0,42	0,29	----	0,48	0,52
CO _{Silte} (%)	0,35	0,49	0,69	0,35	0,11	0,21	----	0,03
CO _{Argila} (%)	-0,05	0,26	0,30	0,32	-0,12	0,20	0,60	----

O log do percentual de CO na fração AF se correlacionou significativamente com o percentual de lama no sedimento (Tab. 3). Isso indica que a deposição de detritos nessa fração é regulada pelo mesmo processo que controla a deposição de sedimentos finos em suspensão. Os fragmentos de plantas superiores presentes nas frações areia são partículas de baixa densidade ($< 2 \text{ g cm}^{-3}$) e depositam-se sob condições hidrodinâmicas calmas de forma similar à deposição de partículas finas em suspensão (Ertel and Hedges, 1985; Rullkötter, 2006).

CONCLUSÕES

Nos sedimentos superficiais da Bacia do Pina, a predominância de CO na composição do CT sedimentar refletiu o aporte de MO proveniente de produtores primários e fontes antrópicas. A MO sedimentar proveniente da produção primária marinha foi predominantemente composta por detritos (feopigmentos), refletindo os processos de degradação da produção fitoplanctônica. O microfitobentos não teve contribuição significativa na composição da MO sedimentar na zona sublitorânea da Bacia do Pina. A maior proporção (média: 88%) do CO sedimentar esteve adsorvido às frações granulométricas silte e argila. Macrofragmentos de plantas terrestres predominaram na fração areia, que conteve em média 12% do CO sedimentar. A distribuição do CO no sedimento integral e na fração areia fina foi regulada pelo percentual de lama no

sedimento, refletindo o controle hidrodinâmico sobre a deposição de partículas finas em suspensão.

AGRADECIMENTOS

B.V.M Costa foi financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, processo 141146/2014-1). O autor agradece ao professor Gilvan T. Yogui pelas revisões e comentários referentes ao manuscrito.

REFERÊNCIAS

- Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH) (2016), Unidades de Conservação Estaduais de Pernambuco, Recife, 5p, em: <http://www.cprh.pe.gov.br/> (acesso em 15 de JULHO de 2016).
- Almeida, V.L.S., Melão, M.G.G. and Moura, A.N. (2012), Plankton diversity and limnological characterization in two shallow tropical urban reservoirs of Pernambuco State, Brazil, *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Vol. 84, n. 2, pp. 537–550, doi: 10.1590/S0001-37652012005000027.
- Alongi, D.M. (1987), The distribution and composition of deep-sea microbenthos in a bathyal region of the western Coral Sea, *Deep Sea Research Part A, Oceanographic Research Papers*, Vol. 34, n. 7, pp. 1245–1254, doi: 10.1016/0198-0149(87)90074-4.
- Alongi, D.M. (1989), Benthic processes across mixed terrigenous-carbonate sedimentary facies on the central Great Barrier Reef continental shelf, *Continental Shelf Research*, Vol. 9, n. 7, pp. 629–663, doi: 10.1016/0278-4343(89)90034-4.
- Andrews, J.E., Samways, G. and Shimmield, G.B. (2008), Historical storage budgets of organic carbon, nutrient and contaminant elements in saltmarsh sediments: Biogeochemical context for managed realignment, Humber Estuary, UK, *Science of the Total Environment*, Vol. 405, pp. 1–13, doi: 10.1016/j.scitotenv.2008.07.044.
- Anjos, D.L., Passavante, J.Z.O., Silva-Cunha, M.G.G. and Honorato da Silva, M. (2012), Biomassa fitoplanctônica correlacionada aos fatores hidrológicos no estuário do rio Capibaribe (Recife, Pernambuco, Brasil), *Tropical Oceanography*, Vol. 40, n. 1, pp. 167–184, doi: 10.5914/tropocean.v40i1.5190.
- Barbanti, A. and Bothner, M.H. (1993), A procedure for partitioning bulk sediments into distinct grain-size fractions for geochemical analysis, *Environmental Geology*, Vol. 21, n. 1–2, pp. 3–13, doi: 10.1007/BF00775044.

- Bianchi, T.S., Johansson, B. and Elmgren, R. (2000), Breakdown of phytoplankton pigments in Baltic sediments: Effects of anoxia and loss of deposit-feeding macrofauna, *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, Vol. 251, n. 2, pp. 161–183, doi: 10.1016/S0022-0981(00)00212-4.
- Borges, G.C.P., Silva-Cunha, M.G.G., Santiago, M.F. and Lima, J.C. (2012), Comunidade fitoplanctônica e variáveis ambientais em área portuária, nordeste do Brasil, *Tropical Oceanography*, Vol. 40, n. 2, pp. 309–318, doi: 10.5914/tropocean.v40i2.5408.
- Bouillon, S., Connolly, R.M., Gillikin, D.P., Wolanski, E. and McLusky, D. (2011), Use of Stable Isotopes to Understand Food Webs and Ecosystem Functioning in Estuaries, in Wolanski, E. and McLusky, D.S. (Eds), *Treatise on Estuarine and Coastal Science*, Academic Press, Waltham, pp. 143–173.
- Brito, A., Newton, A., Tett, P. and Fernandes, T.F. (2009), Development of an optimal methodology for the extraction of microphytobenthic chlorophyll, *Journal of International Environmental Application and Science*, Vol. 4, n. 1, pp. 42–54.
- Burchard, H., Schuttelaars, H.M. and Ralston, D.K. (2018), Sediment trapping in estuaries, *Annual Review of Marine Science*, Vol. 10, n. 1, pp. 371–395, doi: 10.1146/annurev-marine-010816-060535.
- Burford, M.A., Long, B.G. and Rothlisberg, P.C. (1994), Sedimentary pigments and organic carbon in relation to microalgal and benthic faunal abundance in the Gulf of Carpentaria, *Marine Ecology Progress Series*, Vol. 103, pp. 111–117.
- Cartaxana, P., Mendes, C.R., Leeuwe, M.A. and Brotas, V. (2006), Comparative study on microphytobenthic pigments of muddy and sandy intertidal sediments of the Tagus estuary, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Vol. 66, n. 1–2, pp. 225–230, doi: 10.1016/j.ecss.2005.08.011. doi: 10.5194/bg-11-2477-2014.
- Cloern, J.E., Foster, S.Q. and Kleckner, A.E. (2014), Phytoplankton primary production in the world's estuarine-coastal ecosystems, *Biogeosciences*, Vol. 11, pp. 2477–2501, doi: 10.5194/bg-11-2477-2014.
- Costa, B.V.C. and Yogui, G.T. (2017), *Elaboração de lote analítico, edição de método e processamento de amostra no software Isodat*, Procedimento Operacional Padrão OrganoMAR-2017-03, Revisão n 1, Laboratório de Compostos Orgânicos em Ecossistemas Costeiros e Marinhos, Departamento de Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco, 12 p.
- Diaz, R.J. and Rosenberg, R. (2008), Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems, *Science*, Vol. 321, pp. 926–929, doi: 10.1126/science.1156401.

- Duarte, C.M. and Cebrián, J. (1996), The fate of marine autotrophic production, *Limnology and Oceanography*, Vol. 41, n. 8, pp. 1758–1766, doi: 10.4319/lo.1996.41.8.1758.
- Emerson, S. and Hedges, J. (2008), *Chemical oceanography and the marine carbon cycle*, Cambridge University Press, Cambridge, 445 p.
- Ertel, J.R. and Hedges, J.I. (1985), Sources of sedimentary humic substances: vascular plant debris, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 49, n. 10, pp. 2097–2107, doi: 10.1016/0016-7037(85)90067-5.
- Fagherazzi, S., Mariotti, G., Banks, A.T., Morgan, E.J. and Fulweiler, R.W. (2014), The relationships among hydrodynamics, sediment distribution, and chlorophyll in a mesotidal estuary, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Vol. 144, pp. 54–64, doi: 10.1016/j.ecss.2014.04.003.
- Farooq, S. and Siddiqui, P.J.A. (2011), Distribution of chlorophyll in the mangrove sediments of Sonmiani bay, Pakistan, *Pakistan Journal of Botany*, Vol. 43, n. 1, pp. 405–410.
- Feitosa, F.A.N. and Passavante, J.Z.O. (1991), Variação sazonal da produção primária do fitoplâncton na bacia do Pina (Recife-PE), *Tropical Oceanography*, Vol. 22, n. 1, pp. 65–82, doi: 10.5914/tropocean.v22i1.2657.
- Feitosa, F.A.N., Nascimento, F.C.R. and Costa, K.M.P. (1999), Distribuição espacial e temporal da biomassa fitoplanctônica relacionada com parâmetros hidrológicos na Bacia do Pina (Recife - PE), *Tropical Oceanography*, Vol. 27, n. 2, pp. 1–13, doi: 10.5914/tropocean.v27i2.2813.
- Ferreira, A.C. and Lacerda, L.D. (2016), Degradation and conservation of Brazilian mangroves, status and perspectives, *Ocean and Coastal Management*, Vol. 125, pp. 38–46, doi: 10.1016/j.ocecoaman.2016.03.011.
- Flores-Montes, M.D.J., Paulo, J.G., Nascimento Filho, G.A., Gaspar, F.L., Feitosa, F.A., Santos Junior, A.C., Batista, T.N.F., Travassos, R.K. and Pitanga, M.E. (2011), The trophic status of an urban estuarine complex in Northeast Brazil, *Journal of Coastal Research*, Vol. 64, pp. 408–411.
- Galeão, G.M.R.F. and Souza, J.R.B. (2015), Space-time distribution of the non-indigenous bivalve *Mytilopsis leucophaeta* (Conrad, 1831) in estuarine areas of the Capibaribe River, Recife, Pernambuco State, *Arquivos de Ciências do Mar*, Vol. 48, n. 1, pp. 33–38, doi: 10.32360/acmar.v48i1.5859.
- Gireeshkumar, T.R., Deepulal, P.M. and Chandramohanakumar, N. (2013), Distribution and sources of sedimentary organic matter in a tropical estuary, southwest coast of India (Cochin estuary): A baseline study, *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 66, p. 239–245, doi: 10.1016/j.marpolbul.2012.10.002.

- Gontharet, S., Artigas, L.F., Mathieu, O., Levêque, J., Milloux, M.J., Caillaud, J., Philippe, S., Lesourd, S. and Gardel, A. (2015), Effect of emersion/immersion cycles on the elemental and isotopic compositions of the organic matter from surface sediments of an intertidal mud bank (French Guiana): A preliminary study, *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, Vol. 29, n. 22, pp. 2147–2157, doi: 10.1002/rcm.7377.
- Hedges, J.I. and Hare, P.E. (1987), Amino acid adsorption by clay minerals in distilled water, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 51, n. 2, pp. 255–259, doi: 10.1016/0016-7037(87)90237-7.
- Hedges, J.I. and Stern, J.H. (1984), Carbon and nitrogen determinations of carbonate-containing solids, *Limnology and Oceanography*, Vol. 29, n. 3, pp. 657–663, doi: 10.4319/lo.1984.29.3.0657.
- Instituto Brasileiro de Geografia Estatística (IBGE) (2017), *Censo demográfico*, Brasília, em: <http://www.ibge.gov.br/>(acesso em 04 de MARÇO de 2018).
- Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (2017), Normais climatológicas do Brasil (1961 - 1990), Brasília, em: <http://www.inmet.gov.br/>(acesso em 04 de MARÇO de 2018).
- Jende, V.O. (2011), *Carbon stocks and ecological implications of open spaces - a case study in Recife - Brazil*, Tese de Doutorado, Institute of Crop Science and Resource Conservation, University of Bonn.
- Jesus, B., Brotas, V., Ribeiro, L., Mendes, C.R., Cartaxana, P. and Paterson, D.M. (2009), Adaptations of microphytobenthos assemblages to sediment type and tidal position, *Continental Shelf Research*, Vol. 29, n. 13, pp. 1624–1634, doi: 10.1016/j.csr.2009.05.006.
- Kampel, M. (2003), *Estimativa da produção primária e biomassa fitoplanctônica através de sensoriamento remoto da cor do oceano e dados in situ na costa sudeste brasileira*, Tese de Doutorado, Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo.
- Keil, R.G., Tsamakis, E., Fuh, C.B., Giddings, J.C. and Hedges, J.I. (1994), Mineralogical and textural controls on the organic composition of coastal marine sediments: Hydrodynamic separation using SPLITT-fractionation, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 58, n. 2, pp. 879–893, doi: 10.1016/0016-7037(94)90512-6.
- Kelly, J.A., Honeywill, C. and Paterson, D.M. (2001), Microscale analysis of chlorophyll-*a* in cohesive, intertidal sediments: the implications of microphytobenthos distribution, *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, Vol. 81, n. 1, pp. 151–162, doi: 10.1017/S0025315401003496.
- Lalli, C.M. and Parsons, T. R. (1997), *Biological Oceanography: An Introduction*, Elsevier, Vancouver, British Columbia.

- Leavitt, P.R. (1993), A review of factors that regulate carotenoid and chlorophyll deposition and fossil pigment abundance, *Journal of Paleolimnology*, Vol. 9, pp. 109–127, doi: 10.1007/BF00677513.
- Lesen, A.E. (2006), Sediment organic matter composition and dynamics in San Francisco Bay, California, USA: Seasonal variation and interactions between water column chlorophyll and the benthos, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Vol. 66, n. 3–4, pp. 501–512, doi: 10.1016/j.ecss.2005.10.003.
- Liu, Z., Breecker, D., Mayer, L.M. and Zhong, J. (2013), Composition of size-fractionated sedimentary organic matter in coastal environments is affected by difference in physical forcing strength, *Organic Geochemistry*, Vol. 60, pp. 20–32, doi: 10.1016/j.orggeochem.2013.04.009.
- Lorenzen, C.J. (1967), Determination of chlorophyll and pheopigments: spectrophotometric equations, *Limnology and Oceanography*, Vol. 12, pp. 343–346, doi: 10.4319/lo.1967.12.2.0343.
- Maciel, D.C., de Souza, J.R.B., Taniguchi, S., Bícago, M.C., Schettini, C.A.F. and Zanardi-Lamardo, E. (2016), Hydrocarbons in sediments along a tropical estuary-shelf transition area: Sources and spatial distribution, *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 113, n. 1–2, pp. 566–571, doi: 10.1016/j.marpolbul.2016.08.048.
- Magni, P., Abe, N. and Montani, S. (2000), Quantification of microphytobenthos biomass in intertidal sediments: layer-dependent variation of chlorophyll *a* content determined by spectrophotometric and HPLC methods, *La Mer*, Vol. 38, n. 2, pp. 57–63.
- Maher, D.T. and Eyre, B.D. (2012), Carbon budgets for three autotrophic Australian estuaries: Implications for global estimates of the coastal air-water CO₂ flux, *Global Biogeochemical Cycles*, Vol. 26, n. 1, p. GB1032, doi: 10.1029/2011GB004075.
- Mayer, L.M. (1994a), Relationships between mineral surfaces and organic carbon concentrations in soils and sediments, *Chemical Geology*, Vol. 114, n. 3, pp. 347–363, doi: 10.1016/0009-2541(94)90063-9.
- Mayer, L.M. (1994b), Surface area control of organic carbon accumulation in continental shelf sediments, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 58, pp. 1271–1284, doi: 10.1016/0016-7037(94)90381-6.
- Mayer, L.M., Rahaim, P.T., Guerin, W., Macko, S.A., Watling, L. and Anderson, F.E. (1985), Biological and granulometric controls on sedimentary organic matter of an intertidal mudflat, *Estuarine Coastal and Shelf Science*, Vol. 20, pp. 491–503, doi: 10.1016/0272-7714(85)90091-5.

- Megens, L., van der Plicht, J., de Leeuw, J.W. and Smedes, F. (2002), Stable carbon and radiocarbon isotope compositions of particle size fractions to determine origins of sedimentary organic matter in an estuary, *Organic Geochemistry*, Vol. 33, n. 8, pp. 945–952, doi: 10.1016/S0146-6380(02)00060-8.
- Moreno, S. and Niell, F.X. (2004), Scales of variability in the sediment chlorophyll content of the shallow Palmones River Estuary, Spain, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Vol. 60, n. 1, pp. 49–57, doi: 10.1016/j.ecss.2003.06.006.
- Muniz, P., Pires-Vanin, A.M.S., Martins, C.C., Montone, R.C. and Bícago, M.C. (2006), Trace metals and organic compounds in the benthic environment of a subtropical embayment (Ubatiba Bay, Brazil), *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 52, n. 9, pp. 1090–1098, doi: 10.1016/j.marpolbul.2006.05.014.
- Nascimento, F.C.R., Muniz, K., Feitosa, F.A.N., Araújo, J.P., Silva, R.M.S., Silva, G.S. and Flores-Montes, M.J. (2003), Disponibilidade nutricional da Bacia do Pina e Rio Tejió (Recife-PE-Brasil) em relação aos nutrientes e biomassa primária (setembro/2000), *Tropical Oceanography*, Vol. 31, n. 2, pp. 149–169, doi: 10.5914/tropocean.v31i2.5023.
- Nixon, S.W. (1995), Coastal marine eutrophication: a definition, social causes, and future concerns, *Ophelia*, Vol. 41, pp. 199–219, doi: 10.1080/00785236.1995.10422044.
- Noriega, C. and Araujo, M. (2009), Nitrogen and phosphorus loading in coastal watersheds in northeastern Brazil, *Journal of Coastal Research*, Vol. 56, pp. 871–875.
- Ogrinc, N., Fontolan, G., Faganeli, J. and Covelli, S. (2005), Carbon and nitrogen isotope compositions of organic matter in coastal marine sediments (the Gulf of Trieste, N Adriatic Sea): indicators of sources and preservation, *Marine Chemistry*, Vol. 95, n. 3–4, pp. 163–181, doi: 10.1016/j.marchem.2004.09.003.
- Oliveira, T.S., Barcellos, R.L., Schettini, C.A.F. and Camargo, P.B. (2014), Processo sedimentar atual e distribuição da matéria orgânica em um complexo estuarino tropical, Recife, PE, Brasil, *Revista de Gestão Costeira Integrada*, Vol. 14, n. 3, pp. 399–411, doi: 10.5894/rgci470.
- Pejrup, M. (1988), The triangular diagram used for classification of estuarine sediments: a new approach, in de Boer, P.L., van Gelder, A. and Nio, S.D. (Eds), *Tidal-influenced sedimentary environments and facies*, Reidel, Dordrecht, pp. 289–300.
- Pinckney, J.L., Paerl, H.W., Tester, P. and Richardson, T.L. (2001), The Role of Nutrient Loading and Eutrophication in Estuarine Ecology A Definition of Eutrophication, *Environmental Health Perspectives*, Vol. 109, pp. 699–706, doi: 10.1289/ehp.01109s5699.
- Poppe, L.J. and Eliason, A.E. (2009), A BASIC program to calculate gravitational and centrifugal parameters, *Geological Society of America*, Vol. 41, n. 3, 21p.

- Poppe, L.J., Fredericks, J.J. and Hathaway, J.C. (1988), A computer program to calculate centrifugation parameters for sedimentation analyses, *Computers & Geosciences*, Vol. 14, n. 4, pp. 541–545, doi: 10.1016/0098-3004(88)90034-9.
- Resmi, P., Manju, M.N., Gireeshkumar, T.R., Kumar, C.S.R. and Chandramohanakumar, N. (2016), Source characterisation of sedimentary organic matter in mangrove ecosystems of northern Kerala, India: Inferences from bulk characterisation and hydrocarbon biomarkers, *Regional Studies in Marine Science*, Vol. 7, p. 43–54, doi: 10.1016/j.rsma.2016.05.006.
- Resurreição, M.G., Passavante, J.Z.O. and Macêdo, S.J. (1996), Estudo da plataforma continental na área do Recife (Brasil): variação sazonal da biomassa fitoplanctônica (08o03'38" Lat. S; 34o42'28" à 34o52'00" Long. W), *Tropical Oceanography*, Vol. 24, pp. 39–59, doi: 10.5914/tropocean.v24i1.2696.
- Rezende, C.E., Pfeiffer, W.C., Martinelli, L.A., Tsamakis, E., Hedges, J.I. and Keil, R.G. (2010), Lignin phenols used to infer organic matter sources to Sepetiba Bay - RJ, Brasil, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Vol. 87, n. 3, pp. 479–486, doi: 10.1016/j.ecss.2010.02.008.
- Rullkötter, J. (2006), Organic matter: the driving force for early diagenesis, in Schulz, H.D. and Zabel, M. (Eds), *Marine geochemistry*, Springer-Verlag, Bremen, 574p.
- Santiago, M.F., Silva-Cunha, M.G.G., Neumann-Leitão, S., Costa, K.M.P., Palmeira, G.C.B., Neto, F.F.P. and Nunes, F.S. (2010), Phytoplankton dynamics in a highly eutrophic estuary in tropical Brazil, *Brazilian Journal of Oceanography*, Vol. 58, n. 3, pp. 189–205, doi: 10.1590/S1679-87592010000300002.
- Santos, P.J.P., Botter-Carvalho, M.L., Nascimento, A.B., Marinho, R.G.C., Carvalho, P.V.V.C. and Valença, A.P.M.C. (2009), Response of estuarine meiofauna assemblage to effects of fertilizer enrichment used in the sugar cane monoculture. Pernambuco, Brazil, *Brazilian Journal of Oceanography*, Vol. 57, n. 1, pp. 43–55, doi: 10.1590/S1679-87592009000100005.
- Schettini, C.A.F., Duarte Pereira, M., Siegle, E., de Miranda, L.B. and Silva, M.P. (2013), Residual fluxes of suspended sediment in a tidally dominated tropical estuary, *Continental Shelf Research*, Vol. 70, pp. 27–35, doi: 10.1016/j.csr.2013.03.006.
- Schettini, C.A.F., Miranda, J.B., Valle-Levinson, A., Truccolo, E.C. and Domingues, E.C. (2016a), The circulation of the lower Capibaribe estuary (Brazil) and its implications for the transport of scalars, *Brazilian Journal of Oceanography*, Vol. 64, n.3, pp. 263–276, doi: 10.1590/S1679-87592016119106403.

- Schettini, C.A.F., Paiva, B.P., Batista, R.A.L., Filho, J.C.O. and Truccolo, E.C. (2016b), Observation of an Estuarine Maximum Turbidity Zone in the Highly Impacted Capibaribe estuary, Brazil, *Brazilian Journal of Oceanography*, Vol. 64, n. 2, pp. 185–190, doi: 10.1590/S1679-87592016115006402.
- Schumacher, B. (2002), *Methods for the determination of total organic carbon (TOC) in soils and sediments*, United States Environmental Protection Agency (USEPA), Las Vegas.
- Silva, A.P. and Silva, C.M. (2014), Planejamento ambiental para bacias hidrográficas: convergências e desafios na Bacia do rio Capibaribe, em Pernambuco-Brasil, *Holos*, Vol. 1, pp. 20–40, doi: 10.15628/holos.2014.1734.
- Suguio, K. (1973), *Introdução a sedimentologia*, Editora Edgar Blucher, São Paulo.
- United States Environmental Protection Agency (USEPA) (1997), *Method 446.0* - In vitro determination of chlorophylls *a*, *b*, *c1* + *c2* and pheopigments in marine and freshwater algae by visible spectrophotometry, Ohio, 26 p.
- Valença, A.P.M.C. and Santos, P.J.P. (2013), Macrobenthic community structure in tropical estuaries: the effect of sieve mesh-size and sampling depth on estimated abundance, biomass and composition, *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, Vol. 93, n. 6, pp. 1441–1456, doi:10.1017/S0025315413000039.
- Vieira-Campos, A.A., Costa, B.V.M. and Yogui, G.T. (2017), *Determinação gravimétrica do teor de carbonato de cálcio em amostras de solo e sedimento*, Procedimento Operacional Padrão OrganoMAR-2017-01, Revisão n 1, Laboratório de Compostos Orgânicos em Ecossistemas Costeiros e Marinhos, Departamento de Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco, 11 p.
- Watanabe, K. and Kuwae, T. (2015), How organic carbon derived from multiple sources contributes to carbon sequestration processes in a shallow coastal system?, *Global Change Biology*, Vol. 21, pp. 2612–2623, doi: 10.1111/gcb.12924.
- Xavier, D.A., Barcellos, R.L., Figueira, R.C.L. and Schettini, C.A.F. (2016), Evolução sedimentar do estuário do Rio Capibaribe (Recife-PE) nos últimos 200 anos e suas relações com a atividade antrópica e processo de urbanização, *Tropical Oceanography*, Vol. 44, n. 2, pp. 106–117, doi: 10.5914/tropocean.v44i2.8036.
- Xavier, L.R.C.C., Scherner, F., Burgos, D.C., Barreto, R.C. and Pereira, S.M.B. (2016), Urbanization effects on the composition and structure of macrophytes communities in a lotic ecosystem of Pernambuco State, Brazil, *Brazilian Journal of Biology*, Vol. 76, n. 4, pp. 888–897, doi: 10.1590/1519-6984.03515.

Zanardi-Lamardo, E., Nóbrega, A.S.C., Santos, R.H.A. and Maciel, D.C. (2016), Fontes e níveis de contaminação do Sistema Estuarino do Rio Capibaribe (Pernambuco/Brasil), *Tropical Oceanography*, Vol. 44, n. 2, pp. 118–131, doi: 10.5914/tropocean.v44i2.8296.