

DISTRIBUIÇÃO DO LIXO MARINHO E SUA INTERAÇÃO COM A DINÂMICA DE ONDAS E DERIVA LITORÂNEA NO LITORAL NORTE DO ESTADO DA BAHIA, BRASIL

Sergio Pinheiro de SANTANA NETO¹; Iracema Reimão SILVA²; Abílio Carlos da Silva Pinto BITTENCOURT³

- (1) Curso de Pós-Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia. Rua Caetano Moura, 123 – Federação – CEP40210-340 – Salvador – Bahia – Brasil. Endereço eletrônico: sergio.santananeo@gmail.com.
(2) Núcleo de Estudos Hidrogeológicos e do Meio Ambiente, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia. Rua Caetano Moura, 123 – Federação – CEP40210-340 – Salvador – Bahia – Brasil. Endereço eletrônico: iracema@pq.cnpq.br.
(3) Laboratório de Estudos Costeiros, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia
Rua Caetano Moura, 123 – Federação – CEP40210-340 – Salvador – Bahia – Brasil. Endereço eletrônico: abilio@pq.cnpq.br.

Introdução
Materiais, métodos e técnicas
Área de estudo
Amostragem e monitoramento do lixo marinho
Determinação das alturas das ondas ao longo da costa e modelagem da deriva litorânea
Discussões, interpretações e resultados
Considerações finais
Agradecimentos
Referências bibliográficas

RESUMO - O principal objetivo desta pesquisa foi avaliar as interações entre o aporte de lixo marinho e o padrão de ondas e a deriva litorânea no Litoral Norte do estado da Bahia, entre os povoados de Subaúma e Barra do Itariri. A coleta do lixo ocorreu em períodos distintos (verão e outono/inverno), ao longo de 33 transectos demarcados a cada quilômetro de praia. Foram realizadas modelagens de ondas e de transporte litorâneo a partir de diagramas de refração elaborados para frentes de ondas vindas de leste, nordeste, sudeste e sul-sudeste. Os resultados, de modo geral, indicaram um aumento quantitativo no estoque de lixo marinho no período de outono/inverno, com destaque para o trecho entre Baixio/Barra do Itariri. Objetos plásticos compuseram a ampla maioria do estoque coletado, sendo seus principais componentes associados às atividades comerciais e recreativas. De acordo com a modelagem realizada, as maiores alturas das ondas de sudeste e sul-sudeste nesse trecho costeiro podem ser responsáveis para a maior ocorrência de lixo marinho na região, especialmente durante o período de outono/inverno.

Palavras-chave: lixo marinho, transporte litorâneo, clima de ondas

ABSTRACT - The current study included the semi-deserted beaches situated between the small villages of Subaúma and Barra do Itariri (around 35 km long) and aimed to estimate the interactions of marine litter in the area and the pattern of sediment dispersion through the active coastal drift, considering the existence of a nodal divergence point. Sampling occurred in different seasons (summer and autumn/winter), along 33 transects every 1 km along the beaches. Wave modeling and coastal transportation calculations were performed using refraction diagrams designed to observe waves coming from the east, northeast, southeast and south-southeast. The results indicated a quantitative increase in the stock of the marine litter over the autumn/winter seasons, especially for the stretch between Baixio/Barra do Itariri. Plastic objects were the largest stock collected regarding weight and were the main waste objects associated with commercial/recreational activities. The largest heights of waves were from the southeast and south-southeast in this coastal stretch, which can be a determinant factor for the higher incidence of marine litter in the region, especially during the autumn/winter seasons.

Key words: marine litter, environmental impacts, coastal currents.

INTRODUÇÃO

Resíduos sólidos acumulam-se em diversas praias, sejam urbanas ou remotas (Ivar do Sul *et al.*, 2011), independentemente da distância relativa aos prováveis locais de origem. Suas fontes são diversas e podem ser classificadas como terrígenas e marinhas (Coe & Rogers, 1997; Ribic *et al.*, 2011), compreendendo a pesca comercial ou recreativa, a atividade náutica (incluindo embarcações e plataformas de óleo e de gás), as águas pluviais e os esgotos urbanos, as bacias hidrográficas, as áreas

urbanas e habitações subnormais, os usuários de praia, dentre outras (Santos *et al.*, 2008).

A presença de lixo marinho pode gerar danos ambientais (aprisionamento/enredamento, ingestão, além da potencial dispersão biológica de espécies invasoras), sociais (perda estética ou paisagística), econômicos (custos às atividades turísticas, às embarcações recreativas/pesqueiras, à limpeza pública) e de saúde pública (riscos aos banhistas, incluindo ferimentos) (Laist, 1997;

Derraik, 2002; Sheavly & Register, 2007; UNEP, 2009).

O tempo de residência de muitos desses resíduos no ambiente pode ser muito longo, especialmente os produtos sintéticos, e isso é um agravante importante para esse tipo de poluente, embora possa variar de acordo com as condições ambientais, como a exposição ao sol, a temperatura, a energia de ondas incidentes na costa e a presença de agentes abrasivos (como areias, que podem ser lançadas pelo vento, causando abrasão destes resíduos) (Cheshire *et al.*, 2009). A fluuabilidade de alguns itens tende ainda a proporcionar um transporte por longas distâncias por meio da superfície d'água (Thiel *et al.*, 2003).

Os plásticos constituem a categoria mais frequente de resíduo, de acordo com a maioria dos estudos referentes à quantificação e composição do lixo marinho (Frias *et al.*, 2011; Moore *et al.*, 2011). Tal predominância pode ser justificada pela abundante e crescente utilização de produtos descartáveis pela sociedade moderna (Araújo & Costa, 2003). Como decorrência desse crescente consumo, associado à má gestão e descarte inadequado dos resíduos, itens plásticos atingem diariamente o ambiente marinho vindo a se depositar nas praias arenosas, onde podem permanecer por longos períodos, serem transportados pela ação do vento, ou retornarem

ao mar. Em qualquer dessas situações, podem se fragmentar em função da ação de agentes intempéricos (sol, água, sal), biológicos ou mecânicos (ação abrasiva das ondas).

Além disso, na busca por um gerenciamento efetivo sobre a poluição marinha, torna-se indispensável a compreensão da dinâmica costeira, já que esta dinâmica pode ser responsável pela mobilização e transporte destes resíduos. Estes estudos devem englobar, por exemplo, a avaliação da distribuição da energia das ondas e dos padrões de dispersão ao longo da costa (Silva *et al.*, 2001; Dominguez *et al.*, 2005). Acredita-se, como indicado, por exemplo, por Oliveira e colaboradores (2011), que a deriva litorânea é responsável, ao menos em parte, pela distribuição de lixo marinho em áreas costeiras. Dessa forma, analogamente ao trânsito de sedimentos, a deriva litorânea pode concentrar uma quantidade maior desses resíduos em zonas de convergência e, por outro lado, gerar um menor acúmulo nas zonas de divergência, considerando os detritos de origem marinha.

Nesse contexto, o objetivo geral dessa pesquisa foi avaliar o padrão de distribuição do lixo marinho e sua interação com a dinâmica de ondas e deriva litorânea atuante no trecho praiado localizado entre os povoados de Subaúma e Barra do Itariri, no Litoral Norte do estado da Bahia, Brasil.

MATERIAIS, MÉTODOS E TÉCNICAS

Área de estudo

O Litoral Norte do estado da Bahia abrange os municípios litorâneos de Lauro de Freitas, Camaçari, Mata do São João, Entre Rios, Esplanada, Conde e Jandaíra (Figura 1). A ocupação ao longo da sua costa ocorre de modo heterogêneo - sendo considerada praticamente contínua no trecho sul (municípios de Lauro de Freitas, Camaçari e Mata do São João) e mais rarefeita ou pontual em direção ao norte. Tal padrão ocupacional resulta na existência de grandes extensões de praias remotas ou semidesertas, especialmente no trecho norte da área, nos municípios de Entre Rios, Esplanada, Conde e Jandaíra (Silva *et al.*, 2008).

A atual pesquisa abrange a linha de costa situada imediatamente ao norte do povoado de Subaúma (município de Esplanada) e ao sul do

povoado de Barra do Itariri (município de Conde), incluindo cerca de 35 km de praias arenosas predominantemente desertas (Fotos 1 A, B, C e D). Apenas um curto trecho central da área amostrada apresenta indícios de urbanização, contudo em caráter ainda tradicional (povoado de Baixio). As poucas edificações presentes encontram-se restritas às adjacências do próprio povoado de Baixio. A única exceção é a presença de um resort nas proximidades de Barra do Itariri. Quanto às atividades econômicas mais relevantes, destacam-se a pesca artesanal e a extração de marisco (praticados principalmente nas proximidades dos estuários), além do cultivo do coco-da-baía (que se estende ao longo de praticamente toda a região litorânea).

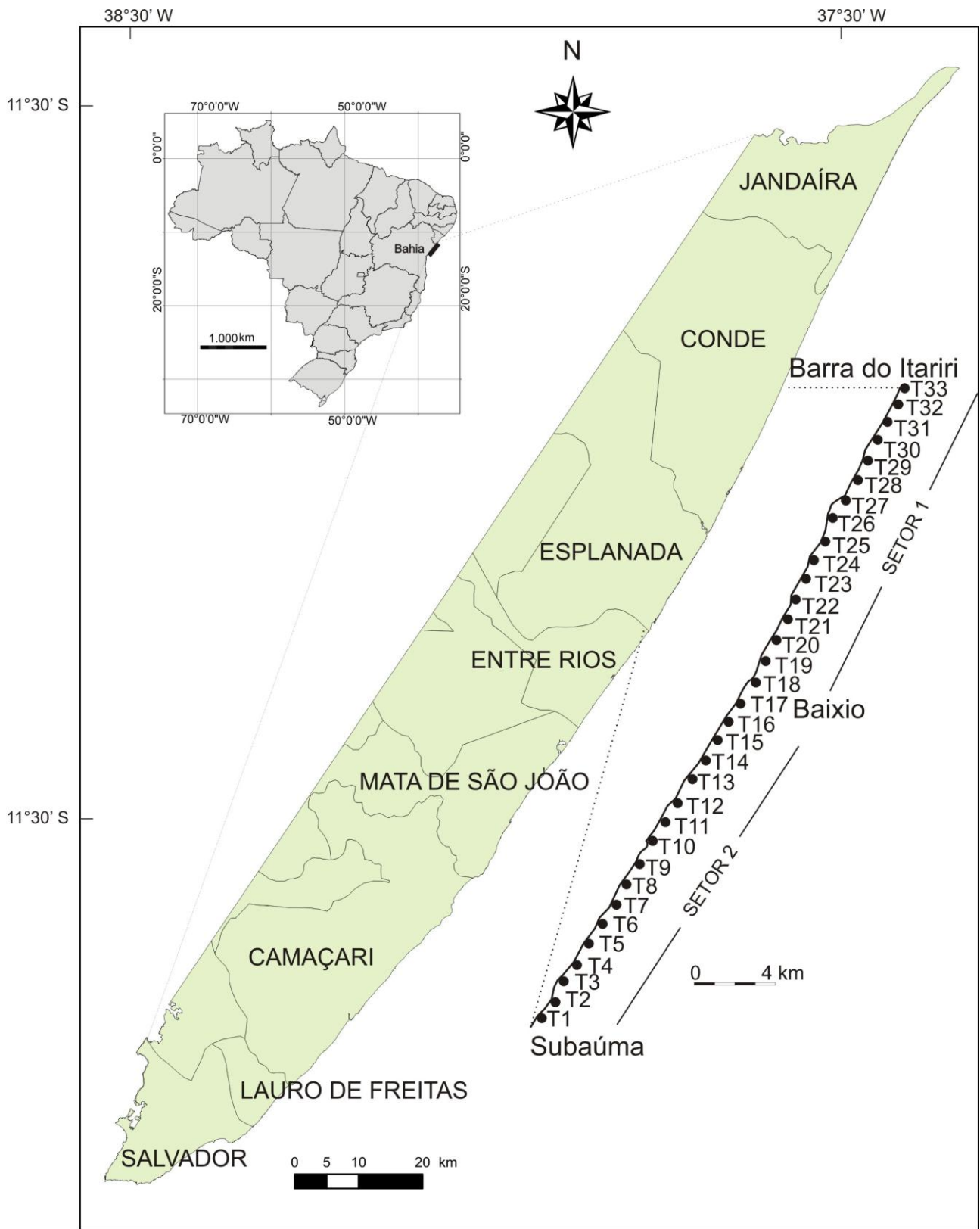


Figura 1. Localização da área de estudo com indicação dos transectos de amostragem e limites municipais.



Foto 1. A) Região central do povoado de Baixo; B) Praias desertas nas proximidades do povoado de Barra do Itariri; C) Praias desertas nas proximidades do povoado de Subaúma; D) Barra do Itariri.



Foto 2. Cordão duna no litoral entre as localidades de Subaúma e Baixo.

Geologicamente, sua zona costeira é delimitada, na sua parte mais interna, por depósitos semiconsolidados da Formação Barreiras (Martin et al. 1980; Dominguez et al. 2009), de idade miocênica (Suguio & Nogueira, 1999). Depósitos quaternários, representados

fundamentalmente por terraços marinhos arenosos holocênicos e pleistocênicos são encontrados em quase toda a extensão dessa região costeira (Martin *et al.* 1980). Localmente, ocorrem depósitos flúvio-lagunares de terras úmidas, lagoas, manguezais,

recifes de corais e bancos de arenitos de praia (Martin *et al.* 1980, Leão & Kikuchi 1999).

A sua linha de costa apresenta um contorno retilíneo bastante regular, sendo bordejada, na sua maior parte, por um cordão duna com altura média de 2 m (Foto 2), constituído por areias finas (retrabalhadas pelo vento), que terminam retidas pela vegetação herbácea de restinga adjacente à linha de preamar máxima. O cordão duna possui sua morfologia alterada apenas em determinados trechos, apresentando uma escarpa de erosão bem definida.

Conforme o modelo proposto por Wright e Short (1984), quanto à morfodinâmica praial, as praias estudadas podem ser predominantemente classificadas como intermediárias. Essa classificação inclui, como características principais, a presença de bancos de areia e de cavas profundas paralelas à linha de costa, além das frequentes correntes de retorno orientadas transversalmente em relação às próprias praias. De acordo com a descrição de campo, estas praias são compostas por sedimentos na granulação de areia média, de composição quartzosa, com declividades variando de 5 a 10° e larguras entre 10 e 20 metros.

Amostragem e monitoramento do lixo marinho

As coletas foram realizadas nos meses de janeiro, março, maio e julho, a cada quilômetro de praia, totalizando 33 transectos, perpendiculares à linha de costa, sendo a área de estudo dividida em dois trechos principais: setor 1, entre Baixio e Barra do Itariri, e setor 2, entre Subaúma e Baixio (Figura 1). Cada transecto, com 10 m de largura, foi estendido desde a linha d'água até o cordão duna (face da praia e pós-praia). Todos os itens de lixo maiores que 1 cm foram manualmente coletados, pesados e classificados de acordo com sua composição (borracha, espuma, isopor, metal, nylon, papel, plástico, tecido, embalagens Tetra Pak e vidro) e sua utilidade original (IOC/FAO/UNEP, 1989; Soares *et al.*, 2011).

A diferenciação por utilidade original envolveu as seguintes categorias: atividades aquáticas/pesca, comerciais/recreativas, domésticas/industriais, relacionadas ao hábito de fumar, relacionadas à higiene pessoal e atividades hospitalares, contaminantes, além

das não identificáveis (englobando destacadamente itens encontrados em estágios avançados de fragmentação). As prováveis fontes foram inferidas de acordo com Claereboudt (2004) como: atividades turísticas (fonte local), domésticas/industriais (fonte não local) e pesqueiras (fonte não local).

A ocorrência de *pellets* foi observada, para os mesmos períodos de coleta, nos mesmos 33 transectos, apenas nas proximidades da linha de preamar máxima de cada transecto, devido à dificuldade de visualização destas pequenas esférulas plásticas em outras zonas da praia.

Dois meses antes da primeira coleta para contagem foi feita a retirada de todo o lixo até então depositado no interior dos transectos, com o objetivo de evitar a interferência de estoques antigos sobre os resultados atuais, em acordo com o método utilizado por Vieira e colaboradores (2011).

Em adaptação à classificação proposta por Araújo e Costa (2007), os transectos amostrados foram categorizados com relação aos seus níveis de poluição, de acordo com os seguintes critérios: A = ausência de lixo marinho ou não poluído (0 item/m); B = baixa poluição (0 a 4 itens/m); C = alta poluição (4 a 10 itens/m); e D = poluição extremamente alta (acima de 10 itens/m).

A análise da distribuição sazonal do lixo marinho na área de interesse foi realizada mediante aplicação de análises estatísticas inferenciais não paramétricas. Para tanto, foi utilizado o teste de Mann Whitney (Paleontological Statistics "PAST" - versão 1.49b), de modo a estabelecer a existência de variações significativas, comparando a quantidade de lixo coletada no período do verão com a quantidade coletada no período de outono/inverno.

Determinação das alturas das ondas ao longo da costa e modelagem da deriva litorânea

A modelagem de ondas foi elaborada com base nos diagramas de refração de ondas, a partir de técnicas clássicas (CERC, 1984). Estas técnicas, em linhas gerais, consistem em atribuir um valor de refração, calculado para cada altura e período de onda, utilizando um ábaco e traçados manualmente, para cada raio de onda quando este atravessa as curvas batimétricas a partir de alturas inferiores à

metade do seu comprimento de onda. Assim, quando o raio de onda atravessa cada curva batimétrica lhe é atribuído um valor de refração que altera a sua propagação. Os dados batimétricos usados na construção desses diagramas foram extraídos de uma carta náutica da Marinha do Brasil, em uma escala aproximada de 1:300.000 (BRASIL, 1993). As ondas não foram propagadas em águas com profundidades inferiores a 10m, que é o limite mais próximo da linha de costa na carta náutica.

As condições de ondas usadas nesse trabalho foram extraídas de Hogben e Lumb (1967) (Área 37), os quais registram dados obtidos por observações visuais em mar aberto, feitas a partir de navios. As direções de ondas geradas pelos ventos que incidem na área de estudo (Bittencourt *et al.* 2000, 2005), utilizando dados referentes às frentes de onda relacionadas às principais direções dos ventos atuantes na zona costeira, são NE (N45°), E (N90°), SE (N135°) e SSE (N175,5°), considerando períodos de 5 s e alturas de 1 m para frentes de onda de NE e E, e de 6,5s e 1,5 m para frentes de onda de SE e SSE.

A partir desses diagramas foi estimada a altura das ondas ao longo da costa (H), obtida através da Equação 1,

$$H = K \times H_0 \quad 1$$

na qual H_0 é altura da onda em águas profundas (profundidades superiores a 30 m) e K é o coeficiente de refração, conforme definido na Equação 2, em que b_0 designa a distância entre duas ortogonais às frentes de onda em águas profundas e b a distância entre duas ortogonais às frentes de onda ao longo da costa (Bascom, 1954).

$$K = \sqrt{\frac{b_0}{b}} \quad 2$$

Por fim, a intensidade potencial da deriva litorânea efetiva, bem como seus sentidos gerais, foi determinada, por um número adimensional, utilizando a Equação 3, definida por Komar (1976).

$$X = H^2 \times \text{sen}(\alpha) \times \text{cos}(\alpha) \quad 3$$

DISCUSSÕES, INTERPRETAÇÕES E RESULTADOS

A coleta de verão incluiu 720 itens, compreendendo um peso total aproximado de 13.990 g. A aplicação da análise descritiva sobre os resultados alcançados evidenciou uma diminuição na deposição de resíduos em escala temporal (410 coletados em janeiro e 310 em março), ocorrida em ambos os trechos estudados (Figuras 2 e 3).

Considerando separadamente os trechos estudados, a costa situada no setor 1 apresentou diferenças temporais mais significativas ($p = 0,0038$), comparando os diferentes períodos de coleta. Destacou-se ainda o acúmulo identificado para as proximidades do povoado de Baixio, durante o verão (T18), indicando que provavelmente parte dos resíduos foi decorrente dos usuários de praias (atividades turísticas). Contudo, regionalmente predominam fontes marinhas, por se tratar de um trecho composto na sua maioria por praias desertas.

O transecto 18 foi o único a exibir níveis altos de poluição (categoria C) para o período de verão. Todos os demais transectos apresentaram níveis de poluição dentro da categoria B (baixa poluição), não ultrapassando índices superiores a 4 itens/m (Figuras 2 e 3).

Para o período de inverno (meses de maio e julho), foram registrados 994 itens, compreendendo um peso total aproximado de 14.510 g. A aplicação da análise descritiva não registrou, em escala temporal, elevadas alterações no estoque de lixo marinho (500 resíduos coletados em maio e 494 em julho). O trecho Baixio/Barra do Itariri manteve maiores estoques em ambos os meses amostrados. Considerando a identificação dos níveis de poluição por transecto, apenas o transecto 28 exibiu poluição alta (categoria C), durante a coleta do mês de maio. Os demais transectos corresponderam à categoria B, indicando uma baixa poluição (Figuras 4 e 5).

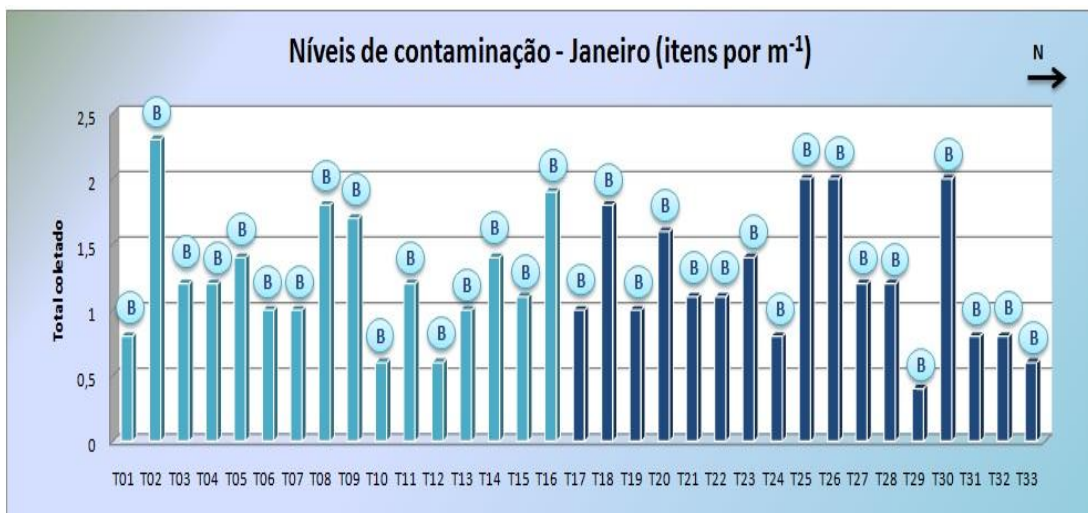


Figura 2. Distribuição do lixo marinho amostrado por transecto, em itens/m⁻¹, e qualificação por categoria de poluição de acordo com a amostragem realizada em janeiro. A cor azul escuro indica resultados para o Setor 1 (Barra do Itariri/Baixio) e a cor azul claro para o Setor 2 (Baixio/Subaúma).

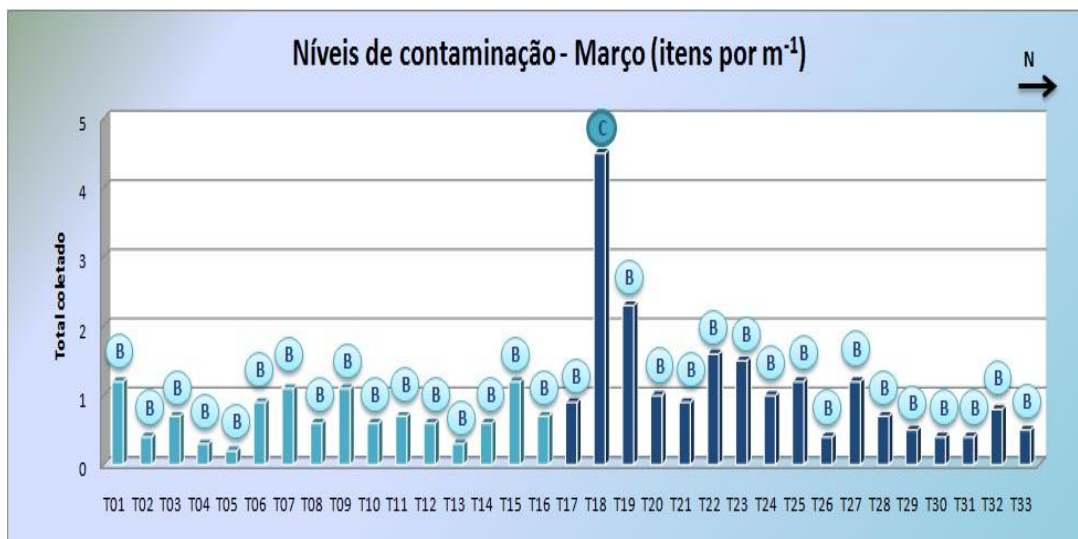


Figura 3. Distribuição do lixo marinho amostrado por transecto, em itens/m, e qualificação por categoria de poluição de acordo com a amostragem realizada em março. A cor azul escuro indica resultados para o Setor 1 (Barra do Itariri/Baixio) e a cor azul claro para o Setor 2 (Baixio/Subaúma).

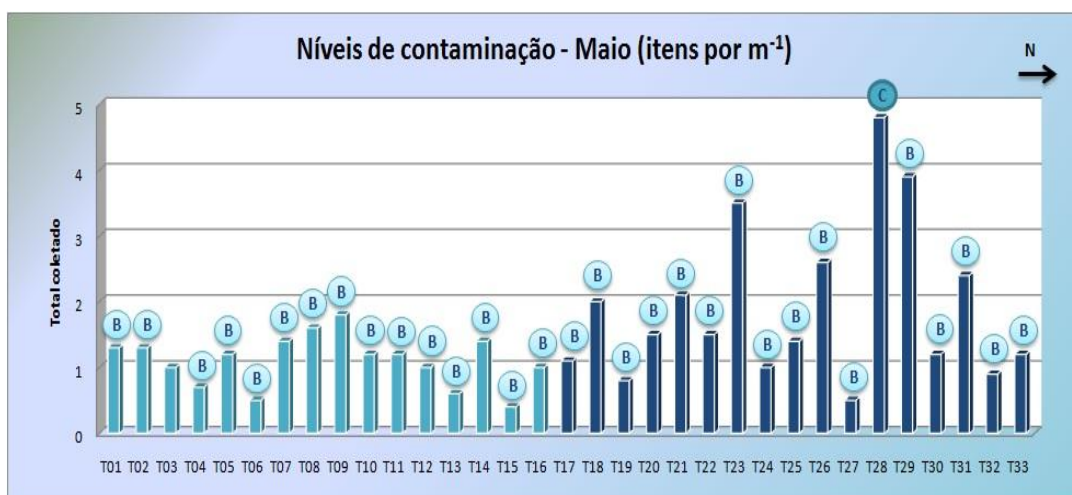


Figura 4. Distribuição do lixo marinho amostrado por transecto, em itens/m, e qualificação por categoria de poluição de acordo com a amostragem realizada em maio. A cor azul escuro indica resultados para o Setor 1 (Barra do Itariri/Baixio) e a cor azul claro para o Setor 2 (Baixio/Subaúma).

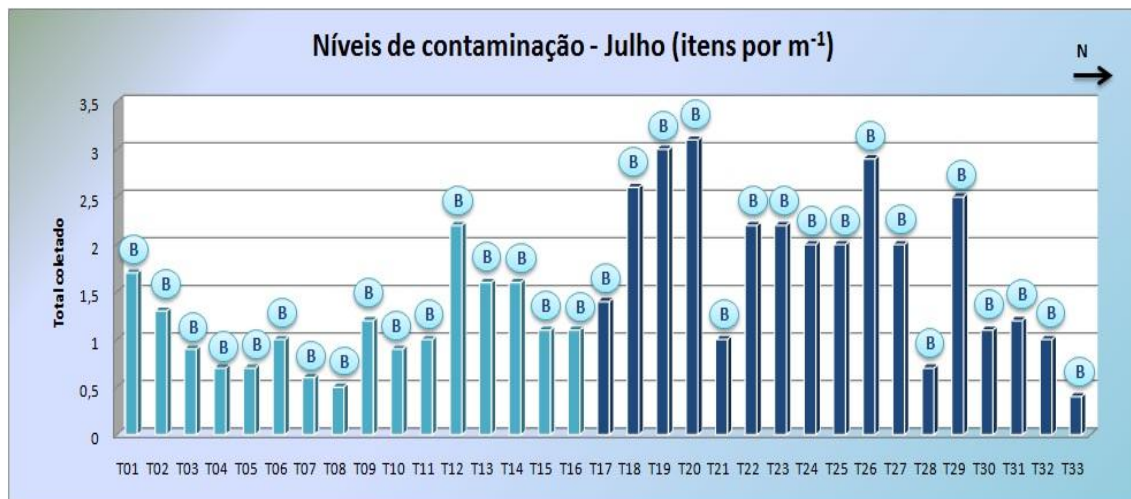


Figura 5. Distribuição do lixo marinho amostrado por transecto, em itens/m, e qualificação por categoria de poluição de acordo com a amostragem realizada em julho. A cor azul escuro indica resultados para o Setor 1 (Barra do Itariri/Baixio) e a cor azul claro para o Setor 2 (Baixio/Subaúma).

Considerando a composição do lixo, destacou-se a presença de plásticos (566 coletados no verão e 857 no outono/inverno), com uma média de 82% do total de itens para ambos os períodos amostrais. Dentre as demais

categorias, predominaram o isopor (62 itens coletados no verão e 43 no outono/inverno) e o nylon (36 itens no verão e 59 no outono/inverno) (Figuras 6 e 7).

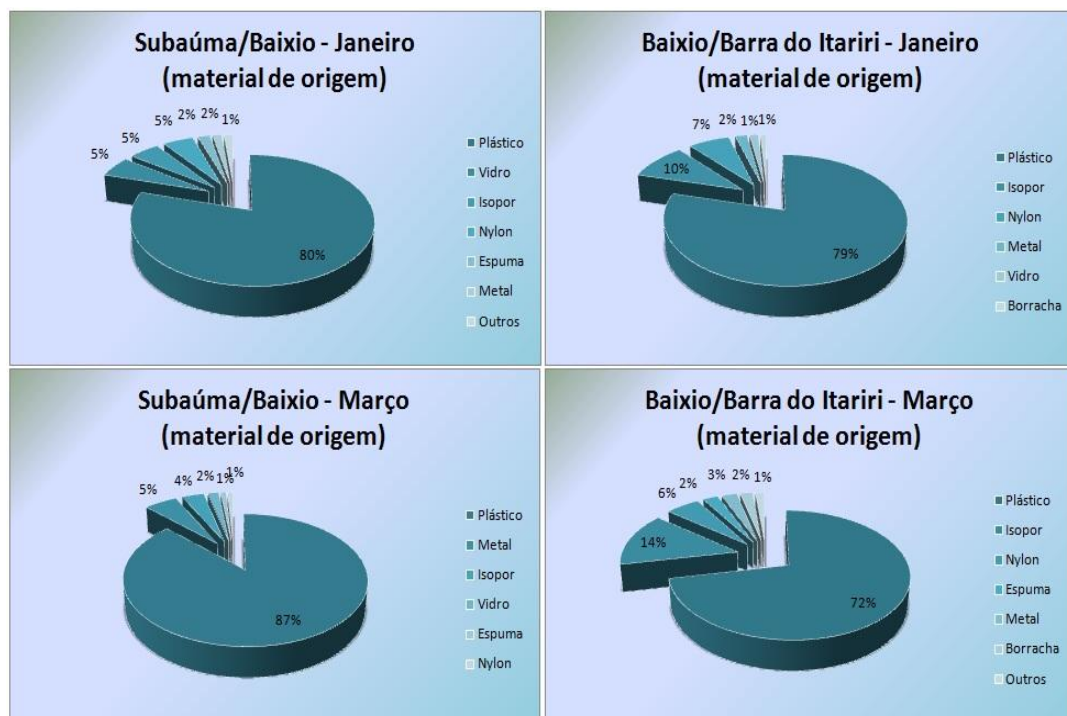


Figura 6. Composição expressa por material de origem do lixo marinho amostrado, por trecho percorrido, no Litoral Norte da Bahia, durante o verão (meses de janeiro e março).

Na pesagem do lixo coletado, os plásticos também predominaram em ambos os períodos (6.610 g no verão e 9.740 g no outono/inverno). Os percentuais alcançados no quesito peso no verão e outono/inverno foram, respectivamente, 47% e 67%. Pesquisas realizadas em praias brasileiras, como aquela conduzida por Neves e

colaboradores (2011), confirmam tal predomínio. Demais categorias incluíram vidro (4.640 g no verão e 1.840 g no outono/inverno) e borracha (1.700 g no verão e 1.650 g no outono/inverno), devido, principalmente, ao elevado peso específico por itens dessas categorias.

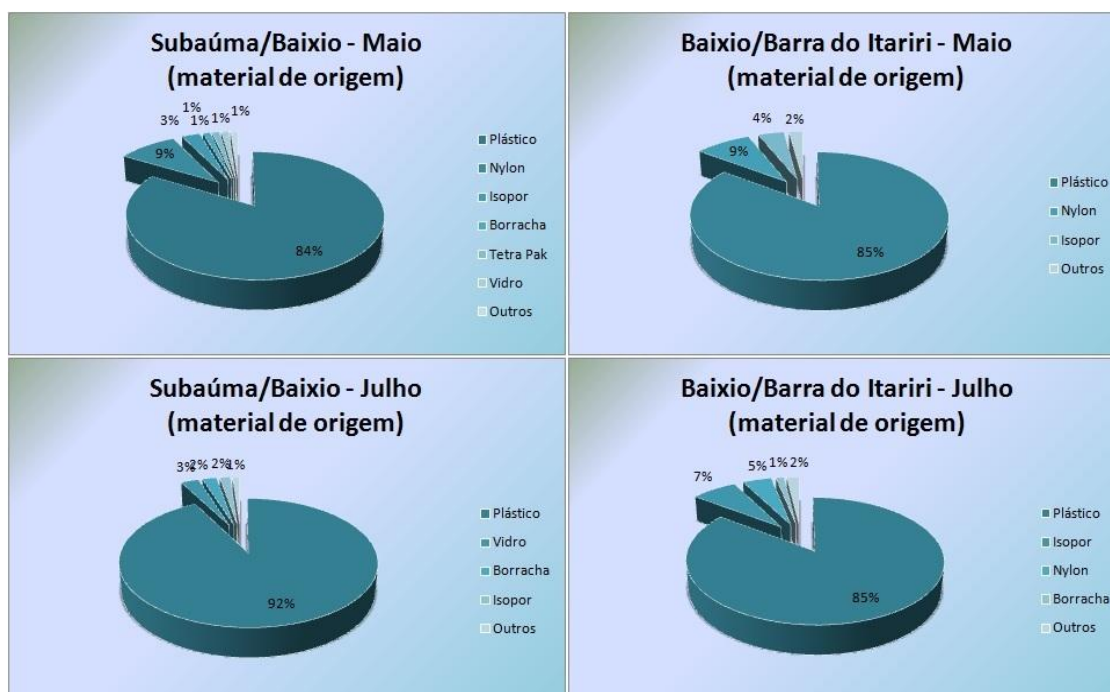


Figura 7. Composição expressa por material de origem do lixo marinho amostrado, por trecho percorrido, no Litoral Norte da Bahia, durante o inverno (meses de maio e julho).

Entre os resíduos mais encontrados prevaleceram os fragmentos plásticos (91 itens amostrados no verão e 156 no outono/inverno), os sacos plásticos (76 no verão e 156 no outono/inverno), as tampas plásticas de bebidas diversas (81 no verão e 89 no outono/inverno) e as garrafas do tipo PET (83 no verão e 67 no outono/inverno).

A presença expressiva de fragmentos plásticos pode ser explicada pelas constantes modificações aos quais são expostos, como o soterramento e a remobilização pelas ondas, além dos efeitos da foto-oxidação e transporte/arrasto pelo vento. Uma vez que apresentam condições favoráveis à fragmentação, o lixo plástico tende a se fragmentar em partes cada vez menores, dando origem ao chamado microplástico, que, por sua vez, afetará uma quantidade ainda maior de organismos, por meio de transferência trófica.

Apesar da diversidade identificada na composição do lixo, a maioria dos itens coletados pôde ser relacionada às atividades comerciais/recreativas (407 itens amostrados no verão e 548 itens no outono/inverno), incluindo objetos como sacos plásticos, tampas de bebidas diversas e garrafas do tipo PET, além dos copos descartáveis. Os fragmentos plásticos e de isopor (poluentes comuns na região), por

dificultarem a identificação do uso original, foram incluídos junto às atividades não identificadas (145 itens no verão e 190 no outono/inverno). Entre os itens relacionados às atividades domésticas/industriais (78 no verão e 111 no outono/inverno), destacaram-se as embalagens de alimentos. As demais categorias apresentaram menor relevância, como as atividades aquáticas e de pesca, apesar da representatividade dos cabos de embarcação (Figuras 8 e 9).

Foram observados *pellets* em todos os transectos dos dois períodos amostrados. Essa alta ocorrência é preocupante devido ao potencial risco de poluição deste material (decorrente da alteração destes polímeros e seus aditivos) e risco de ingestão por animais (Turra *et al.*, 2008). Os *pellets* são principalmente constituídos de polímeros como o polipropileno (PP), polietileno (PE) e o poliestireno (PS). Por serem pequenos (1 a 5 mm), com tonalidades geralmente claras e ampla capacidade de flutuação, esses grânulos tornaram-se uma potencial ameaça aos organismos marinhos, que os ingerem por engano, ao confundi-los, por exemplo, com ovos de peixes (Ananthaswamy, 2001) ou flutuadores de sargasso (Blight & Burger, 1997).

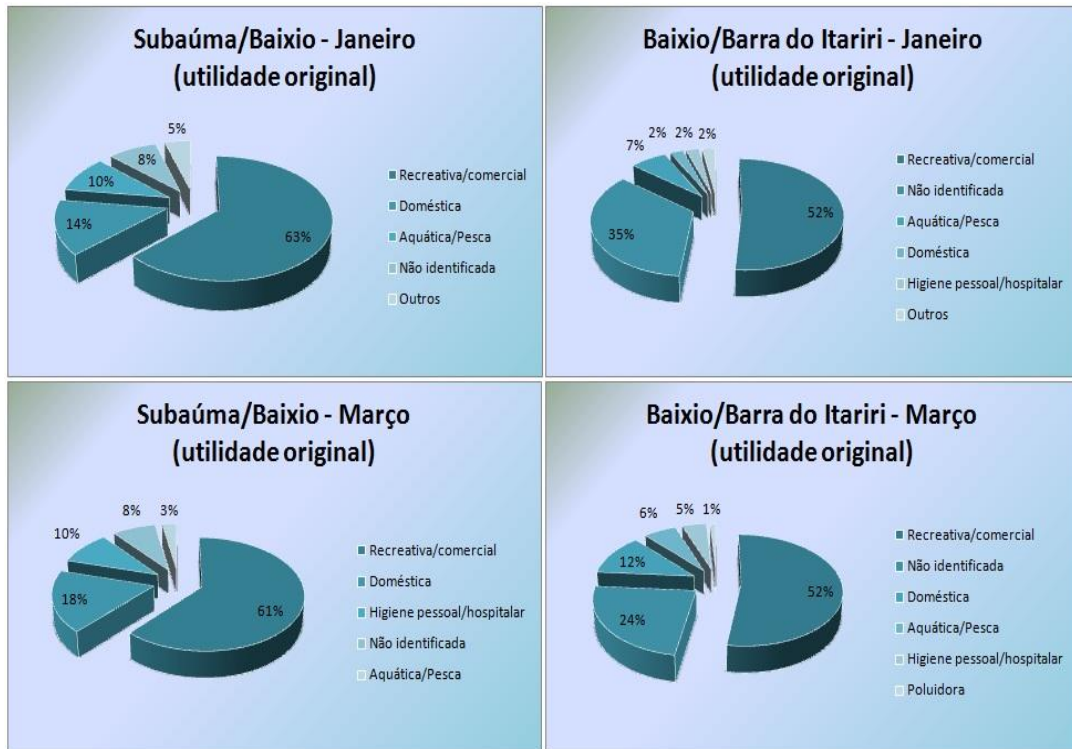


Figura 8. Composição expressa por utilidade original do lixo marinho amostrado, por trecho percorrido, durante o verão.

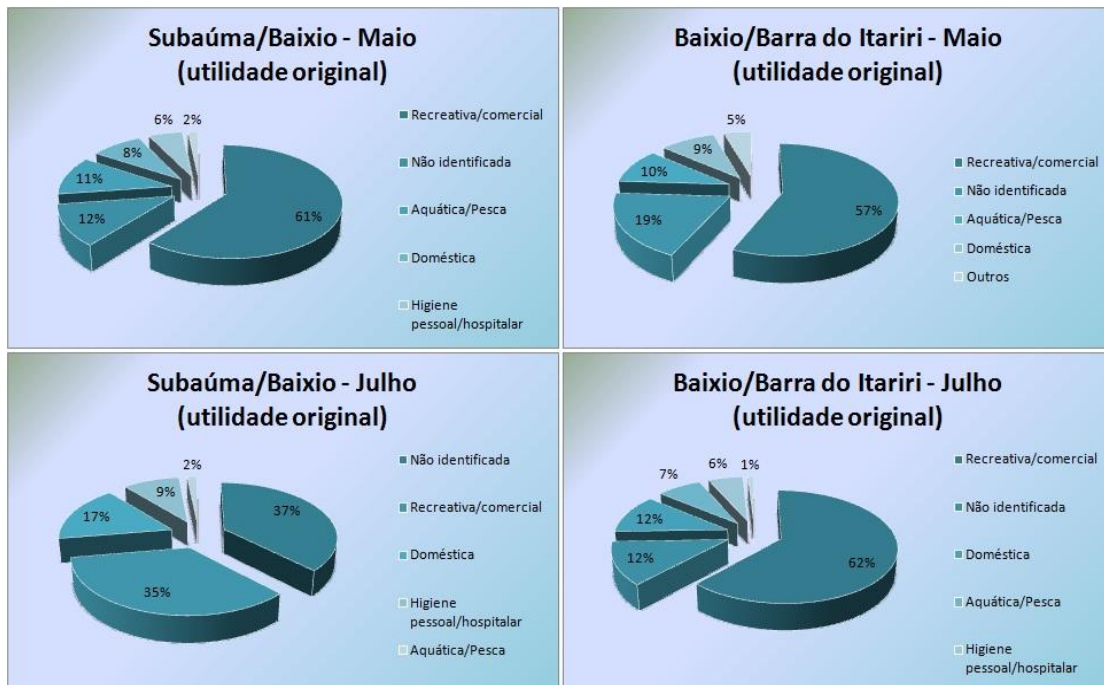


Figura 9. Composição expressa por utilidade original do lixo marinho amostrado, por trecho percorrido, durante o inverno.

Os pellets podem apresentar propriedades distintas, visando atender aos fins comerciais desejados, incluindo alterações nas propriedades estéticas e físicas dos seus polímeros, a exemplo da aplicação de aditivos que modificam a coloração (EPA, 1992). Frias

e colaboradores (2010), ao analisarem a capacidade de esférulas esbranquiçadas, pretas e coloridas, em adsorver poluentes orgânicos persistentes (POPs), constataram que aquelas de tonalidade preta apresentavam maiores concentrações desses poluentes, apesar de todas

as demais também apresentarem traços de contaminação.

Entre as diferentes tonalidades observadas, destacaram-se os *pellets* transparentes e esbranquiçados, que são as tonalidades mais comumente produzidas (Manzano, 2009). Grânulos coletados por Pianowski (1997) e Shiber (1982) também se apresentaram, na ampla maioria, tonalidades mais claras (variando do branco ao amarelo-alaranjado). No presente estudo, foi observada apenas uma ocorrência de *pellet* colorido durante as coletas de verão. De acordo com a EPA (1992), os corantes adicionados aos polímeros constituintes das esférulas plásticas podem acarretar potenciais efeitos toxicológicos para a biota marinha local. Nesse contexto, a lixiviação de tais corantes torna-se potencializada pela miscibilidade dos corantes aos próprios polímeros. Nobre e colaboradores (2015) verificaram a toxicidade dos *pellets* e dos produtos químicos lixiviados, aumentando o risco de desenvolvimento embrionário anômalo em *Lytechinus variegatus*.

O cálculo da altura das ondas, após a refração, realizado a partir da análise dos diagramas de refração (Figura 10), para a região entre os povoados de Barra do Itariri e Subaúma, indicou (Tabela 1): i) alturas para as ondas vindas de leste (direção N 90°), as quais ocorrem durante praticamente todo o ano nessa faixa costeira, variando entre 0,94 e 1,18 m, com valores médios de 1,04 m; ii) alturas das ondas vindas de nordeste (direção N 45°), predominantes durante o verão, variaram de 0,64 a 1,29 m, com valores médios de 0,95 m; iii) alturas para as ondas vindas de sudeste (direção N 135°), predominantes durante o inverno, apresentaram alturas variando entre 1,22 e 2,04 m, com valores médios de 1,49 m; e iv) para ondas de sul-sudeste (direção N 157,5°), que chegam ao litoral com as frentes-frias, com alturas variando de 1,21 a 1,94 m, com valores médios de 1,46 m. Assim, as maiores alturas para as ondas atuantes na área de estudo, foram provenientes de sudeste e sul-sudeste (frentes-frias), apresentando, conseqüentemente, uma maior energia e,

portanto, uma maior competência de transporte de resíduos.

Para o trecho estudado, as ondas apresentaram ângulo de incidência (α) médio (Tabela 1), medido após o processo de refração, de 24°, 69°, 74° e 59°, respectivamente, para as ondas oriundas de nordeste, leste, sudeste e sul-sudeste. A partir dos valores de alturas e ângulos de incidência encontrados ao longo do litoral (após a refração) foi calculada a intensidade potencial da deriva litorânea gerada por cada uma dessas frentes de onda. O método de cálculo utilizado gera valores adimensionais que servem para comparar a ordem de grandeza nos diferentes trechos.

Assumindo valores médios e considerando os percentuais de incidência anual de 47% para as ondas de leste, 18% para as de nordeste, 30% para as de sudeste e 5% para as de sul-sudeste (Hogben e Lumb, 1967), as ondas de leste geraram uma deriva de 1547 (valor adimensional) no setor 1 (entre Barra do Itariri e Baixio) e de 1738 no setor 2 (entre Baixio e Subaúma), ambas com sentido de norte para sul; as ondas de nordeste geraram uma deriva de 684 no setor 1 e de 567 no setor 2, também com sentido de norte para sul; as ondas de sudeste geraram uma deriva de 1901 no setor 1 e de 1578 no setor 2, com sentido de sul para norte; e, por fim, as ondas de sul-sudeste geraram uma deriva de 474 no primeiro trecho e de 464 no segundo, com sentido de sul para norte. A intensidade da deriva dominante menos a da deriva secundária, ou seja, a resultante anual da deriva litorânea, para o setor 1 foi de -144 (1547+684-1901-474) e para o setor 2 de 263 (1738+567-1578-464). Os valores negativos indicam uma deriva com sentido de sul para norte e, os valores positivos, uma deriva com sentido de norte para sul (Figura 11). Assim, quando existe um predomínio das ondas vindas de SE e SSE (comuns no período de outono e inverno), no balanço anual, a resultante terá um sentido de sul para norte; quando existe um predomínio das ondas vindas de E e NE (comuns no período de primavera e verão), a resultante terá um sentido de norte para sul.

Tabela 1. Altura das ondas, ângulo de incidência e intensidade potencial da deriva (valores adimensionais médios para a região de estudo), para ondas vindas de leste, nordeste, sudeste e sul-sudeste.

H E	H NE	H SE	H SSE	α E	α NE	α SE	α SSE	Deriva E (N-S)	Deriva NE (N-S)	Deriva SE (S-N)	Deriva SSE (S-N)
1,00	1,00	1,40	1,40	69	23	68	55	33	36	68	93
1,00	1,00	1,50	1,32	69	23	68	55	33	36	78	82
1,00	1,26	1,38	1,33	69	23	68	55	33	57	66	83
1,00	1,29	1,38	1,40	70	23	66	59	32	60	71	87
0,94	0,64	1,41	1,47	70	26	72	59	28	16	58	95
1,08	1,02	1,41	1,39	74	25	72	59	31	39	58	85
1,00	0,72	1,35	1,37	71	35	72	59	31	24	54	83
1,08	0,93	1,59	1,37	70	25	75	59	37	33	63	83
1,00	0,94	1,57	1,55	70	25	74	59	32	34	66	106
1,08	1,00	1,39	1,59	70	25	74	59	37	38	51	111
1,00	0,92	1,45	1,62	70	22	75	59	32	29	52	116
1,00	0,92	1,52	1,07	70	24	75	54	32	31	58	54
1,00	0,76	1,46	1,67	70	27	72	54	32	23	62	132
1,00	0,82	1,51	1,50	70	26	72	59	32	26	67	99
1,00	0,89	1,51	1,26	71	20	72	59	31	25	67	70
1,00	1,06	1,62	1,94	72	20	72	59	29	36	77	167
1,00	1,29	1,55	1,45	73	20	72	59	28	54	70	93
1,08	0,69	1,48	1,39	70	23	72	59	37	17	64	85
1,08	-	1,45	1,46	70	-	72	59	37	-	61	94
1,00	-	1,43	1,46	70	-	72	62	32	-	60	88
1,00	-	1,38	1,21	70	-	72	62	32	-	56	60
1,08	-	1,22	1,94	70	-	72	65	37	-	44	145
1,18	-	1,73	1,77	67	-	78	60	50	-	61	136
1,00	-	1,60	1,50	67	-	78	57	36	-	52	103
1,00	-	1,42	1,45	67	-	78	57	36	-	41	96
1,18	-	1,42	1,42	70	-	78	57	45	-	41	92
1,18	-	1,47	1,37	70	-	78	61	45	-	44	80
1,08	-	1,60	1,31	70	-	82	61	37	-	35	73
1,00	-	1,54	1,50	69	-	81	61	33	-	36	95
1,08	-	1,23	1,37	69	-	80	60	39	-	26	82
1,08	-	1,68	1,31	69	-	80	66	39	-	48	64
1,08	-	2,04	1,45	69	-	73	65	39	-	117	80
1,00	-	1,56	1,64	69	-	73	61	33	-	68	114
1,00	-	1,37	1,46	69	-	73	61	33	-	52	90
1,00	-	1,63	1,49	69	-	73	61	33	-	74	94
1,00	-	1,38	1,69	69	-	78	57	33	-	39	131
1,08	-	1,36	1,46	69	-	84	57	39	-	19	97
1,00	-	1,40	1,46	69	-	81	57	33	-	30	97
1,08	-	1,63	1,46	69	-	81	57	39	-	41	97
1,18	-	1,42	1,35	69	-	77	59	47	-	44	80

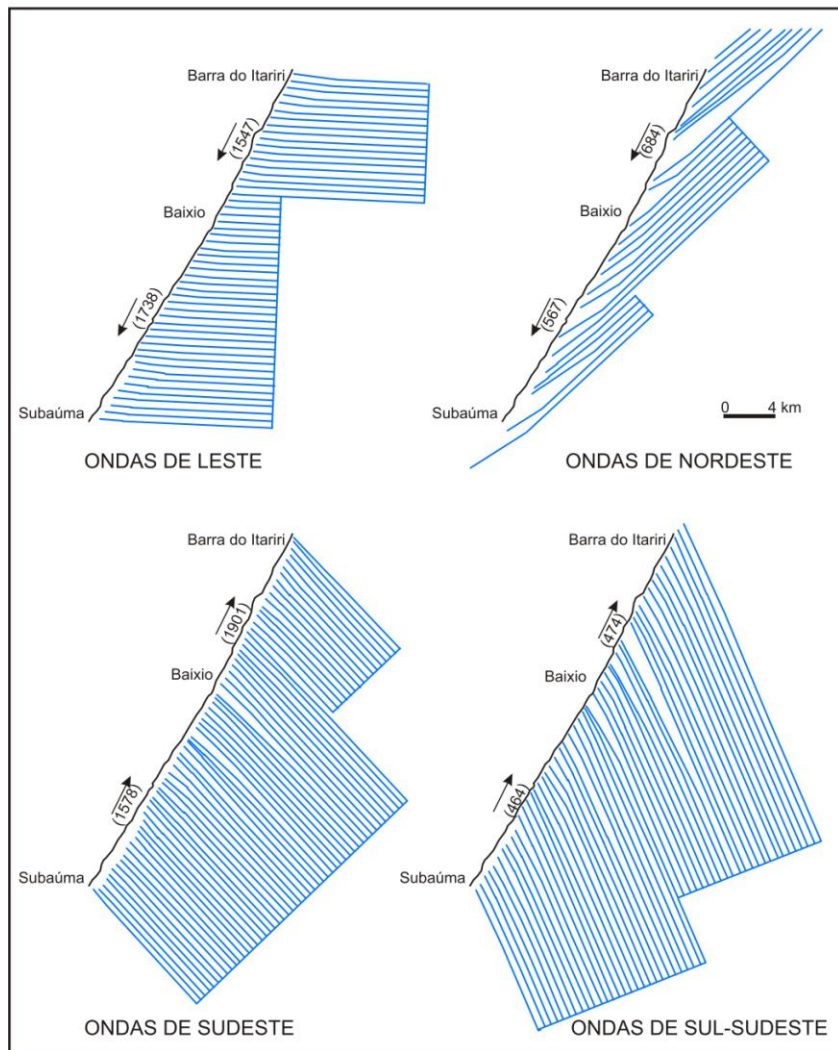


Figura 10. Diagramas de refração para ondas vindas de leste, nordeste, sul e sul-sudeste.

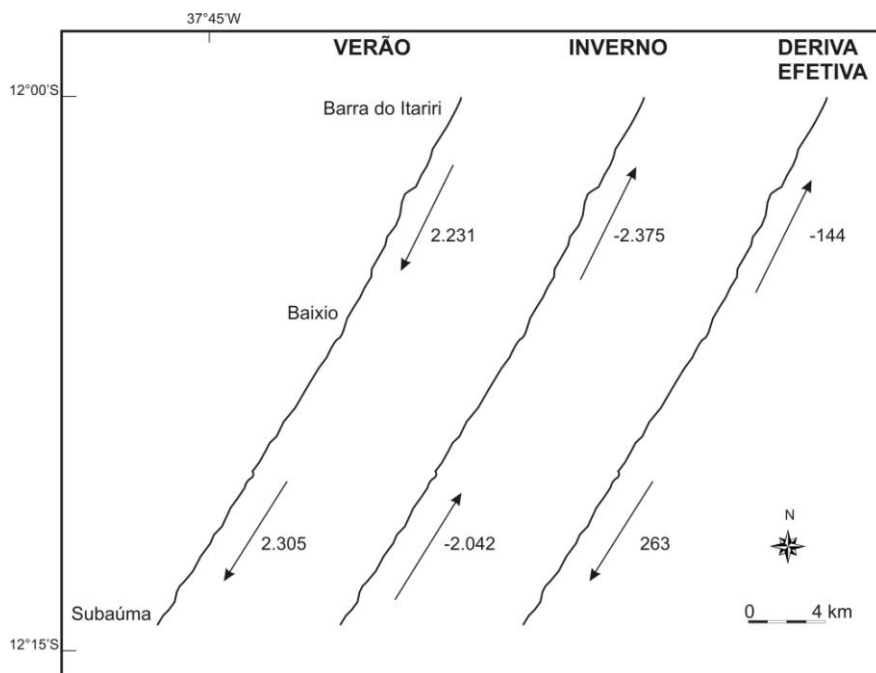


Figura 11. Sentido da deriva litorânea predominante no período de verão e de inverno e a deriva efetiva para o litoral entre Subaúma e Barra do Itariri.

A determinação da deriva efetiva, através dessa modelagem, indicou, como já apontado por Livramento (2008) e Bittencourt e colaboradores (2010), uma zona de divergência, com sentido da deriva de sul para norte entre Barra do Itariri e Baixo e, de norte para sul, entre Baixo e Subaúma. Esta zona de divergência é também confirmada por indicadores geomórficos de deriva litorânea, especialmente os pontais arenosos dos Rios Inhambupe – em Baixo, com crescimento para sul – e Itariri – com crescimento para norte.

A existência desta zona de divergência no sentido preferencial da deriva litorânea de sedimentos não parece ter grande influência na distribuição do lixo marinho nesta região. A localização dos pequenos povoados e das desembocaduras fluviais também não apresentaram relevância na definição do padrão de distribuição do lixo nos períodos estudados.

O predomínio das ondas de sudeste e sul-sudeste, com maiores alturas e, portanto, maior competência de transporte (com sentido aproximado de SW para NE), entre Barra do Itariri e Baixo, pode ser um fator determinante para a maior ocorrência de lixo marinho nesse

trecho, especialmente durante o período de outono/inverno. No período de verão, com transporte menos intenso de aproximadamente NE para SW, ocorre apenas um aporte de lixo local em períodos de alta estação, relevantes apenas pontualmente, nas proximidades dos povoados.

O aporte de lixo nas regiões menos urbanizadas, com praias desertas ou semi-desertas, parece ter como fonte o transporte marinho de regiões mais distantes e não se pode descartar a possibilidade da região metropolitana de Salvador ser uma fonte potencial para esses resíduos, uma vez que eles podem ser transportados para norte e continuarem no mar até serem novamente mobilizados por correntes costeiras chegando até a praia.

Nas ações de gerenciamento dos resíduos sólidos, visando o controle da poluição, é imprescindível a interferência no comportamento de descarte junto às prováveis fontes, incluindo a sensibilização via educação ambiental (Araújo & Costa, 2007; Santos *et al.*, 2008; Thiel *et al.*, 2011; Santana Neto *et al.*, 2011; Portz *et al.*, 2011).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Um total de 1.714 itens foi coletado. Foi observado um aumento quantitativo do estoque de lixo marinho amostrados no outono/inverno (994 unidades) com relação à coleta de verão (720 unidades), com predomínio do plástico dentre os itens amostrados em ambos períodos. Desta forma, o aumento da atividade recreativa realizada durante o verão não foi suficiente para contribuir com maiores índices de contaminação a nível regional, embora em março tenha sido coletado menos resíduo que em janeiro. A maior ocorrência de resíduos sólidos nos meses de outono/inverno (maio e julho), especialmente no trecho entre Barra do Itariri e Baixo, parece ser resultante do predomínio das ondas de sudeste e sul-sudeste neste período, com maiores alturas e, portanto, maior energia e competência para transportar os resíduos.

Pela relevância da região de estudo como área de reprodução/alimentação para tartarugas e cetáceos marinhos, a contaminação local por resíduos sólidos pode implicar na perda de habitats prioritários para sua conservação. Ressalta-se a importância da realização de atividades de orientação aos pescadores e demais usuários de embarcações quanto ao descarte inadequado de resíduos no mar, além de ações diversas voltadas à educação ambiental com turistas, donos de estabelecimentos comerciais e vendedores ambulantes, na tentativa de reduzir o aporte de lixo marinho em todo o litoral. Os resultados obtidos no presente estudo evidenciam o papel das ondas na distribuição do lixo e a necessidade de medidas de contenção e prevenção a nível global.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à ONG Global Garbage pelo financiamento das atividades de campo. S.P. Santana Neto agradece ao CNPQ (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pela bolsa de Mestrado e I.R. Silva e A.C.S.P. Bittencourt agradecem pela bolsa de Produtividade em Pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANANTHASWAMY, A. Junk Food - A diet of plastic pellets plays havoc with animals immunity. **New Scientist**, v. 169, n. 2274, p. 18-19, 2001.
2. ARAÚJO M.C.B. & COSTA, M.F. Lixo no ambiente marinho. **Ciência Hoje**, v. 32, n. 191, p. 64-67, 2003.
3. ARAÚJO M.C.B. & COSTA M.F. Visual diagnosis of solid waste contamination of a tourist beach: Pernambuco, Brazil. **Waste Management**, v. 27, n. 6, p. 833-839, 2007.
4. BASCOM, W. The Control of stream outlets by wave refraction. **Journal of Geology**, v. 62, n.6, p. 600-605, 1954.
5. BITTENCOURT A.C.S.P., DOMINGUEZ J.M.L., MARTIN L., SILVA I.R. Patterns of Sediment Dispersion Coastwise the State of Bahia – Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 72, n. 2, p. 271-287, 2000.
6. BITTENCOURT A.C.S.P., DOMINGUEZ J.M.L., MARTIN L., SILVA I.R. Longshore transport on the northeastern Brazilian coast and implications to the location of large scale accumulative and erosive zones: An overview. **Marine Geology**, v. 219, p. 219-234, 2005.
7. BITTENCOURT A.C.S.P.; LIVRAMENTO F.C.; DOMINGUEZ J.M.L.; SILVA I.R. Tendências de longo prazo à erosão costeira num cenário perspectivo de ocupação humana: Litoral Norte do Estado da Bahia. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 40, p.125-137, 2010.
8. BRASIL, Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil. **Atlas de Cartas Piloto**. Rio de Janeiro, 2ª edição, 24p., 1993.
9. COASTAL ENGINEERING RESEARCH CENTER (CERC) **Shore Protection Manual**. Washington D.C., U.S. Army Corps of Engineers, v. I, 597 p., v. II, 603 p., 1984.
10. CHESHIRE A.C.; ADLER E.; BARBIÈRE J.; COHEN Y.; EVANS S.; JARAYABHAND S.; JEFTIC L.; JUNG R. T.; KINSEY S.; KUSUI E. T.; LAVINE I.; MANYARA P.; OOSTERBAAN L.; PEREIRA M.A.; SHEAVLY S.; TKALIN A.; VARADARAJAN S.; WENNEKER B.; WESTPHALEN G. **Guidelines on Survey and Monitoring of Marine Litter**. UNEP Regional Seas Reports and Studies, n. 186, IOC Technical Series n. 83, 120 p., 2009.
11. CLAEREBOUDT, M.R. Shore litter along sandy beaches of the Gulf of Oman. **Marine Pollution Bulletin**, v. 49, p. 770-777, 2004.
12. COE J.M. & ROGERS D.B. **Marine pollution**. U.K.: Clarendon Press, 161p., 1997.
13. DERRAIK J.G.B. The pollution of the marine environment by plastic debris: a review. **Marine Pollution Bulletin**, v. 44, n. 9, p. 842-852, 2002.
14. DOMINGUEZ J.M.L.; BITTENCOURT A.C.S.P.; SANTOS A.N.; ANDRADE A.C.S.; LAVENERE-WANDERLEY A.A.O.; SILVA I.R.; QUEIROZ I.G.; FREITAS L.M.B.; NASCIMENTO L.; SILVA R.P. Tendência de erosão costeira no Estado da Bahia. In: MUEHE, D. (Coordenador). **Atlas de Erosão Costeira do Brasil**. Brasil, Ministério do Meio Ambiente, 2005.
15. DOMINGUEZ J.M.L.; ANDRADE A.C.S.; ALMEIDA A.B.; BITTENCOURT A.C.S.P. The Holocene Barrier Strandplains of the State of Bahia. In: DILLENBURG S. R. & HESP P.A. (Coordenadores) **Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil**. Lecture Notes in Earth Sciences, Alemanha: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 288 p., 2009.
16. EPA. **Plastics pellets in the Aquatic Environment: sources and recommendations**. EPA/842-B-92-010. Final Report. Washington: Environmental Protection Agency, 200 p., 1992.
17. FRIAS J.P.G.L.; MARTINS J.; SOBRAL P. Research in plastic marine debris in mainland Portugal. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, v.11, n.1, p. 145-148, 2011.
18. FRIAS J.P.G.L.; SOBRAL P.; FERREIRA A.M. Organic pollutants in microplastics from two beaches of the Portuguese coast. **Marine Pollution Bulletin**, v. 60, n. 11, p. 1988-1992, 2010.
19. HOGBEN N. & LUMB F.E. **Ocean Wave Statistics**. London, National Physical Lab., Ministry of Technology, 263 p., 1967.
20. IOC/FAO/UNEP. Report of the IOC/FAO/UNEP review meeting on the persistent synthetic materials pilot survey. **Programme for pollution monitoring and research in the Mediterranean**. Athens: IOC/FAO/UNEP, 600 p., 1989.
21. IVAR DO SUL J.A.; SANTOS I.R.; FRIEDRICH A.C.; MATTHIENSEN A.; FILLMANN G. Plastic pollution at a sea turtle conservation area in NE Brazil: contrasting developed and undeveloped beaches. **Estuaries and Coasts**, v. 34, p. 814-823, 2011.
22. KOMAR P.D. **Beach processes and sedimentation**. New Jersey: Prentice-Hall, 429 p., 1976.
23. LAIST D.W. Impacts of marine debris: entanglement of marine life in marine debris including a comprehensive list of species with entanglement and ingestion records. In: COE J.M. & ROGERS D.B. (Coordenadores). **Marine Debris Sources Impacts Solutions**. New York: Springer-Verlag, 140p., 1997.
24. LEÃO Z.M.A.N. & KIKUCHI R. K.P. The Bahian Coral Reefs – from 7000 years BP to 2000 years AD. **Ciência & Cultura**, v. 51, p. 262-273, 1999.
25. LIVRAMENTO F.C. **Padrões de dispersão de sedimentos ao longo do litoral norte do Estado da Bahia: subsídios para o gerenciamento costeiro**. Salvador, 2008. 51 p. Monografia (Graduação em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia.
26. MANZANO A.B. **Distribuição, taxa de entrada, composição química e identificação de fontes de grânulos plásticos na Enseada de Santos, SP, Brasil**. São Paulo, 2009. 124 p. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo.
27. MARTIN L.; BITTENCOURT A.C.S.P.; VILAS BOAS G.S.; FLEXOR J.M. Texto **Explicativo para o Mapa Geológico do Quaternário Costeiro do Estado da Bahia**. Bahia: CPM/SME, 20 p., 1980.
28. MOORE C.J.; LATTIN G.L.; ZELLERS A.F. Quantity and type of plastic debris flowing from two urban rivers to coastal waters and beaches of Southern California. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, v. 11, n. 1, p. 65-73, 2011.
29. NOBRE C.R.; SANTANA M.F.M.; MALUF A.; CORTEZ F.S.; CESAR A.; PEREIRA C.D.S.; TURRA A. Assessment of microplastic toxicity to embryonic development of the sea urchin *Lytechinus variegatus* (Echinodermata:

- Echinoidea). **Marine Pollution Bulletin**, v. 92, n. 2, p. 99-104, 2015.
30. OLIVEIRA A.L.; TESSLER M.G.; TURRA A. Distribuição de lixo ao longo de praias arenosas - Estudo de caso na praia de Massaguaçu, Caraguatatuba, SP. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, v. 11, n. 1, p.75-84, 2011.
31. PIANOWSKI F. **Resíduos sólidos e esférulas plásticas nas praias do Rio Grande do Sul – Brasil**. Rio Grande, 1997. 79 p. Monografia (Graduação em Oceanografia) - Fundação Universidade Federal do Rio Grande.
32. PORTZ L.; MANZOLLI R.P.; IVAR DO SUL J.A. **Marine debris on Rio Grande do Sul North coast, Brazil: spatial and temporal patterns**. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, v. 11, n. 1, p.41-48, 2011.
33. RIBIC C.A.; SHEAVLY S.B.; RUGG D.J. **Trends in marine debris in the U.S. Caribbean and the Gulf of Mexico 1996-2003**. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, v. 11, n. 1, p.7-19, 2011.
34. SANTANA NETO S.P.; CERQUEIRA M.B.; TINÔCO M.S.; SILVA P.M.S. Sensibilizando estudantes do Ensino Fundamental I quanto à poluição por lixo marinho. **Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental**, v. 26, p. 281-292, 2011.
35. SANTOS I.R.; BAPTISTA NETO J.A.; WALLNER-KERSANACH M. Resíduos Sólidos. In: BAPTISTA NETO J.A.; WALLNER-KERSANACH M.; PATCHINEELAM S.M. (Coordenadores). **Poluição marinha**. Interciência, Rio de Janeiro, 334 p., 2008.
36. SHEAVLY S.B. & REGISTER K.M. Marine debris & plastics: environmental concerns, sources, impacts and solutions. **Journal of polymers and the environment**, v. 15, n. 4, p. 301-305, 2007.
37. SILVA I.R.; BITTENCOURT A.C.S.P.; DOMINGUEZ J.M.L.; MARTIN L. Principais padrões de dispersão de sedimentos ao longo da Costa do Descobrimento - sul do Estado da Bahia. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 31, p. 243-248, 2001.
38. SILVA S.B.M.; SILVA B.C.N.; CARVALHO S.S. Metropolização e turismo no Litoral Norte de Salvador: de um deserto a um território de enclaves? In: CARVALHO I & PEREIRA G.C. (Coordenadores). **Como anda Salvador**. Salvador: Edufba, 211 p., 2008.
39. SOARES M.O.; PAIVA C.C.; GODOY T.; SILVA M.B. Atol das Rocas (Atlântico Sul Equatorial): um caso de lixo marinho em áreas remotas. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, v. 11, n. 1, p.149-152, 2011.
40. SUGUIO K. & NOGUEIRA A.C.R. Revisão Crítica dos Conhecimentos Geológicos sobre a Formação (Ou Grupo?) Barreiras do Neógeno e o seu Possível Significado como Testemunho de Alguns Eventos Geológicos Mundiais. **Geociências**, v. 18, p. 461-479, 1999.
41. THIEL M.; BRAVO M.; HINOJOSA I.A.; LUNA G.; MIRANDA L.; NÚÑEZ P.; PACHECO A.S.; VÁSQUEZ N. Anthropogenic litter in the SE Pacific: an overview of the problem and possible solutions. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, v. 11, n. 1, p.115-134, 2011.
42. THIEL M.; HINOJOSA I.; VÁSQUEZ N.; MACAYA E. Floating marine debris in coastal Waters of the SE-Pacific (Chile). **Marine Pollution Bulletin**, v. 46, n. 2, p. 224-231, 2003.
43. TURRA A.; MALUF A; MANZANO A.B. Invasão de plásticos nos oceanos. **Ciência Hoje**, v. 41, n. 246, p. 40-45, 2008.
44. UNEP. **Marine litter: A global challenge**. Nairobi: UNEP, 232 p., 2009.
45. VIEIRA B.P.; DIAS D.; HANAZAKI N. Homogeneidade de encalhe de resíduos sólidos em um manguezal da Ilha de Santa Catarina, Brasil. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, v. 11, n. 1, p.21-30, 2011.
46. WRIGHT L.D. & SHORT A.D. Morphodynamics of beaches and surf zones in Australia. In: KOMAR P.D. (Coordenador). **Handbook of Coastal Process and Erosion**. Boca Raton: CRC Press, 66 p., 1984.

*Manuscrito recebido em: 04 de Maio de 2015
Revisado e Aceito em: 07 de Janeiro de 2016*