



GEOQUÍMICA DE SEDIMENTOS E O MONITORAMENTO DE METAIS NA PLATAFORMA CONTINENTAL NORDESTE ORIENTAL DO BRASIL

Luiz Drude de Lacerda^{1,2*}, Rozane Valente Marins^{1**}

¹ Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará
Av. Abolição 3207, 60165-081, Fortaleza, CE

² Departamento de Geoquímica, Universidade Federal Fluminense,
24020-007, Niterói, RJ

Email: *pgcmt@labomar.ufc.br; **rmarins@labomar.ufc.br

Recebido em Novembro de 2005 e aceito para publicação em Dezembro de 2005

ABSTRACT

This study discusses the interactions between alloctonous continental sources and autochthonous geochemical processes occurring at the continental shelf in controlling heavy metals concentrations in sediments. The magnitude of the continental sources results in variations in heavy metal concentrations, which are large enough to make monitoring of local sources (offshore oil and gas exploration) very difficult. Therefore, new paradigm shall be established in monitoring strategies to account for these sources of heavy metal concentrations variability in continental shelf sediments.

RESUMO

Este estudo discute as interações entre fontes alóctones continentais e processos geoquímicos autóctones ocorrentes na plataforma continental, no controle das concentrações finais de metais pesados em sedimentos. A magnitude das fontes continentais resulta em variações na concentração de metais grandes o suficiente para tornar muito difícil o monitoramento de fontes locais (e.g. exploração offshore de petróleo e gás). Portanto, a estratégia de monitoramento destas atividades deve estabelecer novos paradigmas que levem em consideração estas fontes de variabilidade das concentrações de metais pesados em sedimentos da plataforma continental.

INTRODUÇÃO

A contaminação do meio ambiente marinho pode se originar de uma ampla gama de fontes antrópicas. As fontes de origem terrestre contribuem globalmente com cerca de 70 a 80 % da contaminação marinha, enquanto que apenas 20 a 30 % da carga de poluentes para os oceanos são oriundas das atividades localizadas *in situ* como transporte marítimo,

exploração de recursos minerais da plataforma continental e descarga direta de contaminantes por emissários submarinos (Crossland *et al.*, 2005). Os efluentes que apresentam maior ameaça para o meio ambiente marinho são em grau variável de importância e dependendo das diferentes situações nacionais ou regionais, aqueles originados no esgotamento sanitário, lixiviação de solos agrícolas e da pecuária, efluentes industriais e da mineração e a lixiviação

de superfícies urbanas. Dentre os principais contaminantes gerados por estas fontes encontram-se: nutrientes, compostos orgânicos sintéticos, sedimentos, resíduos sólidos e plásticos, metais, radionuclídeos, petróleo e hidrocarbonetos em geral e em particular, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos. A maior parte dessas substâncias atinge o mar através de bacias de drenagem ou pela deposição atmosférica. As substâncias não degradáveis como os metais pesados, representam problemas particulares para o meio ambiente marinho, visto que apresentam ao mesmo tempo toxicidade, persistência e bioacumulação na cadeia alimentar (Marcovecchio, 2000; Marins *et al.* 2002).

Dentre as atividades antrópicas localizadas na plataforma continental, a exploração de óleo e gás “*offshore*” é uma fonte potencial de impactos ambientais. Além do risco de acidentes durante a operação de poços, prospecção e perfuração, esta atividade pode constituir-se em fonte significativa não só de hidrocarbonetos e derivados de petróleo como também de partículas em suspensão e outras substâncias químicas, particularmente metais pesados, que são componentes de fluidos de perfuração e do petróleo, onde se encontram com diferentes concentrações dependendo do tipo e origem do óleo (Pozebon *et al.*, 2005). Metais pesados podem afetar diretamente a biota oceânica que se encontra de um modo geral, submetida à concentrações de “*background*” muito baixas.

Os metais pesados apresentam baixa solubilidade em água do mar, o que aliado à grandes fatores de diluição, resulta em concentrações baixas, mesmo próximo a fontes pontuais, em águas marinhas em geral. Alguns fatores podem maximizar o efeito desses contaminantes liberados pela atividade de exploração e produção de petróleo e gás na plataforma continental: i) a grande capacidade de acumulação de metais pesados típica de sedimentos marinhos de granulometria fina da plataforma continental; ii) a pequena mobilidade

da fauna bêntica; e iii) os elevados fatores de concentração para metais pesados nestes organismos (Kennicutt, 1995; Chapman *et al.*, 1991).

Alterações nas concentrações de alguns metais pesados e outros constituintes dos sedimentos durante operações de perfuração, foram relatadas durante um procedimento de perfuração na plataforma de Campos (Rezende *et al.* 2002). Resultados semelhantes foram obtidos por Pozebon *et al.* (2005) na mesma região. Estes autores mostraram aumentos significativos das concentrações de Ba em sedimentos sob influência das atividades de perfuração. Outros metais como Cr, As, Cu e Cd apresentaram aumentos de concentração, porém retornaram as suas concentrações de “*background*” após um ano do final das atividades. Outros estudos realizados em campos petrolíferos “*offshore*” no litoral da Califórnia, no Golfo do México e no Mar do Norte, também mostraram enriquecimento de contaminantes em sedimentos de suas áreas de influência, particularmente de Al, Cu, Ni, Hg e Mn e Zn, principalmente associados à disposição de material descartado de perfurações (“*drill cutting*”) (Steinhauer *et al.*, 1994; Phillips *et al.*, 1998; Breuer *et al.*, 2004).

A detecção de possíveis alterações na concentração de metais pesados em sedimentos da plataforma continental devido às atividades de produção e exploração de petróleo e gás, entretanto, depende de uma caracterização prévia da variação natural destes contaminantes nos sedimentos. A distribuição de metais nos sedimentos de plataforma pode variar dependendo de fatores alóctones (e.g. aporte continental) e autóctones (e.g. precipitação de carbonatos), o que pode dificultar a interpretação de resultados de programas de monitoramento bem como a identificação de eventos de contaminação recente. No presente trabalho são discutidos alguns aspectos relacionados ao monitoramento e avaliação da contaminação por metais pesados em áreas de exploração e

produção de petróleo e gás natural na plataforma continental da região nordeste oriental do Brasil.

GEOQUÍMICA DE SEDIMENTOS DA PLATAFORMA CONTINENTAL NORDESTE ORIENTAL DO BRASIL

O conhecimento da origem, transporte e geoquímica dos sedimentos da plataforma continental é o primeiro passo para o entendimento da dinâmica de metais pesados e do monitoramento de suas concentrações. Na região Nordeste Oriental do Brasil o relevo da região litorânea adjacente às principais bacias marinhas petrolíferas (litoral dos estados do Ceará e Rio Grande do Norte) compreende uma faixa de 50 a 100 km de sedimentos grosseiros siliclásticos terciários (Formação Barreiras), limitada por maciços graníticos-gnaissicos pré-cambrianos (Mabesaone *et al.*, 1972). A área total da bacia de drenagem costeira é de cerca de 200.000 km² com uma descarga fluvial anual média da ordem de 200 m³.s⁻¹ (ANEEL, 2000). A bacia é drenada por rios de pequeno porte, com exceção do Rio Parnaíba, no extremo oeste e Rio Jaguaribe (CE) na porção central. O clima é úmido, variando de 1.000 a 1.200 mm.ano⁻¹, ao longo das encostas montanhosas, vales e litoral; e semi-árido (500 a 700 mm.ano⁻¹) nas terras baixas do interior. A pluviosidade é caracterizada por um curto período chuvoso entre fevereiro e maio, e um longo período seco entre junho e janeiro (Lima *et al.*, 2000). Os solos litorâneos são principalmente podsoles eutróficos vermelho-amarelo e latossolos, sob clima úmido, e solonetz sob condições áridas (Pereira *et al.*, 1991). Extensos campos de dunas, lagos costeiros e praias arenosas caracterizam a linha de costa. Manguezais dominam a margem de rios ao longo da região estuarina.

A plataforma continental apresenta pouca declividade 1:670 a 1:1000 até 70 m de profundidade e largura variando de 100 km no extremo oeste a 40 km no extremo leste. A

plataforma é cortada por paleo-canais parcialmente preenchidos formados por rios durante períodos de nível baixo do mar (Martins e Coutinho, 1981, Arz *et al.*, 1999). Dois setores podem facilmente ser reconhecidos por marcadores sedimentares ao longo de sua maior parte. Até a isóbata de 20 m, areias quartzosas e sedimentos clásticos são dominantes. Esta faixa é seguida por uma mais larga até cerca de 70 m de profundidade na plataforma externa, dominada por algas calcárias (Summerhayes *et al.*, 1975). A interação entre a sedimentação terrígena e a carbonácea controla a distribuição de sedimentos, quanto maior a influência continental, menor o teor de carbonatos nos sedimentos da plataforma (Knoppers *et al.*, 1999).

Os dois setores podem ser caracterizados por diferentes fácies sedimentares (Organogênica e Terrígena), sugeridas por diferentes autores (Mabesaone e Coutinho, 1970; Mabesaone *et al.*, 1972; Milliman e Summerhayes, 1975; Summerhayes *et al.*, 1975; 1976; Barbosa *et al.*, 1986; Tintelnot, 1996). A facie Organogênica é caracterizada por areias e cascalho constituído por biodetritos de algas calcárias. Algas calcárias vivas representadas pelos gêneros *Lithothamnium* spp. (Rodophyta) e *Halimeda* spp. (Clorophyta) dominam esta facie, que se estende de 20 m até a borda da plataforma externa a 70 m de profundidade. Alguns autores subdividem esta facie de acordo com as espécies dominantes (Morais *et al.*, 1999, Lima *et al.*, 2000). Do ponto de vista geoquímico, entretanto, estas sub-fácies são similares (Coutinho e Morais, 1970), com elevado teor de matéria orgânica originada na biomassa das próprias algas (média de 44%) e carbonatos biogênicos (média de 86%) e baixo conteúdo de material clástico (Freire *et al.*, 2004). A Tabela 1 mostra as diferenças entre as variáveis maiores dos sedimentos entre as plataformas interna e externa do NE e SE do Brasil. É nítida a dominância de sedimentos ricos em material clástico na região SE em relação à NE, a qual é particularmente rica em carbonatos.

Tabela 1. Comparação entre as principais características sedimentológicas das bacias petrolíferas do nordeste e de sedimentos de outras regiões da Plataforma Continental Brasileira. 1. Lacerda *et al.* (2003); 2. Carvalho *et al.* (1993a, 1993c); 3. Rezende *et al.* (2002); 4. Freire *et al.* (2004); 5. Lacerda *et al.* (2005). 6. Ovalle *et al.* (2000); 7. Maia (2004); 8. Marins *et al.* (2004b).

| Variável | Plataforma Interna SE ^{1,2} | Plataforma Interna NE ^{4,5,7,8} | Bacia de Campos ^{3,6} | Bacia Potiguar ⁵ |
|------------------|--------------------------------------|--|--------------------------------|-----------------------------|
| C Orgânico (%) | 0,05 - 2,45 | 0,1 - 17,9 | 0,18 - 0,22 | 0,25 - 9,4 |
| Carbonato (%) | 0,01 - 2,66 | 0,2-95 | 10 - 20 | 5 - 99 |
| Silte+Argila (%) | 0,2 - 96,9 | <0,2 | 1,7 -100 | < 0,1 - 12 |

A facie Terrígena é caracterizada por sedimentos siliclásticos. A maior parte da sedimentação terrígena é atribuída a processos ocorridos durante períodos de mudanças do nível médio do mar, caracterizadas pela presença de sedimentos-relíquia em diversos pontos da plataforma (França *et al.*, 1976; Jennerjahn *et al.*, 1999; Arz *et al.*, 1999, Freire e Cavalcante, 1998). A contribuição terrestre moderna é mais bem observada na plataforma interna próximo aos principais estuários. Por exemplo, na área de influência da foz do Rio Jaguaribe a sedimentação terrestre recente se estende a até 10 km da costa (Morais *et al.*, 1999; Lima *et al.*, 2000). O teor de matéria orgânica destes sedimentos atinge em média 8%, enquanto que

o teor de carbonatos atinge em média 18% (Freire *et al.*, 2004; Muller *et al.*, 1999; Freire e Cavalcante, 1998). As concentrações de Si em sedimentos terrígenos variam de 13,5 a 95,2 % (média de 76,1 %), como SiO₂, em sedimentos biogênicos as concentrações de Si são bem menores com média de 0,58 %. Da mesma forma, as concentrações de Al variam de 0,18 a 1,69 % (média de 0,6 %) nos sedimentos terrígenos, enquanto que em sedimentos biogênicos apresentam média de 0,05 %. As concentrações de K nos sedimentos terrígenos variam de 0,02 a 0,9 % (média de 0,44 %), enquanto que em sedimentos biogênicos apresentam média de 0,09 %. Por outro lado, as concentrações de Ca nos

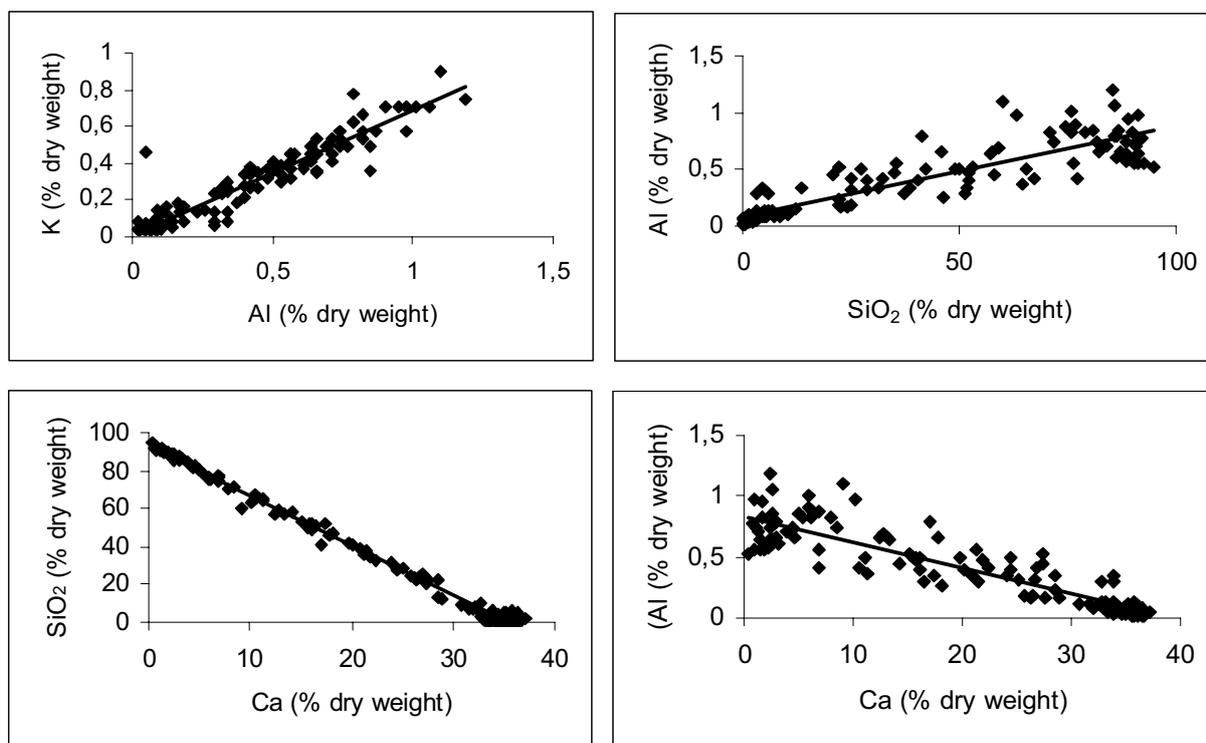


Figura 1. Correlação entre elementos de origem terrígena (Al, Si e K) e de origem organogênica (Ca) em sedimentos da plataforma continental do Ceará (adaptado de Freire *et al.*, 2004).

sedimentos terrígenos são bem menores e variam de 0,46 a 28,6 % (média de 5,6 %), enquanto que em sedimentos biogênicos variam de 16,1 a 38,5 % com média de 32,1 %. (Freire *et al.*, 2004). Concentrações semelhantes foram relatadas por Coutinho (1976) para a plataforma continental entre Sergipe e Alagoas. A Figura 1 apresenta a correlação entre elementos de origem terrígena (Si, Al e K) e biogênica (Ca) em sedimentos da plataforma continental do Ceará. As correlações lineares altamente significativas, positivas entre os elementos terrígenos e negativa entre estes e o elemento biogênico Ca, sugerem fortemente o uso destes como traçadores dos processos sedimentares dominantes (autóctones vs alóctones).

Em relação aos elementos-traço, incluindo metais pesados, a distinção entre sedimentos com maior influência terrígena e sob influência de processos autóctones, principalmente a precipitação de carbonatos biogênicos também é bastante clara.

As Tabelas 2 e 3 mostram matrizes de correlação entre diversos elementos-traço em sedimentos da plataforma continental do Rio Grande do Norte. Dois grupos de suportes geoquímicos são identificados nas correlações apresentadas, os argilominerais, representados pelo Fe e Al de origem estritamente continental. Associados à estes suportes temos principalmente Ba, Cd e Pb (Tabela 2). Entretanto, foi observado que devido à marcante diferenciação climática existente entre os

períodos de seca e de chuva na região, o Fe pode apresentar uma variabilidade sazonal estatisticamente significativa em sua concentração em sedimentos (Marins *et al.* 2004b; Maia, 2004) o que pode limitar seu uso como traçador do aporte terrígeno.

Todos esses elementos têm, portanto origem continental, confirmado por sua não correlação com os carbonatos (não mostrada). Os solos litorâneos da região são principalmente podsolos eutróficos vermelho-amarelo e latossolos, sua erosão e transporte constitui-se importante fonte destes elementos geogênicos para a plataforma continental (Pereira *et al.*, 1991, Freire *et al.*, 2004). Correlações semelhantes têm sido reportadas por diferentes autores (Muller *et al.*, 1999; Carvalho *et al.*, 1993a e 1993c; Rezende *et al.*, 2004; Lacerda *et al.*, 2004), para outros setores da plataforma continental brasileira.

O segundo suporte geoquímico é representado pelos carbonatos de origem eminentemente marinha (Tabela 3). Associados aos carbonatos encontram-se os elementos B, As, Mg, e V, confirmando o controle autóctone na distribuição destes metais (Rezende *et al.* 2004; Lacerda *et al.* 2004).

Um último suporte geoquímico inclui a matéria orgânica presente em sedimentos. Na plataforma continental interna da região nordeste, onde os sedimentos apresentam elevado teor de carbonatos biogênicos, a matéria orgânica,

Tabela 2. Matriz de correlação entre as concentrações de elementos maiores e traço e a fração < 63 μ m em sedimentos da plataforma continental do Rio Grande do Norte (Lacerda *et al.*, 2005). Valores significativos a $p < 0,01$. (*) Valores significativos a $p < 0,05$; n = 26.

| Elemento | Al | Ba | Fe | Cd | Pb |
|------------|-------|--------|--------|-------|-------|
| Al | 1 | | | | |
| Ba | 0,828 | 1 | | | |
| Fe | 0,708 | 0,516* | 1 | | |
| Cd | 0,766 | 0,543* | 0,755 | 1 | |
| Pb | 0,947 | 0,808 | 0,552* | 0,725 | 1 |
| < 63 μ | 0,769 | 0,633 | 0,495* | 0,619 | 0,695 |

Tabela 3. Matriz de correlação entre as concentrações de parâmetros sedimentológicos, concentrações de elementos maiores e traço em sedimentos da área de influência do emissário submarino de Guamaré. Valores significativos a $p < 0,01$ (*) Valores significativos a $p < 0,05$ (**) Valores não significativos. (n=26).

| | CaCO ₃ | As | B | Mg | Mn |
|-------------------|-------------------|-------|---------|--------|-------|
| CaCO ₃ | 1 | | | | |
| As | 0,670 | 1 | | | |
| B | 0,915 | 0,652 | 1 | | |
| Mg | 0,908 | 0,602 | 0,940 | 1 | |
| V | 0,724 | 0,810 | 0,219** | 0,537* | 0,884 |

embora elevada, constitui-se basicamente da biomassa de organismos do sedimento, incluindo algas calcáreas. Na bacia cearense, por exemplo, o teor de matéria orgânica apresenta-se positivamente correlacionado ao teor de carbonatos ($r = 0,637$; $p < 0,05$; $n = 28$) e portanto, também apresenta correlações positivas, significativas com os metais traço associados aos carbonatos, no caso Cu, Cd e Ni, e correlações negativas com os elementos tipicamente geogênicos, como Al e Fe. Em áreas da plataforma sudeste e em alguns setores da plataforma externa do nordeste com elevados teores de argilas e baixos teores de carbonatos, a matéria orgânica parece ser tipicamente de origem continental. As razões C/N (6,7 – 36,2) aumentam significativamente nos sedimentos mais afastados da costa com teores relativamente mais elevados de silte e argila, sugerindo um envelhecimento da matéria orgânica nos sedimentos da plataforma externa. Nestes sedimentos, o teor de matéria orgânica apresenta correlações positivas com elementos geogênicos como Al e Fe, corroborando sua origem continental (Marins *et al.*, 2004b; 2005; Lacerda *et al.*, 2005).

Um elemento que também pode ser utilizado como descritor da origem dos

sedimentos da plataforma é o Ba. Este elemento na forma de barita biogênica, tem sido utilizado como um excelente descritor de processos paleo-oceanográficos devido ao seu elevado tempo de residência em sedimentos da plataforma. A correlação de suas concentrações com carbonatos e/ou a fração silte+argila, e/ou Al e Fe, pode separar o Ba de origem autóctone e alóctone (geogênico). Entretanto, nos sedimentos da plataforma continental nordeste, por exemplo, é comum o elemento Ba se correlacionar positivamente tanto com carbonatos biogênicos quanto com os teores de silte e argila e os elementos tipicamente geogênicos como o Fe e o Al, dificultando seu uso como descritor. Para sedimentos profundos, entretanto, é provável que o Ba possa ser utilizado como um traçador confiável da influência continental.

Os resultados discutidos acima mostram a importância de processos autóctones e alóctones na distribuição de metais pesados em sedimentos da plataforma continental. O mosaico de fácies sedimentares típico da plataforma nordeste oriental do Brasil descrito por diferentes autores deve, portanto,

Tabela 4. Comparação entre as concentrações de metais pesados (Todos os elementos em $\mu\text{g.g}^{-1}$, exceto Al e Fe que são apresentados em %) da Bacia Cearense e de sedimentos de outras regiões da Plataforma Continental Brasileira. 1. Lacerda *et al.* (2003); 2. Carvalho *et al.* (1993a,c); 3. Rezende *et al.* (2002); 4. Freire *et al.* (2003); 5. Ovalle *et al.* (2000); 6. Lacerda *et al.* (2005); 7. Marins *et al.* (2004b; 2005). Valores precedidos do símbolo (<) representam valores abaixo do limite de detecção do método empregado pelo autor.

| Elemento | Plataforma Interna do SE ^{1,2} | Plataforma Interna do NE ⁴ | Bacia de Campos ^{3,5} | Bacia Potiguar ⁶ | Bacia Cearense ⁷ |
|----------|---|---------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Cu | 19 – 29 | 3 – 42 | 3,4 – 6,3 | 0,72 – 6,21 | <4,7 – 6,1 |
| Ni | 25 – 36 | 4 – 12 | 6,2 – 7,7 | 0,4 – 4,36 | <1,8 – 28,9 |
| Mn | 70 – 90 | 9 – 210 | 74 – 88 | 15 – 265 | 9 – 461 |
| Pb | 17 – 38 | 16 – 47 | 5,5 – 6,7 | 0,55 – 18,7 | <16,0 – 43,0 |
| Zn | 78 – 147 | 99 – 270 | 24,5 – 28,9 | 0,3 – 35,9 | <3,7 – 16,9 |
| Cd | 0,10 – 0,32 | 0,03 – 0,36 | – | 0,02 – 1,1 | <1,4 – 3,0 |
| Cr | 76 – 84 | 3 – 39 | 14 – 15 | 1 – 25,1 | <5,5 – 23,5 |
| Hg | 0,013 – 0,08 | 0,06 – 0,25 | 0,012 – 0,06 | <0,001 – 0,06 | <0,06 – 12,8 |
| Fe | 0,60 – 1,64 | 0,25 – 0,85 | 0,58 – 0,69 | 0,01 – 0,43 | <0,02 – 1,36 |
| Al | 0,86 – 3,14 | 0,02 – 0,17 | 0,68 – 1,06 | 0,01 – 1,33 | <0,30 – 3,19 |
| V | 6 – 51 | – | 16 – 17 | 2 – 40 | <13 – 71 |

ser levado em consideração quando do planejamento de campanhas de caracterização e monitoramento de áreas de exploração “*offshore*” de petróleo e gás.

INFLUÊNCIA DO APORTE CONTINENTAL E O EFEITO DA EXPLORAÇÃO DE PETRÓLEO

As características ambientais e climáticas variáveis ao longo do litoral brasileiro assim como a distribuição não uniforme de importantes fontes de contaminação em bacias litorâneas, resultam em diferenças na distribuição de metais pesados na plataforma continental adjacente. A Tabela 4 apresenta a distribuição de metais pesados em diversos setores da plataforma continental brasileira. Elementos de origem eminentemente terrígena como Hg, Cr, Al e Fe, por exemplo, são via de regra mais enriquecidos no setor sudeste da plataforma continental brasileira, enquanto aqueles cuja distribuição é fortemente controlada pela precipitação de carbonatos como V, B e Mg, por exemplo, apresentam-se mais enriquecidos no setor nordeste. Portanto, estratégias de monitoramento de atividades de produção e exploração de petróleo na plataforma continental devem levar em consideração estas diferenças. Por exemplo, Miller *et al.* (1999) mostraram diferenças importantes entre os teores e o tipo de argilas presentes na plataforma nordeste e sudeste do Brasil. Na plataforma sudeste, as condições climáticas, de solos e drenagem resultam em dominância de esmectita nos sedimentos clásticos da plataforma. Estas argilas, menos representadas na plataforma nordeste, apresentam elevada capacidade de adsorção de metais pesados, portanto, mesmo comparando-se sedimentos clásticos apenas, diferenças significativas na concentração de metais pesados ocorrem entre os dois grandes setores da plataforma brasileira.

A distribuição de fontes antrópicas localizadas em bacias de drenagem costeiras também pode afetar significativamente a distribuição de metais pesados, pelo menos em sedimentos da plataforma continental mais próxima à costa. Marins *et al.* (2004a)

mostraram diferenças consideráveis entre as concentrações de Hg em sedimentos costeiros devido à localização destas fontes. Novamente, também foi observada diferença significativa entre as concentrações de “background” de Hg nos sedimentos da região sul-sudeste em relação à região nordeste.

Ao longo de um mesmo segmento da costa, a influência do aporte continental pode ser determinante das concentrações de metais encontradas em sedimentos da plataforma. Estudos realizados em diversos campos “*offshore*” de petróleo mostraram a grande dificuldade de avaliação de alterações nas concentrações de metais pesados, sem uma detalhada caracterização do “*background*” regional e da influência potencial do aporte continental sobre a plataforma. Por exemplo, Lacerda *et al.* (1993) demonstraram que a influência da descarga do Rio Paraíba do Sul na Bacia de Campos, sobre as concentrações de Hg em sedimentos, pode atingir até 1.000 m de profundidade, cerca de 60 milhas da costa. Da mesma forma, estudo utilizando traçadores de material continental verificou a extensão da influência do aporte terrígeno sobre a concentração de metais pesados nos sedimentos plataforma continental da região sudeste (Carvalho *et al.*, 1993b). Em áreas sob influência de aportes fluviais na Bacia de Campos, por exemplo, as variações das concentrações de “*background*” são superiores as variações encontradas nos sedimentos sob influência das plataformas de Pargo e Pampo, estudadas por Ovalle *et al.* (2000), não permitindo caracterizar nenhum processo de contaminação dos sedimentos por metais pesados.

Estudos realizados na região da Bacia de Campos, plataforma sudeste brasileira, mostraram não ocorrer alterações estatisticamente significativas na concentração de metais pesados quando comparados os teores desses metais em amostras de sedimentos coletadas próximas (< 500 m) e em áreas controle afastadas (> 3.000 m) de plataformas em operação (Lacerda *et al.*, 2004, Rezende

Tabela 5. Média, desvio padrão e faixa de concentração de Hg e principais variáveis sedimentológicas em sedimentos da plataforma continental da Bacia de Campos, RJ (Lacerda *et al.*, 2004). (Valores expressos em peso seco; n=24). Fração granulométrica < 63 μ .

| Local | C Orgânico | CaCO ₃ (%) | Silte+Argila | Al | Fe (mg.g ⁻¹) | Hg |
|--------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------|-------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| Plataforma interna | 0,86 ± 0,90 <0,05-2,45 | 0,77 ± 0,95 <0,01-2,66 | 36 ± 38 <0,2-97 | 21,1 ± 5,9 11,2-31,4 | 9,86 ± 3,9 6,1-16,4 | 47,3 ± 19,2 13 - 80,0 |
| Campo de Pargo | 0,19 ± 0,06 0,09-0,29 | 25,8 ± 5,7 20,1-39,6 | 11 ± 6 2-32 | 6,79 ± 3,6 4,32-11,1 | 6,92 ± 2,9 4,43-9,2 | 38,9 ± 12,3 11,5-61,0 |
| Campo de Pampo | 1,43 ± 0,43 0,92-2,72 | 51,2 ± 11,7 37,4-64,3 | 99 ± 1 95-100 | 6,92 ± 2,9 4,43-9,18 | 5,81 ± 2,3 4,4-8,4 | 36,4 ± 13,1 25,5-61,9 |

et al., 2004). Outros autores (Windom e Crammer, 1998), comparando a concentração de metais na biota bêntica na área de influência de uma plataforma de produção de gás natural no Golfo da Tailândia, também não mostraram aumentos significativos na sua concentração de metais pesados. Estes resultados refletem não só as cargas relativamente pequenas emitidas pela atividade como também a grande diluição da carga de metais eventualmente liberada nos sedimentos da plataforma continental.

Por outro lado, pequenas variações da concentração de metais pesados em sedimentos da plataforma continental podem ser facilmente mascaradas pela forte influência exercida pela carga de metais exportados por bacias fluviais, particularmente quando tais

bacias apresentam contaminação por metais pesados de origem antrópica (Lacerda *et al.*, 1993, Salomão *et al.*, 2001; Molisani *et al.*, 1999; Carvalho *et al.*, 2002).

A Tabela 5 apresenta um resumo dos resultados apresentados em Lacerda *et al.* (2004) que exemplifica claramente o efeito do *input* continental sobre a distribuição de Hg em sedimentos da plataforma continental da Bacia de Campos. As concentrações medidas na plataforma interna, portanto fora da área de influência da exploração petrolífera, apresentam-se em média maiores que nas áreas de influência das plataformas de exploração. As características da matriz sedimentar na região (particularmente os teores de Al e Fe) sugerem que a influência das emissões originadas nos rios alcança

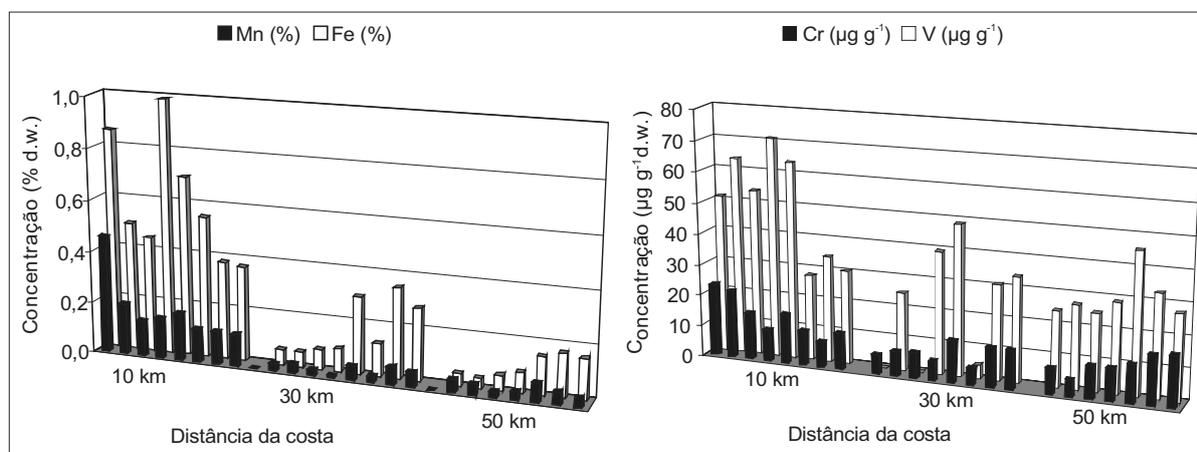


Figura 2. Distribuição de Fe, Mn, Cr e V em sedimentos da plataforma continental do estado do Ceará (baseado em resultados de Marins *et al.*, 2005).

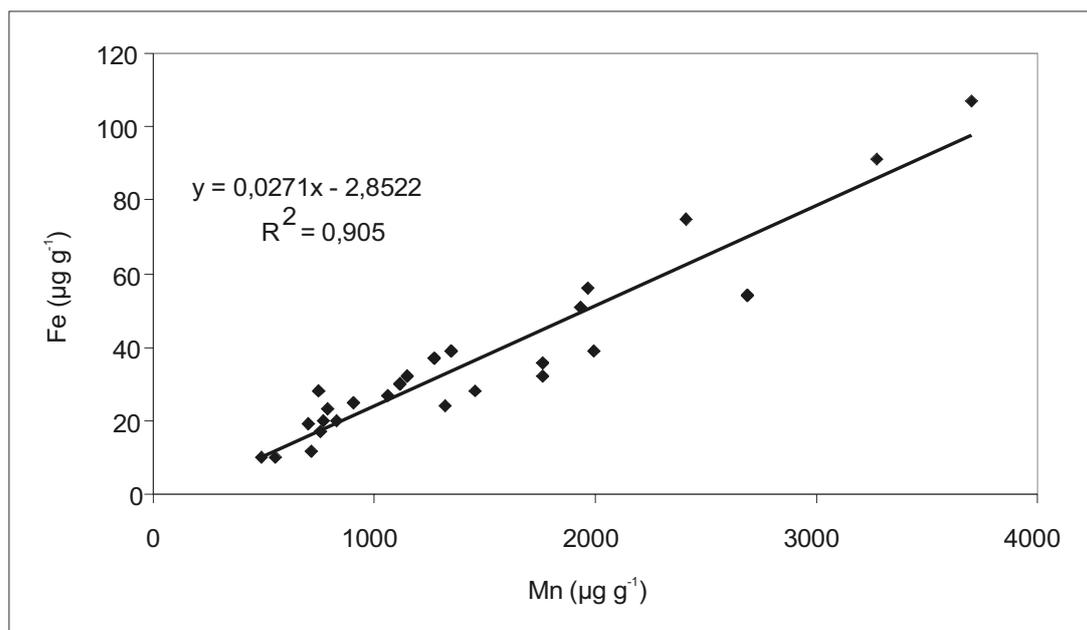


Figura 3. Correlação entre Fe e Mn em sedimentos da plataforma continental interna do Rio Grande do Norte (baseado em resultados de Lacerda *et al.*, 2005).

facilmente a região de exploração petrolífera, o que dificulta ainda mais a detecção de eventuais alterações nas concentrações de metais pesados nos sedimentos e eventualmente na biota.

Na plataforma continental nordeste do Brasil entre os litorais do Ceará e do Rio Grande do Norte, a presença de “bolsões” de sedimentos terrígenos relíquias e a de materiais continentais trazidos pelo Rio Jaguaribe e demais rios ao longo da costa, também influenciam significativamente as concentrações de metais pesados nos sedimentos da plataforma (Muller *et al.* 1999; Marins *et al.*, 2005). A Figura 2 apresenta a distribuição de alguns metais pesados em sedimentos da plataforma continental do litoral do Estado do Ceará (Marins *et al.*, 2005) em relação à distância da costa. É evidente a influência continental sobre o aporte e conseqüentemente a concentração final destes metais em sedimentos da plataforma. A Figura 3 reforça este aspecto através da correlação linear significativa encontrada entre as concentrações de Fe e Mn na plataforma potiguar (Lacerda *et al.*, 2005).

Os resultados discutidos acima confirmam a considerável influência dos aportes continentais e da geoquímica dos sedimentos

sobre a distribuição de metais pesados em sedimentos da plataforma continental e, portanto, devem ser levados em consideração quando da definição de estratégias de caracterização e monitoramento de metais pesados em área de plataforma continental sob influência de atividades de exploração e produção de petróleo e gás.

CONCLUSÃO

É provável que com o aumento na intensidade das atividades petrolíferas na Plataforma Continental RN-CE, processos de contaminação por metais pesados venham a ocorrer, potencializando a contaminação de importantes recursos pesqueiros da região. Tal possibilidade deve ser estudada por um programa de monitoramento ambiental que avalie o impacto da atividade de exploração plena em plataforma e da atividade de perfuração para fins de prospecção e/ou produção, levando em consideração as propriedades geoquímicas de cada setor da plataforma continental, particularmente na distribuição espacial de metais pesados, suas origens e associações geoquímicas e da extensão da influência continental sobre os sedimentos da plataforma.

AGRADECIMENTOS

A maior parte dos resultados apresentados neste trabalho é oriunda dos extensos estudos de caracterização e monitoramento das bacias marinhas realizados pela PETROBRÁS. Projetos financiados pela FAPERJ (Proc. No. E-26/171-175) e CNPq, incluir processo no. 500.842/2003-5, dentro do programa PRONEX, e pelo Instituto

do Milênio, Processo no. 420.050/2005-1, também resultaram em extensos levantamentos sobre a distribuição e biogeoquímica de metais pesados na plataforma continental brasileira e sua relação com os aportes continentais. Agradecemos em especial os diversos alunos que têm gerado, através de seus trabalhos de tese, extenso banco de dados sobre a distribuição de metais pesados em sedimentos da plataforma continental brasileira.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANEEL (2000) Agência Nacional de Energia Elétrica. Descargas médias de longo período. Bacia Atlântico NO/NE. <http://www.aneel.gov.br>
- ARZ, H.W., PATZOLD, G., WEFER, G. (1999) Climatic changes during the last glaciation recorded in sediment cores from the northeastern Brazilian Continental Margin. *Geo-Marine Lett.* 19: 209-218
- BARBOSA, L.M., BITTENCOURT, A.C.S.P., DOMINGUEZ, J.M., MARTIN, L. (1986) Geologia do quaternário costeiro de Alagoas. In: DANTAS J.R.A. (ed), Mapa Geológico do Estado de Alagoas. DEM/DNPM, Brasília.
- BREUER, E., STEVENSON, A.G., HOWE, J.A., CARROL, J., SCHIMMIEDL, G.B. (2004) Drill cutting accumulations in the Northern and Central North Sea: a review of environmental interactions and chemical fate. *Mar. Pollut. Bull.* 48: 12-25
- CARVALHO, C.E.V., LACERDA, L.D., ABRÃO, J.J. (1993a) Major elements distribution in sediments of northeastern and southeastern Brazilian continental shelf. In: An. 4º Congr. Brasil. Geoquímica, Brasília, p:139-142
- CARVALHO, C.E.V., LACERDA, L.D., REZENDE, C.E., ABRÃO, J.J. (1993b) Titanium and Calcium as tracers for continental and oceanic materials in the Brazilian continental platform. In: An. III Simpósio de Ecossistemas da Costa Brasileira, Serra Negra, Acad. Ciênc. Est. São Paulo, São Paulo, 2: 248-255
- CARVALHO, C.E.V., LACERDA, L.D., REZENDE, C.E., OVALLE, A.R.C., ABRÃO, J.J. (1993c) The fate of heavy metals in sediments of the northeastern and southeastern Brazilian continental shelf. In: 9th International Conference of Heavy Metals in the Environment, Toronto, 1:153-156
- CARVALHO, C.E.V., SALOMÃO, M.S.M.B., MOLISANI, M.M., REZENDE, C.E., LACERDA, L.D. (2002) Contribution of a medium-size tropical river to the particulate heavy-metal load for the South Atlantic Ocean. *Sci. Tot. Environ.* 284: 85-93
- CHAPMAN, P.M., POWER, E.A., DEXTER, R.N., ANDERSEN, H.B. (1991) Evaluation of effects associated with an oil platform, using the sediment quality triad. *Environ. Toxicol. Chem.* 10: 407-424
- COUTINHO, P.N. (1976) Geologia marinha da plataforma continental Alagoas-Sergipe. T. Livre Docência, UFPE, Recife
- COUTINHO, P.N., MORAIS, J.O. (1970) Distribuição de sedimentos na plataforma continental norte-nordeste do Brasil. *Arq. Ciênc. Mar.* 10: 79-90

- CROSSLAND, C.J., KREMER, H.H., LINDEBOOM, H.J., MARSHALL-CROSSLAND, J.I., LÊ TESSIER, M.D.A. (2005) Coastal Fluxes in the Anthropocene. Springer Verlag, Berlin, 231 p.
- FRANÇA, A.M.C., COUTINHO, P.N., SUMMERHAYES, C.P. (1976) Sedimentos superficiais da margem continental nordeste brasileira. *Rev. Bras. Geol.* 6: 78-88
- FREIRE, G.S.S., CAVALCANTE, V.M.M. (1998) A cobertura quaternária da plataforma continental do Estado do Ceará. DNPM, Fortaleza, 42 p.
- FREIRE, G.S.S., LIMA, S., MAIA, L.P., LACERDA, L.D. (2004) Geochemistry of continental shelf sediments of the Ceará coast, NE Brazil. In: LACERDA, L.D., SANTELLI, R.E., DUURSMA, E.K., ABRÃO, J.J. (eds.). *Facets of Environmental Geochemistry in Tropical and Subtropical Environments*. Springer Verlag, Berlin p: 365-378
- JENNERJAHN, T.C., ITTEKKOT, V., CARVALHO, C.E.V., OVALLE, A.R.C., REZENDE, C.E., ERLLENKEUSER, H. (1999) Temporal variability of amino acid, hexosamine, and carbohydrate fluxes to the eastern Brazilian continental margin related to discharge of the São Francisco River, Brazil. *Geo-Marine Lett.* 19: 202-208
- KENNICUTT, M.G. (1995) Gulf of Mexico offshore operation monitoring experiment. Final Report. Phase I. Sub-lethal responses to contaminant exposure. Unpublished manuscript.
- KNOPPERS, B., EKAU, W., FIGUEIREDO, A.G. (1999) The coast and shelf of east and northeast Brazil and material transport. *Geo-Marine Lett.* 19: 171-178
- LACERDA, L.D., KREMER, H.H., KJERFVE, B., SALOMONS, W., MARSHALL-CROSSLAND, J.I., CROSSLAND, J.C. (2002) South American Basins: LOICZ Global Change Assessment and Synthesis of River Catchment – Coastal Sea Interaction and Human Dimensions. LOICZ Reports & Studies No. 21, LOICZ, Texel, 272 p.
- LACERDA, L.D., REZENDE, C.E., CARVALHO, C.E., OVALLE, A.R.C., PFEIFFER, W.C. (1993) Mercury distribution in sediments of the Paraíba do Sul River Estuary, SE Brazil. *Mar. Pollut. Bull.* 20: 93-96
- LACERDA, L.D., REZENDE, C.E., OVALLE, A.R., CARVALHO, C.E. (2004) Mercury distribution in continental shelf sediments from two offshore oil fields in southeastern Brazil. *Bull. Environ. Contamin. Toxicol.* 72:178-185
- LACERDA, L.D., SANTELLI, R.E., CAMPOS, R.C. (2005) METAIS EM SEDIMENTOS. In: II Workshop do Projeto de Caracterização e Monitoramento Ambiental da Bacia Potiguar. PETROBRAS, Natal, CD Room, 15 p.
- LIMA, L.C., MORAIS, J.O., SOUZA, M.J.N. (2000) Compartimentação e Gestão Regional do Ceará. FUNECE, Fortaleza, 237 p.
- MABESOONE, J.M., COUTINHO, P.N. (1970) Littoral and shallow marine geology of northern and northeastern Brazil. *Trabalh. Inst. Oceanogr. Univ. Fed. Pernambuco* 13: 1-21
- MABESOONE, J.M., KEMPF, M., COUTINHO, P.N. (1972) Characterization of surface sediments on the northern and eastern Brazilian shelf. *Trabalh. Inst. Oceanogr. Univ. Fed. Pernambuco* 13: 41-48
- MAIA, S.R.R. (2004) Distribuição e partição geoquímica de metais traço na costa norte de Fortaleza, CE. Dissertação de Mestrado, Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 105 p.
- MARCOVECCHIO, J.E. (2000) Overview on land-based sources and activities affecting the marine, coastal and associated freshwater environment in the Upper Southwest Atlantic Ocean. UNEP Regional Seas Reports and Studies No. 170, UNEP/GPA coordination Office, The Hague, 78 p.

- MARINS, R.V., FREIRE, G.S.S., MAIA, L.P., LIMA, J.P.R., LACERDA, L.D. (2002) Impacts of land-based activities on the Ceará coast, NE Brazil. In: LACERDA L.D., KREMER, H.H., KJERFVE, B., SALOMONS, W., MARSHALL-CROSSLAND, J.I., CROSSLAND, J.C. (eds.) *South American Basins: LOICZ Global Change Assessment and Synthesis of River Catchment – Coastal Sea Interaction and Human Dimensions*. LOICZ Reports e Studies No. 21, p: 92-98
- MARINS, R.V., PAULA FILHO, F.J., LACERDA, L.D., RODRIGUES, S.R., MARQUES, W.S. (2004a) Distribuição de mercúrio total como indicador de poluição urbana e industrial na costa brasileira. *Química Nova* 27: 763-770
- MARINS, R.V., MAIA, S.R.R., MAIA, L.P. (2004b) Geochemical distribution and partitioning of Hg, Cu, Cd, Pb, and Zn in sediments from Fortaleza Northern coast (CE). In: SANTELLI, R.E., ABRÃO, J.J., MACHADO, W.T.V. (eds.). *Book of Abstracts, 4th Intern. Symp. Environmental Geochemistry in Tropical Countries*, UFF, Niteroi, p: 584-587
- MARINS, R.V., LACERDA, L.D., ABREU, I.M., AGUIAR, J.E., SANTOS, J.A., LOPES, D.V. MAIA, S.R.R. (2005) In: *Workshop do projeto de Caracterização e Monitoramento ambiental da Bacia do Ceará*. PETROBRAS, Fortaleza, CD Room, 12 p.
- MARTINS, L.R., COUTINHO, P.N. (1981) The Brazilian continental margin. *Earth-Sci. Rev.* 17: 87-107
- MILLIMAN, J.D., SUMMERHAYES, C.P. (1975) Upper continental margin sedimentation off Brazil. *Contr. Sedimentol.* 4: 1-175
- MOLISANI, M.M., SALOMÃO, M.S.M.B., OVALLE, A.R.C., REZENDE, C.E., LACERDA, L.D., CARVALHO, C.E.V. (1999) Heavy metals in sediments of the lower Paraíba do Sul River and estuary, Southeastern Brazil. *Bull. Environ. Contamin. Toxicol.* 63: 682-690.
- MORAIS, J.O., SOUZA, M.J.N., MAIA, L.P., FREIRE, G.S.S. (1999) Interactive processes on the coastal zone evolution of Ceará State northeastern Brazil. In: *Proc. VII Congr. ABEQUA*, Porto Seguro, CD-Room p. 1-4
- MULLER, G., IRION, G., MORAIS, J.O., TINTELNOT, M. (1999) Heavy metal concentrations in fine grained sediments in the lower course of Brazilian rivers between the state of Piauí and Espírito Santo. In: ABRÃO, J.J. (ed.) *Proc. 3rd Inter. Symp. Environmental Geochemistry in Tropical Countries*. Univ. Fed. Fluminense, Niteroi, p: 1-4
- OVALLE, A.R.C., CARVALHO, C.E.V., CARNEIRO, M.E., LACERDA, L.D., REZENDE, C.E. (2000) Distribution of trace, minor and major elements in sediments around the petroleum production platforms, Campos Basin, Rio de Janeiro, Brazil. In: *Proc. International Conference of Heavy Metals in the Environment*, Ann Harbor, in CD Room, 5p.
- PEREIRA, R.C.M., CAJATY, A.A., NOGUEIRA NETO, J.A. (1991) Contribuição a caracterização de argilo minerais em solos da porção sudoeste da Folha Fortaleza (SA.24-Z-C-IV), CE. *Rev. Geol.* 4: 21-27
- POZEBON, D., LIMA, E.C., MAIA, S.M., FACHEL, J.M.G. (2005) Heavy metals contribution of non-aqueous fluids used in offshore oil drilling. *Fuel* 84: 53-61
- PHILLIPS, C., EVANS, J., HOM, W., CLAYTON, D. (1998) Long-term changes in sediment barium inventories associated with drilling-related discharges in Santa Maria basin, California, USA. *Environ. Toxicol. Chem.* 17: 1653-1661
- REZENDE, C.E., LACERDA, L.D. OVALLE, A.R.C., SOUZA, C.M.M., GOBO, A.A.R., SANTOS, D.O. (2002) The effect of an oil drilling operation on the trace metal distribution in bottom sediments from the Brazilian continental platform. *Mar. Pollut. Bull.* 44: 680-684

- REZENDE, C.E., OVALLE, A.R., CARVALHO, C.E., LACERDA, L.D. (2004) Geochemistry and spatial distribution from two offshore oil fields in Southeastern Brazil. In: LACERDA, L.D., SANTELLI, R.E., DUURSMA, E.K., ABRÃO, J.J. (eds.) Facets of Environmental Geochemistry in Tropical and Subtropical Environments. Springer Verlag, Heidelberg, p: 355-364
- SALOMÃO, M.S.M.B., MOLISANI, M.M., OVALLE, A.R.C., REZENDE, C.E., LACERDA, L.D., CARVALHO, C.E.V. (2001) Particulate heavy metal transport in the lower Paraíba do Sul River basin, southeastern Brazil. Hydrological Processes 15: 587-593
- STEINHAEUER, M., CRECELIUS, E., STEINHAEUER, W. (1994) Temporal and spatial changes in the concentrations of hydrocarbons and trace metals in the vicinity of an offshore oil-production platform. Mar. Environ. Res. 37: 129-163
- SUMMERHAYES CP, COUTINHO PN, FRANÇA AMC, ELLIS JP (1975) Salvador to Fortaleza, North-eastern Brazil. Contrib. Sediment. 4: 44-77
- SUMMERHAYES, C.P., DEMELO, U., BARRETTO, H.T. (1976) The influence of upwelling on suspended matter and shelf sediments off southeastern Brazil. J. Sed. Petrol. 46: 819-828
- TINTELNOT, M. (1996) Late quaternary changes on the NE-Brazilian continental margin as revealed by clay mineral and calcium carbonate fluctuations. In: EKAU, W., KNOPPERS, B. (ed.) Joint Oceanographic Projects: JOPS-II Cruise Report and First Results. Center for Marine Tropical Ecology, Bremen, pp: 104-115
- WINDOM, H.L. , CRAMMER, G. (1998) Lack of observed impacts of gas production of Bangkok Field, Thailand on marine biota. Mar. Pollut. Bull. 36: 799-804

(Footnotes)

¹To whom the correspondence should be sent: pgcmt@labomar.ufc.br