



**Avaliação de  
ambientes costeiros  
da região sul da Bahia**  
geoquímica, petróleo e sociedade

Joil José Celino  
Gisele Mara Hadlich  
Antônio Fernando de Souza Queiroz  
Olívia Maria Cordeiro de Oliveira  
*Organizadores*



EDUFBA



**Avaliação de ambientes costeiros  
da região sul da Bahia  
geoquímica, petróleo e sociedade**

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA

Reitor

*João Carlos Salles Pires da Silva*

Vice-reitor

*Paulo Cesar Miguez de Oliveira*



EDITORA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA

Diretora

*Flávia Goulart Mota Garcia Rosa*

Conselho Editorial

*Alberto Brum Novaes*

*Angelo Szaniecki Perret Serpa*

*Caiuby Alves da Costa*

*Charbel Ninó El-Hani*

*Cleise Furtado Mendes*

*Dante Eustachio Lucchesi Ramacciotti*

*Evelina de Carvalho Sá Hoisel*

*José Teixeira Cavalcante Filho*

*Maria Vidal de Negreiros Camargo*

Apoio



Joil José Celino  
Gisele Mara Hadlich  
Antônio Fernando de Souza Queiroz  
Olívia Maria Cordeiro de Oliveira  
*Organizadores*

**Avaliação de ambientes costeiros  
da região sul da Bahia  
geoquímica, petróleo e sociedade**

Salvador  
EDUFBA  
2014

2014, Autores.  
Direitos para esta edição cedidos à EDUFBA.  
Feito o depósito legal.

Grafia atualizada conforme o Acordo Ortográfico da Língua  
Portuguesa de 1990, em vigor no Brasil desde 2009.

Projeto Gráfico, Editoração e Capa  
*Rodrigo Oyarzábal Schlabitz*

Revisão  
*Letícia Rodrigues*

Normalização  
*Adriana Caxiado*

Fotos da capa e miolo  
*Geraldo Marcelo Pereira Lima e acervo do NEA/IGEO/UFBA*

Sistema de Bibliotecas da UFBA

---

Avaliação de ambientes costeiros da região sul da Bahia : geoquímica, petróleo e sociedade /  
Joil José Celino ... [et al.], organizadores ; prefácio Julio Cesar Wasserman. - Salvador, BA :  
EDUFBA, 2014.  
248 p.

ISBN 978-85-232-1272-8

1. Petróleo - Indústria - Aspectos ambientais - Sul Baiano (BA : Mesorregião). 2. Impacto  
ambiental - Avaliação - Sul Baiano (BA : Mesorregião). 3. Geomorfologia - Sul Baiano  
(BA : Mesorregião). 4. Pesca - Sul Baiano (BA : Mesorregião) - Condições sociais. I. Celino,  
Joil José. II. Wasserman, Julio Cesar.

CDD - 363.70098142

---

Editora filiada a



EDUFBA  
Rua Barão de Jeremoabo, s/n, Campus de Ondina,  
40170-115, Salvador-BA, Brasil  
Tel/fax: (71) 3283-6164  
[www.edufba.ufba.br](http://www.edufba.ufba.br) | [edufba@ufba.br](mailto:edufba@ufba.br)

# Sumário

---

- 7 **Prefácio**
- 11 **Introdução**
- 15 **Geologia, Geomorfologia e evolução dos ambientes costeiros nos municípios de Una, Canavieiras e Belmonte**  
*Adriano de Oliveira Vasconcelos, Joil José Celino*
- 37 **Técnicas de campo e laboratório aplicadas às matrizes dos ambientes costeiros nos municípios de Una, Canavieiras e Belmonte**  
*Karina Santos Garcia, Daniela Santos Anunciação, Gisele Moraes de Jesus, Jorge Mário Palma Gomes, Sarah Adriana Rocha Soares, Rui Jesus Lorenzo Garcia*
- 63 **Geoquímica da água superficial nos baixos cursos dos rios Una, Pardo e Jequitinhonha, Sul da Bahia**  
*Joil José Celino, Narayana Flora Costa Escobar, Gisele Mara Hadlich, Rodrigo Azevedo Nascimento, Antônio Fernando de Souza Queiroz*
- 77 **Metais na água superficial, material particulado em suspensão e no sedimento de fundo nos baixos cursos dos rios Una, Pardo e Jequitinhonha**  
*Narayana Flora Costa Escobar, Joil José Celino, Rodrigo Azevedo Nascimento*
- 99 **Índices de acumulação de metais e avaliação de riscos ecológicos dos sedimentos de manguezais do sul da Bahia**  
*Ícaro Thiago Andrade Moreira, Olivia Maria Cordeiro de Oliveira, Gisele Mara Hadlich, Carine Santana Silva, Lucas Medeiros Guimarães, Taís Sousa Pereira*
- 113 **Biogeoquímica das folhas de *Avicennia* e a qualidade ambiental de manguezais nos rios Una, Pardo e Jequitinhonha**  
*Karina Santos Garcia, Andressa Lopes Nery, Daniela Santos Anunciação, Bárbara Rosemar Nascimento Araújo*

- 131 ***Goniopsis cruentata* (Latreille, 1803) como bioindicador passivo nos manguezais dos rios Una, Pardo e Jequitinhonha**  
*Maria Luiza Gomes Garrido Menezes, Catherine Prost, Daniela Santos Anunciação, Simone Souza de Moraes, Taíse Bomfim de Jesus*
- 137 **Sistema de Banco de Dados Geoquímicos Georreferenciados (SBDGG) do litoral sul do Estado da Bahia**  
*Joaquim Bomfim Lago, Eduardo Magalhães Sampaio, Gisele Mara Hadlich, Joil José Celino, Antônio Fernando de Souza Queiroz*
- 147 **Isolamento de microrganismos potencialmente degradadores de hidrocarbonetos de petróleo em áreas não degradadas e degradadas pela indústria petrolífera**  
*Ketlyn Luize Fioravanti, Joil José Celino, Juan Carlos Rossi-Alva*
- 161 **Análise preditiva dos impactos de derramamentos de petróleo: uma abordagem morfodinâmica de praias arenosas do litoral sul da Bahia**  
*Carine Santana Silva, Olívia Maria Cordeiro de Oliveira, Ícaro Thiago Andrade Moreira, Mariana Cruz Rios, Lucas Medeiros Guimarães, Marcos de Almeida, Jéssica Verâne Lima da Silva, Igor Oliveira da Silva Andrade*
- 177 **Sensibilidade ambiental a derrame de óleo para os ecossistemas costeiros no sul do Estado da Bahia**  
*Adriano de Oliveira Vasconcelos*
- 195 **A pesca artesanal: uma atividade de importância social e ambiental em Canavieiras**  
*Catherine Prost, Ondina Souza Duarte, Carolina Silva Sapucaia, Vladimir Félix Pacheco, Maria Luiza Garrido Menezes*
- 223 **Referências**
- 243 **Agradecimentos**
- 245 **Sobre os autores**

## Prefácio

---

Graças às cada vez mais avançadas tecnologias de identificação de jazidas, a indústria da exploração e produção de petróleo vem ocupando os espaços *offshore* da plataforma continental brasileira, gerando riscos cada vez maiores da degradação dos ecossistemas costeiros. O caso do sul do Estado da Bahia, tema deste livro, é o mais conspícuo, pois é uma costa das mais biodiversas, pontilhada com recifes de corais, dentre os quais o do Arquipélago de Abrolhos, manguezais, praias e costões rochosos de grande valor ambiental. Além do interesse ecológico, a região também tem uma economia fortemente ancorada em um turismo ambiental, o que provocará conflitos marcantes com a indústria do petróleo. Mais crítico ainda é o fato de que os blocos de exploração da região são muito mais próximos do continente do que aqueles da Bacia de Campos e é provável que em muitas regiões da Bahia as instalações, inclusive, sejam visíveis da costa. Neste caso, o risco de toque de óleo na costa é ainda maior.

A Bacia Petrolífera de Camamu-Almada Jequitinhonha abrange uma grande porção da costa do Estado da Bahia, desde a desembocadura da Baía de Todos os Santos até a região de Belmonte, abrangendo uma grande porção da área de estudo do presente trabalho. Os primeiros blocos já licitados na região foram tema de estudos de impactos ambientais, mostrando que no caso de vazamento de óleo, os danos podem ser extremamente abrangentes, podendo atingir o norte do Estado do Espírito Santo até a costa do Estado de Alagoas.

O conhecimento que dispomos da região costeira ainda é muito limitado. Em um levantamento recente, pude identificar 185 documentos, entre artigos científicos, relatórios técnicos, teses, dissertações e livros que tratam dos ecossistemas da região, incluindo trabalhos sobre diferentes espécies endêmicas que habitam ecossistemas altamente sensíveis. Contudo, diante da riqueza dos ecossistemas, é muito pouco e ainda é necessário melhorar os níveis de conhecimento de extensas áreas da região onde a degradação ambiental e a geração

de conflitos sociais poderá constituir um fator limitante à sustentabilidade da indústria do petróleo. Neste contexto, este livro é uma consistente contribuição para o entendimento dos processos geológicos, geomorfológicos, geoquímicos, ecológicos e sociais, os quais permitirão a identificação de mecanismos mais eficientes de preservação, de proteção e de remediação em caso de acidentes.

Em sua introdução, os autores fazem uma discussão sobre os impactos da indústria do petróleo na região, mostrando o forte caráter institucional deste trabalho, realizado pelo Núcleo de Estudos Ambientais do Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia, com recursos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) de empresa de petróleo, em projeto respaldado pela Agência Nacional do Petróleo (ANP). Embora esta questão pareça meramente administrativa, o “selo” de pesquisa autorizada pela ANP já atribui um caráter acadêmico-científico relevante ao trabalho. A proposta e o relatório são avaliados pela agência que autoriza a utilização dos recursos. Evidentemente, esta estrutura exige qualidade acadêmico-científica, mas também demanda um viés aplicado muito consistente, o que observamos, foi atendido de maneira equilibrada pelos autores. As informações deste estudo são extremamente valiosas na confecção de futuras avaliações dos impactos da indústria de petróleo *offshore* na costa do Estado da Bahia.

O livro está organizado de maneira a apresentar em seus primeiros sete capítulos os aspectos físicos, biológicos e geomorfológicos da contaminação por metais pesados que constituem material a ser integrado em um sistema de informações geográficas, o qual permitirá inclusão de estudos futuros e pretéritos. No contexto da implantação da indústria do petróleo *offshore* no Estado da Bahia, um sistema como o apresentado poderia constituir a base para a integração das incontáveis informações geoquímicas, geológicas, físicas, biológicas e sociais levantadas nos Estudos de Impacto Ambiental que começam a ser desenvolvidos na região.

Uma das perguntas que se apresenta diante dos novos desenvolvimentos da indústria do petróleo *offshore* é: O que pode ser feito em caso de vazamentos de óleo? Diante das condições reinantes de onda e vento da costa brasileira, seria possível a aplicação de barreiras que retivessem o óleo? Qual seria o tamanho destas barreiras? O caso calamitoso da plataforma de perfuração Deep-Sea Horizon, no Golfo do México, nos mostra que muito pouco pode ser feito e a aplicação de dispersantes, cuja toxicidade é maior que a do próprio petróleo, é a única tecnologia capaz de fazer o petróleo desaparecer da vista. Pura mágica, mas de

consequências ambientais terríveis. A meu ver, a solução está na aplicação da biorremediação com bactérias hidrocarbonoclásticas indígenas, tais como as estudadas no Capítulo 9. As condições de vento, levando à emulsão do petróleo, a incidência de radiação solar e outras condições esperadas em vazamentos *offshore* podem facilitar muito a aplicação desta biotecnologia. Os autores apresentam uma significativa contribuição para o desenvolvimento deste tipo de bactéria que, em condições químicas e nutricionais ideais (disponibilidade de nutrientes e ausência de outras fontes de carbono), pode ter uma eficácia muito maior que qualquer outro tipo de processo tradicional.

O Capítulo 10 apresenta um interessante estudo da morfologia de três praias na região estudada. A relação estabelecida pelos autores entre a morfologia das praias e sua sensibilidade à contaminação por óleo é o aspecto mais interessante do trabalho. Os autores mostram como a conjugação da granulometria e da declividade da praia, associada ao tipo de onda incidente, pode favorecer ou desfavorecer o combate à poluição por óleo. A partir do estudo, é possível fazer uma avaliação mais genérica de outros ambientes praias e classificá-los quanto às ações em caso de contaminação, o que foi feito no capítulo seguinte, mostrando um exemplo da confecção das chamadas cartas SAO da área estudada.

O último capítulo aborda a importante questão dos conflitos sociais e, particularmente, em se tratando da exploração de petróleo no mar, da questão da pesca artesanal e seus modos de vida sustentáveis. É apresentado um valioso e interessante histórico da evolução socioeconômica da região, onde a indústria cacauieira não deixou de ser mencionada. O estudo inclui uma interessante pesquisa de opinião junto aos pescadores e aos participantes da Reserva Extrativista de Canavieiras, contribuindo com o entendimento de como a indústria do petróleo deverá lidar com estes grupos, a fim de, por um lado, não exercer ações que venham a ameaçar sua sustentabilidade e por outro lado, não gerem irresolvíveis conflitos sociais.

Espero que a presente publicação seja considerada nas ações de controle e prevenção de acidentes de derramamento de óleo e outros impactos na costa Sul da Bahia e que sua leitura seja uma contribuição para uma exploração de petróleo *offshore* mais segura no Brasil.

Niterói, 30 de julho de 2014.

Julio Cesar Wasserman



## Introdução

---

Este livro é um produto do projeto “Diagnóstico Geoambiental de Zonas de Manguezal e Desenvolvimento de Processos Tecnológicos Aplicáveis à Remediação dessas Zonas: Subsídios a um Programa de Prevenção de Impactos em Áreas com Potencial para Atividades Petrolíferas na Região Litoral Sul do Estado da Bahia” – projeto Petrotecmangue-Basul. O projeto, em acordo com o Regulamento Técnico ANP nº 05/2005, que destina investimentos em pesquisa e desenvolvimento por parte de empresas vinculadas à cadeia produtiva do petróleo e gás, foi executado pelo Núcleo de Estudos Ambientais (NEA), do Instituto de Geociências (IGEO), da Universidade Federal da Bahia (UFBA), com recursos financeiros de pesquisa e desenvolvimento concedidos pela empresa Queiroz Galvão – Exploração e Produção S.A. O NEA/IGEO/UFBA é credenciado pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), sob os atos 026-D/2009, 025-B/2009 e 008/2013, para realizar atividades de pesquisa e desenvolvimento em monitoramento de áreas impactadas por atividades da indústria de petróleo, gás natural e biocombustíveis, e em remediação e recuperação de áreas contaminadas e impactadas.

A área compreendida pelos estudos publicados neste livro, que abrange o trecho costeiro que pertence à denominada Costa do Cacau, é composta pela zona litorânea dos municípios de Una, Canavieiras e Belmonte, destacando-se os três últimos. Sua extensão ultrapassa 164 km, limitados ao sul pela desembocadura do rio Jequitinhonha, em Belmonte. Essa área possui grande importância turística, econômica e social, com relevância para o fornecimento de produtos da pesca extrativista em função das extensas áreas de manguezais que abrigam. No ecossistema manguezal e nas imediações, encontram-se a base de sustentação alimentar direta de parte da população que vive no seu entorno e de renda gerada a partir da comercialização dos produtos do mesmo gênero, peixes, crustáceos e moluscos.

Atualmente, a região tem atraído grandes investimentos do setor petrolífero, sendo que a principal bacia petrolífera relacionada à área da presente pesquisa é a denominada bacia do Jequitinhonha, localizada na porção sul do Estado da Bahia, com aproximadamente 10.000 km<sup>2</sup>, atualmente em atividades de exploração *offshore*. Destaca-se que atividades petrolíferas relacionadas a qualquer segmento dessa cadeia, seja exploração, produção, transporte, refino ou distribuição, trazem consigo o risco iminente de acidentes que podem ser muito impactantes ao meio ambiente.

Os resultados do projeto Petrotecmangue-Basul, desenvolvido entre os anos de 2011 a 2013, evidenciam diferentes graus de qualidade ambiental no que se refere, sobretudo, à presença de metais em diferentes compartimentos ambientais (água, sedimentos e biota) nos baixos cursos e estuários dos rios Una (no município de Una), Pardo (em Canavieiras) e no delta do Jequitinhonha (município de Belmonte).

Relativo aos trabalhos de desenvolvimento de tecnologias de remediação física de ambientes impactados por derrames de óleo, as simulações em laboratório estão em andamento, enquanto a seleção de consórcios microbianos de sedimentos de manguezais com potencial de degradação de hidrocarbonetos de petróleo mostram-se promissores.

Quanto a possíveis impactos de atividades petrolíferas sobre o litoral da área pesquisada, a caracterização de ambientes litorâneos e estudos de suscetibilidade das praias e de sensibilidade a derrames de óleo, este último desenvolvido pelo Laboratório de Métodos Computacionais em Engenharia (LAMCE) do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia (COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro), são mostrados.

No aspecto social, especificamente na área da Reserva Extrativista de Canavieiras (Resex), a área de estudo apresenta-se como um território que, mesmo com uma diversidade de interesses, vem buscando trabalhar em cogestão com os órgãos ambientais locais, estando os próprios extrativistas conscientes da sua importância, papel e necessidades.

A integração universidade e empresa tem proporcionado a geração de novos processos de produção de bens e serviços, diminuindo, progressivamente, o distanciamento entre aplicação tecnológica e inovação. Os benefícios têm sido bilaterais: para a empresa, além de ser um campo de visualização de profissio-

nais qualificados, essa relação se transforma num potencial suporte ao desenvolvimento científico e tecnológico, com mais qualidade, maior velocidade e menor custo; para a universidade, representa formação de pessoal, envolvendo alunos de Programas de Pós-Graduação e de Iniciação Científica, implantando e integrando um processo de qualificação de mão de obra altamente especializada e, principalmente, levando informação científica simplificada para as comunidades locais através de encontros e *workshops* realizados.

Nesse contexto, este livro tem por objetivos divulgar amplamente métodos e resultados gerados pelo Projeto Petrotecmangue-Basul, contribuir para o conhecimento dos ambientes litorâneos e de sua geoquímica nos municípios de Una, Canavieiras e Belmonte, estabelecer um referencial de qualidade ambiental para a área pesquisada, apontar para novas necessidades de pesquisa e estabelecer bases para construir tecnologias e propiciar ações de inovação para a área de remediação de áreas impactadas por atividades petrolíferas.



# **Geologia, Geomorfologia e evolução dos ambientes costeiros nos municípios de Una, Canavieiras e Belmonte**

---

Adriano de Oliveira Vasconcelos

Joil José Celino

## **Introdução**

A Geologia e Geomorfologia possuem importante papel em estudos ambientais, pois sedimentos e rochas dos antigos ambientes de sedimentação determinam, em larga escala, a aptidão dos terrenos para os vários usos e atividades humanas. (ANDRADE; DOMINGUEZ, 2002) As regiões litoral sul e extremo sul do Estado da Bahia, inseridas no Polo litoral sul, englobam as denominadas Costa do Dendê e Costa do Cacau, além de estarem incluídas no Projeto Corredor da Mata Atlântica. (NASCIMENTO; DOMINGUEZ, 2009) As principais atividades econômicas na região são a carcinicultura, a agricultura, a pecuária, a pesca artesanal e o turismo, em ascensão devido ao grande valor cênico das paisagens. A beleza natural é revelada nas margens protegidas dos baixos cursos dos rios Una, Pardo e Jequitinhonha, bem como nos braços de mar, na zona de influência das marés, onde são encontrados depósitos constituídos predominantemente de materiais argilo-siltosos provenientes do manguezal. (ESCOBAR, 2013)

O regime de ventos no setor leste do Estado da Bahia sofre modificações ao longo do ano por estar inserido na região de migração da Zona de Divergência dos Ventos Alísios. (EÇA, 2009) No verão, ocorre a migração desta Zona para o Equador, posicionando-se a cerca de 13° S. Consequentemente, chegam à região ventos alísios de nordeste (NE) que geram ondas de NE. No inverno, essa Zona de Divergência move-se para sul, até próximo a 20° S. Neste período, chegam à costa os ventos alísios de sudeste (SE). A interação destes com os ventos de leste (E), presentes na área durante todo o ano, geram ondas de SE. (BITTENCOURT et al., 2000) A variação dos ventos ao longo do ano, por um lado, e os aportes de sedimentos fluviais, por outro, geram uma dinâmica na zona costeira que promove processos erosivos e de deposição nas áreas de encontro dos rios com o mar.

Neste capítulo são apresentados aspectos fisiográficos da região que engloba os estuários dos rios Una e Pardo e o delta do Jequitinhonha, com enfoque na evolução da área costeira durante o período Quaternário e evidências de processos recentes de erosão e sedimentação locais.

### **Arcabouço fisiográfico**

A área em foco está situada no sul do Estado da Bahia, compreende os estuários dos rios Una e Pardo e o delta do rio Jequitinhonha e abrange os municípios de Una, Canavieiras e Belmonte, respectivamente; apresenta uma extensão de aproximadamente 120 km do litoral (Figura 1).

A região costeira é estreita de Una para o norte, alargando-se consideravelmente de Una para o extremo sul, sendo que em Belmonte o alargamento da plataforma alcança até 200 km, associado ao delta do rio Jequitinhonha, com gradientes de batimetria muito baixos e isóbatas irregulares. (BITTENCOURT et al., 2000)

A região de Una apresenta clima quente e úmido, com chuvas bem distribuídas ao longo do ano e taxa pluviométrica média anual de 1800 mm, com temperatura média entre 21°C a 28°C. (DE PAULA; SILVA; SOUZA, 2012) O trecho do rio Una estudado corresponde a uma área de 2,15 km<sup>2</sup>; a largura média de uma margem à outra é de aproximadamente 118 m e o canal alcança uma profundida-

de máxima de 8 m. A vazão média da bacia hidrográfica na foz está na ordem de  $44,6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . (BAHIA, 2003)

A região do rio Pardo, em Canavieiras, com clima semelhante a Una, apresenta taxas pluviométricas acima de  $1600 \text{ mm ano}^{-1}$ . (BAHIA, 1997) O estuário de estudo corresponde a uma área de aproximadamente  $3,5 \text{ km}^2$  e largura média entre as margens de 220 m. A vazão média da bacia é da ordem de  $69,1 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  na foz. (BAHIA, 2003)

A bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha abrange uma área de  $70.315 \text{ km}^2$ , insere-se predominantemente no nordeste do Estado de Minas Gerais, sendo que  $3.996 \text{ km}^2$  ocorrem no sudeste da Bahia, drenando a área de cinco municípios. (BAHIA, 2003) Deságua no Oceano Atlântico, no município de Belmonte, no litoral sul da Bahia.

Um levantamento de dados realizado pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM), no período de 1977 a 2006, demonstra que os meses de março, abril, novembro e dezembro apresentam maior índice pluviométrico, e os meses de agosto, setembro e outubro caracterizam-se como períodos secos. (SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL, 2012)

As maiores descargas de água fluvial, na área, são as do rio Pardo (em torno de  $3 \text{ km}^3 \text{ ano}^{-1}$ ). Este último apresenta descarga de água doce mais alta que o Una (em torno de  $0,7 \text{ km}^3 \text{ ano}^{-1}$ ). Com relação à descarga de sedimentos na costa, o Pardo ( $0,12 \times 10^6 \text{ T ano}^{-1}$ ) contribui em maior parte com material particulado em suspensão. (SOUZA, 2002)

## Geologia

A geologia da área delimitada é composta por formações superficiais Cenozóicas distribuídas ao longo dos períodos Neógeno e Quaternário. Formações mais antigas são observadas à medida que se afasta da linha de costa em direção ao interior do continente. A síntese geológica foi baseada nas dissertações de mestrado de Lima (2011), Nascimento (2006) e Dominguez (1983), mapa geológico do Estado da Bahia em escala ao milionésimo (SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL, 2003), carta geológica e de recursos minerais em escala de 1:250.000 desenvolvida pela Companhia Baiana de Pesquisa Mineral (CBPM) e

trabalhos publicados por Dominguez, Martin e Bittencourt (1982) e Bittencourt e outros (2000).

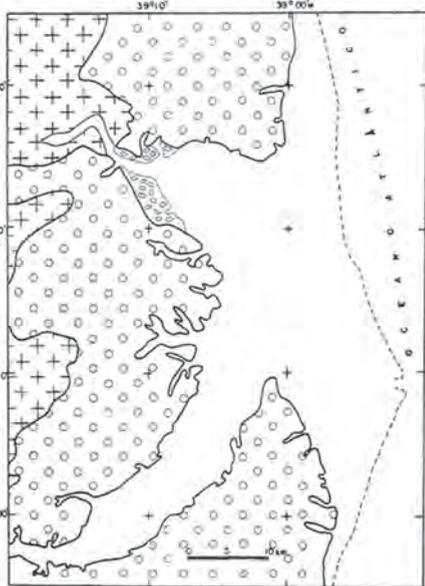
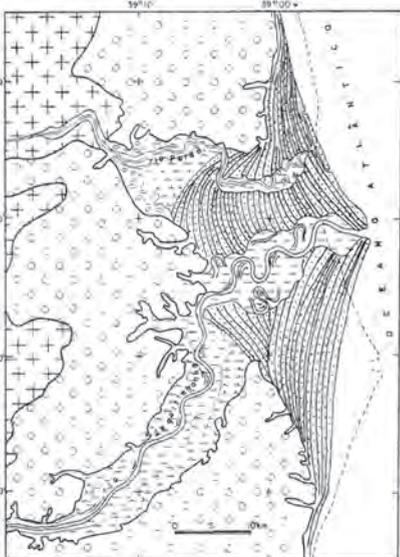
Dominguez, Martin e Bittencourt (1982) apresentaram a história evolutiva da planície costeira da área ao longo do período Quaternário com a reconstrução dos cenários pretéritos das variações no nível médio do mar baseado nas análises dos cordões litorâneos bem conservados na área. Assim, foi possível reconhecer seis estágios na história da formação do delta do rio Jequitinhonha com base em três aspectos considerados: conhecimentos adquiridos sobre as variações relativas do nível do mar e a evolução costeira durante o Quaternário para o Estado da Bahia; datações com  $C^{14}$  de amostras de madeira coletadas nos diversos subambientes da planície deltaica do rio Jequitinhonha; análise das características geomorfológicas e de convergências dos cordões litorâneos na superfície dos terraços marinhos.

Em todos os estágios da construção da planície costeira do rio Jequitinhonha, o fato determinante no controle da sedimentação Quaternária foram as variações do nível relativo do mar. (DOMINGUEZ; MARTIN; BITTENCOURT, 1982) O abaixamento do nível durante os últimos 5.000 anos, expondo grandes quantidades de sedimentos na plataforma continental, representou o mecanismo de proveniência de sedimentos a alimentar a progradação da planície costeira. Com isso, uma série de eventos de deposição sedimentar da planície costeira foram identificados e descritos. (MORAES FILHO; LIMA, 2007; DOMINGUEZ, 1983; MARTIN et al., 1980)

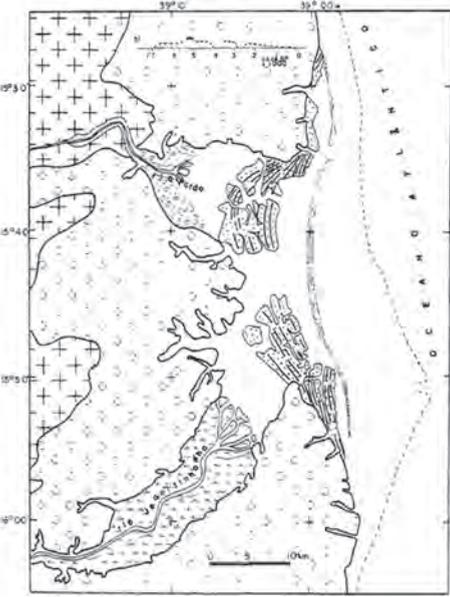
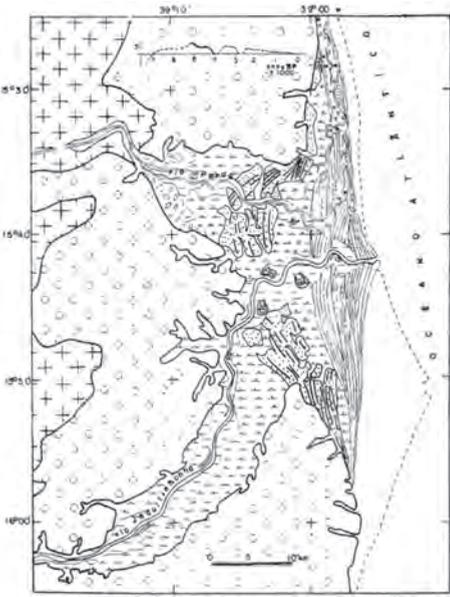
No Quadro 1 são apresentados os estágios de evolução da planície costeira durante o Quaternário.

Na faixa costeira do sul da Bahia predominam areias, argilas e camadas de seixos semiconsolidados atribuídos à Formação Barreiras do Plioceno. Para a área de estudo, foram consideradas formações superficiais Cenozoicas, de acordo com Moraes Filho e Lima (2007). Na Figura 2 podem ser observados maiores detalhes geocronológicos das unidades geológicas, bem como sua composição litológica.

Quadro 1 – Evolução da planície costeira da área de estudo segundo estudos de Dominguez, Martin e Bittencourt (1982) e Martin e outros (1980)

Estágio	Evolução	Mapa paleogeográfico
<p>I Pleistoceno</p>	<p>A penúltima transgressão marinha iniciou há 120.000 anos antes do presente (A.P.) e posicionou-se entre 6 a 10 metros acima do nível do mar atual. Nesta fase, os vales dos rios Pardo e Jequitinhonha foram afogados, transformando-se em estuários, o mesmo acontecendo com os pequenos vales entalhados na Formação Barreiras</p>	
<p>II Pleistoceno</p>	<p>No período intermediário entre o final da fase transgressiva e o início da regressão, ocorreu a deposição de terraços arenosos em detrimento de sedimentos expostos na plataforma continental. Formou-se nesta época o delta pleistocênico, cujos testemunhos se encontram preservados até hoje, tanto ao sul quanto ao norte do curso do atual rio Jequitinhonha</p>	

Continua

<p>III Holoceno</p>	<p>A regressão marinha atingiu seu menor nível por volta de 19.000 A.P. A partir de 17.000 anos A.P., teve início uma nova elevação do nível do mar que culminou, há 5.200 anos, em 5 metros acima do nível atual. Este evento foi denominado como última transgressão e erodiu e afogou parcialmente o delta pleistocênico (MARTIN et al., 1980)</p>	
<p>IV Holoceno</p>	<p>Há 5.200 anos A.P., com o abaixamento do nível do mar, ocorreu a progradação das ilhas Barreiras, ao mesmo tempo em que a laguna foi substituída por brejos. Neste período, o rio Jequitinhonha construiu um delta próximo à cidade de Canavieiras, sendo este considerado seu primeiro delta holocênico</p>	

Continua

<p>V Holoceno</p>	<p>Há 3.800 anos A.P. ocorreu uma leve oscilação positiva no nível do mar, alcançando 3 metros acima do nível atual, produzindo a erosão e submersão parcial do primeiro delta, forçando o rio Jequitinhonha a mudar de curso, ocupando uma nova desembocadura mais ao sul. Entre 3.500 e 2.700 anos A.P., formou-se o segundo delta holocênico associado a essa nova desembocadura</p>	
<p>VI Holoceno</p>	<p>A construção do segundo delta do rio Jequitinhonha prosseguiu até 2.700 anos A.P., quando o mar transgrediu novamente atingindo 2,5 metros acima do nível atual há 2.500 anos A.P., resultando no afogamento parcial do segundo delta. Além disso, causou um desequilíbrio fluvial, forçando o deslocamento da foz mais para o sul. Foi então que o rio Jequitinhonha passou a ocupar seu leito atual, iniciando a formação do seu terceiro delta holocênico</p>	

Fonte: Dominguez, Martin e Bittencourt (1982) e Martin e outros (1980).

## **Formações Superficiais Cenozoicas**

Segue a descrição da Formação Barreiras e depósitos superficiais Cenozoicos encontrados na região estudada.

### ***Grupo Barreiras***

Para diversos autores, a sedimentação que deu origem ao Grupo Barreiras ocorreu durante o Neógeno e está relacionada a fatores morfológicos, climáticos e tectônicos. Menezes Filho (apud MORAIS FILHO, 1999) mostra um enfoque sobre a faciologia deste Grupo no sul da Bahia, assinalando que a grande lenticularidade das camadas e as bruscas mudanças laterais e verticais das litologias inviabilizam o rastreamento de horizontes guias para correlações, mesmo em regiões circunvizinhas.

Quanto à litologia, predominam arenitos imaturos com intercalações argilosas e conglomeráticas. Os arenitos são mal selecionados, com baixa maturidade textural e mineralógica. As intercalações de argilitos e conglomerados ressaltam o acamamento geralmente horizontalizado.

O Grupo Barreiras ocupa uma extensa área de relevo aplainado no município de Belmonte, onde o rio Jequitinhonha está plenamente encaixado. Em Canavieiras, sua presença é bem significativa a oeste e noroeste do município, onde um trecho da rodovia BA-001 percorre o contato do Grupo Barreiras com a Planície Costeira. Em Una, sua proporção espacial em relação ao município é a menor dentre os municípios considerados; no entanto, é possível observar o Grupo Barreiras com maior evidência ao transitar pela rodovia BA-001 (Figura 2).

### ***Depósitos litorâneos antigos***

Os depósitos litorâneos antigos são do tipo terraços arenosos, encontrados nas regiões de Canavieiras e Belmonte (Figura 2). Constituem cristas de antigos cordões litorâneos e foram formados no final da penúltima transgressão, no Pleistoceno. (MARTIN et al., 1980) A presença de tubos fósseis de *Callianassa*, artrópode marinho que vive na parte inferior da zona de intermaré, atesta sua origem litorânea. São constituídos por areias bem selecionadas.

### ***Depósitos litorâneos***

Esses depósitos são caracterizados por terraços arenosos, formados por cristas de cordões arenosos litorâneos bem desenvolvidos, constituídos por areia, silte e argila ricos em matéria orgânica e contendo conchas marinhas.

### ***Depósitos fluviolagunares***

São encontrados nas zonas baixas que margeiam rios e lagos (Figura 2). Sua deposição teve início na última transgressão, prosseguindo até os tempos atuais. Ocupam grande extensão na região do rio Jequitinhonha e são constituídos por areia, silte e argila ricos em matéria orgânica. (MARTIN et al., 1980)

### ***Depósitos de pântanos e manguezais***

Os depósitos de pântanos e manguezais estão localizados junto às margens protegidas de rios e riachos. Podem ser encontrados também em baías, nas zonas de influência das marés (Figura 2). São constituídos por materiais argilo-siltosos, ricos em matéria orgânica, geralmente associados a turfeiras.

## **Geomorfologia**

A porção continental da área é constituída por tabuleiros esculpidos em rochas sedimentares Cenozoicas da Formação Barreiras e por depósitos fluviomarinhas do Quaternário (Figura 3).

Em um contexto regional, observa-se, em Belmonte, o rio Jequitinhonha entalhando tabuleiros costeiros modelados em litologias do Grupo Barreiras, resultando na formação de um grande vale em seu baixo curso, estando atualmente encaixado em planície fluviolacustre e terraços marinhos, até desaguar no Oceano Atlântico.

Em Canavieiras, o rio Pardo atinge seu baixo curso depois de entalhar rochas do Neoproterozóico e um pequeno trecho de tabuleiros costeiros. A partir de então, o rio começa a formar meandros sobre planícies fluviolacustres e terraços marinhos, onde ocorrem planícies intermaré com grandes florestas de manguezais em suas margens.

Em Una, o rio homônimo corta as colinas amplas com formação de rochas mais antigas do Mesozoico ao norte da cidade. O rio ganha alguma navegabilidade à jusante da sede do município, principalmente após receber seu contribuinte, rio São Pedro, pela margem direita, onde começa a meandrar sobre planícies fluviomarinhas, fluviolacustres e intermaré lamosa, até encontrar o Oceano Atlântico.

Toda linha de costa da área estudada é formada por ilhas arenosas destacadas da planície costeira por rios e canais de maré, existindo, em suas extremidades, feições do tipo esporão e manguezais no seu interior. (DOMINGUEZ; MARTIN; BITTENCOURT, 1987)

Neste capítulo, três táxons geomorfológicos foram considerados: Domínio Morfoestrutural, Unidades Geomorfológicas e Modelados. Os Modelados foram definidos apenas na área de estudo (Figura 3).

Três domínios morfoestruturais (IBGE, 2009) marcam a região de estudo: depósitos Quaternários, depósitos Terciários e cinturões móveis do Pré-Cambriano, os quais compreendem extensas áreas de planaltos, alinhamentos serranos e depressões interplanálticas elaboradas em terrenos dobrados e falhados incluindo, principalmente, metamorfitos e granitóides associados. São relevos baseados em formações rochosas do Mesozoico, Paleoproterozoico e Neoproterozoico, como apresentado na Figura 2.

As Unidades Geomorfológicas (IBGE, 2009) são conjuntos de formas de relevo que constituem compartimentos identificados como planícies, depressões, tabuleiros, chapadas, patamares, planaltos e serras (Figura 3).

Os modelados abrangem um padrão de formas de relevo que apresentam definição geométrica similar em função de uma gênese comum e dos processos morfogenéticos, resultando na recorrência dos materiais correlativos superficiais. (IBGE, 2009) Na área de estudo, quatro modelados do tipo acumulação foram identificados (Figura 3):

- Planície Fluviomarinha: plana, resultante da combinação de processos de acumulação fluvial e marinha, sujeita a inundações periódicas. Pode comportar canais fluviais, manguezais, cordões arenosos e deltas; predominam sedimentos arenosos, terrenos com inclinação de 0° a 5° e topografia de 2 a 20 metros de altitude;
- Planície Fluviolacustre: plana, gerada pela combinação de processos de acumulação fluvial e lacustre; pode comportar canais anastomosados, paleo-meandros e diques marginais. Predominam sedimentos arenosos, intercalados com camadas argilosas, ocasionalmente com presença de turfa. A inclinação não ultrapassa 1° e a altimetria é inferior a 10 metros;
- Planície de Intermaré: área plana próxima à costa, caracterizada como mista, com dinâmica dos movimentos das marés estuarinas entre a preamar e a bai-

xa-mar das marés de quadratura. É dominada por florestas de mangue e predominam sedimentos não consolidados depositados em meio aquoso, ricos em matéria orgânica;

- Planície e Terraço Marinho: a planície é resultante de acumulação marinha, podendo comportar praias, canais de maré, cristas de praia, restingas, ilhas barreirra. O terraço é plano, levemente inclinado para o mar, apresentando ruptura de declive em relação à planície marinha. Há predomínio de sedimentos arenosos.

## **Evolução dos ambientes costeiros**

É possível visualizar alterações da linha de costa através de imagens de satélites de alta resolução espacial.

Neste capítulo, alguns trechos da linha de costa, onde o processo de erosão é mais evidente, foram analisados utilizando dados orbitais disponíveis no Google Earth. Ressalta-se que o conhecimento da altura da maré no momento em que cada imagem foi registrada é importante na composição das análises de erosão e progradação, no entanto, o Google Earth não oferece o horário de registro de suas imagens e, portanto, não é possível saber o comportamento da maré no momento do imageamento. Diante disto, optou-se por extrair as linhas de costa das imagens do Google de forma mais conservadora: sobrepondo o limite da área vegetada com a faixa de areia da praia, local onde se admite não estar sujeita à atuação direta de marés mais comuns. Por esta razão, é possível que a análise apresente uma estimativa de progradação e erosão da linha de costa aquém do que realmente pode estar ocorrendo. Ainda assim, considera-se que são números bastante representativos para o curto intervalo de tempo considerado nas análises.

Os locais da linha de costa analisados são: foz do rio Comandatuba, canal do Peso e foz do rio Pardo, ilha do Brinco e Barra Velha, Barra do Poxim e foz do rio Jequitinhonha.

## **Variabilidade espacial da costa**

Sobre a alta variabilidade espacial da costa da área de estudo, a Figura 4a exibe a linha de costa da foz do rio Comandatuba, no ano de 2007. O trecho final do rio Comandatuba é marcado pela presença de uma ilha que divide o curso do

rio. Antes de desaguar no mar, os cursos se encontram fazendo uma curva fechada. A parte final da margem direita contorna a Barra de Comandatuba, onde as bordas estão sob ação da maré. Na Figura 4b, observa-se a linha de costa para os anos de 2007 e 2011. Na imagem de 2011, nota-se que o trecho final do rio, após a ilha, já não faz uma curva tão acentuada como fazia quatro anos antes ao encontrar com o mar. Isso se deve à área erodida na margem esquerda no final do rio. Percebe-se também que a Barra de Comandatuba teve seu tamanho acrescido em relação ao ano de 2007. A Figura 4c mostra valores estimados da área erodida e progradada, entre 2007 e 2011. O trecho erodido sofreu uma perda de 7,9 hectares (ha) de área. Já a Barra de Comandatuba sofreu um aumento de 17,6 ha para o norte, no mesmo sentido do curso do rio. A faixa praiana da barra também teve um crescimento registrado, com 3,7 ha de avanço sobre o mar.

Na Figura 5a, verifica-se a linha de costa na Barra Velha e ilha do Brinco no ano de 2004. Percebe-se, na parte norte da ilha do Brinco, uma protuberância que se estende até o interior do rio Barra Velha. Na parte final da margem esquerda, o rio forma uma área de acumulação de areia, conhecido como Barra Velha, resultado da dinâmica entre o rio e o mar. O local é marcado por extensos manguezais que bordejam as margens dos rios adjacentes. A Figura 5b revela a linha de costa no ano de 2011, tal qual a linha de costa de 2004 para melhor comparação do comportamento divergente. Observa-se que a parte norte da ilha do Brinco foi erodida e toda área que entrava no rio Barra Velha já não existe mais. No entanto, a faixa de praia da ilha avançou sobre o mar no período de sete anos. Nota-se também que a Barra Velha avançou para o sul, cobrindo o leito do rio Barra Velha que fluía em 2004. Na Figura 5c, consta uma estimativa da área erodida e progradada, entre 2004 e 2011. O setor norte da ilha do Brinco perdeu 9,2 ha, enquanto que a Barra Velha cresceu 9,7 ha no seu tamanho. A faixa de praia da Barra Velha encolheu 2,8 ha. Em contrapartida, a faixa de praia da ilha do Brinco avançou 8,9 ha sobre o mar.

Na Figura 6a, está desenhada a linha de costa da saída do Canal do Peso e da margem direita da foz do rio Pardo no ano de 2005, sendo que a distância entre a saída do Canal do Peso e a foz do rio Pardo é de aproximadamente 2.730 metros. A região é marcada por vegetação de restinga, manguezais à jusante dos rios e parcelas de cultivo de coqueiros. Entre 2005 e 2010, a barra do Canal do Peso cresceu 19,1 ha, enquanto que sua parte final da margem esquerda perdeu

25,3 ha de solo. O rio Pardo erodiu 10,8 ha do seu trecho final da margem direita. A Figura 6b mostra a linha de costa para o ano de 2010. A distância que separa a saída do Canal do Peso e o rio Pardo decresceu para 1.750 metros num período de cinco anos. O processo de erosão e progradação continua intenso. Entre 2010 e 2011, todo o trecho litorâneo de terra entre o Canal do Peso e o rio Pardo foi erodido em 16,9 ha, enquanto que a barra do Canal do Peso aumentou 13,4 ha. Ressalta-se que esses valores foram alcançados dentro de um período de um ano. A Figura 6c apresenta a linha de costa correspondente ao ano de 2011. A distância entre a saída do Canal do Peso e a foz do rio Pardo está em 1.350 metros nesse momento. O rio Pardo continua avançando sobre o trecho final de sua margem direita e, com isso, 2,8 ha foram tomados entre 2011 e 2013. Da mesma forma, o Canal do Peso persiste na escavação do trecho final de sua margem esquerda. Neste mesmo período, foram retirados 13,7 ha de área. Em contrapartida, a barra do Canal do Peso progrediu 6,8 ha e o trecho litorâneo entre tais rios cresceu 2,9 ha. A Figura 6d exibe a imagem referente a 2013 e todas as linhas de costas sobrepostas para comparação. Observa-se que a distância entre o Canal do Peso e a foz do rio Pardo diminuiu 300 metros em dois anos, chegando a 1.050 metros de distância.

A Figura 7a exibe a linha de costa na foz do rio Poxim do Sul, no ano de 2004. Nota-se que o rio está cheio em função da maré alta ou por período chuvoso que antecedeu a data do imageamento, ou ambos; destacam-se os limites marginais do rio. A Figura 7b mostra a linha de costa para o ano de 2008. A margem direita do rio Poxim do Sul foi erodida no local onde o rio faz a curva para lançar-se ao mar. Em apenas quatro anos, 7,6 ha de solo foram removidos. A Barra do Poxim sofreu um acréscimo de 11,8 ha, o que equivale a 14 campos de futebol de tamanho oficial. Entretanto, a erosão continua mais intensa nos anos seguintes. A Figura 7c expõe a área erodida entre os anos de 2008 e 2011. A perda de solos chegou a 8,6 ha em três anos. Isso implicou em perdas de cultivos e casas instaladas, conforme registrado na imagem de 2004. A progradação da Barra do Poxim também continuou intensa: houve um acréscimo de 17 ha. Na Figura 7d, é possível visualizar as linhas de costa dos anos de 2004, 2008 e 2011 com uma ideia das ações erosivas da hidrodinâmica fluviomarinha. A Figura 7e mostra detalhes do uso do solo na imagem de 2004, bem como as linhas de erosão que

tomou parte da margem direita do rio Poxim do Sul. De 2004 até 2011 foram mais de 16 ha de terras levadas pelo rio.

Na Figura 8a está delimitada a linha de costa do ano de 2005 da praia do Sul e da ilha do Meio, as quais estão sob influência direta do rio Jequitinhonha. Percebe-se que o braço direito do rio está bem assoreado, porém ainda em contato direto com o mar, embora, naquele momento, sua saída estivesse bastante estreita em função da formação da barra de areia. A praia do Sul tinha uma configuração mais avançada sobre o mar, na qual sua faixa de areia se estendia sob a barra. Observa-se ainda um rio que drenava o manguezal com seu curso paralelo à praia do Sul, desaguando no final da margem direita do rio Jequitinhonha. A Figura 8b apresenta a linha de costa referente ao ano de 2011 e a de 2005 para efeito de comparação. Nota-se que o braço direito da foz do Jequitinhonha não faz mais contato direto com o mar devido ao fechamento total da barra de areia. O recuo da parte frontal da ilha do Meio e da praia do Sul é evidente. O rio que outrora desaguava no trecho final da margem direita do Jequitinhonha teve parte de seu curso extinto em virtude do recuo da faixa de areia da praia do Sul. A Figura 8c expõe uma estimativa da área tomada pelo mar, assim como da área progradada, a qual resulta de uma comparação da situação da linha de costa de 2011 em relação a 2005. Neste período, a ilha do Meio perdeu cerca de 37 ha de área de sedimentos para o mar. Este número equivale a aproximadamente 45 campos de futebol, o que representa uma perda de 7,5 campos de futebol por ano, entre 2005 e 2011. A praia do Sul sofreu uma perda de 11,1 ha, enquanto que a barra que interrompeu o curso do braço direito do rio Jequitinhonha obteve um ganho de 3,5 ha.

## **Considerações finais**

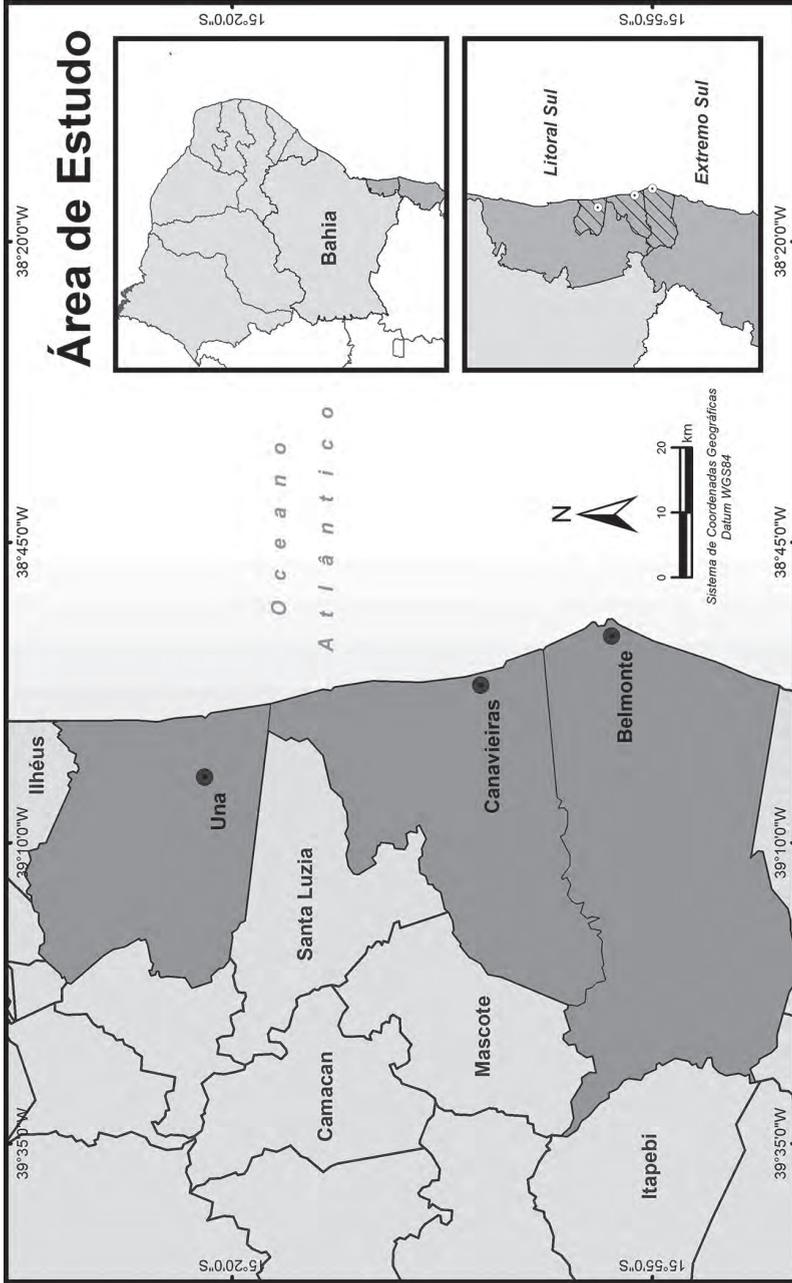
Neste capítulo foi possível entender que a área de estudo é extremamente vulnerável a mudanças quanto à disposição da linha de costa no decorrer dos últimos 5.000 anos, como mostraram estudos de Dominguez, Martin e Bittencourt (1982), entre outros. Estudos geológicos mostraram que os solos da região costeira são formados por depósitos de origem fluvial e marinha predominantemente. Isso releva solos jovens e pouco consolidados, o que favorece processos de remanejamento espacial constante ao longo da linha de costa.

Nesse sentido, o estudo focou na análise espacial da evolução costeira atual. Com isso, através de imagens de satélite de alta resolução espacial, foi possível estimar a área erodida e de deposição ao longo da linha de costa na última década. Tais mudanças são mais evidentes nas desembocaduras dos rios, o que permite afirmar que este fenômeno é primordialmente resultante de atividades fluviomarinhas.

Não é possível evidenciar se as causas da alta variabilidade espacial da linha de costa da região são naturais, antrópicas ou ambos. Porém, no trabalho de Dominguez e outros (2005), os autores afirmaram que este fenômeno não tem nenhuma relação com uma possível elevação do nível relativo do mar nas últimas décadas, mas pode ser explicado por processos tipicamente associados à dispersão e acumulação de sedimentos ao longo da linha de costa, à dinâmica de desembocaduras fluviais, às interferências humanas e às tendências de longo prazo para um balanço negativo de sedimentos.

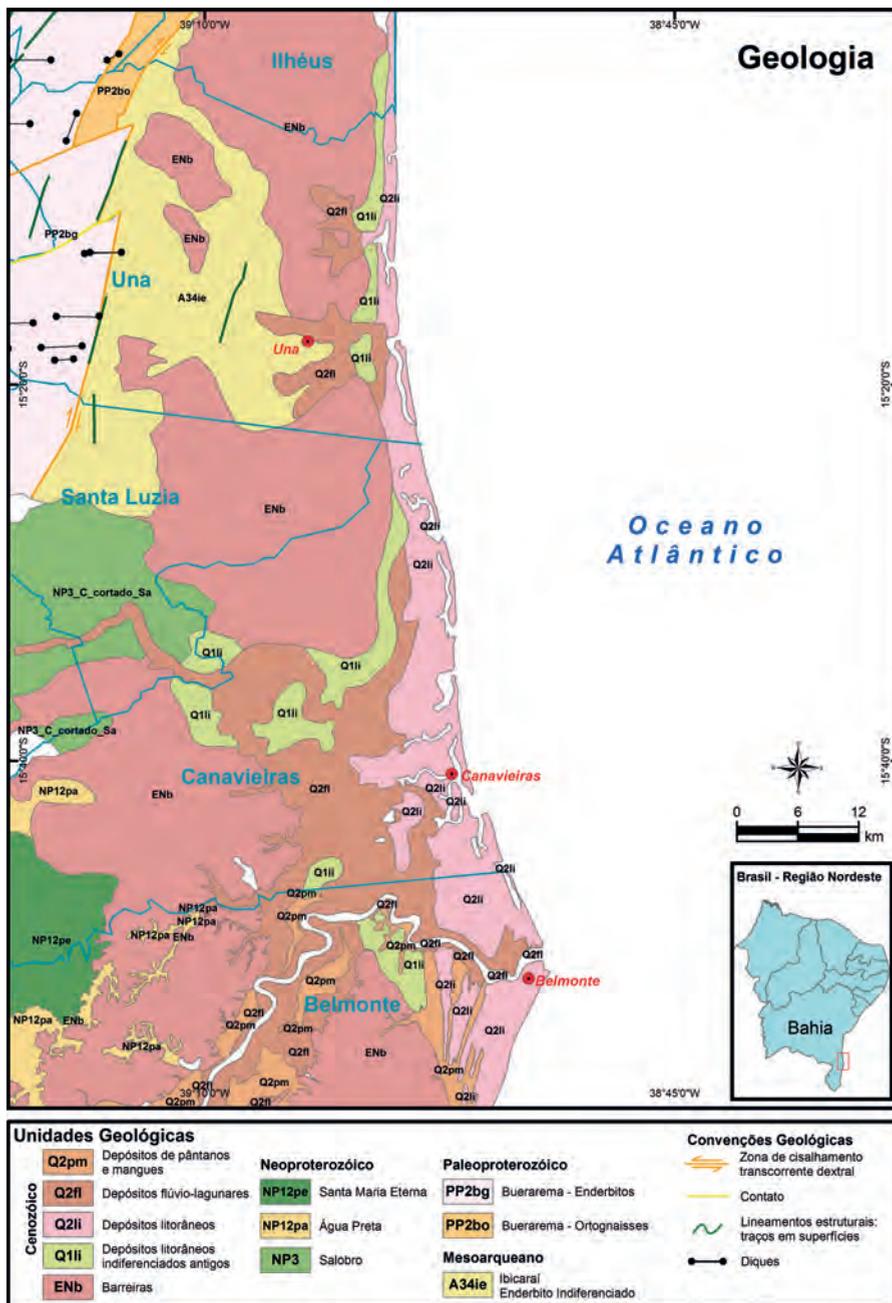
Contudo, de posse de todas as evidências, recomenda-se o monitoramento contínuo da evolução da linha de costa, uma vez que isso pode impactar diretamente a população local, desde o pescador que tira seu sustento do mangue, até os grandes empreendimentos hoteleiros.

Figura 1 – Localização dos municípios de Una, Canavieiras e Belmonte no Estado da Bahia



Elaboração: Adriano de Oliveira Vasconcelos.

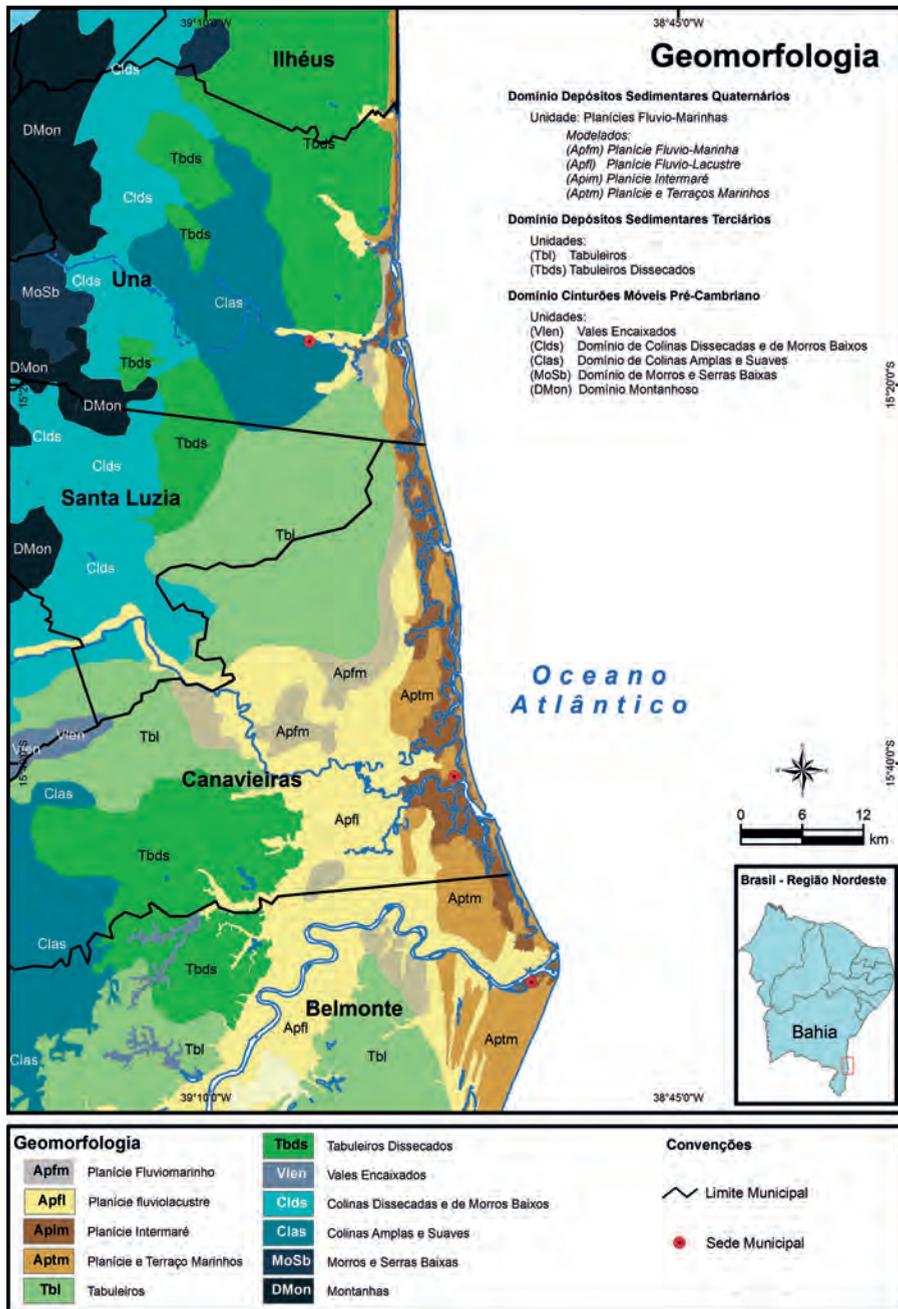
Figura 2 – Mapa geológico da faixa costeira do sul do Estado da Bahia



Elaboração: Adriano de Oliveira Vasconcelos

Fonte dos dados: Serviço Geológico do Brasil (2003).

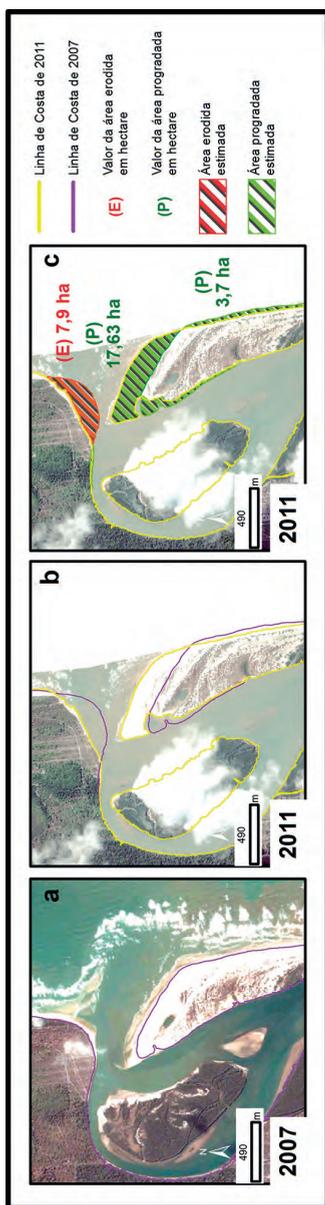
Figura 3 – Distribuição espacial das unidades geomorfológicas e seus modelados do sul da Bahia



Elaboração: Adriano de Oliveira Vasconcelos

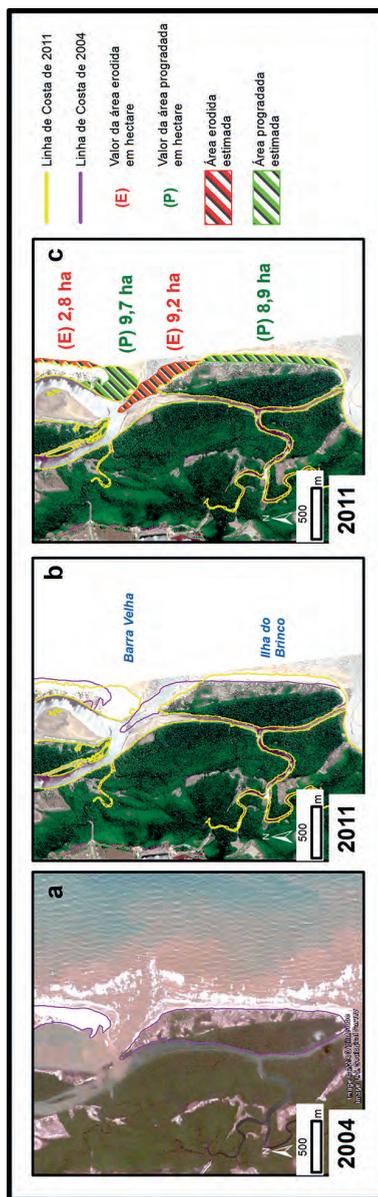
Fonte dos dados: Serviço Geológico do Brasil (2003).

Figura 4 – Evolução da linha de costa na foz do rio Comandantuba, em Una, entre 2007 e 2011



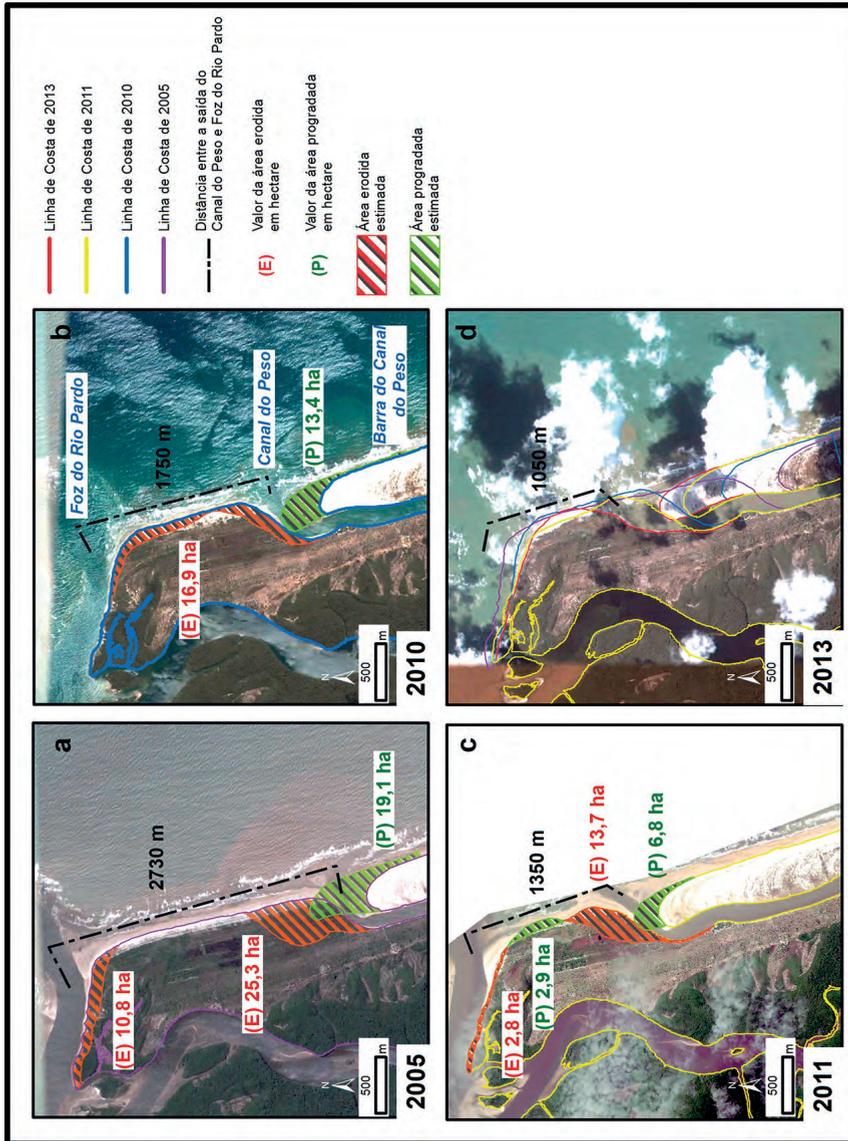
Elaboração: Adriano de Oliveira Vasconcelos.

Figura 5 – Evolução da linha de costa na Barra Velha, em Canavieiras, entre 2004 e 2011



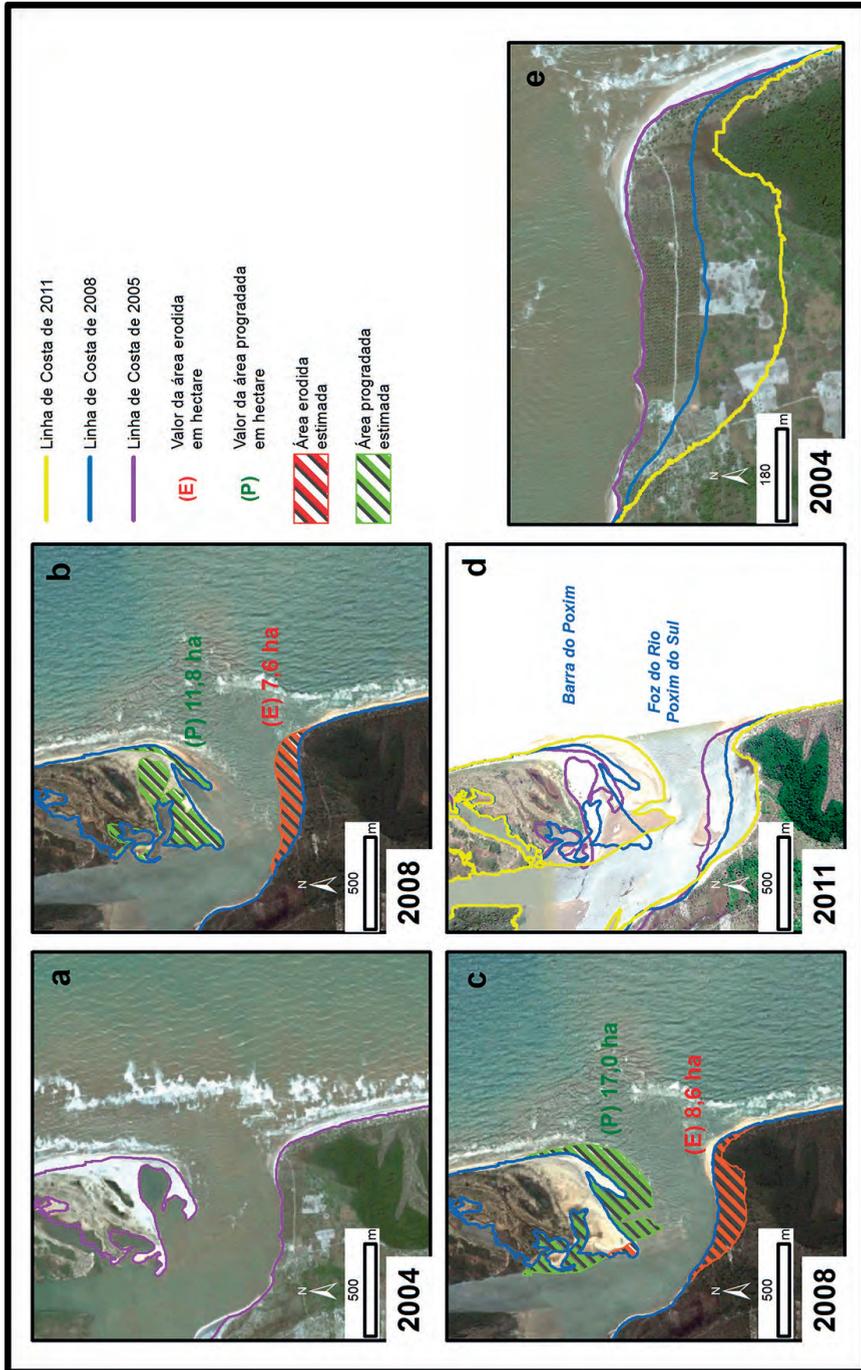
Elaboração: Adriano de Oliveira Vasconcelos

Figura 6 – Evolução da linha de costa na foz do rio Pardo e no Canal do Peso, em Canavieiras, nos anos de 2005, 2010, 2011 e 2013



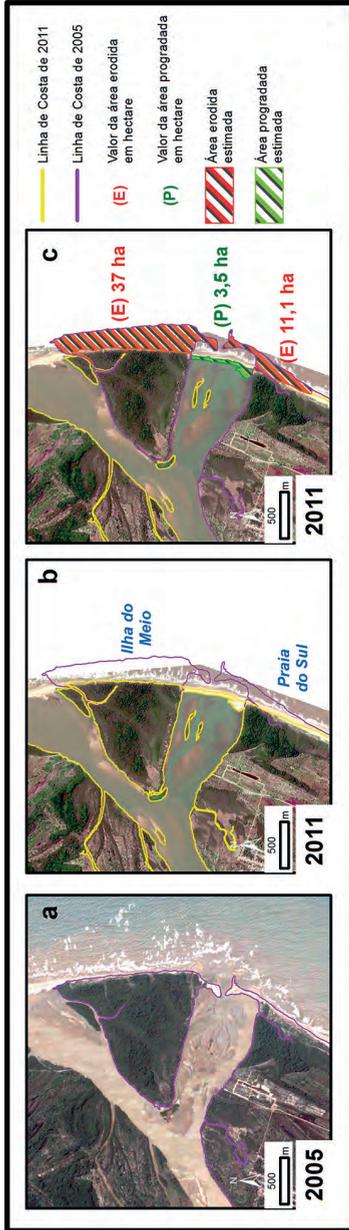
Elaboração: Adriano de Oliveira Vasconcelos

Figura 7 – Evolução da linha de costa na Barra do Poxim, em Canavieiras, entre 2004, 2008 e 2011



Elaboração: Adriano de Oliveira Vasconcelos.

Figura 8 – Evolução da linha de costa na foz do rio Jequitinhonha em Belmonte entre 2005 e 2011



Elaboração: Adriano de Oliveira Vasconcelos.

# **Técnicas de campo e laboratório aplicadas às matrizes dos ambientes costeiros nos municípios de Una, Canavieiras e Belmonte**

---

Karina Santos Garcia  
Daniela Santos Anunciação  
Gisele Moraes de Jesus  
Jorge Mário Palma Gomes  
Sarah Adriana Rocha Soares  
Rui Jesus Lorenzo Garcia

## **Introdução**

A caracterização de um ecossistema é uma tarefa complexa e envolve grande número de variáveis. Por isso, durante a etapa de definição do programa de coleta de amostras devem-se levar em consideração variáveis tais como uso, natureza, área de influência e características da área de estudo, pois a definição da metodologia de coleta, preservação de amostras e dos métodos analíticos depende desses fatores. (VOGEL, 2002)

Deve-se ter em conta que o estabelecimento do plano de amostragem é apenas uma das etapas necessárias à caracterização do meio a ser estudado, mas dele dependem todas as etapas subsequentes: ensaios laboratoriais, interpretação de dados, elaboração de relatórios e tomada de decisões quanto à

qualidade desses ambientes. (BRANDÃO et al., 2011) Além de o plano amostral ser bem definido, o material que será utilizado para a coleta e armazenamento das amostras, bem como a maneira de conservação e a validade, são aspectos que devem ser estabelecidos para que não haja problema quanto à validade e/ou contaminação da amostra. (BRANDÃO et al., 2011; LEITE, 2003)

Uma análise química completa, quando será determinado um único ou vários analitos, envolve uma série de etapas e procedimentos. Essas etapas são chamadas de sequência analítica e envolvem desde a definição do problema analítico até tomada da ação baseada nos resultados obtidos. Após a amostragem, a primeira etapa de uma análise química consiste em submeter uma alíquota representativa da amostra a um tratamento adequado visando a sua preparação para os passos subsequentes. Esses procedimentos dependem da natureza da amostra, dos analitos a serem determinados e sua concentração, do método de análise e da precisão e da exatidão desejadas.

O tratamento da amostra pode envolver uma transformação substancial da espécie de interesse para uma forma apropriada visando à aplicação do método de determinação escolhido. A etapa de pré-tratamento das amostras é a mais crítica, já que é nessa etapa que se cometem mais erros (perda de analito e contaminação da amostra), mais demorada e dispendiosa. Por isso, os passos de um procedimento de pré-tratamento de amostra deverão ser sempre considerados cuidadosamente. (KRUG, 2004)

É fundamental considerar os objetivos do trabalho e as características do material coletado durante a etapa de seleção do método analítico para a análise quantitativa ou qualitativa da amostra. A natureza da informação procurada, a quantidade de amostra disponível, o teor do analito a ser determinado e a utilização dos resultados da análise, são fatores importantes que deverão ser levados em conta na seleção do método apropriado de análise, para que a precisão e exatidão desejadas sejam alcançadas. (VOGEL, 2002)

A seguir, são descritas algumas etapas e procedimentos utilizados em campo e no Laboratório de Estudos do Petróleo (LEPETRO) no preparo do material para a coleta e no tratamento das matrizes ambientais coletadas no decorrer da execução do projeto Petrotecmangue-Basul, e as metodologias utilizadas para a quantificação dos analitos, nas quais se apoiam trabalhos realizados por diversas equipes envolvidas no projeto.

## **Materiais e métodos**

Os materiais e métodos apresentados neste capítulo referem-se aos procedimentos de pré-campo, campo e pós-campo para análise de amostras de matrizes ambientais diversas, como sedimentos, água e biota.

### **Descontaminação do material para amostragem**

A descontaminação de todo material utilizado nas etapas de coleta e análise consistiu inicialmente na lavagem com água corrente, seguida da imersão em banho de extran 0,5% ( $v v^{-1}$ ) por 24 horas para remoção de partículas gordurosas, enxágue com água corrente até completa remoção do detergente e, em seguida, lavagem com água destilada. A etapa seguinte envolveu a imersão em banho de ácido clorídrico (HCl) 10% ( $v v^{-1}$ ) por 24 horas para remoção de espécies metálicas adsorvidas nos recipientes e posterior enxágue com água deionizada. Após a lavagem, o material foi seco à temperatura local, em ambiente livre de contaminação e acondicionado em sacos plásticos e caixas de isopor para transporte até o local de amostragem.

### **Aferição dos parâmetros físico-químicos**

Os parâmetros físico-químicos temperatura, potencial hidrogeniônico (pH), potencial de oxirredução (Eh), oxigênio dissolvido (OD), salinidade, condutividade e turbidez foram medidos *in situ* na água marinha, estuarina e sedimentos de cada ponto de coleta com o auxílio de uma sonda multiparâmetros (marca Hori-ba, modelo D-54) previamente calibrada.

### **Amostragem**

A amostragem foi realizada nos baixos cursos dos rios Una, Pardo e Jequitinhonha, além de praias compreendidas nessas regiões. Todos os pontos amostrados foram georreferenciados.

Para a coleta das amostras foram necessários veículos para o transporte do material e da equipe de amostragem, constituída também por colaboradores da comunidade. Para a coleta de água e de sedimento de fundo foi necessário um barco motorizado com barqueiro e um auxiliar. Uma infraestrutura de apoio foi montada na colônia de pescadores em Canavieiras, compreendendo freezers e geladei-

ras para o armazenamento das amostras coletadas. Além disso, foi montado um laboratório de campo para a realização da filtração das amostras de água.

Os mapas de localização dos pontos de coleta das amostras nos baixos cursos dos rios Una, Pardo e Jequitinhonha apresentam os locais de coleta de água e de sedimentos de fundo (Figura 1) e locais de coleta, nos manguezais, de amostras de sedimentos, crustáceos, folhas e raízes de mangue (Figura 2).

A seguir, são descritos os procedimentos de amostragem nos diferentes compartimentos ambientais selecionados no referido projeto. Alguns procedimentos estão registrados na Figura 3.

### **Água**

Os frascos de polietileno utilizados para coleta de água foram ambientados e, em seguida, preenchidos com 1 litro da água do rio para posterior determinação de metais, fósforo assimilável (P), material particulado em suspensão (MPS) e carbono orgânico particulado (COP). Para as análises de clorofila, as amostras foram coletadas em duplicata em frasco de polietileno revestidos com plástico autoadesivo tipo *contact* preto para evitar a incidência da luz.

### **Sedimento**

Em seguida, serão descritos os materiais e métodos utilizados para amostragem de sedimentos de manguezal e de fundo de canal.

#### ***Sedimento de manguezal***

Os pontos de coleta foram definidos com base na proximidade das árvores de onde seriam amostradas folhas e raízes pela equipe de análise da biota. A amostragem composta consistiu na retirada de aproximadamente 2 cm de superfície oxidada, sendo coletado o sedimento abaixo a uma profundidade de aproximadamente 15 cm em cinco porções diferentes com o auxílio de uma espátula de polietileno previamente ambientada. As porções foram colocadas em uma bandeja para homogeneização e acondicionadas em frascos e sacos plásticos para posteriores determinações de nutrientes e metais.

#### ***Sedimento de fundo de canal***

As amostras de sedimento de fundo de canal foram coletadas nos mesmos pontos de coleta de água, em cada rio, com o auxílio de um amostrador de man-

díbula tipo Van Veen. O acondicionamento foi similar às amostras de sedimento de manguezal. Estes procedimentos podem ser visualizados na Figura 4, que mostra também a leitura dos parâmetros físico-químicos realizados na água antes da coleta do sedimento de fundo.

### **Biota**

Segue a descrição dos materiais e métodos utilizados para amostragem de plantas (folhas e raízes) e de crustáceos.

#### **Plantas**

As espécies *Avicennia schaueriana* Stapf. e Leechman, *Avicennia germinans* Linnaeus e *Rhizophora mangle* L. foram selecionadas para coleta de amostras de folhas e raízes, nesta ordem de prioridade, de acordo com a ocorrência local.

Em cada ponto de coleta foi selecionada uma árvore para coleta da raiz e desta mesma árvore foi retirada a primeira amostra contendo 30 folhas. Para o estudo de variabilidade biométrica das folhas, outras duas amostras foram extraídas de árvores distintas. O procedimento de coleta consistiu na retirada de 30 folhas de cada árvore a partir do terceiro nó, totalizando 90 folhas por ponto amostral, por espécie.

Para remover as raízes do sedimento foi necessário abrir um buraco de 30 cm de diâmetro por 30 cm de profundidade. As raízes foram lavadas com água deionizada e, com auxílio de peneira de 2 mm, foram separadas as raízes finas (< 2 mm) das mais grossas (> 2 mm). (CESCHINI, 2011) As amostras de raízes e folhas foram acondicionadas em sacos de polietileno e posteriormente refrigeradas.

#### **Crustáceos**

A espécie de crustáceo selecionada foi a *Goniopsis cruentata*, popularmente conhecida como aratu. A captura dos animais foi realizada utilizando-se uma vara de bambu, uma linha de náilon, um anzol e uma isca constituída por tecidos mortos de peixes, moluscos ou crustáceos. Ao recolher a isca utilizando o quelípodo, o crustáceo prendia-se ao anzol e era imediatamente transferido para recipiente plástico que era, então, acondicionado em saco de polietileno e posteriormente refrigerado.

Ainda em campo, todas as amostras de sedimento, água e biota foram acondicionadas em caixas térmicas com gelo para evitar a degradação das espécies químicas e biológicas de interesse, perdas por volatilização. Finalizada a amostragem, o material foi transportado até laboratório e armazenado sob condições refrigeradas.

### **Tratamento das amostras**

As principais razões para o pré-tratamento de amostras, independente da matriz, são: homogeneização, dissolução de materiais sólidos, separação de substâncias interferentes e pré-concentração dos analitos. O preparo de amostra desempenha um papel central na maioria dos processos analíticos, mas não é frequentemente reconhecido como uma etapa importante em química analítica, com atenção especial sendo direcionada para a etapa de determinação. (KRUG, 2004; VOGEL, 2002)

#### **Água**

As amostras de água foram divididas em dois lotes de 500 mL, previamente homogeneizadas. O primeiro lote foi submetido a uma filtração a vácuo utilizando filtro de fibra de vidro com porosidade de 0,5  $\mu\text{m}$  previamente calcinado em mufla por cinco horas a 450°C. Deste lote, os filtros foram conservados mediante adição de solução de sulfato de sódio 45 g L<sup>-1</sup>, armazenados sob refrigeração para posterior determinação do teor de matéria orgânica (MO) e COP no MPS e a água foi armazenada sob refrigeração, num período máximo de seis dias, para determinação de P.

O segundo lote foi submetido à filtração a vácuo utilizando filtro de acetato de celulose com porosidade 0,45  $\mu\text{m}$ . Os filtros foram armazenados sob refrigeração para determinação de metais no MPS e a água foi acidificada com ácido nítrico HNO<sub>3</sub> 50% (v v<sup>-1</sup>), de modo que a concentração final fosse cerca de 1%, para determinação de metais.

Nas amostras, as frações total, dissolvida e particulada foram analisadas para metais (Pb, Zn, Cr, Cu, Cd, Mn, Fe, Al, Ba, V e Ni) segundo metodologia da American Public Health Association (2012), adaptada. O método consiste em adicionar 5 mL de HNO<sub>3</sub> em 100 mL de amostra, evaporar através do aquecimento em placa aquecedora até 25 mL e transferir para balão de 50 mL. Para os filtros

contendo MPS, a membrana foi dissolvida em 5 mL de  $\text{HNO}_3$  com 5 mL de água ultrapura em placa aquecedora por uma hora. Após digestão, o material foi filtrado e avolumado em balão volumétrico de 50 mL e o extrato foi transferido para frascos de polietileno para posterior análise espectrométrica.

Para as análises de clorofila, as amostras foram submetidas à filtração a vácuo utilizando filtro de fibra de vidro com porosidade de 47  $\mu\text{m}$  em uma sala sem iluminação solar e/ou elétrica. Após a filtração, os filtros foram dobrados e guardados em placas de Petri de acrílico. Essas placas foram envolvidas em papel alumínio e congeladas para posterior determinação do teor de clorofila.

### **Sedimento**

As amostras de sedimento foram congeladas para posterior secagem em liofilizador (Liotop L101). Em seguida, foram desagregadas utilizando gral e pistilo de porcelana. O material grosseiro (folhas, conchas, galhos) foi removido mediante catação e o restante foi peneirado em peneira de aço inox com malha de 2 mm. Em seguida, as amostras foram divididas em lotes destinados às análises químicas para determinação dos teores de matéria orgânica (MO), nitrogênio total (N), fósforo assimilável (P), caracterização granulométrica e determinação de elementos metálicos.

Para a determinação de metais (Pb, Zn, Cr, Cu, Cd, Mn, Fe, Al, Ba, V e Ni), as amostras foram tratadas de acordo com o procedimento proposto por Environmental Protection Agency (1996). O procedimento consistiu em pesar cerca de 1 g de amostra seca diretamente no vaso de teflon, ao qual se adicionou 5 mL de  $\text{HNO}_3$  concentrado (marca Merck). Em seguida, fez-se digestão assistida por radiação de micro-ondas em um forno com cavidade (marca Provecto, modelo DGT 100 plus) cujas especificações da programação encontram-se dispostas na Tabela 1. As amostras digeridas foram filtradas em papel de filtro semiquantitativo e avolumadas com água ultrapura para balão de 50 mL para posterior determinação espectrométrica.

Tabela 1 – Programação do forno de micro-ondas para digestão das amostras de sedimento

<b>Etapa</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Tempo (min)	5	1	4	3	0
Potência (W)	400	790	400	0	0

Fonte: *Manual de métodos DGT 100* (2001).

## **Biota**

Segue a descrição do tratamento das amostras coletadas de folhas, raízes e de crustáceos.

### **Plantas**

As folhas foram lavadas com água destilada, secas com papel absorvente e, então, submetidas à análise de morfologia externa seguida da biometria com o auxílio de um paquímetro (Somet, precisão 0,1 mm) digital (Figura 5). Após realização das análises biométricas, as folhas foram congeladas, liofilizadas, trituradas em liquidificador de acordo com a metodologia descrita por Rodrigues e outros (2003) e armazenadas em frascos de vidro, em dessecador até a análise química para determinação dos elementos metálicos. Assim como as amostras de folhas, as raízes foram lavadas com água destilada, congeladas, liofilizadas, maceradas e armazenadas em dessecador.

O tratamento químico das amostras consistiu na pesagem de 0,5 g de amostra seca diretamente no recipiente de Teflon ao qual se adicionou 5 mL de HNO<sub>3</sub> concentrado (Merck) e 1 mL de peróxido de hidrogênio H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 30% (v v<sup>-1</sup>) (Merck). O material foi submetido à digestão assistida por radiação de micro-ondas em um forno com cavidade (marca Provecto, modelo DGT 100 plus), segundo metodologia adaptada a partir do manual do equipamento nº 11 (Manual DGT 100 plus), cujas especificações encontram-se dispostas na Tabela 2.

Tabela 2 – Programação do forno de micro-ondas para digestão das amostras de folhas e raízes

<b>Etapa</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Tempo (minutos)	3	1	1	10	4
Potência (Watts)	400	600	0	600	0

Fonte: Manual de métodos DGT 100 (2001).

Após a digestão, o material foi resfriado à temperatura ambiente, avolumado para 15 mL com água ultrapura (Millipore) e transferido para frascos de polietileno para posterior análise espectrométrica.

### **Crustáceos**

Em laboratório, foram realizadas a sexagem, biometria e dissecação dos crustáceos. A sexagem consistiu na observação da forma do abdômen de acordo

com metodologia descrita por Negreiros-Fransozo, Fransozo e Reigada (1994) (Figura 6). As fêmeas foram identificadas pelo pleon semicircular e os machos pelo abdômen estreito e afilado. Foram, então, separados dez indivíduos de cada sexo por ponto de coleta.

A biometria envolveu a pesagem de cada indivíduo para obtenção do peso fresco (úmido) e posterior, tomada das medidas de comprimento da carapaça (CC) e largura da carapaça (LC) com o auxílio de um paquímetro digital (Somet, precisão 0,1 mm).

A dissecação foi realizada com o auxílio de um material de aço inoxidável (composto por tesouras e pinças) para separação das porções de tecido muscular da região abdominal e das pernas, do hepatopâncreas e das brânquias em frascos de polietileno. Em seguida, o material foi congelado para posterior liofilização. As amostras liofilizadas foram maceradas com o auxílio de um almofariz e um pistilo de vidro, pesadas novamente para obtenção do peso seco e armazenadas em dessecador até análise química.

O procedimento de digestão das amostras de aratu consistiu em pesar 0,5 g do tecido triturado (peso seco) diretamente no vaso de Teflon, onde foram adicionados 5 mL de  $\text{HNO}_3$  concentrado e 3 mL de  $\text{H}_2\text{O}_2$  30% ( $\text{v v}^{-1}$ ). Este material foi submetido à digestão em forno micro-ondas com cavidade (marca Provector DGT 100 plus). As amostras digeridas foram avolumadas em balão volumétrico de 25 mL com água ultrapura e armazenadas em frascos de polietileno para posterior análise espectrométrica. A programação utilizada na digestão das amostras de crustáceos no forno micro-ondas consta na Tabela 3.

Tabela 3 – Programação do forno de micro-ondas para digestão das amostras crustáceos

Etapa	1	2	3	4	5
Tempo (minutos)	5	5	5	10	5
Potência (Watts)	200	0	500	630	0

Fonte: Manual de métodos DGT 100 (2001).

### **Análises químicas**

Segue a descrição das análises químicas realizadas nas amostras de água e de sedimentos.

## Água

Na água foram realizadas análises de fósforo e de clorofila.

### *Determinação de fósforo*

A determinação do P envolve duas etapas: a conversão das formas de interesse em ortofosfato dissolvido e a determinação colorimétrica do ortofosfato. (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, 2012; GRASSHOFF; KREMLING; EHRHARDT, 1993) O molibdato de amônio ( $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ) e o antimônio tartarato de potássio ( $\text{C}_8\text{H}_4\text{K}_2\text{O}_{12}\text{Sb}_2 \cdot 1/5\text{H}_2\text{O}$ ), solução mista, reagem em meio ácido com o ortofosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) para formar um ácido heteropoli-fosfomolibdico ( $\text{H}_3\text{P}(\text{Mo}_3\text{O}_{10})_4$ ) que é reduzido pelo ácido ascórbico ( $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$ ), formando o complexo azul de molibdênio intensamente colorido. A absorvância do complexo é medida espectrofotometricamente e é proporcional à concentração de fosfato presente na amostra.

Em um tubo de ensaio de 50 mL, adicionou-se 10 mL de amostra filtrada, 0,2 mL da solução de ( $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$ ) 100 g L<sup>-1</sup> e 0,2 mL de solução ácida mista. Após repouso de dez minutos, mediu-se a absorvância em espectrofotômetro a 880 nm em cubeta de 1 cm, utilizando o branco feito com água como referência.

### *Determinação de clorofila*

A determinação de clorofila seguiu o método preconizado pela American Public Health Association (2012). Os pigmentos foram extraídos dos filtros que foram congelados em ambiente semiescuro através da adição de 20 mL de acetona a 90%, agitando-se por dois minutos, por quatro vezes consecutivas. As amostras foram centrifugadas por dez minutos a 3000 rpm. A determinação foi realizada utilizando-se cubetas de 1 cm, em quatro diferentes comprimentos de onda (630, 647, 664 e 750 nm). As amostras foram determinadas contra o branco (filtro limpo reagido na solução de acetona 90%) em cada comprimento de onda. Corrigiu-se a turbidez descontando os valores lidos no comprimento de onda 750 nm em cada resultado (Equação 1). Foram realizados cálculos para a expressão dos resultados de clorofila a, b, c e feopigmentos, conforme as Equações 2 e 3, respectivamente.

Correção da turbidez: (Equação 1)

$$E_{664} = 664 \text{ nm} - 750 \text{ nm}$$

$$E_{647} = 647 \text{ nm} - 750 \text{ nm}$$

$$E_{630} = 630 \text{ nm} - 750 \text{ nm}$$

Cálculo de clorofila: (Equação 2)

$$C_a (\mu\text{g/L}) = (11,85E_{664} - 1,54E_{647} - 0,08E_{630}) \cdot v/V \cdot L$$

$$C_b (\mu\text{g/L}) = (21,03E_{647} - 5,43E_{664} - 2,66E_{630}) \cdot v/V \cdot L$$

$$C_c (\mu\text{g/L}) = (24,52E_{630} - 7,60E_{647} - 1,67E_{664}) \cdot v/V \cdot L$$

onde:  $C_a$ ,  $C_b$ ,  $C_c$  = valores de clorofila a, b e c, respectivamente ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ); E = absorbância já corrigida para 750 nm; v = volume de acetona usado na extração; V = volume do filtrado; Ca = clorofila a encontrada na Equação 1; L = caminho óptico da cubeta.

Cálculo de feopigmento: (Equação 3)

- registrar as leituras após acidificação (665 nm e 750 nm)

- correção da turbidez: 665nm – 750 nm

o substituir na Equação (3): Feo ( $\mu\text{g/L}$ ) = 26,73 (1,7. 665 nm – 664 nm). v/V.L

onde: v = volume em litros da água filtrada para extração; V = volume em mL da acetona 90% usada; L = caminho óptico, em cm, da cubeta espectrofotométrica usada; 664 = valor encontrado e corrigido para leitura antes da acidificação; 665 = valor encontrado e corrigido para leitura após acidificação.

### **Sedimento**

Nos sedimentos coletados foram realizadas análises de granulometria, nitrogênio total, fósforo assimilável e matéria orgânica.

#### *Análise granulométrica por difração a laser*

A granulometria da amostra foi realizada por meio da quantificação de partículas com dimensões crescentes de 0,03  $\mu\text{m}$  a 2 mm. Cerca de 3 g da amostra de sedimento foi submetido à degradação da matéria orgânica, sendo esse procedimento realizado em duas etapas. A primeira etapa consistiu na calcinação da amostra a 450°C por oito horas, com posterior peneiramento para a separação

da fração menor que 500 µm. A fração maior foi novamente pesada para utilização nos cálculos finais. Na segunda etapa, pesou-se 1 g da amostra calcinada e peneirada, adicionou-se 1 mL de peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) concentrado e a amostra foi levada para a placa aquecedora a 60°C, com o objetivo de finalizar o processo de degradação da toda matéria orgânica. Em seguida, realizou-se agitação mecânica em presença de 20 mL do agente dispersante hexametáfosfato de sódio 0,1 N, por quatro horas. A quantificação das partículas da amostra de sedimento foi realizada em analisador de partículas com difração a laser (modelo Cilas 1064) na faixa de 0,04 µm – 500,00 µm, em um total de 100 classes avaliadas. Após a medida no equipamento, utilizou-se o programa livre de análises estatísticas da distribuição granulométrica Gradstat, desenvolvido por Blott e Pye (2001). As amostras foram classificadas por faixa granulométrica (areia, silte e argila), segundo classificação Folk e Ward (1957) (Quadro 1).

Quadro 1 – Classificação do tamanho das partículas de acordo com o intervalo em mm, Grau de Seleção dos grãos, Assimetria e Curtose segundo Folk e Ward (1957) citado por Suguio (1973), adaptada

Classificação Granulométrica							
Média (mm)	Areia muito grossa	Areia grossa	Areia média	Areia fina	Areia muito fina	Silte	Argila
	2-1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,13	0,13-0,063	0,063-0,004	> 0,004
Seleção (σI)	Muito bem selecionada	Bem selecionado	Moderadamente bem selecionado	Moderadamente selecionado	Mal selecionado	Muito mal selecionado	Extremamente mal selecionado
	< 0,35	0,35-0,50	0,50-0,71	0,71-1,0	1,0-2,0	2,0-4,0	> 4,0
Assimetria (SKI)	Assimetria muito negativa	Assimetria negativa	Aproximadamente simétrico	Assimetria positiva	Assimetria muito positiva	***	***
	-1,0 a -0,30	-0,30 a -0,10	-0,10 a +1,0	+1,0 a +0,30	+0,30 a +1,0	***	***
Curtose (K)	Muito platicúrtica	Platicúrtica	Mesocúrtica	Leptocúrtica	Muito leptocúrtica	Extremamente leptocúrtica	***
	< 0,67	0,67-0,69	0,69-1,11	1,11-1,50	1,50-3,00	> 3,00	***

Elaboração: Os autores a partir de Folk e Ward (1957 apud SUGUIO, 1973).

### *Determinação de nitrogênio total*

O nitrogênio total das amostras de sedimento coletadas foi determinado utilizando o método de Kjeldhal que compreende duas etapas: (1) digestão da amostra para converter N orgânico a íon amônio (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) e (2) determinação

do  $\text{NNH}_4^+$  no digerido, após destilação com álcali. (EMBRAPA, 2009) Ao tubo de Kjeldhal foi acrescentado 1 g de mistura digestora contendo selênio (Se), cobre (Cu) e potássio (K), 0,7 g da amostra e 3 mL de ácido sulfúrico concentrado. Em seguida, fez-se aquecimento em bloco digestor a 350°C por quatro horas (Figura 7a). À temperatura ambiente, acrescentou-se, gradativamente, 15 mL de solução de hidróxido de sódio 40% ( $\text{m v}^{-1}$ ) e 10 mL de água destilada. A amostra digerida foi agitada e conectada ao destilador de Kjeldhal (Figura 7b). Em um erlenmeyer de 250 mL, adicionou-se 40 mL de solução de ácido bórico 4% ( $\text{m v}^{-1}$ ), já contendo a solução de indicador misto (verde de bromo cresol/vermelho de metila). Destilou-se o digerido por cinco minutos e, em seguida, titulou-se o destilado (borato de amônia) com solução padronizada de ácido sulfúrico 0,1  $\text{mol L}^{-1}$ , até a mudança da cor azul (ou verde) para rosa (ou lilás).

O teor de nitrogênio é calculado, após a titulação através da Equação 4.

$$\%N = [C \cdot 14 (V_a - V_b) \cdot U] / M \cdot 10 \quad (\text{Equação 4})$$

onde: C = concentração do  $\text{H}_2\text{SO}_4$  após a padronização ( $\text{eq.g L}^{-1}$ );  $V_a$  = volume de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  gasto com a amostra (mL);  $V_b$  = volume de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  gasto com o branco (mL); U = umidade da amostra; M = massa da amostra (g). Observação: os resultados devem ser expressos com números inteiros e no máximo três algarismos significativos.

#### *Determinação de fósforo assimilável (P assimilável)*

O fósforo extraído em meio ácido foi determinado espectrofotometricamente através da medida da intensidade da cor do complexo fosfomolibdico, produzido pela redução do molibdato com o ácido ascórbico.

Em um tubo de ensaio graduado de 50 mL adicionou-se 0,4 g de sedimento seco e 10 mL de ácido clorídrico 1  $\text{mol L}^{-1}$ , com posterior extração em mesa agitadora por 16 horas (Figura 7c), em seguida, fez-se centrifugação por 15 minutos a 3000 rpm. (ASPILA; AGEMIAN; CHAU, 1976) Do extrato retirou-se uma alíquota de 1 mL e transferiu-a para outro tubo de ensaio de 50 mL, ao qual adicionou-se também 10 mL de água ultrapura, 0,8 mL de solução ácida de molibdato de amônio e tartarato de antimônio e potássio e 0,2 mL de solução de ácido ascórbico 100  $\text{g L}^{-1}$ . Deixou-se essa mistura em repouso por dez minutos e, em seguida,

fez-se determinação do complexo fosfomolibdico em espectrofotômetro a 880 nm (Equação 5), utilizando-se uma cubeta de quartzo com 1 cm de caminho ótico (Figura 7d). (EMBRAPA, 2009; GRASSHOFF; KREMLING; EHRHARDT, 1993)

$$F = (C_{\text{mg/L}} \times 0,01) / \text{massa seca}_{(\text{Kg})} \quad (\text{Equação 5})$$

onde: F = concentração final de fósforo;  $C_{\text{mg/L}}$  = valor adquirido no espectrofotômetro

#### *Determinação de matéria orgânica*

O método da EMBRAPA (2009) baseia-se nas reações exotérmicas, calor e oxidação com dicromato de potássio ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) e  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado na amostra. O carbono da matéria orgânica da amostra é oxidado a  $\text{CO}_2$  e o cromo da solução extratora é reduzido da valência +6 à valência +3. O excesso de dicromato é titulado com sulfato ferroso amoniacal 0,5 N, com indicador para identificação do ponto final. O cloreto contido deve ser previamente oxidado pelo  $\text{Ag}_2\text{SO}_4$  durante a digestão da mistura.

Em um erlenmeyer de vidro de 500 mL, adicionou-se 0,5 g de sedimento seco, 10 mL de dicromato de potássio 1,0 N e 20 mL da mistura ácido sulfúrico sulfato de prata 2,5 g  $\text{L}^{-1}$ . Agitou-se essa mistura por um minuto para completa mistura entre o reagente e o sedimento. Fez-se repouso por 30 minutos e, em seguida, adicionou-se 200 mL de água destilada, 10 mL de ácido fosfórico concentrado (85%) e 0,2 g de fluoreto de sódio. Titulou-se o excesso de dicromato de potássio com uma solução de sulfato ferroso amoniacal 0,5 N, utilizando-se 0,5 mL de indicador difenilamina. Fez-se um branco dos reagentes utilizados (Figura 8a). O teor de carbono orgânico é calculado após a titulação através da Equação 6.

$$\% \text{ Carbono Orgânico} = \% \text{ Matéria Orgânica} / 1,724 \quad (\text{Equação 6})$$

$$\% \text{ Matéria Orgânica (Oxidável)} = 10 (1 - T/S) \times F$$

onde: T = volume gasto de sulfato ferroso amoniacal na titulação da amostra; S = volume gasto na titulação da prova em branco; F = fator de correção:  $F = (1,0 \text{ N}) \times 12/4000 \times 1,72 \times 100 / \text{massa da amostra seca}$ . Observação: o valor 1,724 é utilizado em virtude de se admitir que, na composição média da matéria orgâ-

nica do solo, o carbono participa com 58%. O resultado deverá ser expresso com números inteiros e no máximo três algarismos significativos.

### ***Material Particulado em Suspensão (MPS)***

O carbono orgânico presente nas amostras de material particulado em suspensão na água foi determinado por oxidação da matéria orgânica utilizando dicromato de potássio em meio fortemente ácido e determinação espectrofotométrica da cor verde do íon Cr (III) reduzido durante a reação, conforme o método aqui descrito. (STRICKLAND; PARSONS, 1972)

Em um béquer de 50 mL, secou-se o papel de filtro de fibra de vidro contendo a amostra em estufa à 60°C, por 24 horas. Após esse tempo, adicionou-se 1 mL de ácido fosfórico concentrado (85%) e 1 mL de água ultrapura e fez-se aquecimento em estufa a 100°C por 30 minutos. À temperatura ambiente, adicionou-se 9 mL de ácido sulfúrico concentrado e 1 mL de solução de dicromato de potássio 1,0 N e, em seguida, fez-se aquecimento em estufa à 110°C, por uma hora (Figura 8b). Sob temperatura ambiente, transferiu-se toda a mistura para um tubo de ensaio de plástico de 50 mL, lavando-se o papel de filtro com água ultrapura. Fez-se centrifugação a 2000 rpm por cinco minutos e posteriormente mediu-se a absorbância em espectrofotômetro em 440 nm, utilizando-se uma cubeta de vidro com 1 cm de caminho ótico. Para calcular o teor de carbono orgânico da amostra, utilizou-se a Equação 7.

$$\text{mg C / m}^3 = A_1 \times F \times v / V \quad (\text{Equação 7})$$

onde: V = volume filtrado (L); F = fator de padronização, 210; v = volume de oxidante, 10 mL; A<sub>1</sub> = diferença de absorbância do branco e amostra

### **Quantificação de elementos químicos**

A quantificação dos elementos químicos (metais e P) presentes nas amostras de água, sedimento e biota tratadas foi realizada em um espectrômetro de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP OES) com configuração axial, modelo VISTA-PRO (Varian, Mulgrave, Austrália). Os parâmetros instrumentais utilizados, os analitos determinados e suas respectivas linhas espectrais constam no Quadro 2.

A concentração da amostra obtida no espectrômetro é expressa em  $\mu\text{mg mL}^{-1}$ ; assim, deve-se considerar a massa e/ou volume de amostra que foi pesada e o volume do balão (Equação 8).

$$C (\mu\text{g/g}) = C (\mu\text{g/mL}) \times V (\text{mL}) / \text{massa (g)} \quad (\text{Equação 8})$$

onde: C= concentração do metal na amostra em ( $\mu\text{mg/mL}$ ) obtido no aparelho; V = volume do balão para o qual a amostra foi transferida (mL); m = massa de amostra (g).

Quadro 2 – Características do equipamento ICP OES empregado para determinação dos elementos nas amostras de água, sedimento e biota coletadas no âmbito do projeto Petrotecmangue-Basul

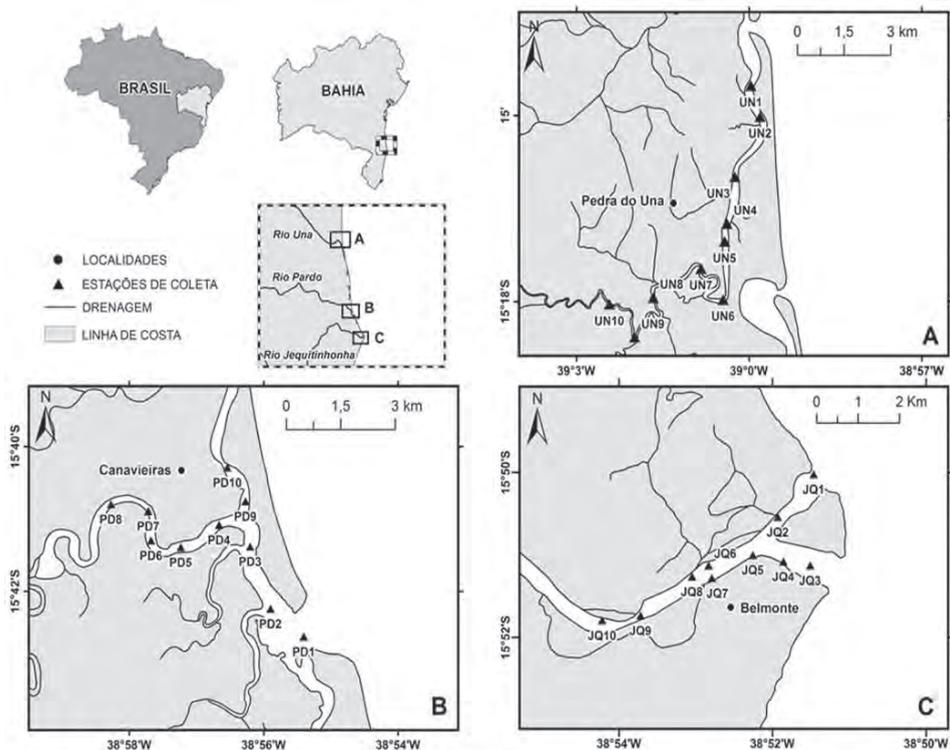
Parâmetros	Características	ICP OES
Sistema óptico	Policromador	Grade de difração <i>Echelle</i> e prisma de dispersão de $\text{CaF}_2$
	Densidade da grade de difração (linhas $\text{mm}^{-1}$ )	95
	Faixa de comprimento de onda (nm)	167 – 785
	Distância focal (nm)	400
	Fenda de entrada (mm)	Altura = 0,029; largura = 0,051
Sistema de introdução de amostras	Câmara de nebulização	Struman-Masters
	Nebulizador	V-Groove com câmara de PTFE Sturman-Master
	Potência de medida (W)	1300
	Tempo de integração do sinal (s)	2,0
	Vazão do gás auxiliar ( $\text{L min}^{-1}$ )	1,5
Operacionais	Vazão do gás do plasma ( $\text{L min}^{-1}$ )	15
	Vazão do gás de nebulização ( $\text{L min}^{-1}$ )	0,80
	Vazão de bombeamento da amostra ( $\text{L min}^{-1}$ )	0,70
	Vazão do gás de nebulização ( $\text{L min}^{-1}$ )	0,70
	Tempo de estabilização (s)	15
	Tempo total da medida (min)	1
	Analitos e linhas espectrais (valores em nm)	Ca (422,673), Mg (285,213), Na (589,592), P (177,434), K (766,491), Fe (238,204), Cr (206,158), Cd (226,502), Pb (220,353), Mn (257,610), Zn (213,857), Cu (327,395), Ba (455,403), V (311,837), Ni (230,299)

O controle de qualidade foi realizado através de material certificado. No caso de sedimento, foi utilizado o material de referência certificado de sedimento estuarino NIST 1646A. Para biota, foram utilizados o material de referência certificado de folha de maçã NIST 1515e, para os crustáceos material de referência certificado de tecido de ostra NIST 1566b. Todos esses padrões foram lidos em triplicada, obedecendo ao mesmo método de digestão e determinação aplicados às amostras. A partir dos dados obtidos na determinação, foi calculado o valor de recuperação dos analitos de interesse (Pb, Zn, Cr, Cu, Cd, Mn, Fe, Al, Ba, V e Ni), o qual variou entre 85 a 112% de recuperação.

### **Considerações finais**

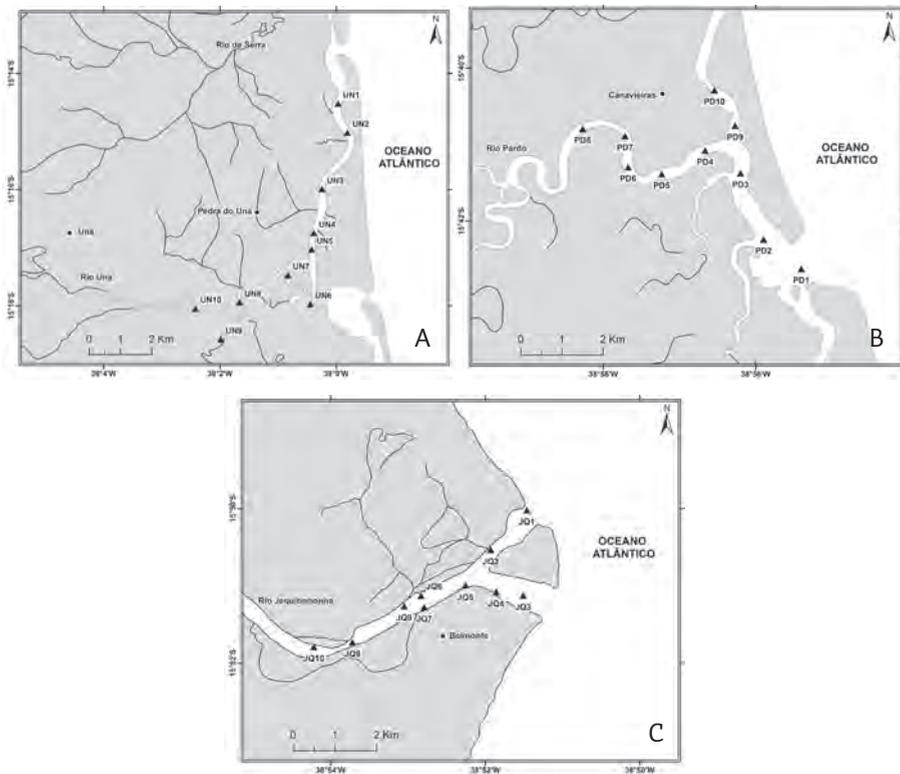
A partir dos resultados obtidos para todos os parâmetros realizados, que incluem o controle de qualidade analítica expresso pela média de replicatas de laboratório, controle de qualidade a partir de material certificado, foi realizada a interpretação dos dados obtidos mediante comparação com ambientes de características similares e com teores estabelecidos por órgãos regulamentadores. A última etapa da sequência analítica consiste na ação, ou seja, no uso do resultado analítico para uma decisão com respeito ao problema original.

Figura 1 – Localização dos pontos de coleta das amostras de água e de sedimentos de fundo nos ambientes costeiros do projeto Petrotecmangue-Basul: (A) rio Una (no município de Una); (B) rio Jequitinhonha (em Belmonte) e (C) rio Pardo (em Canavieiras)



Elaboração: Felipe Moraes.

Figura 2 – Localização dos pontos de coleta das amostras de sedimentos de manguezal, crustáceos, folhas e raízes de manguê: (A) rio Una; (B) rio Jequitinhonha e (C) rio Pardo



Elaboração: Felipe Moraes.

Figura 3 – Procedimentos de coleta de amostras de diferentes matrizes do projeto Petrotecmangue-Basul: (a) água; (b) folha; (c) raízes e (d) sedimento



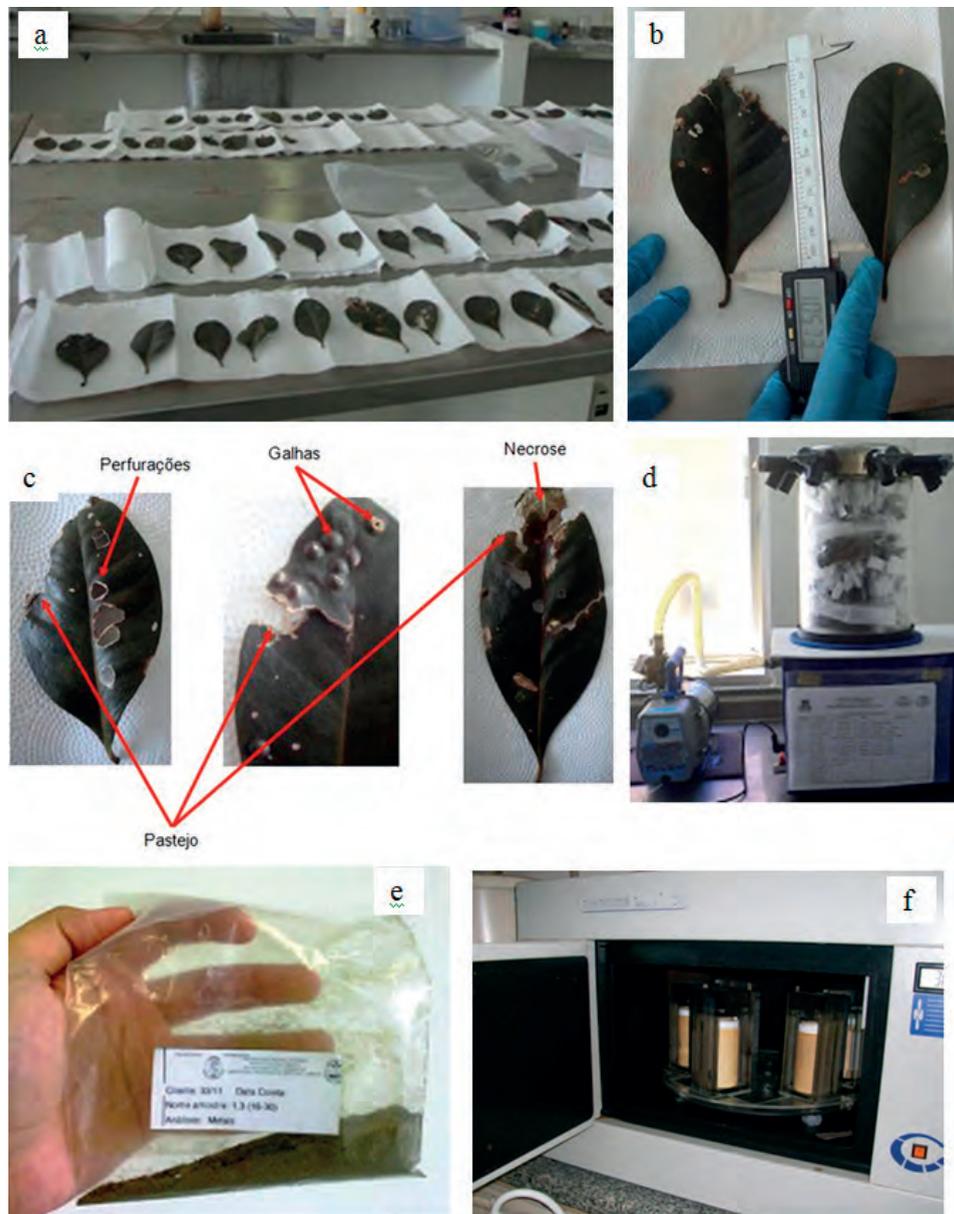
Fotos: acervo do NEA/IGEO/UFBA.

Figura 4 – (a) Medição dos parâmetros físicos-químicos da água com sonda multiparâmetros e procedimentos de coleta de sedimentos de fundo; (b) com amostrador tipo Van Veen; (c) abertura do amostrador Van Veen; e (d) visualização da amostra coletada



Fonte: acervo NEA/IGEO/UFBA.

Figura 5 – Análises das folhas de *Avicennia*: (a) preparação das folhas para realização das medidas biométricas; (b) medição do comprimento da lâmina foliar com o paquímetro; (c) exemplos de características físicas observadas nas folhas; (d) liofilização das amostras; (e) armazenamento das amostras de folhas já trituradas; (f) digestão das amostras no forno micro-ondas



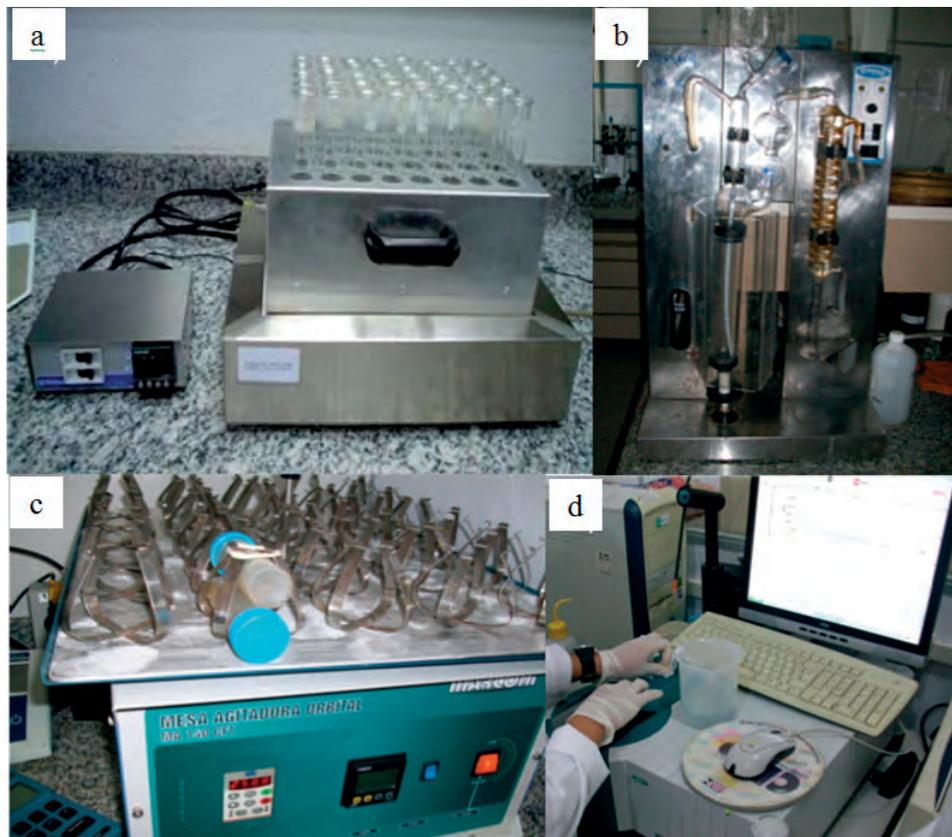
Fonte: acervo NEA/IGEO/UFBA e Andressa Lopes (2012).

Figura 6 – (a) Sexagem; (b) pesagem; (c) análise biométrica; e (d) dissecação das amostras de *Goniopsis cruentata* coletados nos manguezais dos rios Una, Pardo e Jequitinhonha



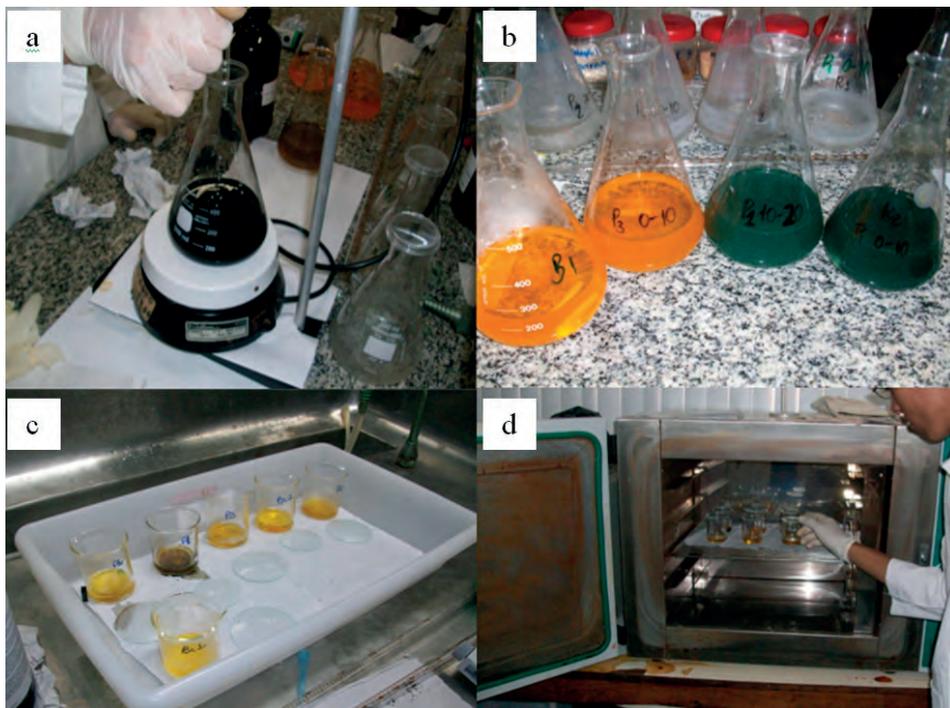
Fotos: Acervo NEA/IGEO/UFBA.

Figura 7 – Equipamentos utilizados na determinação da concentração de nitrogênio total e fósforo assimilável em sedimento: (a) bloco digestor; e (b) destilador de Kjeldhal, para a determinação de nitrogênio; (c) mesa agitadora; e (d) espectrofotômetro Cary 5E para a determinação de fósforo



Fotos: acervo NEA/IGEO/UFBA.

Figura 8 – Procedimento para a determinação do teor de matéria orgânica: (a) determinação em sedimento; (b) determinação em material particulado



Fotos: acervo NEA/IGEO/UFBA.



# **Geoquímica da água superficial nos baixos cursos dos rios Una, Pardo e Jequitinhonha, Sul da Bahia**

---

Joil José Celino

Narayana Flora Costa Escobar

Gisele Mara Hadlich

Rodrigo Azevedo Nascimento

Antônio Fernando de Souza Queiroz

## **Introdução**

Os rios Una, Pardo e Jequitinhonha desaguam na costa do litoral sul da Bahia, em uma região rica em manguezais. Estes ecossistemas estão sujeitos às interações entre a água doce, a água salina, os sedimentos e às variações diárias da maré, que produzem um ambiente complexo e dinâmico. (CHAPMAM; WANG, 2001; YUE CHE; QING HE; WEI-QING LIN, 2003)

Geralmente, áreas estuarinas estão sujeitas a atividades antrópicas, incluindo a indústria, a agricultura e o lançamento de efluentes domésticos, que são as principais fontes de poluentes para estes ecossistemas. Estudos indicam que os estuários comportam-se como filtros dos elementos que são transportados pelo rio, retidos principalmente na zona de mistura destes ambientes. (CHESTER, 1990; DUARTE; CAÇADOR, 2012; TURNER et al., 1993)

Estudos de processos relacionados ao comportamento químico da água em rios e estuários são de grande relevância, não só para o controle ambiental, mas também para o entendimento dos mecanismos geoquímicos que ocorrem nestes ambientes. (BELTRAME; MARCO; MARCOVECCHIO, 2009; SALOMONS; FÖRSTNER, 1984) Além disso, o conhecimento das propriedades físicas e químicas da água podem detectar alterações na qualidade dos corpos d'água e, dessa forma, refletir processos naturais e antrópicos.

Neste contexto, o objetivo deste capítulo é apresentar a distribuição e possíveis variações sazonais dos parâmetros físico-químicos da água, com vista nos processos geoquímicos e na qualidade ambiental de acordo com a Resolução nº 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (BRASIL. Conama, 2005), no que se refere aos parâmetros citados.

## **Materiais e métodos**

Foram definidos 10 pontos de amostragem ao longo dos baixos cursos dos rios Una, Canaveiras e Jequitinhonha, seguindo da foz em direção à montante do rio (Figura 2, Capítulo 2). No total, coletou-se 120 amostras de água.

Foram realizadas quatro campanhas de coleta de amostras em campo, durante a maré baixa: a primeira (C<sub>1</sub>) entre os dias 25 e 27 de novembro de 2011, considerado período chuvoso; a segunda (C<sub>2</sub>) entre os dias 21 e 23 de abril de 2012, período seco; a terceira (C<sub>3</sub>) entre os dias 16 e 18 de outubro de 2012, período chuvoso; e a quarta (C<sub>4</sub>) entre os dias 7 e 9 de maio de 2013, período seco.

Os períodos de coleta foram estabelecidos, entre outros, a partir do balanço hídrico da região. Salienta-se que, ao longo deste livro, o termo “chuvoso” refere-se às coletas realizadas no final do período anual de maior precipitação, C<sub>1</sub> e C<sub>3</sub>; o termo “seco” refere-se ao período posterior às menores precipitações anuais e início do período de maior precipitação, C<sub>2</sub> e C<sub>4</sub>. Nota-se que somente o mês de dezembro apresenta retirada de água do solo e não há déficit hídrico na região (Figura 1a).

As chuvas no mês de novembro de 2011 foram atípicas, relacionadas à chegada de frentes frias vindas do Oceano Pacífico que incidiram sobre a Bahia. (INMET, 2014)

Os parâmetros físico-químicos da água, temperatura, potencial hidrogeniônico (pH), potencial de oxirredução (Eh), oxigênio dissolvido (OD), salinidade, turbidez e sólidos totais dissolvidos (STD), foram medidos *in situ* na superfície da coluna d'água, em cada um dos pontos de coleta, utilizando uma sonda multiparâmetros (Horiba U-50). Procedimentos relativos à coleta de amostras para envio ao laboratório estão detalhados no Capítulo 2.

## Resultados e discussões

Os resultados e discussão são apresentados de acordo com cada rio estudado segundo dados dos parâmetros físico-químicos obtidos para a água superficial e de MPS, avaliados distintamente, em termos de qualidade, sendo que correlações foram feitas dentro de cada estuário.

Para os gráficos gerados foram mantidas as mesmas escalas verticais (eixo y) a fim de facilitar a comparação entre rios.

### Rio Una

A temperatura da água variou pouco entre os pontos, com exceção do ponto 10, devido ao horário da coleta, haja vista que este foi o último ponto a ser coletado (horário de maior insolação). Em C<sub>1</sub> (novembro/2011), as temperaturas foram mais amenas, com valor médio de 25°C, enquanto que em C<sub>2</sub> (abril/2012) a média foi de 28°C, em C<sub>3</sub> (outubro/2012) a média permaneceu em torno de 26°C e de 25°C em C<sub>4</sub> (maio/2013) (Figura 2). Parcialmente, as diferentes temperaturas entre os períodos podem ser explicadas pelas horas de insolação acumulada 30 dias anteriores às coletas: C<sub>1</sub> – 149,3 horas, menores temperaturas; C<sub>2</sub> – 226,7 horas, maiores temperaturas; C<sub>3</sub> – 197 horas, temperaturas intermediárias; C<sub>4</sub> – 139,2 horas, temperatura relativamente baixa. Os dados de insolação acumulada foram calculados a partir de INMET (2014) para a estação convencional de Canavieiras.

A elevada pluviosidade anterior à C<sub>1</sub> afetou o pH da água, que variou entre os pontos, conferindo-lhe um caráter neutro a levemente ácido. Esse comportamento foi diferente em C<sub>2</sub>, quando todos os pontos apresentaram condições de alcalinidade (Figura 2). Este comportamento foi acentuado em C<sub>3</sub>. Durante

as coletas, a condição de alcalinidade tende a ser maior nos pontos próximos à foz (pontos 1 a 5), haja vista a alcalinidade natural das águas marinhas, e menor quanto mais à montante do rio (em direção ao ponto 10), pois as águas continentais tendem a ser mais ácidas. Os menores valores de pH podem estar relacionados à adição de ácidos húmicos provenientes da degradação da matéria orgânica (MO) dos manguezais, carregados durante o processo de vazante.

Um fator a ser considerado nas variações de pH, bem como de outros parâmetros analisados, é a contribuição e influência antrópica da cidade ou povoados de Una (lançamento de efluentes não tratados nas águas do rio Una), gerando alterações pontuais no gráfico.

As concentrações de OD variaram ao longo dos pontos em todas as coletas (Figura 2), encontrando-se saturadas na superfície da água. Os dados apontam para um ambiente tipicamente oxidante, o que é comprovado pelos elevados valores de Eh (Figura 2), indicando possibilidade de alta produtividade primária. Entretanto, há pontos de redução do OD que refletem perdas de oxigênio dissolvido, geralmente relacionadas ao consumo pela decomposição da matéria orgânica, por perdas para a atmosfera, respiração de organismos aquáticos, nitrificação e oxidação química de íons metálicos, como ferro e manganês.

Visto que as coletas foram realizadas durante a maré baixa, os valores de salinidade tiveram uma alta variabilidade, sendo que os maiores índices encontraram-se à jusante do rio, próximo ao mar, diminuindo rapidamente a montante (Figura 2). Esse comportamento decorre da pouca penetração da maré. Nota-se que os maiores valores de salinidade ocorrem em C2, coleta com menor precipitação acumulada nos dez dias e principalmente nos 30 dias anteriores à coleta (Figura 1).

Da mesma forma que variou a salinidade, variaram a condutividade e a concentração de STD, sendo a relação entre condutividade e STD mais nítida ( $p < 0,05$ ) (Figuras 2).

Os valores de turbidez no rio Una são maiores em C4, seguido de C2, também um período seco, e de C1, período com elevada pluviosidade (Figura 2). Entretanto, deve-se ressaltar que, apesar de C4 ser caracterizado nesse estudo como “período seco”, no dia de coleta de amostras no rio Una chovia intensamente, o que certamente aumentou a turbidez do rio.

### **Rio Pardo**

Observa-se que em C<sub>1</sub> e C<sub>3</sub>, as águas apresentaram temperaturas mais baixas do que nas outras coletas (Figura 3), isso devido às chuvas ocorridas nos dias anteriores que proporcionaram um clima mais ameno na região.

Os valores de pH diferenciaram-se entre as campanhas (Figura 3). Os menores valores ocorreram em C<sub>1</sub>, pois o período chuvoso aumenta o fluxo das águas continentais, naturalmente mais ácidas, além de contribuir adicionando ácidos orgânicos na coluna de água.

O OD mostrou-se variável, com valores em C<sub>1</sub> e C<sub>3</sub>, períodos chuvosos, pouco superiores a C<sub>2</sub> e C<sub>4</sub>, períodos secos (Figura 3). As temperaturas atmosféricas médias nos períodos com menores valores de OD foram de 30°C ( $\pm 1^\circ\text{C}$ ), e nos períodos chuvosos, com maior OD, de 27,5°C ( $\pm 1^\circ\text{C}$ ) (segundo dados obtidos em INMET, 2014).

O Eh varia ao longo dos pontos e das coletas, apresentando menores valores, assim como de OD, na terceira coleta (C<sub>3</sub>) (Figura 3).

As maiores salinidades em C<sub>2</sub> e C<sub>3</sub> podem estar relacionadas à menor pluviosidade, quando comparadas com C<sub>1</sub> (Figura 3). Em C<sub>4</sub>, a baixa salinidade pode estar relacionada ao nível de maré no momento das coletas.

Da mesma forma que no rio Una, condutividade e STD seguem o mesmo comportamento (Figura 3), sendo mais elevados na região mais à jusante do rio, próximo ao mar.

A turbidez em C<sub>1</sub>, a partir do ponto 5 na montante no rio, apresenta-se muito elevada quando comparada com todas as outras coletas, inclusive em relação aos outros rios, em virtude do período de coleta executado após uma semana de chuvas acima da média na cabeceira e no baixo curso deste rio.

### **Rio Jequitinhonha**

No baixo curso do rio Jequitinhonha, temperatura, pH, OD e Eh (Figura 4) assemelham-se, em comportamento e valores, aos rios Una e Pardo.

Entretanto, este rio apresenta comportamento bem distinto em relação à salinidade, condutividade e STD. O rio Jequitinhonha apresenta, na sua foz, dois braços de rio. Os pontos o<sub>1</sub> e o<sub>2</sub>, localizados na barra do rio, do lado direito, apresentaram salinidades baixas, mesmo próximo ao mar. Isso é explicado pelo fato

de esta barra estar obstruída em algumas coletas devido à deposição de sedimentos, e aberta em outras. Esta barra impedia um maior fluxo de água marinha em direção ao rio.

Esta baixa salinidade, que se reflete também nos baixos valores de condutividade e STD, evidencia que, enquanto os rios Una e Pardo estão sob influência marinha, o rio Jequitinhonha está sob forte influência fluvial.

Nas campanhas C<sub>1</sub> e C<sub>4</sub>, o parâmetro mais correlacionado com a temperatura da água foi o pH ( $r = 0,83$ ), que foi maior no verão, embora atingindo valores neutros (5,6 a 6,5). Isto provavelmente se deve à lixiviação dos manguezais, carreando ácidos orgânicos para o rio.

Nas campanhas C<sub>1</sub> e C<sub>2</sub> houve correlação da temperatura da água com condutividade elétrica ( $r = 0,74$ ) e pH ( $r = 0,70$ ). O aumento da temperatura da água e dos sólidos suspensos são situações que favorecem a condutividade elétrica no ambiente.

A temperatura da água atua diretamente na concentração de OD. Aqui, esta reciprocidade não foi observada no baixo curso do Jequitinhonha, em C<sub>4</sub>. Isso pode decorrer das concentrações de material orgânico em suspensão de 20% a 30% maiores que nos outros rios estudados, e que, ao entrar em decomposição dentro do ambiente aquático, consome oxigênio. Este aumento pode ser efeito da intensificação de atividades agrícolas e pecuárias mais próximas às margens e do conseqüente carreamento da camada superficial do solo para o rio.

Em relação ao MPS (Figura 5), não existem dados anuais de descarga para o estuário do rio Una. As baixas concentrações de MPS em todas as coletas sugerem que a contribuição do rio com material particulado é baixa, independente do período anual.

O rio Pardo apresenta maiores variações entre as coletas em relação ao rio Una, com valores entre 0,01 a 63,67 mg L<sup>-1</sup> e média de 31,89 mg L<sup>-1</sup>.

Os valores de MPS mais elevados e com maior variação ocorrem no rio Jequitinhonha, sobretudo mais próximo à foz (Figura 5).

De Paula, Silva e Souza (2012) citam valores de concentração de MPS para os estuários dos rios Paraíba do Sul variando de 23 a 45 mg L<sup>-1</sup>, do rio São Francisco variando entre 13 mg L<sup>-1</sup>, na estação seca, até 90 mg L<sup>-1</sup> na estação chuvosa, e do rio Jaguaribe, no Ceará, variando entre 7,6 a 608 mg L<sup>-1</sup>. Para os estuários estu-

dados no sul da Bahia, não foi identificado um comportamento claro em relação ao período anual, considerando as precipitações anteriores aos dias de coleta.

Deve-se considerar, para todas as coletas, que foram realizadas durante a maré baixa, que pode ocorrer uma superestimativa das concentrações de MPS, pois em marés baixas o índice de MPS pode ser maior devido à maior velocidade das correntes. (MIRANDA; BERGAMO; SILVA, 2006)

### **Qualidade ambiental**

A qualidade das águas dos rios estudados, considerando os valores mínimos e máximos obtidos em todos os pontos e campanhas, pode ser avaliada a partir da Tabela 1. Nesta tabela constam os valores limitantes para classificação das águas segundo a Resolução 357/2005 do Conama (BRASIL. Conama, 2005), considerando os parâmetros avaliados para águas doces e salobras. Destaca-se que apenas duas medidas no rio Pardo, próximo à foz, apresentaram valores superiores a 30, caracterizando águas salgadas.

A classificação destes ambientes foi baseada nas características e nos possíveis usos da água. Os estuários dos rios Una e Pardo se insere na Classificação Salobras Classe 1, com salinidades entre 0,5 e 30, e são destinadas à recreação de contato primário, à irrigação, à proteção das comunidades aquáticas, à aquicultura e à atividade de pesca, enquanto o rio Jequitinhonha, que possui forte influência fluvial, com salinidades abaixo de 0,5 e se insere na Classificação de Água Doce, Classe 2, com os mesmos usos.

Considerando os valores estabelecidos para águas doces e salobras, o nível máximo do pH dos rios Una e Jequitinhonha apresentaram-se maiores do que todas as classes estabelecidas pelo Resolução do Conama para águas salobras e doces, indicando ambientes com forte alcalinidade, sobretudo em uma das coletas, o que demonstra a necessidade de realização de um monitoramento contínuo para que se possa acompanhar adequadamente a qualidade da água.

Para o rio Pardo, os níveis de pH encontrados estão de acordo para águas salobras Classe 3. No entanto, quando se leva em consideração as demais classes, o mesmo apresenta níveis fora do estabelecido, que sugere baixa qualidade ambiental. Os valores de OD mostram que estes sistemas são bem oxigenados e estão dentro de todas as classes estabelecidas pela Resolução do Conama.

Tabela 1 – Valores mínimos e máximos obtidos neste estudo e valores referenciais da Resolução Conama 357/05 sobre a qualidade das águas

Parâmetros	UNA		PARDO		JEQUITINHONHA		Conama 357/05 Água Salobra			Conama 357/05 Água Doce			
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Classe1	Classe2	Classe3	Classe1	Classe2	Classe3	Classe4
Salinidade	0,00	18,80	0,00	31,60	0,00	1,40	0,5 a 30	0,5 a 30	0,5 a 30	< 0,5	< 0,5	< 0,5	
pH	6,68	9,35	5,95	8,88	5,77	10,34	6,5 a 8,5	6,5 a 8,5	5 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9
OD (mg L <sup>-1</sup> )	5,66	10,30	5,54	9,71	5,93	10,78	> 5	> 4	> 3	> 6	> 5	> 4	> 2
Turbidez (NTU)	3,30	94,80	3,90	86,40	10,00	99,40	-	-	-	< 40	< 100	< 100	> 100
CE ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )	0,05	30,30	0,12	48,50	0,06	2,71	-	-	-	50-75	75-100	100-150	> 150
STD (mg L <sup>-1</sup> )	2,40	21,20	5,80	18,60	2,00	8,67	-	-	-	< 500	< 500	< 500	

OD: oxigênio dissolvido; CE: condutividade elétrica; STD: sólidos totais dissolvidos.

Fonte: Elaboração dos autores com base em BRASIL, Conama, 2005.

Valores de turbidez acima de 10 NTU podem interferir no processo de fotossíntese, pois dificultam a passagem da luz solar. No entanto, para águas salobras o Conama não indica níveis limites para este parâmetro. Levando em consideração os limites para água doce, todos os rios apresentaram valores máximos acima dos limites.

Quanto aos STD, mesmo o maior valor encontrado é inferior ao limite máximo definido pela Resolução 357 para diversas classes de água doce, indicando boa qualidade da água neste parâmetro.

Levando em consideração valores médios, visto que os valores mínimos e máximos não caracterizam o comportamento das áreas de estudo, as características físico-químicas da água enquadram-se na condição de qualidade para águas salobras (Classe 1) para os rios Una e Pardo e para água doce (Classe 2) para o rio Jequitinhonha, determinadas em função de seus usos (Tabela 1).

No rio Jequitinhonha, o complexo estuarino é influenciado pelo aporte fluvial recebido pelo canal do Jequitinhonha, com valores de salinidade característicos de um sistema de água doce.

Em todos os rios estudados, da mesma forma que a salinidade, variaram a condutividade e a concentração de STD. Dados da CETESB (1999) indicam que níveis de condutividade superiores a 100 mS cm<sup>-1</sup> representam ambientes impac-

tados. Levando em consideração este valor, nenhum ponto foi considerado impactado, nos períodos amostrados.

## **Considerações finais**

De modo geral, os parâmetros variaram sazonalmente entre os períodos de coleta. A relação mais intensa foi com o pH que diminui com as chuvas; um provável efeito de diluição dos ácidos orgânicos liberados pelo trecho de solo alagado para dentro do rio. Em alguns pontos, houve correlação da pluviosidade com condutividade elétrica, que pode ser resultado de pouca cobertura vegetal que favorece o aporte de materiais do solo para o ambiente aquático, aumentando a concentração de sólidos suspensos que acabam favorecendo esta característica.

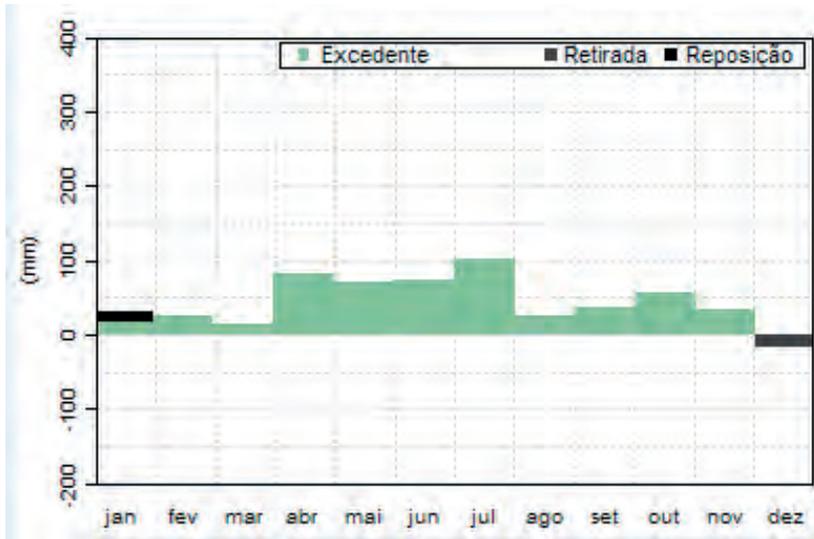
Quanto aos níveis de referência de OD, os baixos cursos dos rios Una, Jequitinhonha e Pardo apresentam boa condição de qualidade, assim como no que se refere aos parâmetros de condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos e turbidez. As condições de qualidade para esses parâmetros enquadram-se nas classificações salobra Classe 1 para os rios Una e Pardo e água doce Classe 2 para o rio Jequitinhonha.

Nas áreas em estudo, ficou comprovada a importância de se avaliar as condições climáticas anteriores aos procedimentos de coleta de amostras de água, e tornou-se evidente a necessidade de um monitoramento contínuo para uma adequada compreensão e interpretação dos processos atuantes e seus reflexos nos parâmetros físicos e químicos analisados.

Segundo Tucci (2002), a legislação brasileira enfoca o controle de qualidade da água baseada em usos da água e correspondente limite aceitável de poluição. Como esses limites foram estabelecidos normalmente em países de condições ambientais diferentes do nosso, podem ocorrer avaliações equivocadas.

Por fim, considerando que as áreas de estudo apresentam um forte gradiente físico-químico ao longo das estações de amostragem e que estes parâmetros são dinâmicos e dependem das variações de maré e climáticas, existe uma dificuldade real para o enquadramento dos corpos d'água nas classes estabelecidas pela Resolução Conama 357/05. Portanto, todos os resultados e valores comparados são dinâmicos no tempo e no espaço.

Figura 1 – Balanço hídrico climatológico para a estação meteorológica de Canavieiras, acima, e precipitação nos 60, 30 e dez dias que antecederam as coletas de água em campo, abaixo; coletas realizadas: C1, entre 25 e 27 de novembro de 2011, denominado período chuvoso; C2, entre 21 e 23 de abril de 2012, período seco; C3, entre 16 e 18 de outubro de 2012, período chuvoso; e C4, entre 7 e 9 de maio de 2013, período seco



(a) Adaptação e (b) elaboração: Gisele Mara Hadlich.

Fonte dos dados: INMET (2011, 2014)

Figura 2 – Gráficos de distribuição dos parâmetros físico-químicos nos pontos (1, foz, a 10, montante do rio; Capítulo 2, Figura 2) ao longo do estuário do rio Una, nas quatro campanhas (C1, C2, C3 e C4) de campo realizadas: temperatura; potencial hidrogeniônico (pH); oxigênio dissolvido (OD); salinidade; potencial de oxirredução (Eh); condutividade; turbidez; sólidos totais dissolvidos (STD)

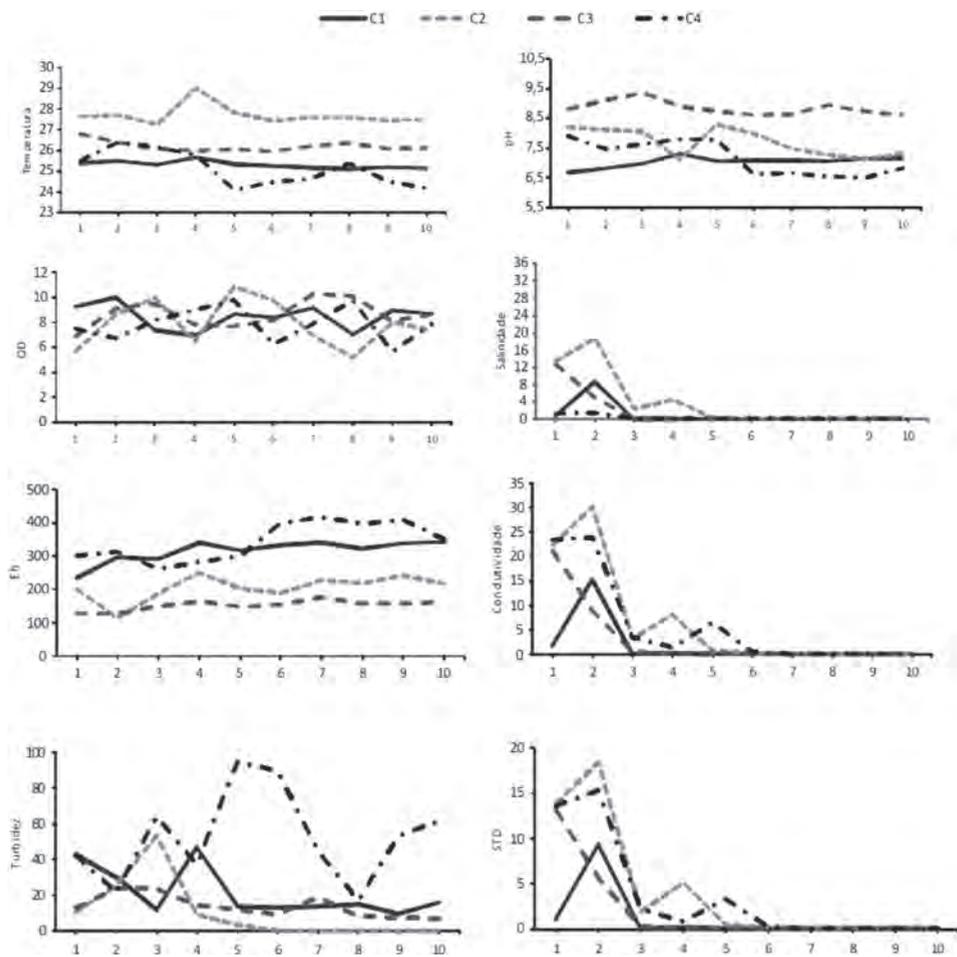


Figura 3 – Gráficos de distribuição dos parâmetros físico-químicos nos pontos (1, foz, a 10, montante do rio; Capítulo 2, Figura 2) ao longo do estuário do rio Pardo, nas quatro campanhas (C1, C2, C3 e C4) de campo realizadas: temperatura; potencial hidrogeniônico (pH); oxigênio dissolvido (OD); salinidade; potencial de oxirredução (Eh); condutividade; turbidez; sólidos totais dissolvidos (STD)

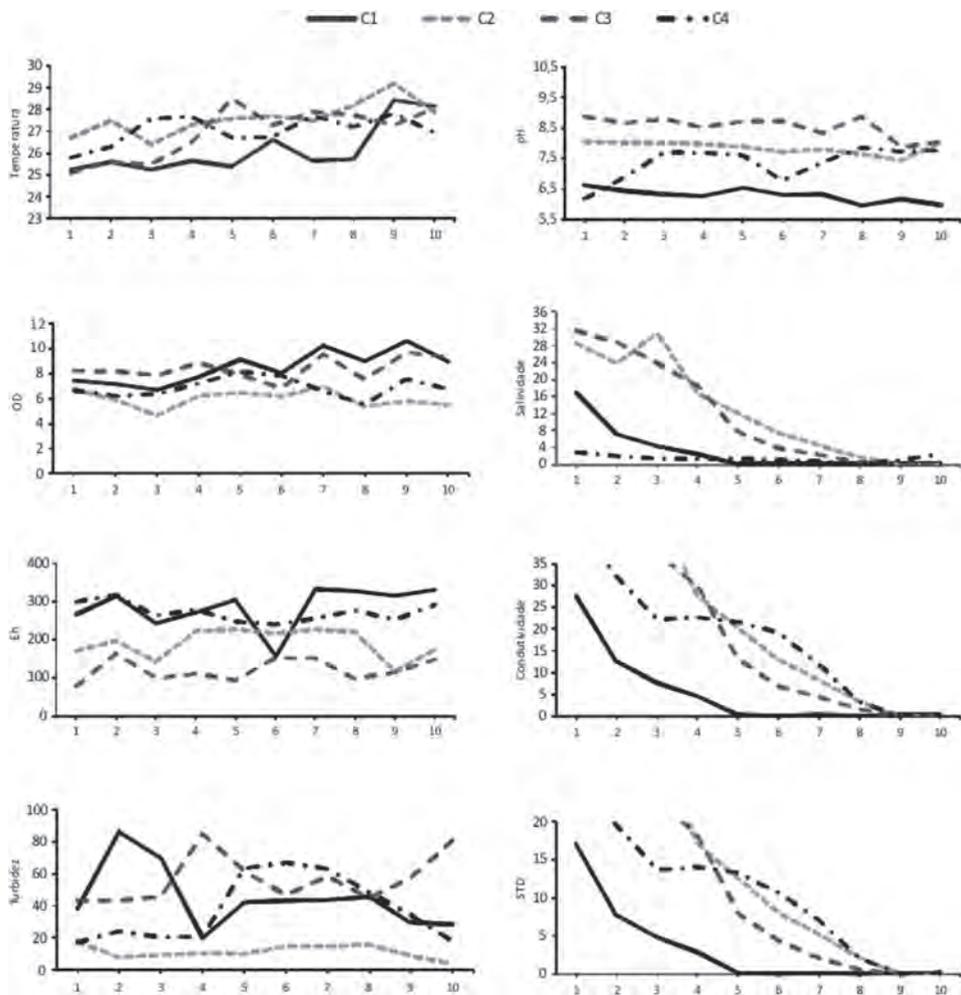


Figura 4 – Gráficos de distribuição dos parâmetros físico-químicos nos pontos (1, foz, a 10, montante do rio; Capítulo 2, Figura 2) ao longo do delta do rio Jequitinhonha, nas quatro campanhas (C1, C2, C3 e C4) de campo realizadas: temperatura; potencial hidrogeniônico (pH); oxigênio dissolvido (OD); salinidade; potencial de oxirredução (Eh); condutividade; turbidez; sólidos totais dissolvidos (STD)

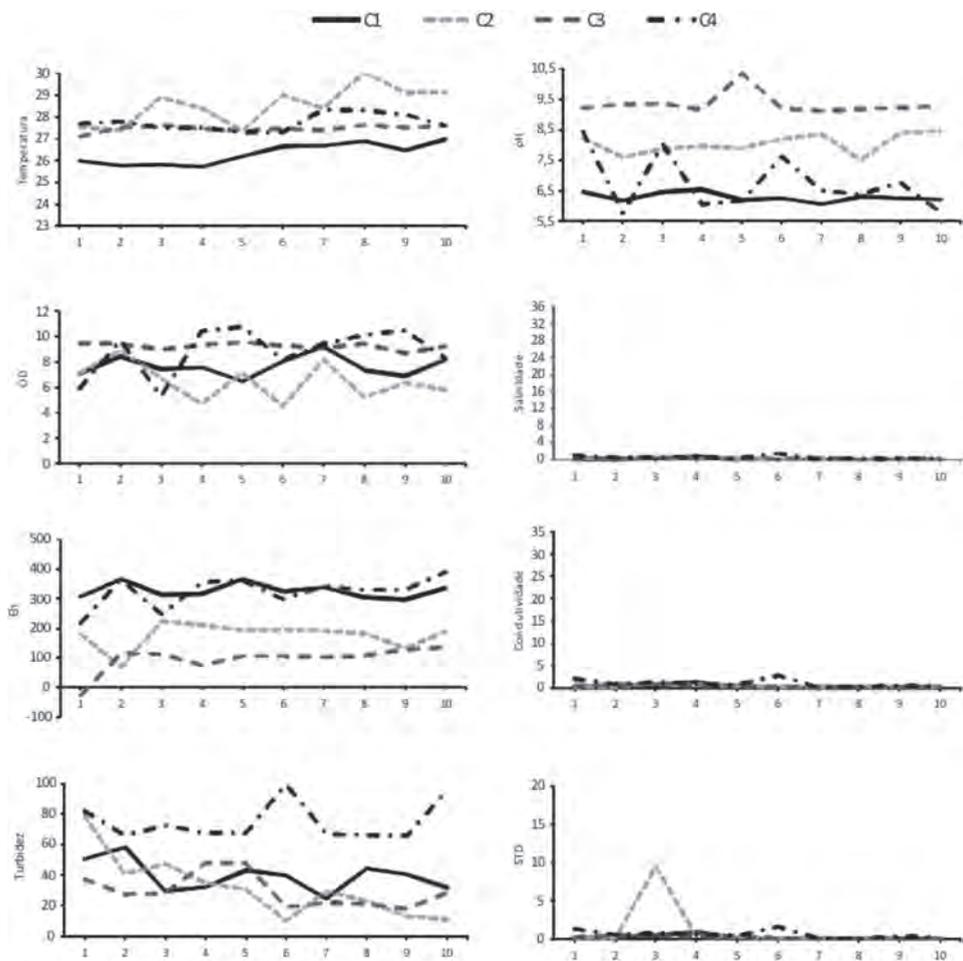
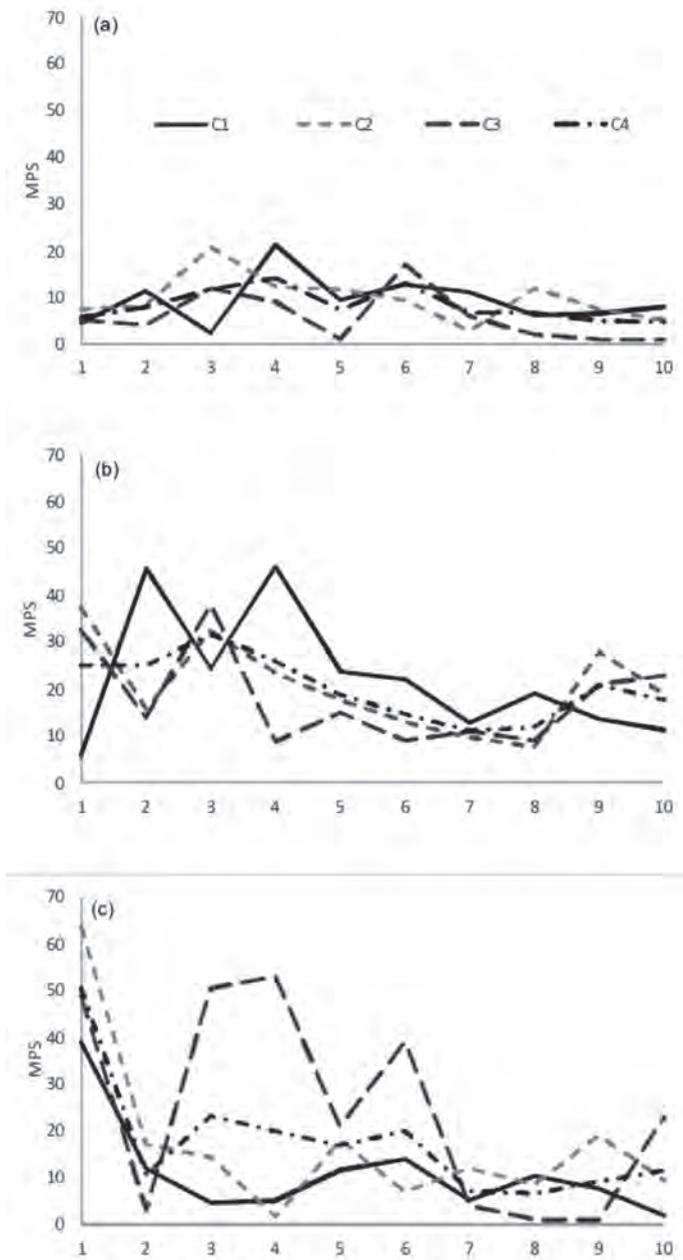


Figura 5 – Diagramas de distribuição (mg L<sup>-1</sup>) do material particulado em suspensão (MPS) nas estações ao longo do estuário do rio (a) Una, (b) Pardo e (c) Jequitinhonha, nas quatro campanhas (C1, C2, C3 e C4) de coleta de amostras em campo



# **Metais na água superficial, material particulado em suspensão e no sedimento de fundo nos baixos cursos dos rios Una, Pardo e Jequitinhonha**

---

Narayana Flora Costa Escobar

Joil José Celino

Rodrigo Azevedo Nascimento

## **Introdução**

Estuários são ambientes costeiros de transição entre o continente e o oceano, caracterizados como um corpo d'água semifechado que possuem uma conexão com o mar, onde a água salina sofre diluição significativa devido à mistura com a água doce proveniente desse corpo d'água. (CHAPMAM; WANG, 2001; PRITCHARD, 1967; YUE CHE; QING HE; WEI-QING LIN, 2003)

Os estuários agem como filtros das substâncias que são transportadas pelos rios nas formas particulada e dissolvida, incluindo os metais, nutrientes e compostos orgânicos, que são modificados e retidos, principalmente dentro da zona de mistura. (BAEYENS et al., 1998; CHESTER, 1990; CAÇADOR; VALE; CATARINO, 1996; DUARTE; CAÇADOR, 2012) Estudos de processos relacionados ao comportamento químico, transporte e acúmulo de metais em rios e estuários são de grande relevância não só para o controle ambiental, mas também para

o entendimento dos mecanismos geoquímicos que ocorrem nestes ambientes. (BELTRAME; MARCO; MARCOVECCHIO, 2009; SALOMONS; FÖRSTNER, 1984)

Devido ao seu poder conservativo, os metais tendem a permanecer por longos períodos no ambiente. Esta característica vem chamando atenção mundial pelo grande impacto e risco potencial que os poluentes metálicos representam no sistema aquático, notadamente pelo seu caráter acumulativo e capacidade de translação através da cadeia trófica. (BAEYENS et al., 2005; BAIRD, 2002)

A região litorânea do sul da Bahia, importante polo turístico e pesqueiro (AGUIAR; MOREAU; FONTES, 2011), tem se tornado alvo de interesse da indústria do petróleo, visando à exploração na bacia do Jequitinhonha, próximo à zona costeira das cidades de Una, Canavieiras e Belmonte. (QUEIROZ GALVÃO; ECOLOGY DO BRASIL, 2006) Nesta área localizam-se os estuários dos rios Una, Pardo e Jequitinhonha, ocupados por extensos manguezais.

Informações científicas acerca da concentração e distribuições dos metais são importantes para compreender a dinâmica dos processos geoquímicos e o estado de conservação destes ambientes. (NGUYEN et al., 2005a, 2005b)

Neste contexto, o objetivo deste capítulo é apresentar uma avaliação sobre a distribuição, possíveis variações sazonais e particionamento dos metais entre os compartimentos água (dissolvidos), material particulado em suspensão (MPS) e sedimentos de fundo dos rios Una, Pardo e Jequitinhonha, com enfoque nos processos geoquímicos e na qualidade ambiental.

## **Materiais e métodos**

As dez estações de amostragem foram definidas ao longo dos estuários dos rios Una, Pardo e Jequitinhonha, seguindo da foz em direção à montante (Capítulo 2, Figura 1), coletando em pontos anteriores e posteriores às cidades mais próximas. Foram realizadas duas campanhas de coleta de amostras, entre os dias 25 e 27 de novembro de 2011, considerada período chuvoso (correspondente à C1, Capítulo 3), e entre os dias 21 e 23 de abril de 2012, considerado período seco (designada C2, no Capítulo 3). Foram coletadas, no total, 60 amostras de água e de sedimento de fundo dos rios.

A metodologia está descrita no Capítulo 2 e na Tabela 1 são apresentados os limites de detecção (LDM) e quantificação (LQM) para os elementos analisados.

Tabela 1 – Limites de detecção (LDM) e de quantificação (LQM) para os elementos analisados por extração parcial analitos digeridos pelo método proposto pela APHA (conforme descrito no Capítulo 2) e determinados por ICPOES

Limites	Fe	Mn	Ni	Cr	Cu	Pb	Cd	Zn
LDM (ng g <sup>-1</sup> )	25,86	1,11	4,15	16,32	3,36	1,16	0,95	6,51
LQM (ng g <sup>-1</sup> )	86,20	3,69	13,85	54,40	11,21	4,47	3,15	21,69

Fonte: Elaboração dos autores.

## Resultados e discussões

Seguem os resultados obtidos sobre metais dissolvidos na água, metais presentes no material particulado em suspensão e nos sedimentos de fundo de canal, bem como as implicações destes resultados na qualidade ambiental dos corpos d'água pesquisados.

### Metais dissolvidos na água

Os resultados dos metais dissolvidos analisados revelaram a ocorrência de muitos analitos abaixo do LDM, principalmente em C2 para as três áreas de estudo: Una, Pardo e Jequitinhonha. Normalmente, as concentrações de metais dissolvidos na água são muito baixas e existe uma dificuldade real para detecção destes elementos. (HART; HINES, 1995) Além disso, os metais dissolvidos são extremamente reativos e rapidamente são adsorvidos ao material particulado em suspensão, que posteriormente depositam-se no sedimento de fundo (FÖRSTNER; WITTMANN, 1981) ou são transferidos para biota.

A distribuição dos metais dissolvidos ao longo dos estuários foi representada da (1) foz em direção à (10) montante (Figuras 1, 2 e 3). Nestes gráficos são apresentados também os valores limite para enquadramento das águas salobras na Classe 1 e águas doces, Classe 2, segundo a Resolução n. 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente. (BRASIL. Conama, 2005) Destaca-se que todos os metais foram determinados em todas as campanhas e rios, e os gráficos que não apresentam algum período (C1 ou C2) ou que estão ausentes entre as figuras indicam que o metal permaneceu abaixo do LDM naquele período.

Em todos os estuários, as concentrações de Fe representaram o elemento em maior concentração, principalmente em C1. Sua fonte principal é o intemperismo das rochas e dos solos e altas concentrações são naturalmente encontradas em outros estuários. (CARVALHO et al., 1999) No estuário do rio Una, dentre os demais elementos, é possível observar que as concentrações são variáveis e apresentaram picos em alguns pontos, geralmente próximos à foz do estuário (Figura 1)

As concentrações de Fe no estuário do rio Pardo aumenta até a estação 5, com o distanciamento da foz (Figura 2), ou seja, com a diminuição da salinidade (conforme visto no Capítulo 3). Assim como no estuário do rio Una, no período seco, a baixa ocorrência dos metais pode ser decorrente da depleção do ferro, que possui alta capacidade de remover outros metais da coluna d'água, através da coprecipitação de hidróxidos de Fe. (OUSEPH, 1992) Além disso, as condições do pH mais baixo no período chuvoso pode ter contribuído para solubilização dos íons metálicos na coluna d'água, enquanto o pH mais elevado no período seco tende a precipitar os metais na forma de hidróxidos e aumentar a adsorção aos argilominerais (conforme visto no Capítulo 3). (LICHT, 1998)

Para alguns elementos, as concentrações de metais dissolvidos são geralmente maiores em águas salinas, pois os metais na forma particulada são transferidos por dessorção para a solução devido aos processos de troca iônica causados pela ação dos cátions principais da água do mar. (DESSENAKIS; SCULLOS; GAITIS, 1997) Entretanto, a ausência de uma dependência dos metais com a salinidade pode ser explicada por prováveis fontes antrópicas de metais no estuário. (HATJE; BIRCH; HILL, 2001) Portanto, mesmo havendo correspondência dos metais com a salinidade (ESCOBAR, 2013), observa-se que estas não ocorreram linearmente e que o comportamento dos metais semelhantes entre si (Figura 1, 2 e 3), sugere que processos e/ou fontes semelhantes influenciaram estes elementos.

O Fe e Mn foram os principais elementos nos dois períodos de coleta (Figuras 1, 2 e 3). O mesmo comportamento já foi observado em outros estudos, como por exemplo, os resultados encontrados no rio Paraíba do Sul, por Gonçalves e Carvalho (2006). Embora a presença não represente riscos toxicológicos à biota, os hidróxidos e óxidos de Fe e Mn possuem um papel importante no ciclo dos metais no ambiente aquático (SALOMONS; FÖRSTNER, 1984), principalmente no transporte destes elementos.

As concentrações dos metais dissolvidos no delta rio Jequitinhonha foram muito variáveis no período chuvoso (Figura 3). Dentre os metais analisados, os elementos Cr, Zn e Cu estiveram abaixo dos respectivos LDM. No período seco, apenas o Zn e o Fe foram detectados.

No delta do rio Jequitinhonha, as concentrações de Fe foram as maiores em todas as estações em relação aos outros metais. Em C<sub>1</sub>, os pontos 1, 2, 5, 7, 8, 9 e em C<sub>2</sub>, o ponto 4 ultrapassaram os limites estabelecidos pela Resolução 357/05 do Conama (0,3 mg L<sup>-1</sup>) (BRASIL. Conama, 2005) para águas doce Classe 2. No entanto, este metal não representa perigo tóxico ao meio, modificando apenas o sabor da água.

No período chuvoso (C<sub>1</sub>), as concentrações de Cd foram maiores nas estações com baixa salinidade (estuário inferior). Na presença de íons cloreto da água marinha, o cádmio tende a formar complexos solúveis, mantendo-se na coluna de água. (TURNER; MILLWARD; MORRIS, 1991)

Portanto, mesmo exibindo poucos íons detectáveis dissolvidos na água, os baixos cursos dos rios estudados apresentaram, para alguns metais, níveis de metais acima dos índices estabelecidos pela legislação, indicando que no período de maior vazão há incremento nas concentrações de metais solúveis e, consequentemente, depleção da qualidade da água.

### **Metais no Material Particulado em Suspensão (MPS)**

De maneira geral, a ocorrência e as concentrações dos metais no MPS foram maiores no período seco e menores no período chuvoso. Porém, alguns elementos apresentaram concentrações abaixo dos LDM, principalmente no período chuvoso (Figuras 4, 5 e 6 respectivamente). Este resultado pode estar relacionado à lixiviação de metais no período chuvoso (na forma dissolvida) e entrada de MPS com concentrações menores de metais, além da diluição que ocorre devido às condições físico-químicas favoráveis à dessorção (pH ácido), e no período seco, ocorre a adsorção dos metais ao MPS, favorecida pelas condições básicas do meio. (CHAPMAN; WANG, 2001)

No rio Una, os elementos Fe, Ni, Cr, Zn e Cu tiveram aumento significativo na estação 4 (Figura 4), pois se trata de uma fonte pontual de contaminantes, oriundas possivelmente de um povoado localizado às margens do rio, chamado

de Pedras do Una. A análise de variância (ESCOBAR, 2013) mostrou que os metais Mn, Cr, Zn, Pb e Cu mostraram diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre as coletas (C<sub>1</sub> e C<sub>2</sub>). A diminuição das concentrações de metais à jusante pode indicar uma alteração na natureza do material particulado, onde ocorre a mistura de material oriundo do rio com material de origem marinha, com granulometria maior e menor poder de adsorção e, conseqüentemente, menor teor de metais. (ZWOLSMAN; VAN ECK, 1999) Além disso, a influência da salinidade nestes pontos pode estar influenciando a coagulação e deposição, e a diluição do material em suspensão. (SYINU et al., 2012)

No estuário do rio Pardo, os metais Fe e Mn foram os principais elementos nos dois períodos de coleta. Em média, a abundância seguiu: Fe > Mn > Ni > Cr > Pb > Cu, no período chuvoso (C<sub>1</sub>) e Fe > Mn > Cr > Zn > Ni > Pb > Cu, no período seco (C<sub>2</sub>) (Figura 5). Assim como na fração dissolvida, a concentração elevada destes elementos (Fe e Mn) estão relacionadas à constituição litológica da área de estudo. No entanto, os mesmos são rapidamente oxidados, formando agregados de óxidos de Fe e Mn. (SUNG; MORGAN, 1980)

No rio Pardo, a distribuição dos metais no período chuvoso (C<sub>1</sub>) ocorre de forma aleatória (Figura 5). Contudo, os metais se comportam de maneira semelhante entre si. No período seco (C<sub>2</sub>), não é evidente este padrão em relação à distribuição. Observa-se que há um aumento significativo na concentração dos metais Mn, Cr, Zn, Cu e Pb na estação 2 neste período (Figura 5). No entanto, não há conhecimento de prováveis fontes de contaminação nestes locais.

As concentrações de metais no MPS no delta do rio Jequitinhonha (Figura 6) indicou que em C<sub>1</sub>, os elementos Fe e Mn foram os principais elementos encontrados em todas as estações e, de maneira pontual, verificou-se a presença de Pb, Cu e Ni. Os demais elementos não foram detectados. Em C<sub>2</sub>, houve a presença de maior quantidade de metais e, em média, as concentrações foram mais elevadas. Este resultado pode estar relacionado às condições do meio neste período, quando o pH da água apresentou comportamento alcalino, o que auxilia na adsorção dos íons ao material particulado, enquanto em C<sub>1</sub>, o baixo pH tende a solubilizar os íons adsorvidos no material em suspensão. (FÖRSTNER; WITTMANN, 1981)

A distribuição dos metais ocorreu de forma aleatória ao longo do delta do rio Jequitinhonha (Figura 6). Alguns pontos apresentaram picos de concentração indicando uma possível fonte de contaminação. No período seco, a estação

4 apresentou valores aumentados (Figura 6); no entanto, não foi possível identificar os motivos desta ocorrência. Pode-se observar também que as concentrações de Fe e Mn são fortemente semelhantes nas duas campanhas, supondo fontes em comum entre estes elementos.

### **Sedimentos de fundo de canal**

Variações nos níveis das concentrações dos diferentes elementos analisados nos sedimentos (SED) de fundo do canal dos rios Una, Pardo e Jequitinhonha estão ilustradas nas Figuras 7, 8 e 9, respectivamente.

No rio Una (Figura 7), o Fe foi o principal elemento encontrado no sedimento nas duas campanhas de coleta, seguido do Mn. As concentrações de Ni e Pb foram registradas em maiores teores em C<sub>1</sub> e as concentrações dos elementos Fe, Mn, Cr, Zn, Cu e Cd foram maiores em C<sub>2</sub>.

Altos níveis de Ni e Pb no período chuvoso (C<sub>1</sub>) destacam a influência da precipitação como um parâmetro importante no enriquecimento de metais para o estuário; no entanto, a distribuição mostra variabilidade entre as estações de amostragem, indicando fontes pontuais destes elementos. No período seco (C<sub>2</sub>), a maior capacidade de deposição de MPS contribui para maiores índices de metais no fundo do canal, visto que as concentrações dos elementos no MPS foram maiores no período seco do que no chuvoso, conforme visto anteriormente. As atividades agropecuárias e o lançamento de esgotos e lixos sem tratamento são possíveis fontes de metais nesta região.

A distribuição dos elementos ao longo do estuário do rio Una apresentou alta variabilidade (Figura 7). Observa-se que, principalmente na estação 2, foram encontradas elevadas concentrações de metais durante os dois períodos de coleta. No entanto, nenhuma fonte potencial foi localizada neste local. Além disso, não se trata de um ponto com altos índices de matéria orgânica (PS) e de sedimentos finos, sugerindo que, possivelmente, ocorrem entrada e acumulação de metais no sedimento de fundo oriundos de fontes externas.

Da mesma forma, no estuário do rio Pardo as maiores concentrações encontraram-se no período chuvoso (Figura 8), que possivelmente são decorrentes da lixiviação dos solos, dos sedimentos de manguezais e da área urbana no entorno do estuário.

Altos teores de Fe foram encontrados ao longo de todo estuário do rio Pardo nos dois períodos de coleta (Figura 8). As concentrações de Mn também foram altas, mas variaram significativamente entre os pontos e entre os períodos. Altas correlações do Mn e do Fe com os metais indicam a presença de óxidos de ferro e manganês associados aos mesmos, sugerem também que estes elementos presentes no sedimento ocorrem devido a processos naturais. (ZHANG; LIU, 2002)

Naturalmente, as concentrações de Cd são associadas ao Zn, em função dos minerais típicos do Cd. (REIMANN; CARITAT, 1998) No período chuvoso, a ausência do Zn e a baixa correlação do Fe e do Mn com o Cd sugere que este elemento esteja enriquecido de forma não natural, indicando fontes antropogênicas deste elemento no sistema. No período seco, as correlações são mais fortes entre o Fe e os metais Ni, Cr, Cu e Pb (Figura 8) sugerindo que a formação de óxidos e hidróxidos de Fe e Mn controlam a fixação dos metais no sedimento. Os elementos Zn e Cd apresentam correlações moderadas, indicando que não estiveram associados ao conteúdo de Fe em todas as estações. (REIMANN; CARITAT, 1998) Diferente dos estuários do rios Una e Pardo, o delta do rio Jequitinhonha apresentou maiores concentrações durante o período chuvoso, com exceção do Zn, que não foi detectado, e do Cd, que apresentou concentrações maiores no período seco (Figura 9). Os níveis de metais nas amostras de sedimento de fundo apresentaram elevadas concentrações de Fe e em menor proporção de Mn (Figura 9). Em C<sub>1</sub>, os elementos Ni, Cu, Cd e Cr apresentaram em algumas estações valores abaixo do LDM. Em C<sub>2</sub>, apenas o Pb apresentou estações com níveis não detectados pelo equipamento.

No período chuvoso, as maiores concentrações dos metais Ni, Fe, Cr, Cu e Pb ocorreram nas estações 4, 5, 7 e 10 (Figura 9). As distribuições destes metais encontram-se de forma aleatória. Esta variabilidade pode ocorrer como resultado de muitos processos naturais, tais como a diferença na distribuição do tamanho de grão, alterações na fonte de sedimentos e processos de intemperismo, variação do teor de matéria orgânica, variação na velocidade de sedimentação ou contribuições antropogênicas. (SILVA et al., 2011)

No período seco, as concentrações mostraram-se mais estáveis, com um pico na estação 4 para todos os metais, com exceção do Zn que se configurou de forma aleatória em todas as estações, e do Cd que se manteve constante. A estação 4 apresentou maior constituição de silte em comparação a todas as

outras, o que pode ter contribuído para uma maior adsorção dos metais. Entretanto, dados de granulometria indicaram predominância de areia fina, média e grossa neste período que deve ter colaborado para concentrações menores de metais, quando comparadas às concentrações de C<sub>1</sub>.

### **Qualidade ambiental**

Para avaliar a qualidade do ecossistema em função das concentrações dos metais dissolvidos na água, foram adotados valores estabelecidos pela legislação Conama 357/05, que regulamenta e estabelece padrões de qualidade ambiental para os recursos hídricos no Brasil (BRASIL. Conama, 2005), considerando o enquadramento em água salobra Classe 1 para os rios Una e Pardo e água doce Classe 2 para o rio Jequitinhonha, conforme visto no capítulo anterior.

Segundo estes limites, para os metais dissolvidos, apenas no período chuvoso (C<sub>1</sub>), foram identificados níveis acima do padrão. O Ni apresentou valores acima do estabelecido no estuário do rio Una nas estações 1, 2, 3 e 4, e o Pb na estação 3, indicando possíveis fontes pontuais de íons dissolvidos ou desorção dos metais do MPS para água a partir de mudanças das condições físico-químicas.

No estuário do rio Pardo, os elementos Fe (5), Ni (1, 2 e 4) e Cu (1, 2 e 3) apresentaram valores acima dos limites em algumas estações durante o período chuvoso. No período seco, no entanto, nenhum elemento apresentou níveis de alerta em relação ao Conama nos estuários dos rios Una e Pardo. Como os níveis de metais dissolvidos são dinâmicos e mudam em função das condições físico-químicas do meio, estes resultados representam um sinal de alerta para qualidade da água destes ambientes, principalmente no período chuvoso.

No delta do Jequitinhonha, para a água superficial, os elementos quantificados apresentaram valores não detectados ou em conformidade com a legislação vigente.

Para verificação da contaminação e toxicidade em relação aos níveis de metais encontrados no sedimento de fundo e material particulado em suspensão foram utilizados como parâmetro os limites utilizados pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2001) para sedimentos de ambientes de águas salobra/salinas (Tabela 2). O TEL (*Threshold Effect Level*) refere-se ao nível abaixo do qual não ocorre efeito adverso à biota; o PEL (*Probable Effect Level*) é o

nível acima do qual é provável a ocorrência de efeitos adversos aos organismos vivos e a faixa entre o TEL e PEL representa uma possível ocorrência de efeitos nocivos à comunidade biológica. Além disso, os resultados também foram comparados aos critérios adotados pelo Conama Resolução 454/12 (BRASIL. Conama, 2012) que define dois níveis de classificação dos sedimentos de águas salinas e salobras a serem dragadas (Tabela 2): o Nível 1 (N1), que define limiar acima do qual se prevê baixa probabilidade de efeitos adversos à biota, e o Nível 2 (N2), limite acima do qual se prevê um provável efeito adverso à comunidade biológica. Observa-se que os limites utilizados pela CETESB apresentam valores mais rígidos em relação à legislação Conama.

Tabela 2 – Valores máximos de metais ( $\text{mg kg}^{-1}$ ), para período chuvoso (C1) e seco (C2), encontrados nos sedimentos/material particulado em suspensão dos rios Una, Pardo e Jequitinhonha comparados com aqueles encontrados em outros estuários do Brasil; com os limites TEL e PEL; com limites para sedimentos de ambiente salobro/salino utilizados pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo e Nível 1 (N1) e Nível 2 (N2) estabelecidos pelo Conama Resolução n. 454/12 para sedimentos a serem dragados em ambientes de água salobro/salino. Em negrito: os locais, períodos, elementos e valores acima dos limites de qualidade estabelecidos

Local/Limites/Elemento		Fe	Mn	Ni	Cr	Cu	Pb	Cd	Zn
Rio UNA	C1	83.362	791	<b>65,7</b>	<LDM	2,9	<LDM	<LDM	<LDM
	C2	187.281	252	<b>31,2</b>	10,2	<b>29,6</b>	13,2	0,4	46,0
Rio PARDO	C1	30.680	462	<b>87,1</b>	34,1	10,2	19,2	<LDM	<LDM
	C2	74.445	1.146	<b>41,7</b>	<b>75,2</b>	<b>27,1</b>	<b>35,8</b>	<LDM	107,2
Rio JEQUITINHONHA	C1	n.d.	n.d.	13,2	22,9	8,0	13,1	<b>13,5</b>	<LDM
	C2	n.d.	n.d.	5,4	5,4	1,8	1,9	0,5	10,1
Conama 454/12	N1	n.d.	n.d.	20,9	81	34	46,7	1,2	150
	N2	n.d.	n.d.	51,6	370	270	218	9,6	410
Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (2001)	TEL	n.d.	n.d.	15,9	52,3	18,7	30,2	0,7	124
	PEL	n.d.	n.d.	42,8	160	108	112	4,21	271
Rio Paraíba do Sul <sup>1</sup>		72.237	2.141	n.d.	67	68	n.d.	n.d.	286
Rio Paraíba do Sul <sup>2</sup>		71.615	1.250	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	143
Rio Paraguaçu <sup>3</sup>		n.d.	4.130	33,4	10,2	11,6	19,9	0,6	46,6
Rio Subaé <sup>3</sup>		n.d.	6.027	22,3	13,6	38,9	125,0	3,5	212,0

<sup>1</sup>Carvalho e outros (1999); <sup>2</sup>Gonçalves e Carvalho (2006); <sup>3</sup>Hatje e outros (2009).

n.d. = não determinado; <LDM: abaixo do limite de detecção.

Fonte: Elaboração dos autores.

Utilizou-se também como parâmetro, níveis de metais encontrados em outros estuários da costa brasileira. (CARVALHO et al., 1999; GONÇALVES; CARVALHO, 2006; HATJE et al., 2009)

Devido à ausência de uma legislação no Brasil que regulamente os níveis de metais no MPS, neste trabalho, os teores dos metais analisados também foram comparados com os limites estabelecidos pela legislação Conama 344/04, utilizados para amostra de sedimento.

Em relação aos metais no MPS do rio Una, pode-se observar que o Ni apresentou valores acima de todos os limites apresentados no período chuvoso e acima do TEL e N1 do Conama no período seco, indicando níveis de Ni que provavelmente serão prejudiciais para os organismos vivos (Tabela 2). Os demais elementos apresentaram valores abaixo dos limites apresentados pelo Conama e pela CETESB.

Comparando os mesmos valores com o estuário do rio Subaé e do rio Paraguaçu, localizados dentro da Baía de Todos os Santos (BTS), Bahia, e com o estuário do rio Paraíba do Sul, no Rio de Janeiro (CARVALHO et al., 1999; GONÇALVES; CARVALHO, 2006), pode-se considerar o estuário do Una com concentrações semelhantes ao do estuário do rio Paraguaçu, que apresenta concentrações menores de metais que os rios Subaé ou Paraíba do Sul. No entanto, o Ni apresentou teores mais elevados do que o rio Subaé, sendo esse um dos estuários mais poluídos da BTS. (HATJE et al., 2009) A fonte de Ni está associada principalmente aos efluentes industriais; contudo, é recorrente encontrá-lo também em esgotos e lixo domésticos (BAIRD, 2002), sendo esta a possível fonte de contaminação deste elemento no estuário do rio Una, situação que se repete no rio Pardo, em Canavieiras.

O rio Pardo possui uma alta variabilidade nas concentrações dos metais, alcançando índices de degradação maiores do que no estuário do rio Subaé para o Ni durante os dois períodos de coleta e maior do que no estuário do rio Paraíba do Sul para o Cr, em C2 (Tabela 2). Em relação aos limites da legislação, o Ni apresentou níveis acima de todos os limites estabelecidos para o MPS, em ambos os períodos de coleta. Os elementos Cr, Cu e Pb no MPS estiveram abaixo dos limites estabelecidos pelo Conama (454/12), no entanto, quando os mesmos valores foram comparados com os limites utilizados pela Companhia Ambiental

do Estado de São Paulo (2001), alguns pontos indicaram possível ocorrência de efeitos nocivos à biota deste ambiente no período seco.

No rio Jequitinhonha, nos metais determinados no MPS da C<sub>1</sub>, o Ni foi encontrado pontualmente na área de estudo e, nestas estações (1, 4, 8 e 10), os resultados estiveram acima do Nível 2 (N<sub>2</sub>) e na estação 6, acima do Nível 1 (N<sub>1</sub>), do Conama (454/12) (Tabela 2). O Cu apresentou valor acima do N<sub>1</sub>, apenas na estação 10. No período seco, o Ni apresentou valores acima de N<sub>1</sub> nas estações 3, 6, 7, 8, 10 e a estação 4 indicou níveis acima do N<sub>2</sub> para os metais Ni e Cr e do N<sub>1</sub> para o Cu. Os demais elementos encontrados apresentaram valores abaixo do estabelecidos pela legislação sem riscos para biota.

Apesar de se apresentar como um ambiente visualmente não impactado, sem a presença de grandes indústrias ou cidades, a situação da área de estudo não representa as condições naturais deste ambiente, visto que se trata de uma área com alta variabilidade nas concentrações dos metais e que os mesmos, quando comparados com outras regiões conhecidamente mais poluídas, apresentam concentrações maiores ou próximas. O estuário do rio Subaé, por exemplo, estudado por Hatje et al. (2009), sofre com a presença de um complexo industrial e petrolífero instalados em suas imediações e exibiu índices menores do que as encontradas neste estudo.

No delta do rio Jequitinhonha, as concentrações de Cd no sedimento apresentaram valores acima do estabelecido pela Resolução n. 454/12 do Conama. Este elemento é encontrado naturalmente em solos e rios em baixas concentrações, mas seus níveis vêm aumentando em função de seus diversos usos (baterias, tintas, indústrias de plásticos e ligas metálicas). (BAIRD, 2002) Além disso, a presença do Cd pode ser relacionada a atividades agrícolas desenvolvidas na região, através do uso de fertilizantes e produtos químicos. (STIGLIANI; ANDENBERG, 1992; ZOURARAH; MAANAM; ROBIN, 2009)

Para os estuários dos rios Una e Pardo e para os demais elementos estudados no delta do rio Jequitinhonha, o sedimento encontrou-se em bom estado de conservação, com todos os valores abaixo dos limites estabelecidos pela legislação e não implicou ameaça à vida dos organismos destes ambientes.

## Considerações finais

Os resultados revelaram semelhanças e peculiaridade nas condições físico-químicas e nos níveis de metais nas três áreas de estudo. Os metais dissolvidos foram semelhantes, com menor abundância no período seco (C2) e maiores concentrações no período chuvoso (C1), possivelmente devido à entrada de metais pela lixiviação dos solos, manguezais e da área urbana e pelas condições de pH mais baixos neste período, que permitiu a presença de íons dissolvidos na água. Pode-se sugerir, portanto, que há uma diminuição na qualidade da água durante os períodos de maior precipitação e de maior fluxo de água pelos rios.

No material particulado, Fe e Mn foram os principais elementos encontrados e influenciaram a distribuição dos metais através da coprecipitação pela formação de óxidos e hidróxidos de Fe e Mn. As concentrações de Ni foram elevadas no MPS em todas as áreas de estudo. Diferente do comportamento observado nos metais dissolvidos, as maiores concentrações de metais associados ao MPS foram encontradas durante o período seco, onde as condições básicas auxiliaram na adsorção dos metais ao material em suspensão. No entanto, existe uma grande variabilidade na distribuição destes metais e picos de concentração, indicando possíveis fontes de contaminação não identificadas.

As concentrações de metais nos sedimentos de fundo de canal não exibiram padrões entre os rios. Em Una, foram mais elevados no período seco, associados aos elementos Fe e Mn, carreadores preferenciais dos metais neste período. No estuário do rio Pardo, as maiores concentrações ocorreram no período chuvoso, com forte correspondência das concentrações dos metais com a granulometria e com a matéria orgânica do sedimento, além dos elementos Fe e Mn, conforme comprovado por Escobar (2013). No delta do rio Jequitinhonha, os valores máximos foram encontrados também no período chuvoso, consistentes com os padrões de sedimentos e com o teor de matéria orgânica (vide mesma referência anterior).

Por fim, visto que as concentrações dos metais no MPS foram maiores que nos sedimentos de fundo e dissolvidos, pode-se inferir que o transporte de metais para áreas adjacentes ocorre majoritariamente através dos metais adsorvidos ao MPS.

Figura 1 – Metais dissolvidos ( $\text{mg L}^{-1}$ ) em água (AG) ao longo do estuário do rio Una durante o período chuvoso (C1) e período seco (C2). A linha horizontal nos gráficos de Fe e Ni representa o limite da Resolução Conama 357/05 para águas salobras Classe 1

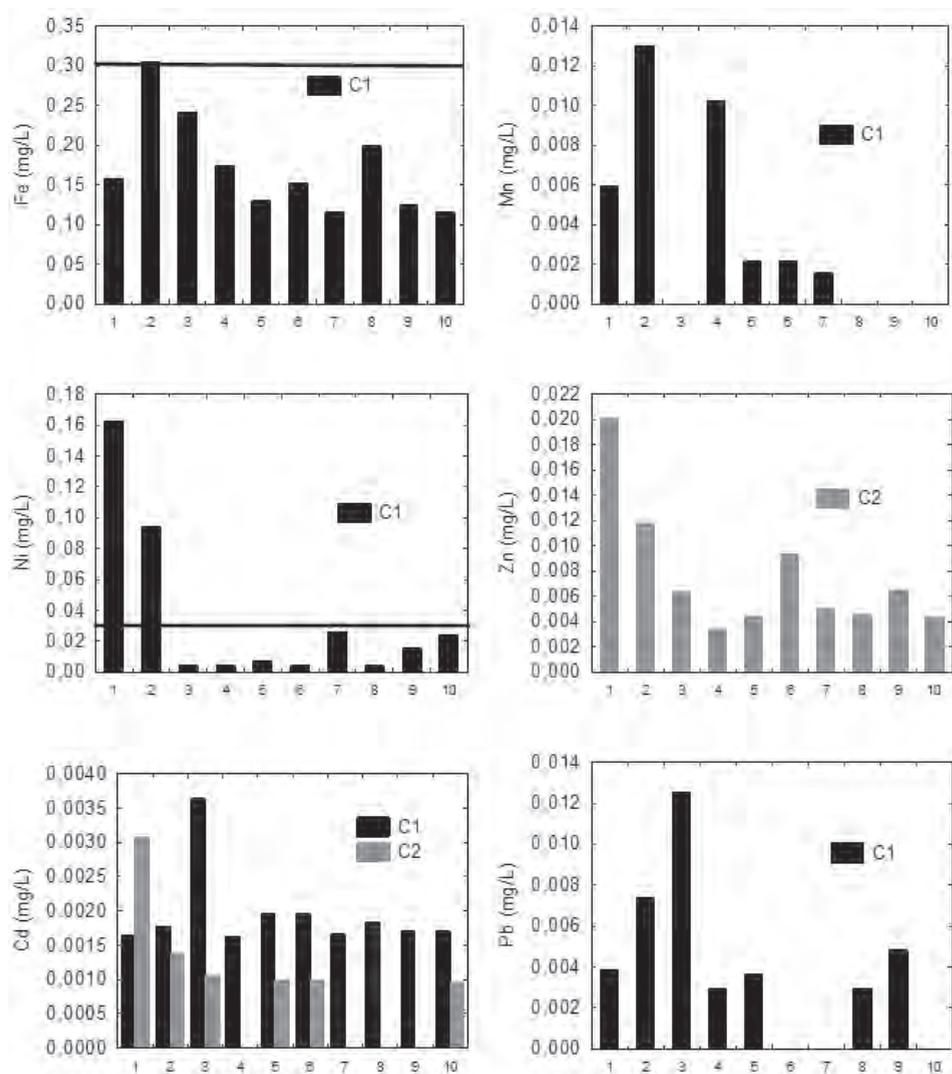


Figura 2 – Metais dissolvidos (mg L<sup>-1</sup>) em água (AG) ao longo do estuário do rio Pardo durante o período chuvoso (C1) e período seco (C2). A linha horizontal nos gráficos de Fe, Ni e Cu representa o limite da Resolução Conama 357/05 para águas salobras Classe 1

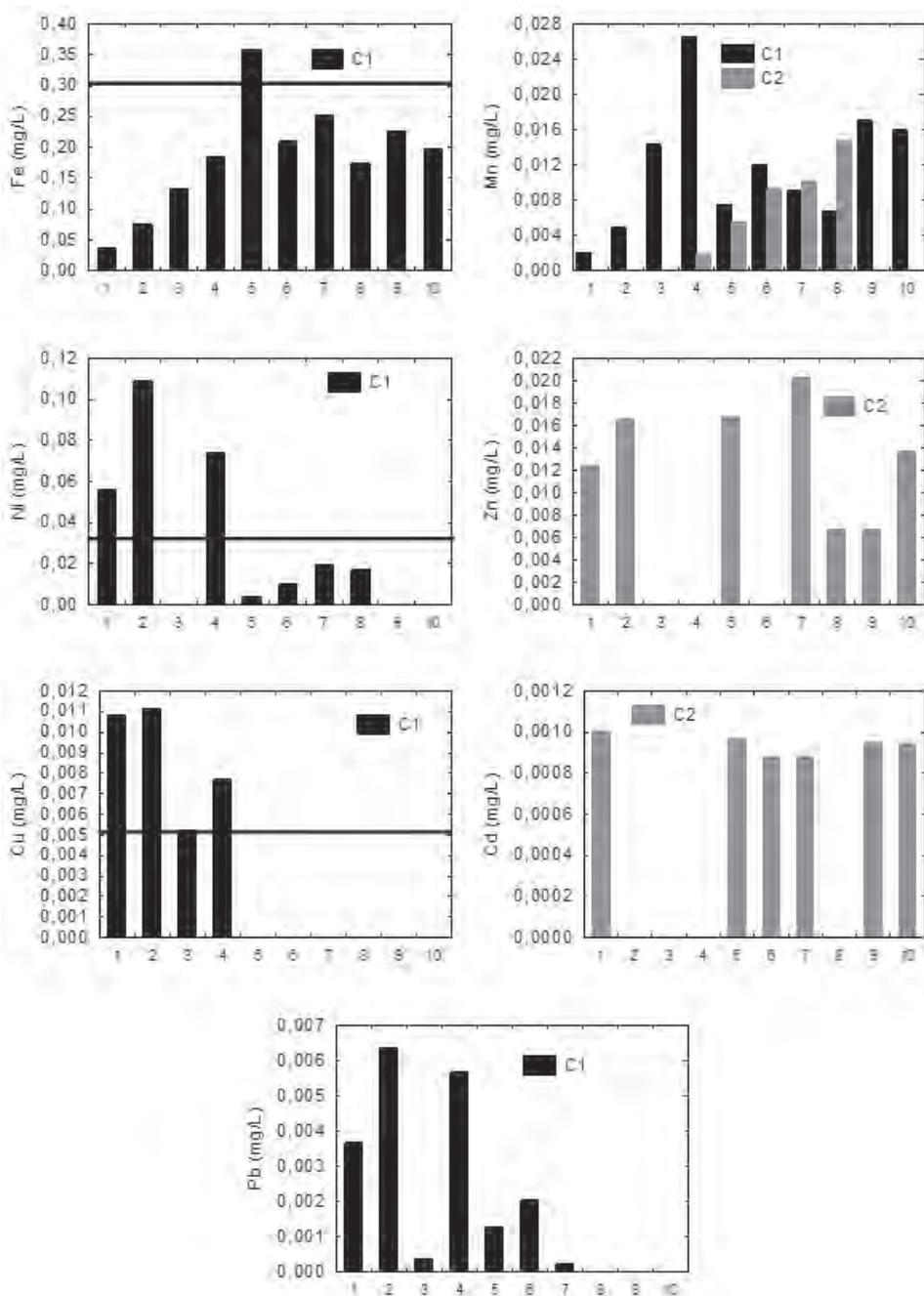


Figura 3 – Metais dissolvidos ( $\text{mg L}^{-1}$ ) em água (AG) ao longo do estuário do rio Jequitinhonha durante o período chuvoso (C1) e período seco (C2). A linha horizontal nos gráficos de Fe, Cd e Pb representa o limite da Resolução Conama 357/05 para águas doces Classe 1

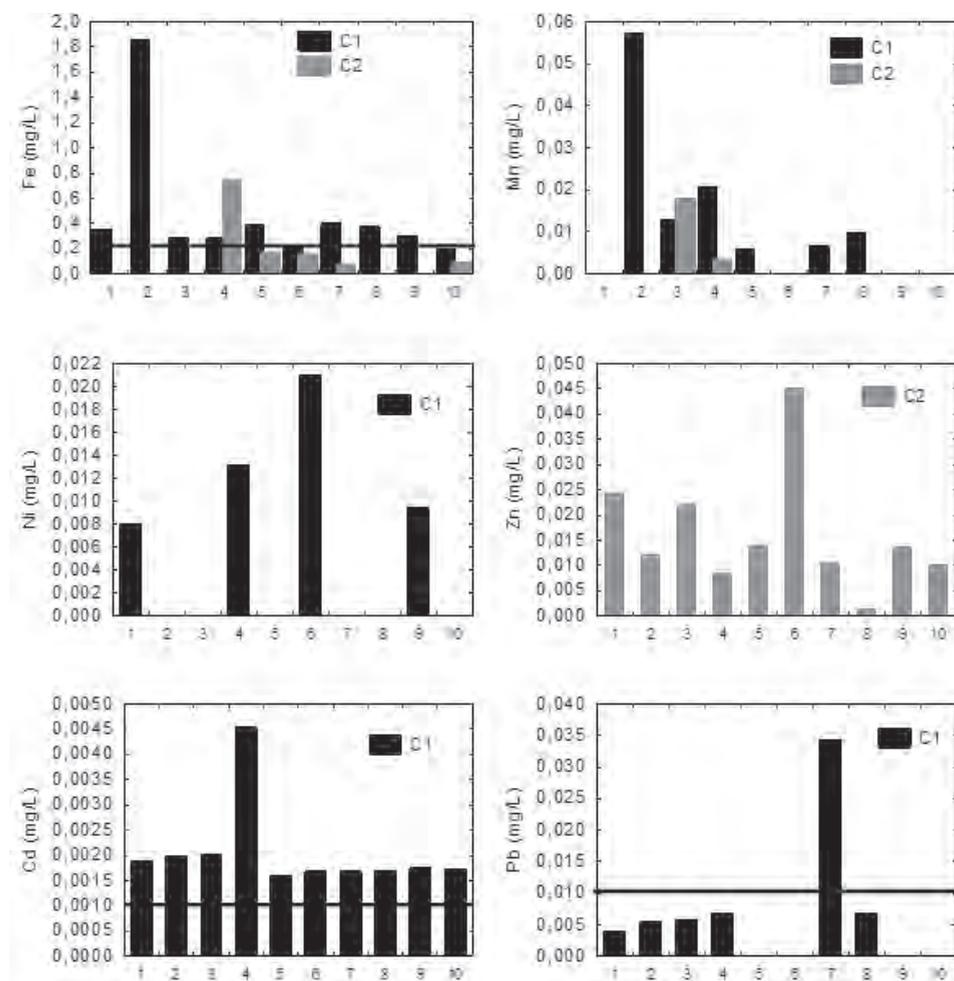


Figura 4 – Metais ( $\text{mg L}^{-1}$ ) em material particulado em suspensão (MPS) ao longo do estuário do rio Una durante o período chuvoso (C1) e período seco (C2). A linha horizontal no gráfico de Ni representa o limite da Resolução Conama 454/12 (BRASIL, Conama, 2012) para sedimentos de dragagem em ambientes de águas salobras

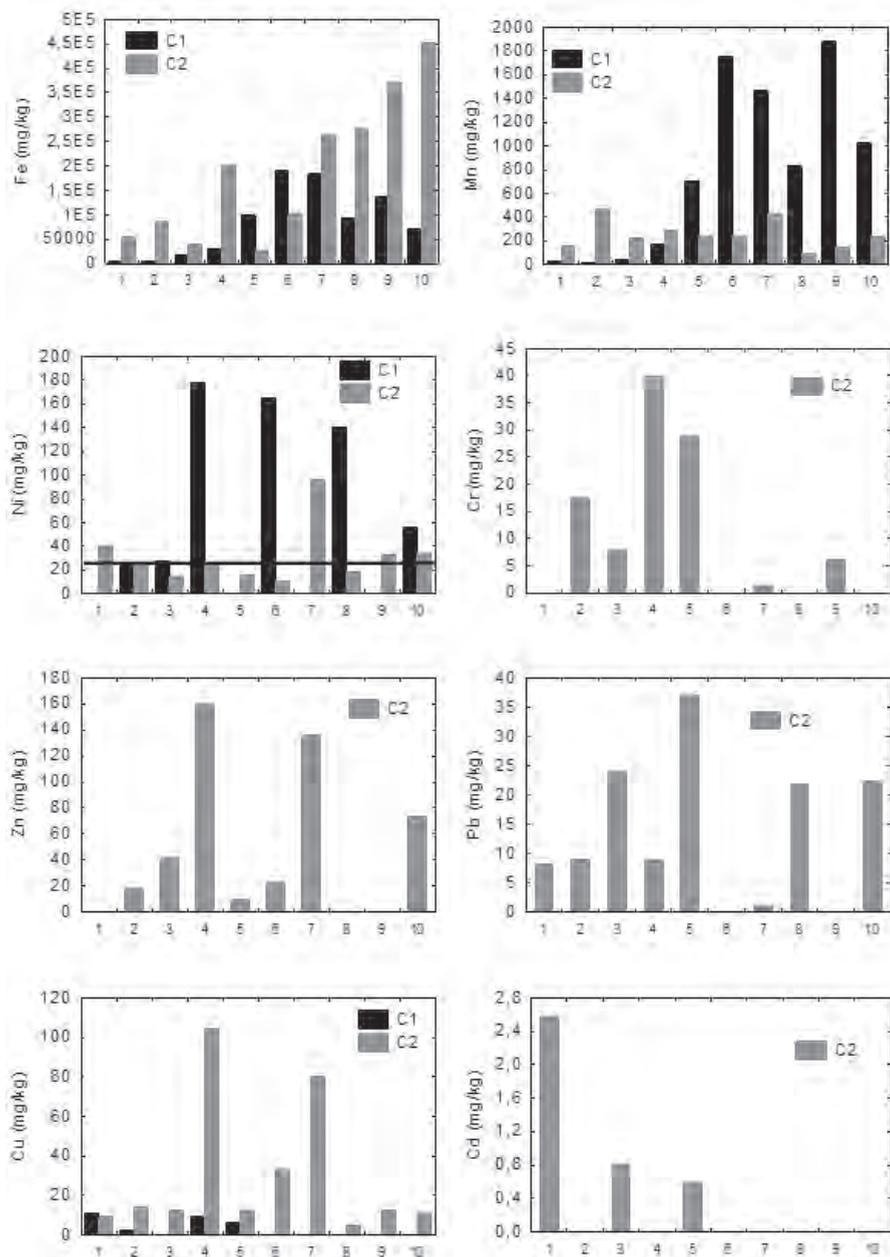


Figura 5 – Metais ( $\text{mg L}^{-1}$ ) em material particulado em suspensão (MPS) ao longo do estuário do rio Pardo durante o período chuvoso (C1) e período seco (C2). A linha horizontal no gráfico de Ni representa o limite da Resolução Conama 344/04 para sedimentos de dragagem em ambientes de águas salobras

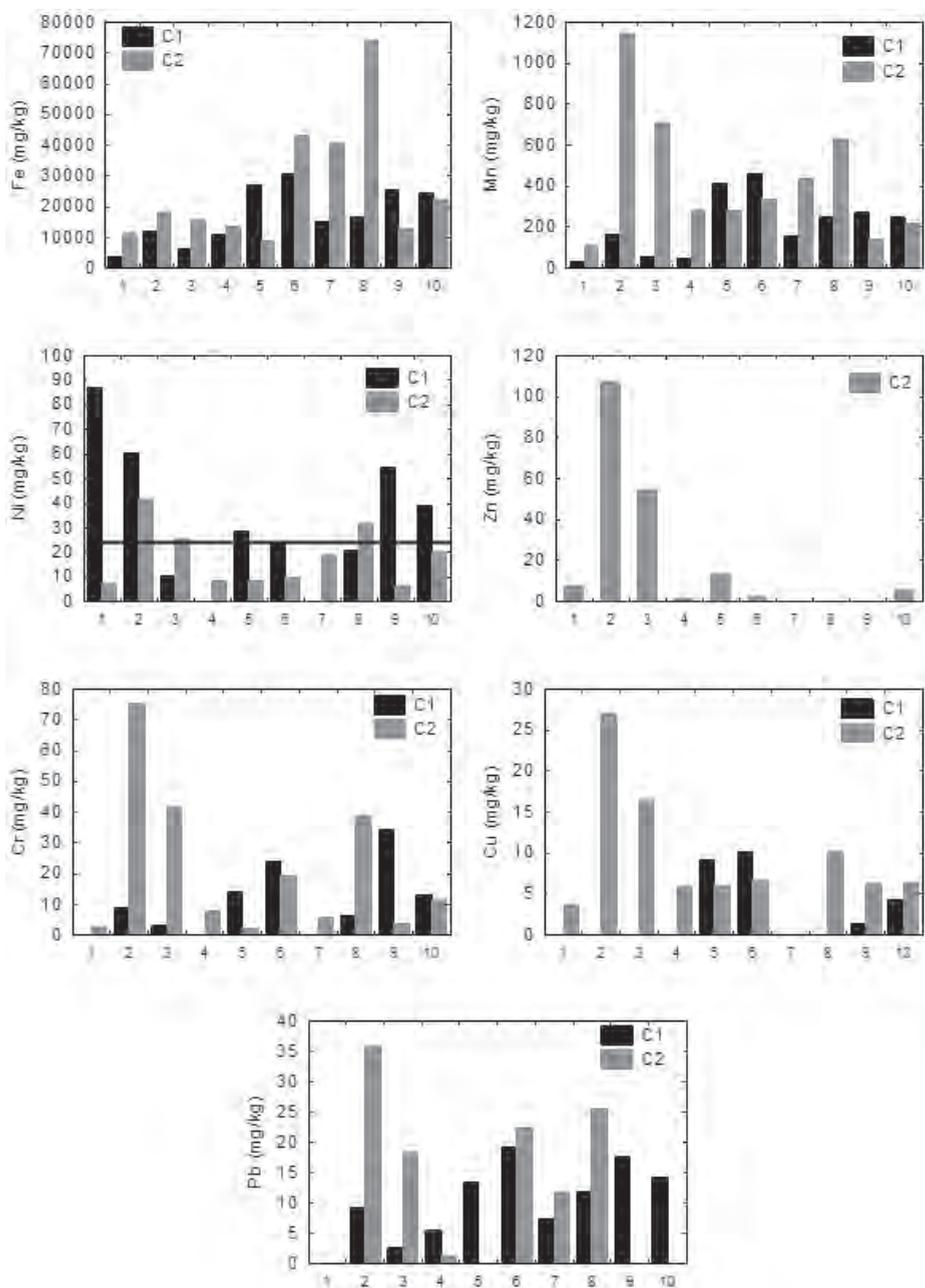


Figura 6 – Metais (mg L<sup>-1</sup>) em material particulado em suspensão (MPS) ao longo do delta do rio Jequitinhonha durante o período chuvoso (C1) e período seco (C2). A linha horizontal nos gráficos de Ni, Cr e Cu representa o limite da Resolução Conama 344/04 para sedimentos de dragagem em ambientes de águas doces

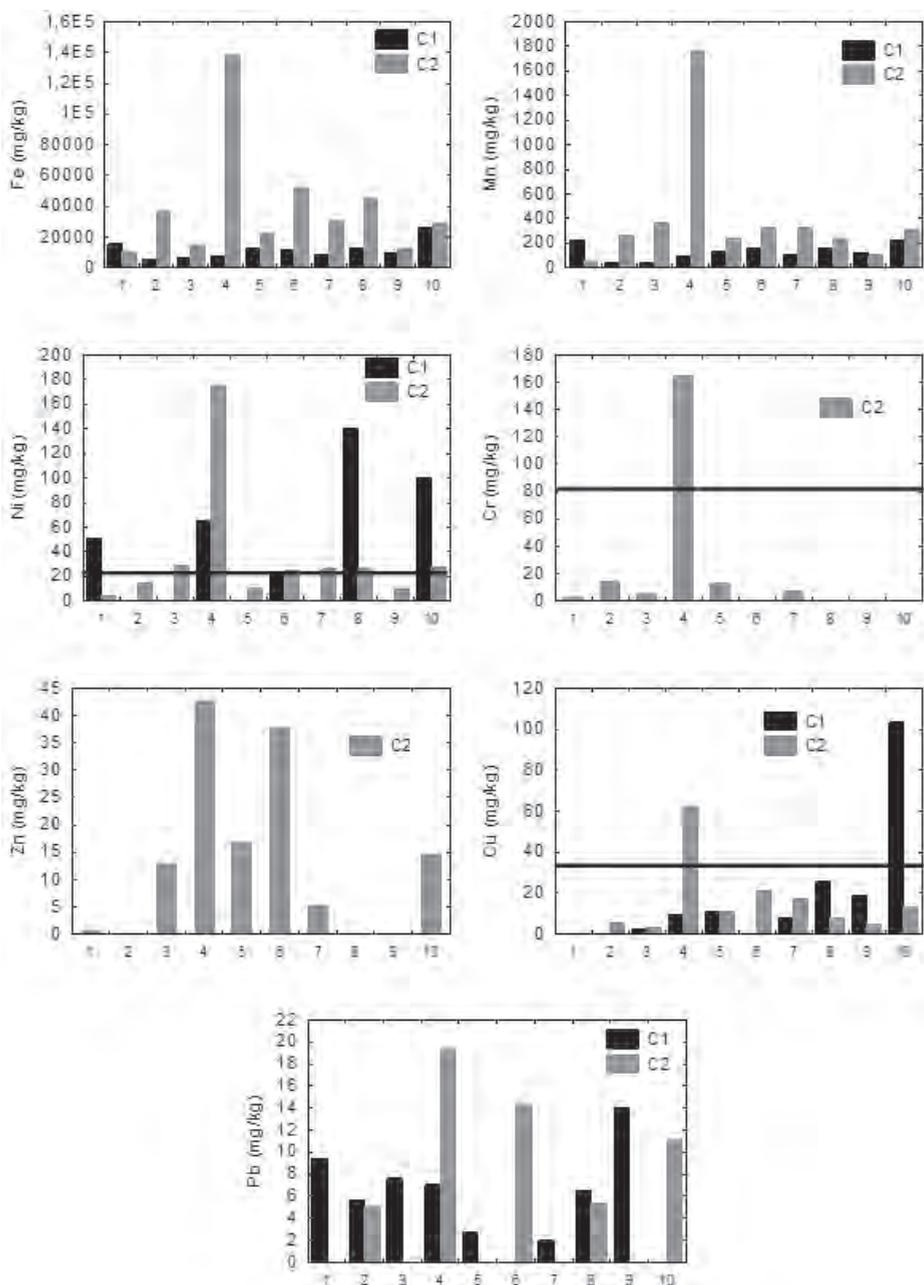


Figura 7 – Metais ( $\text{mg L}^{-1}$ ) em sedimentos de fundo do canal ao longo do rio Una durante o período chuvoso (C1) e período seco (C2)

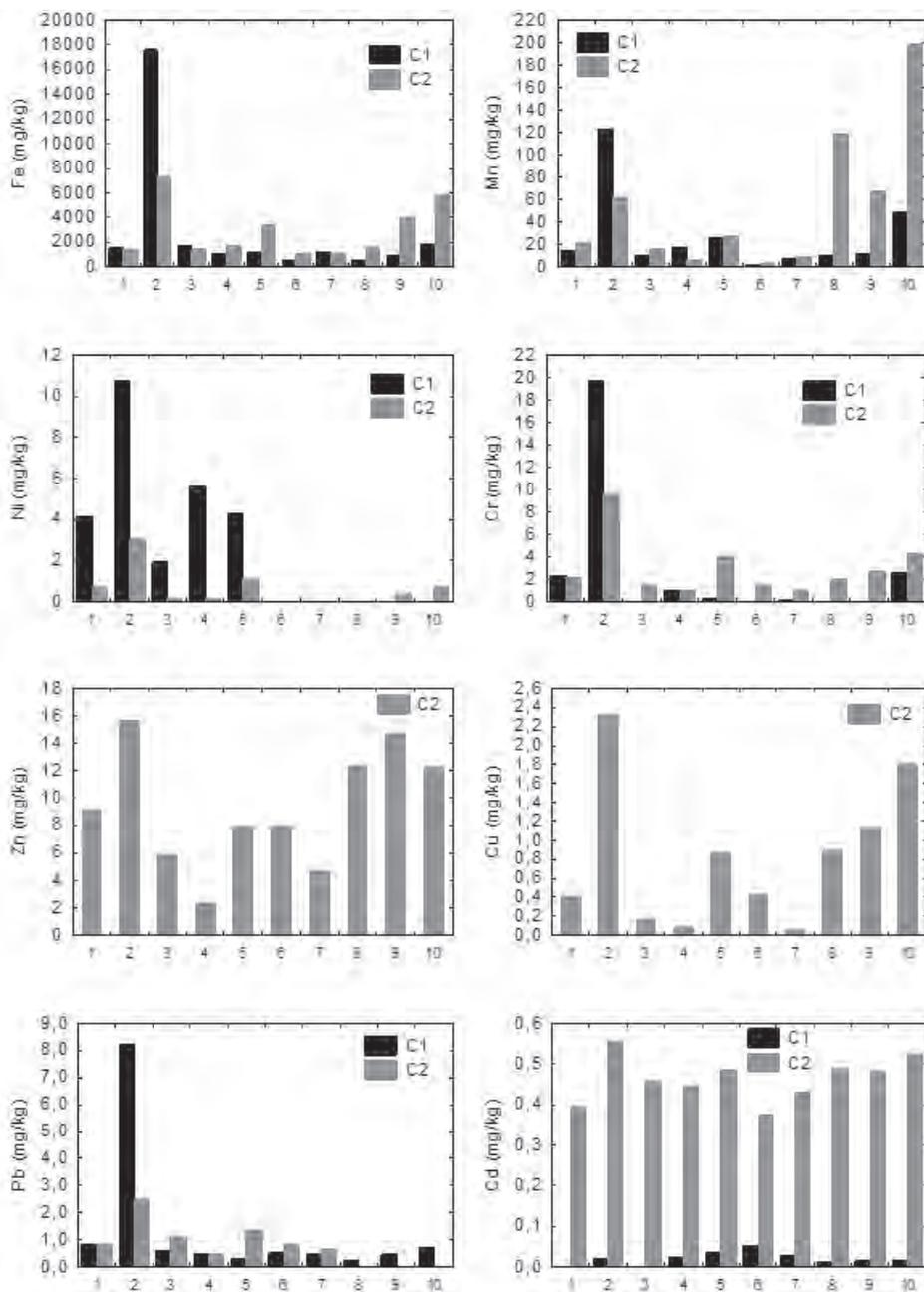


Figura 8 – Metais ( $\text{mg L}^{-1}$ ) em sedimentos de fundo do canal ao longo do rio Pardo durante o período chuvoso (C1) e período seco (C2)

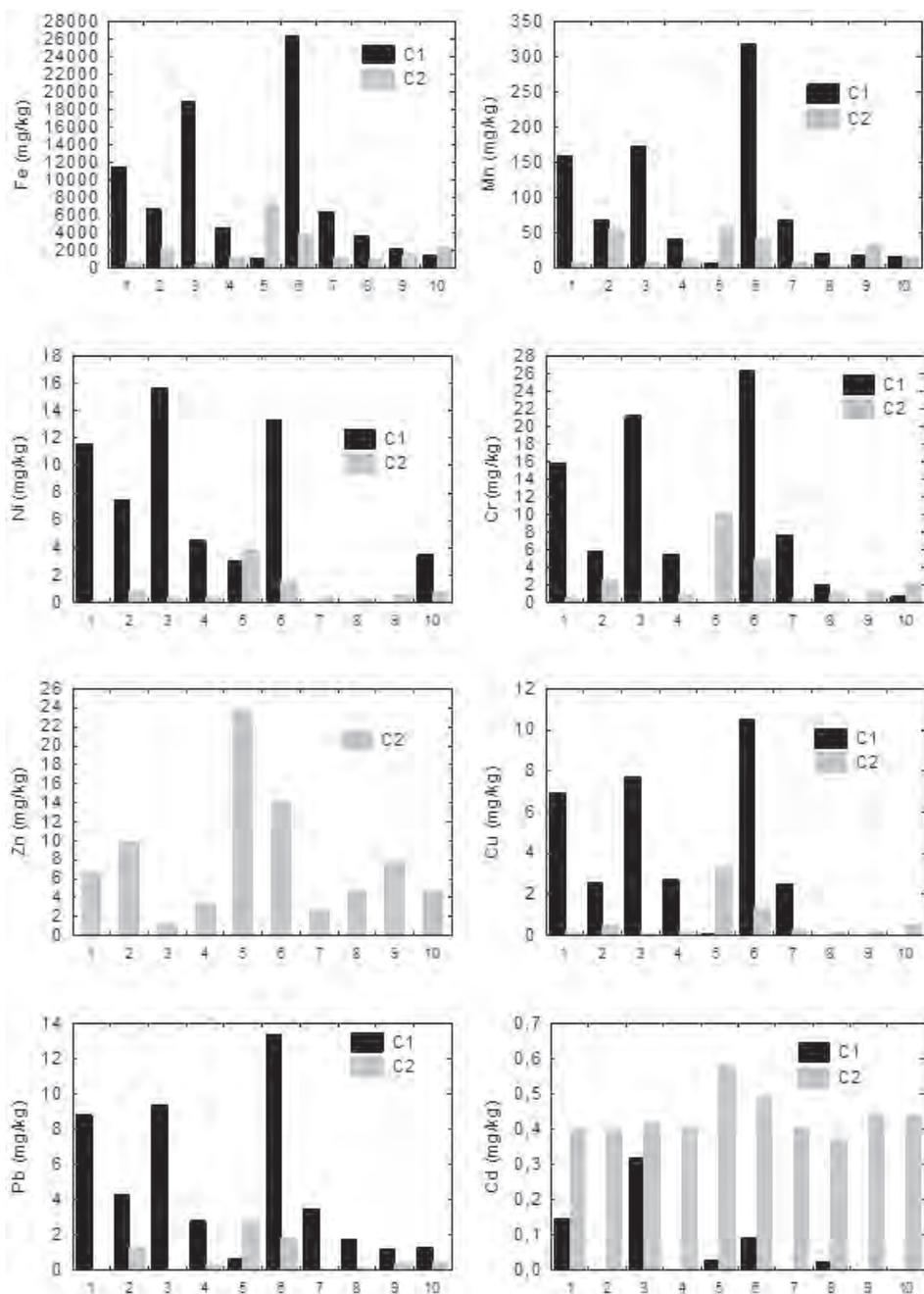
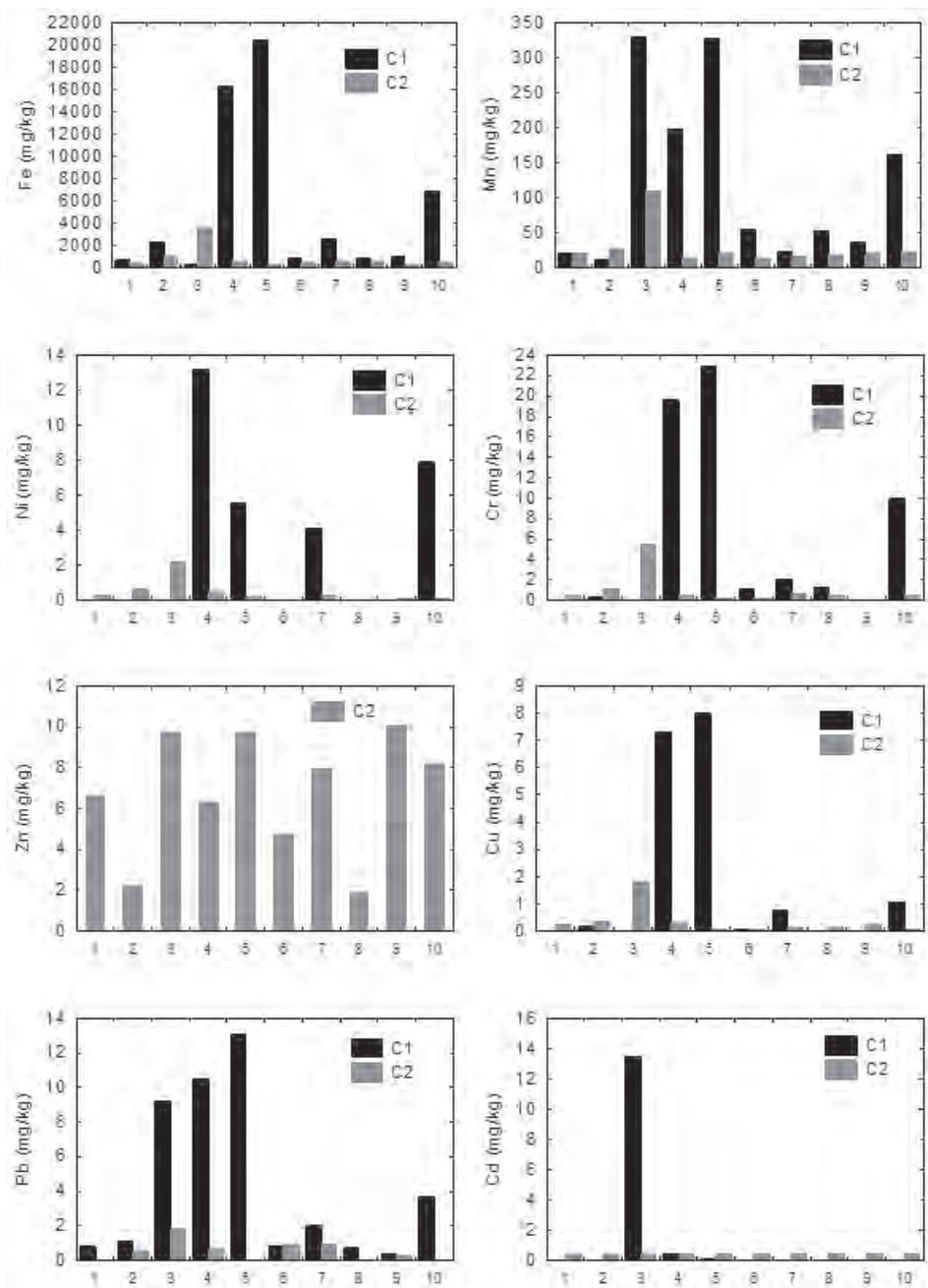


Figura 9 – Metais (mg L<sup>-1</sup>) em sedimentos de fundo do canal ao longo do delta do rio Jequitinhonha durante o período chuvoso (C1) e período seco (C2)



# **Índices de acumulação de metais e avaliação de riscos ecológicos dos sedimentos de manguezais do sul da Bahia**

---

Ícaro Thiago Andrade Moreira  
Olivia Maria Cordeiro de Oliveira  
Gisele Mara Hadlich  
Carine Santana Silva  
Lucas Medeiros Guimarães  
Taís Sousa Pereira

## **Introdução**

Os sedimentos têm sido usados como uma ferramenta importante para avaliar o estado de saúde dos ecossistemas aquáticos (BIRCH; TAYLOR; MATTHAI, 2001) e são um componente integral para o funcionamento de integridade ecológica. Sua qualidade é, muitas vezes, um indicador de contaminação de águas estuarinas, que pode manifestar variações de diferentes poluentes. Os sedimentos fornecem um local para a ocorrência dos ciclos biogeoquímicos e de fonte de matéria orgânica para a cadeia alimentar (BURTON; BAUDOR; ROWLAND, 2001), pois funcionam como dissipador de matéria orgânica, bem como de elementos inorgânicos (como metais), podendo fornecer um histórico da entrada de componentes de origem antropogênica e mudanças ambientais. (SANTOS

BERMEJO; BELTRÁN; GÓMEZ ARIZA, 2003; SHOMAR; MÜLLER; YAHYA, 2005) Os metais entram nos ecossistemas aquáticos através de fontes pontuais, como efluentes de águas residuais industriais, municipais e domésticas, bem como fontes difusas que incluem o escoamento superficial, erosão e deposição atmosférica.

A contaminação de sedimentos com metais é um problema mundial (FERNANDES et al., 2008; KUCUKSEZGIN; ULUTURHAN; BATKI, 2008) e é considerada uma ameaça para o ecossistema aquático devido à sua toxicidade, persistência, onipresença na natureza e capacidade de bioacumular na cadeia alimentar. (DUMAN; AKSOY; DEMIREZEN, 2007)

Vários estudos têm relatado as avaliações de qualidade de sedimentos, distribuição e contaminação de metais e quantificação da carga de poluição em sedimentos de diferentes rios (HATJE; BARROS, 2012; KARBASSI et al., 2008; LIN et al., 2008; SALATI; MOORE, 2010; SINGH et al., 2005; SINGH; SINGH; MOHAN, 2005; VIGANÒ et al., 2003) pelo uso de diferentes índices ou fatores.

O Fator de enriquecimento normalizado (SALATI; MOORE, 2010; SELVARAJ; RAM MOHAN; SZEFER, 2004) envolve a normalização do sedimento em relação a elementos de referência, tais como Al, Fe (ACEVEDO-FIGUEROA; JIMÉNEZ; RODRIGUEZ-SIERRA, 2006, AMIN et al.; 2009, HUANG; LIN, 2003; KARBASSI et al., 2008), Mn, Ti e Sc (SALATI; MOORE, 2010) e Li e Cs. (PEREIRA et al., 2007) A normalização geoquímica também foi usada para calcular o enriquecimento e para reduzir a variabilidade do metal causada pelo tamanho do grão e a mineralogia dos sedimentos. (ZHANG; SHAN, 2008) O elemento ferro (Fe) é utilizado como referência para calcular os enriquecimentos de metal antropogênicos, conforme descrito por Loskae outros (1997) (Equação 1).

$$FE = (C_x / C_{FE} - amostra) / (C_x / C_{FE} - amostra de fundo) \quad (\text{Equação 1})$$

onde:  $(C_x / C_{FE} - amostra)$  = relação da concentração do elemento de interesse ( $C_x$ ) e a de Fe ( $C_{FE}$ ) na amostra de sedimento ( $\mu\text{g g}^{-1}$  de peso seco);  $(C_x / C_{FE} - amostra de fundo)$  = mesma proporção de uma amostra de referência não poluída.

O índice de geoacumulação, desenvolvido por Müller (1979), é dado pela Equação 2. Esse índice é amplamente utilizado em estudos de rastreamento de metal de sedimentos e solos. (AMIN et al., 2009; SINGH; SINGH; MOHAN, 2005)

$$I_{geo} = (\log_2 C_n / 1.5B_n) \quad (\text{Equação 2})$$

onde:  $C_n$  = concentração do metal examinado no sedimento;  $B_n$  = valor de fundo de um dado geoquímico do metal; fator 1,5 = usado para contabilizar as possíveis variações nos valores de fundo.

O Índice de poluição por metais abrange todos os metais analisados em um estudo e é calculado com base em Usero, Gonzalez-Regalado e Gracia (1997) usando a Equação 3.

$$IPM_n = (Cf_1 \times Cf_2 \times Cf_3 \times \dots \times Cf_n)^{1/n} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde  $Cf_n$  é a concentração do n metal na amostra.

Sedimentos têm sido amplamente estudados visando avaliar impactos antrópicos sobre o ecossistema manguezal (SAYADI; SAYYED; KUMAR, 2010), como na Baía de Todos os Santos, na Bahia (FALCÃO, 2012; HATJE et al., 2009; JESUS, 2011; MILAZZO, 2011; SANTOS, L. O., 2013; SANTOS, L. M., 2013; SILVA, M., 2012), que citam diversos autores, inclusive utilizando índices para avaliar a qualidade dos sedimentos. (BOAVENTURA, 2011; BOAVENTURA; HADLICH; CELINO, 2011)

Entretanto, a avaliação de sedimentos de manguezais tem sido pouco investigada em estuários do sul da Bahia e não há informações disponíveis para os rios Una, Pardo e Jequitinhonha. Estuários nessa região podem se tornar sujeitos à contaminação por metais devido a um rápido aumento da população e assentamentos humanos não planejados em sua área de influência, a atividades petrolíferas, a despejo de resíduos sólidos e descarga direta e/ou indireta de efluentes domésticos não tratados, entre outros.

Este capítulo apresenta os resultados obtidos a partir da quantificação de metais em sedimentos de manguezais dos rios Una, Pardo e Jequitinhonha, avaliando sua acumulação por diferentes índices (Fator de enriquecimento, Índice de geoacumulação e Índice de poluição por metais) e analisando o risco ecológico de sedimentos usando diretrizes de qualidade de sedimentos e índices ecotoxicológicos (ERL, ERM, TEL e PEL).

## **Materiais e métodos**

Seis pontos de amostragem de sedimentos foram selecionados nos manguezais dos rios Una, Jequitinhonha e Pardo, conforme descrito no Capítulo 2. Esses pontos de amostragem foram selecionados com base em coletas de amostras representativas, buscando cobrir uniformemente os manguezais e de forma a melhor representar as possíveis fontes de contaminação antropogênica, para que uma avaliação global dos impactos no sedimento pudesse ser efetivamente realizada.

Foram realizadas duas campanhas de coleta de sedimentos, uma em período denominado “chuvoso” (C<sub>3</sub>, out/2012) e outra em período “seco” (C<sub>4</sub>, maio/2013), conforme explicitado no Capítulo 3.

Ao todo, foram coletadas 108 amostras de sedimentos superficiais (0-5 cm) haja vista que foram coletados 36 pontos amostrais em triplicata.

Os procedimentos de coleta e análise dos sedimentos estão descritos no Capítulo 2. Foram determinadas as concentrações de Cr, Ba, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, V e Zn.

O Fator de enriquecimento normalizado (FE) foi aplicado (SALATI; MOORE, 2010) utilizando o elemento ferro como normalizador. A menor concentração média de metais relatados neste estudo foi utilizada como valores de *background*. Com base nos valores do FE, todos os sítios foram classificados em seis classes principais. (BIRCH; OLMOS, 2008)

Foram calculados ainda o Índice de geoacumulação (Igeo) e o Índice de poluição por metais (IPM).

## **Resultados e discussões**

Os valores de metais obtidos para os sedimentos nos diferentes manguezais constam na Tabela 1.

As concentrações dos metais foram significativamente diferentes entre os períodos seco e chuvoso ( $p \leq 0,05$ ) e maiores em locais amostrados no manguezal do rio Una nas proximidades de áreas semiurbanas, com atividades antrópicas. As concentrações de metais durante o período chuvoso (C<sub>3</sub>) e seco (C<sub>4</sub>) em amostras de sedimento seguiram a ordem: Fe > Zn > V > Ba > Cr > Cu > Ni > Pb > Cd.

Em C<sub>3</sub>, as concentrações de todos os metais foram menores, o que sugere diluição decorrente da mistura de águas fluviomarinhas e pluviais que atingem os manguezais. (COLLVIN, 1985) Em contrapartida, a maior concentração desses metais na estação seca em amostras de sedimentos pode ser atribuída à diminuição do nível da água e da condição de menor pluviosidade. (GUPTA et al., 2009)

Análises de granulometria das amostras indicam que as maiores concentrações de metais são geralmente encontradas em áreas com maior proporção de sedimentos de grãos finos, como os encontrados no estuário do rio Una, especialmente na foz do rio.

No rio Pardo, uma zona de deposição central com materiais finos formam floculados pela “agregação” de sedimentos em suspensão com matéria orgânica. Tem-se observado que a floculação provoca a deposição de partículas em suspensão e, conseqüentemente, aumenta substancialmente as concentrações de metais nos sedimentos. (ZHANG et al., 2009)

Existe uma correlação positiva entre concentração de metais e o tamanho médio de grão de sedimentos, sendo que o tamanho do grão é um dos fatores importantes que afetam a concentração de vestígios de metais em sedimentos estuarinos. Os sedimentos finos tendem a ter concentração de metais relativamente elevadas devido a uma maior área de superfície específica, atração iônica, complexação inorgânica ou orgânica, e precipitação desses materiais. (ZHANG; SHAN, 2009) A distribuição espacial dos metais traço e de granulação fina (argila + silte) em sedimentos nos estuários geralmente exibiram padrões similares. Os metais traços mostraram correlação positiva com os teores de argila e silte e negativa com o teor de areia no rio Jequitinhonha. Os dados mostraram que os metais Fe, Zn, V, Ba, Cr, Cu, Ni, Pb e Cd tendem a se acumular em partículas finas que podem ser um importante agente transportador desses metais de rios no sul da Bahia. Essas relações são consistentes no que se refere às associações de metais traço em sedimentos coletados em estuários, ambientes costeiros e de plataforma. (AMANO et al., 2011; FANG et al., 2009; NOLTING; RAMKEMA; EVERAARTS, 1999; YUAN et al., 2012; ZHOU; PENG; PAN, 2004) Portanto, é razoável supor que a origem de sedimentos, o transporte hidrodinâmico e mecanismos de deposição de sedimentos de granulação fina, sejam os fatores dominantes no controle do transporte e destino de metais traço nos estuários do sul da Bahia.

### **Fator de enriquecimento (FE)**

Uma comparação de concentração de metais em sedimentos com valores de *background* é geralmente utilizada para avaliar enriquecimento de metais. (TUNA et al., 2007)

Os valores médios de FE de Ba, Cd, Cr, Cu, Ni e V foram maiores no período seco e seguiram a ordem: Cd > V > Cu > Ni > Cr > Ba. Na estação chuvosa, os maiores valores médios do FE foram de Mn, Pb e Zn e seguiram a ordem: Mn > Zn > Pb (Tabela 2). Este comportamento, entretanto, não é semelhante nos manguezais de todos os rios estudados.

Nos manguezais dos rios Una e Pardo, destacam-se os FEs superiores a 1,00 do Cd e do V (sobretudo em período seco), do Cr, do Ba, do Cu e do Ni, também maiores no período seco.

Pb e Zn aparecem com maior enriquecimento nos manguezais do rio Pardo, tanto em C4 quanto em C3, indicando um maior enriquecimento em metais traço nos manguezais deste rio.

No caso do Mn, os resultados sugerem que maiores valores FE podem ser atribuídos ao escoamento superficial (BOXALL et al., 2000) e à entrada de resíduos orgânicos associados a esgotos urbanos e resíduos sólidos (ALAGARSAMY, 1991), o que justifica, inclusive, uma maior concentração em período chuvoso, notadamente para o rio Una (Tabela 2).

Metais como o Mn, Cu, Zn e Pb têm uma elevada afinidade para as substâncias húmicas presentes na matéria orgânica. A quantidade de matéria orgânica pode influenciar a ligação de metais dentro dos sedimentos e reduzir a adsorção de Cd (mais notada em C3), bem como o aumento da adsorção de Mn. Esse metal tem sido associado a uma maior extensão, com materiais coloidais do escoamento superficial que podem ser facilmente transportados nos fluxos de rio. (MAKEPEACE; SMITH; STANLEY, 1995; PRAVEENA et al., 2007; PRIJU; NARAYANA, 2006; SAYADI; SAYYED; KUMAR, 2010; TOMLINSON et al., 1980; WAKIDA et al., 2008)

Já nos manguezais do rio Jequitinhonha não foi verificado enriquecimento em Mn, Ni e Pb e, somente no ponto 5, o FE apresenta valores superiores a 1,00 para o Cr, V e Zn, e nos pontos 5 e 6 para o Ba. Para o Cd, o enriquecimento é verificado somente no período seco (C4) e para o Cu nos dois períodos (C3 e C4). Os manguezais do rio Jequitinhonha foram os que apresentaram os menores valores dentre os metais analisados, comparando com os manguezais dos outros rios.

Neste estudo, o FE calculado para os diferentes metais indicou que a acumulação de metal ocorre tanto por fontes naturais como fontes antropogênicas.

### **Índice de geoacumulação ( $I_{geo}$ )**

Os valores de  $I_{geo}$  foram utilizados para explicar a qualidade do sedimento (KARBASSI et al., 2008); no entanto, o  $I_{geo}$  não é facilmente comparável com os outros índices de enriquecimento de metal, devido à natureza do cálculo  $I_{geo}$ , que envolve uma função *log*, com multiplicação de 1,5. (ABRAHIM; PARKER, 2008) O  $I_{geo}$  dos locais estudados durante C3 e C4 são apresentados nas Tabelas 3 (valores) e 4 (classes de valores).

Os valores  $I_{geo}$  de Ni, Pb e Zn, nos manguezais do rio Una, indicaram que não houve geoacumulação; em Ba, Cr e Cu ocorreu acumulação somente no ponto 6. Os metais que apresentaram maior geoacumulação foram o Cd em C4 (período seco) e o Mn (em C3), coincidindo com a análise feita pelo FE.

Entretanto, para os manguezais do rio Pardo, ao contrário do FE, o  $I_{geo}$  indicou baixa (Cd, Ni, V) ou nenhuma (Ba, Cr, Cu, Fe) geoacumulação para os metais avaliados, excetuando-se somente o Mn e, em menor proporção, o Pb e o Zn.

Nos manguezais do rio Jequitinhonha, todos os valores indicaram moderada a forte acumulação, situação contrária à identificada pelo FE. Esses maiores valores de  $I_{geo}$  podem ser explicados pelos menores valores de *background* utilizados para este rio neste estudo.

### **Índice de poluição por metais (IMP)**

Os valores de IMP, reunindo os metais analisados, para os períodos C3 e C4, constam na Tabela 5.

Os maiores valores foram encontrados para os manguezais dos rios Una e Pardo, confirmando o que foi identificado pelo FE. Destaca-se o ponto 6 no rio Una, com os maiores valores de todos os calculados.

### **Qualidade dos sedimentos**

As concentrações de metais têm sido cada vez mais utilizadas na avaliação do estado ecológico dos ambientes aquáticos, porém o mais importante é saber se representam riscos de toxicidade aos organismos vivos e riscos de entrada dos

metais na cadeia alimentar. (BIRCH; TAYLOR, 1999) As diretrizes de qualidade de sedimentos (SQGs), assim como no Capítulo 4, foram utilizadas para avaliar a qualidade dos sedimentos de manguezais, a fim de proteger os organismos vivos que vivem dentro ou perto de sedimentos. (VIOLINTZIS; ARDITSOGLU; VOUTSA, 2009)

Para avaliar as possíveis consequências ambientais de metais estudados, a comparação foi feita com concentrações de Cd, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn medidos nos sedimentos dos manguezais com as diretrizes numéricas de qualidade de sedimento de efeito baixo (ERL) e efeito médio (ERM), além do nível limiar de efeito (TEL) e nível de efeito provável (PEL) (NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION, 1997) (Tabela 1). Os valores de ERL e de TEL representam concentrações químicas abaixo das quais os efeitos biológicos adversos foram raramente observados. (LONG; FIELD; MACDONALD, 1998; MACDONALD; INGERSOLL; BERGER, 2000) Já os valores de ERM e de PEL, representam concentrações químicas acima dos quais os efeitos adversos são mais frequentemente esperados.

Os resultados mostraram que as concentrações de Cr, Cu, Ni, Pb e Zn em C<sub>4</sub> e em C<sub>3</sub> estavam abaixo dos valores ERL e de ERM (Tabela 1).

As concentrações de Cd em sete pontos dos manguezais estudados (três no rio Pardo e quatro no rio Una) durante C<sub>4</sub> foram próximas ao valor TEL, mas nenhum excedeu o ERL e o ERM.

Em C<sub>3</sub>, as concentrações de Cd em nove pontos (unindo os rios Pardo e Una) mostraram-se próximas do valor TEL, mas nenhum excedeu os valores de ERL e ERM. Em C<sub>4</sub> (período seco), as concentrações de Cd nas amostras de sedimentos de dois pontos dos manguezais do rio Pardo e dois do rio Una superaram o valor de ERL, o que significa que organismos que vivam dentro ou próximo desses locais podem ter efeitos adversos. O Cd é altamente móvel nos sedimentos e é o único metal, entre os analisados que possuem valores de referência, que pode ser potencialmente prejudicial para os organismos aquáticos nos manguezais dos rios estudados. Sugere-se que o monitoramento deve ser continuado nos locais de maior concentração desses elementos.

Tabela 1 – Concentrações de metais (mg kg<sup>-1</sup>) de sedimentos nos manguezais dos estuários dos rios Una (UN) e Pardo (PD) e do delta do rio Jequitinhonha (JQ), para os períodos chuvoso (C3) e seco (C4)

Pontos	Ba		Cd		Cr		Cu		Fe		Mn		Ni		Pb		V		Zn	
	C3	C4	C3	C4	C3	C4	C3	C4	C3	C4	C3	C4	C3	C4	C3	C4	C3	C4	C3	C4
UN 1	22,79	22,59	0,54	0,79	22,74	22,30	5,94	6,14	16094,95	14289,55	392,09	247,31	7,97	8,98	9,97	7,36	35,25	32,85	35,57	31,90
UN 2	27,16	26,90	0,73	1,08	29,72	30,87	8,46	9,33	19689,98	18673,24	372,40	356,14	9,99	11,32	11,98	9,59	44,78	46,37	44,63	42,29
UN 3	31,77	25,52	0,80	1,10	30,41	28,35	8,47	8,77	20531,00	18799,98	407,28	250,60	10,58	10,68	10,24	8,22	42,89	41,92	49,37	40,37
UN 4	32,37	24,30	0,81	1,11	32,28	28,90	9,33	9,06	21248,38	18718,79	388,52	254,32	11,43	10,55	11,61	9,80	46,97	45,99	50,80	39,12
UN 5	27,19	25,77	0,83	1,28	31,73	30,03	10,47	9,90	22406,14	20634,31	400,91	275,99	10,06	10,99	11,87	8,41	45,03	43,68	49,21	44,90
UN 6	40,57	41,71	1,05	1,52	33,66	35,35	12,60	13,53	24749,37	23195,36	365,30	328,92	10,22	11,82	11,04	9,82	46,23	51,19	52,74	49,07
PD 1	13,93	24,03	0,38	0,81	15,72	21,58	5,72	7,55	13525,97	14761,26	189,91	241,28	4,35	8,91	8,86	8,66	25,22	32,23	25,70	31,92
PD 2	26,77	24,56	0,75	0,74	25,94	20,34	9,58	8,18	19794,31	13581,52	424,97	260,40	9,20	8,25	12,55	8,00	38,76	30,60	43,02	34,07
PD 3	34,35	14,25	0,80	0,35	29,54	10,74	11,46	4,71	21468,89	8394,16	308,13	78,68	11,03	4,17	12,66	3,51	43,76	13,94	51,10	15,90
PD 4	35,13	38,67	0,79	1,19	27,02	30,28	11,35	11,57	21129,21	20202,94	358,40	390,60	10,30	12,09	11,38	10,50	39,94	43,24	50,84	47,16
PD 5	14,50	25,09	0,35	0,90	14,39	19,90	6,00	8,49	12422,72	16168,68	144,82	270,06	3,41	8,32	6,72	7,18	20,92	27,62	24,17	32,88
PD 6	37,96	39,70	0,93	1,20	29,39	27,08	12,17	11,99	22575,64	19757,68	354,66	302,33	10,49	11,16	10,53	10,06	36,79	40,18	50,89	44,36
JQ 1	18,79	21,43	0,10	0,56	10,28	16,25	4,41	7,14	7738,89	10902,73	145,12	166,23	3,60	6,83	6,62	7,97	15,50	23,84	19,52	23,92
JQ 2	9,99	9,93	0,04	0,17	5,73	5,40	2,41	2,25	5440,70	4299,90	65,96	48,76	0,73	2,40	4,28	2,29	9,57	8,03	12,35	9,90
JQ 3	14,21	22,19	0,28	0,46	12,10	12,67	6,36	5,38	10442,28	9461,04	55,54	161,52	2,91	5,64	6,71	5,76	21,01	18,49	18,92	19,41
JQ 4	19,28	13,61	0,16	0,29	11,30	8,44	4,25	3,26	8543,28	6368,20	193,54	91,27	3,42	3,99	7,58	3,54	17,37	12,01	19,40	13,36
JQ 5	41,52	2,52	0,09	0,03	11,56	1,06	8,38	0,34	7188,53	701,62	81,13	32,32	3,97	0,63	9,95	1,23	20,89	1,66	20,63	2,00
JQ 6	40,05	27,40	0,04	0,20	6,98	4,65	4,13	3,01	5215,99	4134,49	117,07	118,65	1,29	2,42	6,41	3,31	11,08	7,98	13,10	9,24
TEL*	n.i	n.i	0,596	n.i	52,3	n.i	18,7	n.i	n.i	n.i	n.i	n.i	15,9	n.i	30,2	n.i	n.i	n.i	124,0	n.i
PEL*	n.i	n.i	3,53	n.i	160,4	n.i	108,2	n.i	n.i	n.i	n.i	n.i	42,8	n.i	112,2	n.i	n.i	n.i	271,0	n.i
ERL*	n.i	n.i	5,0	n.i	81,0	n.i	34,0	n.i	n.i	n.i	n.i	n.i	20,9	n.i	46,7	n.i	n.i	n.i	150,0	n.i
ERM*	n.i	n.i	9,0	n.i	370,0	n.i	270	n.i	n.i	n.i	n.i	n.i	51,6	n.i	218,0	n.i	n.i	n.i	410,0	n.i

\*NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (1997); n.i: não identificado

Fonte: Elaboração dos autores.

Tabela 2 – Fator de enriquecimento (FE) nos sedimentos de manguezais dos estuários dos rios Una (UN) e Pardo (PD) e do delta do rio Jequitinhonha (JQ), para os períodos chuvoso (C3) e seco (C4)

Pontos	FEBa		FECd		FECr		FECu		FEFe		FEMh		FENi		FEPb		FEV		FEZn	
	C3	C4																		
UN1	0,95	1,06	0,91	1,51	0,97	1,07	0,75	0,88	1,00	1,00	3,73	2,65	0,96	1,22	0,67	0,56	1,15	1,2	0,84	0,85
UN2	0,93	0,97	1,02	1,59	1,04	1,14	0,87	1,02	1,00	1,00	2,9	2,92	0,98	1,18	0,66	0,56	1,19	1,3	0,86	0,86
UN3	1,04	0,91	1,07	1,61	1,02	1,04	0,84	0,95	1,00	1,00	3,04	2,04	1	1,1	0,54	0,47	1,09	1,17	0,91	0,82
UN4	1,02	0,87	1,04	1,63	1,05	1,06	0,89	0,99	1,00	1,00	2,8	2,08	1,04	1,09	0,59	0,57	1,16	1,29	0,91	0,79
UN5	0,81	0,84	1,01	1,71	0,97	1	0,95	0,98	1,00	1,00	2,74	2,05	0,87	1,03	0,57	0,44	1,05	1,11	0,83	0,83
UN6	1,1	1,21	1,17	1,8	0,94	1,05	1,04	1,19	1,00	1,00	2,26	2,17	0,8	0,99	0,48	0,46	0,98	1,16	0,81	0,8
PD1	0,62	0,98	0,68	1,30	0,91	1,14	0,75	0,91	1,00	1,00	1,50	1,74	0,79	1,49	1,57	1,40	1,12	1,31	1,00	1,14
PD2	0,82	1,09	0,91	1,30	1,02	1,17	0,86	1,07	1,00	1,00	2,29	2,05	1,15	1,50	1,52	1,41	1,18	1,36	1,15	1,32
PD3	0,96	1,02	0,89	1,00	1,08	1,00	0,95	1,00	1,00	1,00	1,53	1,00	1,27	1,22	1,41	1,00	1,23	1,00	1,26	1,00
PD4	1,00	1,15	0,90	1,41	1,00	1,17	0,96	1,02	1,00	1,00	1,81	2,06	1,20	1,47	1,29	1,24	1,14	1,29	1,27	1,23
PD5	0,7	0,94	0,68	1,33	0,91	0,96	0,86	0,94	1,00	1,00	1,24	1,78	0,68	1,27	1,29	1,06	1,01	1,03	1,03	1,07
PD6	1,01	1,21	0,98	1,46	1,02	1,07	0,96	1,08	1,00	1,00	1,68	1,63	1,15	1,39	1,12	1,22	0,98	1,22	1,19	1,19
JQ1	0,68	0,55	0,35	1,32	0,88	0,99	1,19	1,37	1,00	1,00	0,41	0,33	0,52	0,7	0,49	0,42	0,85	0,93	0,89	0,77
JQ2	0,51	0,64	0,18	1	0,7	0,83	0,93	1,1	1,00	1,00	0,26	0,25	0,15	0,62	0,45	0,3	0,74	0,79	0,8	0,81
JQ3	0,38	0,65	0,7	1,26	0,77	0,89	1,27	1,19	1,00	1,00	0,12	0,37	0,31	0,66	0,37	0,35	0,85	0,83	0,64	0,72
JQ4	0,63	0,6	0,49	1,17	0,87	0,88	1,04	1,07	1,00	1,00	0,49	0,31	0,45	0,7	0,5	0,32	0,86	0,8	0,8	0,74
JQ5	1,61	1	0,34	1	1,06	1	2,44	1	1,00	1,00	0,25	1	0,61	1	0,79	1	1,23	1	1,01	1
JQ6	2,14	1,85	0,2	1,23	0,88	0,74	1,65	1,52	1,00	1,00	0,49	0,62	0,28	0,65	0,7	0,46	0,9	0,82	0,88	0,78

Fonte: Elaboração dos autores.

Tabela 3 – Índice de geoacumulação ( $I_{geo}$ ) de sedimentos nos manguezais dos estuários dos rios Una (UN) e Pardo (PD) e do delta do rio Jequitinhonha (JQ), para os períodos chuvoso (C3) e seco (C4)

Pontos	IgeoBa		IgeoCd		IgeoCr		IgeoCu		IgeoFe		IgeoMn		IgeoNi		IgeoPb		IgeoV		IgeoZn	
	C3	C4	C3	C4	C3	C4														
UN1	0,35	0,34	0,30	0,85	0,39	0,36	0,02	0,06	0,43	0,25	2,33	1,66	0,37	0,54	0,00	0,00	0,62	0,52	0,17	0,02
UN2	0,61	0,59	0,74	1,31	0,77	0,83	0,52	0,67	0,72	0,64	2,25	2,19	0,69	0,87	0,12	0,00	0,97	1,02	0,50	0,42
UN3	0,83	0,52	0,88	1,34	0,81	0,70	0,53	0,58	0,78	0,65	2,38	1,68	0,78	0,79	0,00	0,00	0,91	0,87	0,65	0,36
UN4	0,86	0,44	0,89	1,35	0,89	0,73	0,67	0,62	0,83	0,64	2,31	1,70	0,89	0,77	0,07	0,00	1,04	1,01	0,69	0,31
UN5	0,61	0,53	0,92	1,55	0,87	0,79	0,83	0,75	0,90	0,78	2,36	1,82	0,70	0,83	0,10	0,00	0,98	0,93	0,64	0,51
UN6	1,18	1,22	1,27	1,80	0,95	1,02	1,10	1,20	1,05	0,95	2,22	2,07	0,73	0,94	0,00	0,00	1,01	1,16	0,74	0,64
PD1	0,00	0,20	0,00	0,61	0,00	0,42	0,00	0,10	0,10	0,23	0,69	1,03	0,00	0,80	0,75	0,72	0,27	0,62	0,11	0,42
PD2	0,36	0,23	0,51	0,49	0,69	0,34	0,44	0,21	0,65	0,11	1,85	1,14	0,85	0,69	1,25	0,60	0,89	0,55	0,85	0,51
PD3	0,72	0,00	0,60	0,00	0,88	0,00	0,70	0,00	0,77	0,00	1,38	0,00	1,11	0,00	1,27	0,00	1,07	0,00	1,10	0,00
PD4	0,75	0,89	0,59	1,17	0,75	0,91	0,68	0,71	0,75	0,68	1,60	1,73	1,01	1,24	1,11	1,00	0,93	1,05	1,09	0,98
PD5	0,00	0,26	0,00	0,77	0,00	0,31	0,00	0,26	0,00	0,36	0,30	1,19	0,00	0,70	0,35	0,45	0,00	0,40	0,02	0,46
PD6	0,86	0,93	0,82	1,19	0,87	0,75	0,78	0,76	0,84	0,65	1,59	1,36	1,04	1,13	1,00	0,93	0,82	0,94	1,09	0,90
JQ1	2,31	2,50	1,36	3,78	2,69	3,35	3,13	3,83	2,88	3,37	1,58	1,78	1,93	2,85	1,84	2,11	2,64	3,26	2,70	3,00
JQ2	1,40	1,39	0,00	2,02	1,85	1,76	2,26	2,16	2,37	2,03	0,44	0,01	0,00	1,34	1,21	0,31	1,94	1,69	2,04	1,72
JQ3	1,91	2,55	2,79	3,51	2,93	2,99	3,66	3,42	3,31	3,17	0,20	1,74	1,62	2,58	1,86	1,64	3,08	2,89	2,66	2,69
JQ4	2,35	1,85	1,98	2,83	2,83	2,41	3,08	2,69	3,02	2,60	2,00	0,91	1,85	2,08	2,03	0,93	2,80	2,27	2,69	2,16
JQ5	3,46	0,00	1,21	0,00	2,86	0,00	4,06	0,00	2,77	0,00	0,74	0,00	2,07	0,00	2,43	0,00	3,07	0,00	2,78	0,00
JQ6	3,41	2,86	0,00	2,28	2,13	1,55	3,04	2,58	2,31	1,97	1,27	1,29	0,45	1,36	1,79	0,84	2,16	1,68	2,13	1,62

Fonte: Elaboração dos autores.

Tabela 4 – Classe de índice de geoacumulação ( $I_{geo}$  Class) de sedimentos nos manguezais dos estuários dos rios Una (UN) e Pardo (PD) e do delta do rio Jequitinhonha (JQ), para os períodos chuvoso (C3) e seco (C4)

Pontos	IgeoBa		IgeoCd		IgeoCr		IgeoCu		IgeoFe		IgeoMn		IgeoNi		IgeoPb		IgeoV		IgeoZn		
	C3	C4	C3	C4	C3	C4															
UN1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	2	1	1	0	0	1	1	1	1
UN2	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	3	3	3	1	1	0	1	2	1	1	1
UN3	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	3	2	2	1	0	0	1	1	1	1	1
UN4	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	3	2	2	1	1	0	2	2	1	1	1
UN5	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	3	2	2	1	1	0	1	1	1	1	1
UN6	2	2	2	2	1	2	2	2	2	1	3	3	3	1	1	0	2	2	1	1	1
PD1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	2	0	1	1	1	1	1	1	1	1
PD2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	1	1	2	1	1	1	1	1
PD3	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	2	0	2	1	0	2	0	2	0	2	0
PD4	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1
PD5	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	2	0	1	1	1	0	1	1	1	1
PD6	0	1	1	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	1	1	1	2	1
JQ1	3	3	2	4	3	4	4	4	4	3	4	2	2	2	3	2	3	4	3	3	3
JQ2	2	2	0	3	2	2	3	3	3	3	1	1	0	2	2	1	2	2	3	2	2
JQ3	2	3	3	4	3	3	4	4	4	4	1	2	2	2	3	2	4	3	3	3	3
JQ4	3	2	2	3	3	3	4	3	4	3	2	1	2	2	3	3	1	3	3	3	3
JQ5	4	0	2	0	3	0	5	0	3	0	1	0	3	0	3	0	4	0	3	0	0
JQ6	4	3	0	3	3	2	4	3	3	2	2	2	2	1	2	1	3	2	3	2	2

Fonte: Elaboração dos autores.

Tabela 5 – Índice de poluição por metais (IPM) de sedimentos nos manguezais dos estuários dos rios Una (UN) e Pardo (PD) e do delta do rio Jequitinhonha (JQ), para os períodos chuvoso (C<sub>3</sub>) e seco (C<sub>4</sub>)

Pontos	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>
UN 1	31,74	30,03
UN 2	39,27	40,50
UN 3	40,72	37,06
UN 4	42,78	37,98
UN 5	42,16	39,86
UN 6	46,26	48,17
PD 1	22,33	31,27
PD 2	38,98	30,66
PD 3	42,50	14,91
PD 4	41,58	44,85
PD 5	19,78	31,31
PD 6	42,86	42,35
JQ 1	15,34	24,51
JQ 2	7,65	8,44
JQ 3	16,38	20,40
JQ 4	17,12	13,04
JQ 5	18,10	2,07
JQ 6	11,31	10,82

Fonte: Elaboração dos autores.

## Considerações finais

As análises de metais nos manguezais dos rios Una, Pardo e Jequitinhonha indicam baixa ou moderada contaminação, segundo diferentes índices de avaliação da qualidade dos sedimentos. A contaminação dos sedimentos foi atribuída a processos antrópicos e naturais.

As maiores concentrações médias de Ni, Mn e Pb foram registradas na estação chuvosa, enquanto o padrão de acumulação de metal na estação seca seguiu a ordem: Fe > Zn > V > Ba > Cr > Cu > Ni > Pb > Cd. Existe diferença nas concentrações dos metais analisados entre diferentes períodos anuais, o que foi relacionado à precipitação e a fontes de contaminação antrópica.

As concentrações de Cd apresentaram valores que mostram possibilidade de ocorrência de efeitos adversos à biota, sobretudo nos manguezais dos rios Una e Pardo.

# **Biogeoquímica das folhas de *Avicennia* e a qualidade ambiental de manguezais nos rios Una, Pardo e Jequitinhonha**

---

Karina Santos Garcia

Andressa Lopes Nery

Daniela Santos Anunciação

Bárbara Rosemar Nascimento Araújo

## **Introdução**

Diversos fatores ameaçam as florestas de manguezal, sendo que as principais fontes de contaminação estão vinculadas a atividades antrópicas (AGORAMOORTHY; CHEN; HSU, 2008; KESHAVARZ et al., 2012; RODRIGUES, 2005; WONG; TAM, 1997), como a causada por elementos metálicos. (KUMAR et al., 2011) O impacto oriundo do aporte desses elementos afeta a vegetação que pode apresentar tanto alterações na sua fisiologia como na sua anatomia.

As folhas correspondem à maior parte da produção primária em ecossistemas de manguezais, além de serem as principais constituintes da serrapilheira e alimento para insetos e caranguejos arborícolas. (SILVA; MARTINS; CAVALHEIRO, 2010) As folhas sofrem decomposição proveniente das condições edafoclimáticas do ambiente e pela ação de microrganismos, inseridas nos ciclos dos nutrientes, os quais serão translocados por diferentes níveis tróficos da cadeia

alimentar. São também consideradas como os órgãos que melhor refletem o estado nutricional dos vegetais, apresentando, portanto, um relevante papel na circulação desses elementos. (BERNINI et al., 2006; MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997)

Elementos dissolvidos na solução do solo podem ficar disponíveis para as plantas (gradiente de concentração) através da troca de íons entre raiz e solo ou formando compostos quelados (EPSTEIN, 1965; FERGUSSON, 1990); através do fluxo de massa, os macros e os micronutrientes solúveis no solo são absorvidos pela raiz da planta. (FUNDAÇÃO CARGILL, 1987) Essa absorção também pode ocorrer através dos estômatos e da cutícula foliar. Existem ainda espécies vegetais, como as de mangue, que podem manter adsorvidas em suas raízes alguns elementos químicos que não possuem interesse fisiológico.

Na literatura, é mencionado que espécies do gênero *Avicennia* apresentam maior tolerância e propriedades acumuladoras para numerosos metais quando comparadas a outras espécies de manguezal (MACFARLANE; BURCHETT, 2002; PENG; WENJIAN; ZHENJI, 1997; THOMAS; EONG, 1984), indicando estudos da composição química de folhas de árvores do gênero para o entendimento da dinâmica de elementos químicos.

Este capítulo apresenta resultados sobre a distribuição de elementos químicos em função da composição química das folhas, com base estatística, e expõe uma avaliação espaço-temporal da concentração dos elementos determinados.

## **Materiais e métodos**

A metodologia do presente trabalho consistiu em coletas de amostras de folhas da espécie *Avicennia schaueriana* Stapft e Lechman (1939) na extensão do manguezal dos rios Una, Pardo e Jequitinhonha, em duas campanhas de campo, uma realizada em novembro de 2011 (C1) e outra em abril de 2012 (C2). O procedimento amostral e as determinações analíticas estão descritos no Capítulo 2 deste livro.

Os analitos (Ca, Na, K, Mg, Pb, Zn, Cr, Cu, Cd, Mn, Fe, Al, Ba, V e Ni) apresentaram 104,2% a 112,2% de recuperação em relação ao material de referência certificado de folhas de maçã *Apple Leaves* SRM NIST 1515.

## Resultados e discussões

Os valores médios das concentrações dos elementos químicos analisados no presente trabalho constam na Tabela 1. Os elementos Pb, Cd, Ni e V apresentaram resultados analíticos abaixo do limite de quantificação do ICP OES ( $< 0,01$ ;  $< 0,01$ ;  $< 0,02$  e  $< 0,01$  mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente) e não serão discutidos.

### Rio Una

As concentrações determinadas nas folhas de *A. schaueriana* foram comparadas com outros trabalhos realizados em ambientes de manguezal (Tabela 1).

Constatou-se que a concentração média de Fe nas folhas para a primeira campanha (C<sub>1</sub>) estava entre o limite mínimo exigido por Hopkins (2000) e o valor médio encontrado por Bernini e outros (2006). Já para a segunda campanha (C<sub>2</sub>), a concentração média deste elemento foi maior que as referências citadas.

As concentrações de Ca, comparadas aos valores de trabalhos da literatura, a exemplo de Garcia (2005) e Oliveira (2000), para zonas de manguezal, sugere que há uma possível desnutrição desse elemento.

O Mg apresentou teores elevados em todos os pontos amostrais nas duas campanhas. Esses teores podem afetar a fisiologia da fotossíntese foliar, causando algumas anomalias na morfologia da folha, dentre elas a clorose (cujos dados para este estudo serão apresentados no tópico Caracterização Morfológica).

As concentrações de Mn foram maiores que as observadas por Bernini e outros (2006) e Hopkins (2000) para as duas campanhas, porém encontraram-se abaixo dos limites considerados tóxicos por Ross (1994). O Mn não forma sulfetos estáveis e por isso é facilmente solubilizado sob condições redutoras ou anóxicas típicas de manguezal, tornando-se mais biodisponível às plantas quando comparados a outros metais. (LACERDA et al., 1988)

Em relação ao Zn, os valores das concentrações médias registradas para este trabalho estiveram bem próximas ao encontrado por todas as referências (Bernini et al., 2006; Hopkins, 2000; Ross, 1994) e dentro do limite considerado normal para os dois períodos de coleta.

O K apresentou valores compatíveis com os descritos na literatura. O P, entretanto, apresentou valores bem elevados. O P e o K são nutrientes dificilmente absorvidos e normalmente acumulam-se em folhas mais velhas. Em geral, eles

Tabela 1 – Concentração (mg kg<sup>-1</sup>), referente à coleta em novembro/2011 (C1) e à coleta em abril/2012 (C2), dos elementos químicos nas folhas de *Avicennia schaueriana* Stapf & Leechman dos manguezais dos rios Una, Pardo e Jequitinhonha, em comparação com outros trabalhos

Análito	Ca		Fe		K		Mg		Mn		Na		P		Cu		Zn		
	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2	
Campanha																			
P1	3556,72	2871,68	98,15	65,56	11605,64	11433,80	37535,08	31087,16	162,37	105,00	19712,35	25812,64	4505,78	4961,77	0,89	0,74	14,35	14,98	
P2	4275,30	3623,92	125,98	123,88	7313,77	8111,82	44218,70	34729,30	211,32	167,19	17410,84	25792,55	5540,56	4974,38	<0,01	0,43	14,64	10,90	
P3	3823,47	2385,92	141,95	251,93	8653,54	8220,59	31940,31	29169,84	130,78	100,94	13292,40	29030,30	5333,98	4905,53	<0,01	0,59	7,58	7,88	
P4	3077,34	2997,78	115,47	197,23	6390,57	6990,62	27739,59	25549,71	134,19	111,00	17474,43	24558,38	5701,02	5356,71	<0,01	0,37	6,23	6,11	
P5	3113,23	3943,72	114,79	89,95	7680,40	11072,17	28972,68	31390,03	101,86	155,79	17348,30	25577,54	6143,21	5742,72	<0,01	0,95	4,91	18,13	
P6	3846,88	3619,87	139,79	195,41	6371,89	10165,63	31885,95	29459,69	130,19	142,40	19463,70	25831,72	4966,52	5040,92	<0,01	0,70	11,89	8,86	
P1	4408,10	4395,31	115,57	143,55	7715,79	8926,00	33971,26	32491,73	254,99	214,95	22394,74	23661,85	5079,28	5760,07	0,10	0,44	14,62	10,98	
P2	3398,17	4401,26	99,94	128,57	9718,80	9417,47	31013,47	33408,97	178,17	185,19	21221,25	29041,65	6978,97	7012,72	3,18	1,07	11,19	12,67	
P3	3926,43	4501,41	123,77	175,46	10261,56	7701,08	39468,69	34654,43	201,12	206,97	20380,09	25454,19	3941,72	7310,08	1,02	0,55	16,16	10,36	
P4	4744,80	3918,43	127,96	134,64	12151,02	14541,59	39334,61	35366,38	247,14	214,04	17503,30	18684,23	8333,16	8608,42	0,31	1,53	18,64	18,64	
P5	4545,60	4089,81	95,51	191,84	11853,84	9071,91	24842,02	32649,30	154,77	173,97	19191,69	21354,08	7190,09	6102,64	1,03	0,73	9,61	8,64	
P6	4568,93	3505,90	215,13	193,00	8679,59	8141,69	30629,25	28108,80	133,48	99,35	24142,37	26160,07	7017,22	6631,03	0,30	1,09	7,92	9,27	
P1	3790,89	4154,14	140,83	236,19	8159,87	8115,81	31159,09	33508,60	99,83	144,61	12823,71	18489,98	1164,92	5758,16	1,66	2,04	9,40	9,53	
P2	3698,10	2993,89	128,28	230,98	7844,21	7482,81	3181,05	31180,18	153,58	137,22	12529,90	17591,05	1309,16	5622,51	1,69	<0,01	9,17	6,63	
P3	3305,75	4292,45	114,81	143,53	9052,50	8100,98	32989,00	33967,80	149,57	231,21	17029,25	22483,90	5991,95	6062,38	<0,01	<0,01	10,17	12,69	
P4	2495,18	1737,92	103,05	120,27	8579,05	10137,16	29298,19	28054,21	142,05	252,91	15437,75	16438,25	5784,05	4734,18	<0,01	8,19	7,23	11,82	
P5	1891,83	1569,56	109,48	146,47	10403,51	9027,49	32657,65	24649,41	232,65	111,67	15054,79	12987,70	4832,28	5404,65	9,64	1,84	12,20	9,48	
P6	3386,94	1954,77	118,49	95,12	8873,23	11232,77	26524,87	24557,66	210,58	112,16	20984,20	15061,02	5002,07	4960,99	6,22	12,48	15,92	14,63	
NN	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	15-100	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	4-15	8-400			
NT	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	300-500	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	20-100	400			
(Ber)	3903,59		147,98		12777,22		13076,09		100,5		n.d.	n.d.	1499,09		1,9	10,46			
(Pas)	4960		n.d.		11420		8470		n.d.		8370		770		n.d.	n.d.			
(Eps)	5000		100		10000		2000		50		n.d.		2000		6	20			
(Hop)	5000,75		111,69		9774,5		1944,4		54,93		9195		1858,38		6,35	19,61			

Nd = não determinado; NN = níveis normais de metais em plantas (ROSS, 1994); NT = níveis tóxicos de metais em plantas (ROSS, 1994); (Ber) = concentrações médias de elementos químicos de *A. schaueriana* (BERNINI et al., 2006); (Pas) = concentrações médias anuais de elementos químicos para *Avicennia germinans* (PASSARELI, 2011); (Eps) = concentrações típicas para o crescimento das plantas (EPSTEIN, 1965); (Hop) = concentrações de elementos essenciais para o crescimento normal da planta (HOPKINS, 2000).

Fonte: Elaboração dos autores.

são redistribuídos de órgãos maduros para estruturas em desenvolvimento e órgãos reprodutores. (OLIVEIRA; FREITAS; ACCIOLY, 1996) Normalmente, os valores de P não ultrapassam os valores de K. (ARAUJO, 2000) Observando a Tabela 1, os valores desses dois elementos no presente trabalho corroboram as interpretações desses autores, sugerindo que não são indicativos de contaminação do ambiente.

A composição química das folhas pode ser influenciada pelas características químicas e físicas do ambiente. (IGNÁCIO et al., 2005) Para tanto, na distribuição dos elementos químicos determinados nas folhas em C<sub>1</sub> e C<sub>2</sub>, foi avaliada a influência dos parâmetros não conservativos aferidos na água intersticial do sedimento de entorno das raízes de árvores de *A. schaueriana* (Figura 1). A projeção dos gráficos do tipo *scatterplot* permite observar que o pH da água intersticial do sedimento variou de 6,6 a 7,3 em C<sub>1</sub> e de 6,0 a 7,1 em C<sub>2</sub>. Estes intervalos estão dentro da faixa indicada na literatura que é de 4,8 a 8,8. (CITRÓN; SCHAEFFER-NOVELLI, 1981) As variações elevadas de Eh para C<sub>1</sub> (-50 a 100) e C<sub>2</sub> (-30 a 60) podem estar associadas à distância entre os pontos de amostragem ao longo do estuário.

As concentrações de Fe em C<sub>2</sub> (Figura 1) foram maiores quando  $6,0 < \text{pH} < 7,0$ . Isto ocorre porque em solos com pH abaixo de 6,5 o Fe apresenta-se na forma solúvel. (DENNIS, 1987) Os valores de Fe apresentaram variações dentro do limite considerado essencial para o crescimento normal de plantas, segundo Hopkins(2000), e são próximos aos encontrados por Bernini e outros (2006).

A concentração foliar foi dividida pela concentração no sedimento para determinar o fator de concentração (FC), segundo Salisbury e Ross (1992). Os dados de sedimento aqui utilizados constam no Capítulo 5. Verificou-se que o Mn foi o único elemento que apresentou um FC > 1 em C<sub>1</sub> (Tabela 2). A razão das concentrações das folhas sob o sedimento é maior que Bernini e outros (2006), e Garcia (2005), porém um valor inferior àquele encontrado por Cuzzuol e Campos (2001) e Oliveira (2000).

O elemento Fe apresentou um FC menor que Bernini e outros (2006) e Cuzzuol e Campos (2001), porém valor similar àquele observado por Garcia (2005) e Oliveira (2000).

Tabela 2 – Fatores de concentração (FC) dos elementos químicos determinados nas folhas de *Avicennia schaueriana* (em relação aos sedimentos) da área de manguezal do estuário do rio Una e outras regiões de manguezais

Elementos	Rio Una <i>A. schaueriana</i>		Rio São Mateus <sup>(1)</sup> <i>A. schaueriana</i>	BTS <sup>(2)</sup> <i>A. schaueriana</i>	Rio Mucuri <sup>(3)</sup> <i>A. germinans</i>	Baía de Camamu <sup>(4)</sup> <i>A. schaueriana</i>
	C1	C2				
Mn	1,06	0,92	0,73	0,71	7,59	1,67
Fe	0,01	0,01	0,10	0,01	0,07	0,01
Zn	0,31	0,32	1,52	0,47	2,54	0,57

Bernini e outros(2006); (2) Garcia(2005); (3) Cuzzuol e Campos (2001); (4) Oliveira (2000).

Fonte: Elaboração dos autores.

O FC calculado para o Zn apresentou todos os valores abaixo dos estudos citados, indicando baixa disponibilidade às plantas. Estes resultados podem estar, também, associados a mecanismos de exclusão, como relatados em Lacerda et al. (1998).

Com relação à distribuição espacial, os resultados demonstraram não haver diferença estatística significativa ( $p < 0,05$ ) entre estações, o que pode significar uma distribuição bastante homogênea ao longo dos seis pontos de coleta na extensão do manguezal com base na composição química das folhas de *A. schaueriana* e sedimentos de entorno. Também não foram encontradas diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre os períodos de coleta C1 e C2.

### Rio Pardo

A distribuição dos dados médios obtidos a partir da concentração de macroelementos (Ca, K, Mg, Na e P) e microelementos (Cu, Fe, Mn e Zn) em relação aos parâmetros não conservativos está representada nos gráficos da Figura 2.

As concentrações dos macroelementos foram registradas em uma faixa de pH variando entre 6,2 a 7,4 para C1 e de 6,2 a 7,2, para C2. Essas faixas indicaram uma leve condição de acidez do ambiente, mantendo-se dentro dos limites indicados na literatura. O potencial redox (Eh) variou entre -35 a 15 para C1 e de -10 a 20, em C2.

Com relação aos microelementos, as concentrações também se encontraram numa faixa de pH, indicando ambiente levemente ácido e com variações do Eh, sendo que as maiores concentrações foram encontradas em C1.

De uma forma geral, observou-se que os teores dos elementos Ca, Fe e K quantificados nesse estudo apresentaram valores bem próximos, tanto para C<sub>1</sub> quanto para C<sub>2</sub>, aos encontrados por Bernini e outros (2006), Epstein (1965), Hopkins (2000) e Passareli (2011). Os elementos Mg, Mn, Na e P apresentaram concentrações bem elevadas em comparação aos estudos mencionados (Tabela 1).

As concentrações de Cu foram baixas em relação aos outros autores e as de Zn foram delimitadas pelos os estudos de Bernini e outros (2006) e Hopkins (2000).

As elevadas concentrações encontradas para o Na podem ser explicadas pelo fato de que espécies excretoras de sais pertencentes ao gênero *Avicennia* possuem xilema capaz de suportar concentrações salinas dez vezes maiores que a *Rhizophora*. (PASSARELI, 2011) Já Lacerda et al. (1985) afirmaram que os teores de Na para a *A. schaueriana* variam em função da salinidade do sedimento e que a absorção de Ca é controlada pelo nível de Na também no sedimento. Nesse estudo, entretanto, não foram verificadas fortes correlações para estes dois elementos.

Lacerda e outros (1988) registraram uma concentração de 22900 mg kg<sup>-1</sup> de Na para *A. schaueriana* e Araújo (2000), uma concentração de 18100 mg kg<sup>-1</sup>. Neste trabalho, os teores médios registrados foram de 20822,34 mg kg<sup>-1</sup> para C<sub>1</sub> e de 24061,01 mg Kg<sup>-1</sup> para C<sub>2</sub>, valores semelhantes aos relatados na literatura. Destaca-se que espécies do gênero *Avicennia* possuem mecanismos excretores de sais que acumulam seletivamente o íon Na<sup>+</sup>, mesmo que esses íons estejam sob baixas concentrações no meio. (GARCIA, 2005; WIN; GORHAM, 1983)

Os teores de Mg nas plantas variam de 1000 a 10000 mg kg<sup>-1</sup>, sendo que teores entre 3000 e 5000 mg kg<sup>-1</sup> são considerados adequados para um crescimento normal e teores foliares menores de 3000 mg kg<sup>-1</sup> são considerados deficientes. (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997; SOUZA, 2008) As concentrações médias no presente estudo variaram entre 33209,88 e 32779,94 mg kg<sup>-1</sup> e foram bem superiores aos demais estudos. Segundo Araújo (2000), quando os níveis de Mg<sup>2+</sup> são elevados, o processo fotossintético de clorofila cessa, o que prejudica o desenvolvimento da planta.

Lacerda e outros (1985) e Medina e Francisco (1997) relataram que as elevadas concentrações de K e Mg para a *Avicennia germinans* e *A. schaueriana* decorrem da maior permeabilidade nas raízes destas espécies a sais. Esta é uma característica peculiar do mecanismo de excreção de sais, através das glându-

las salinas existentes nas folhas, sendo essas espécies consideradas excretoras. (ARAÚJO, 2000)

Também nos manguezais do rio Pardo, assim como aqueles do rio Una, a concentração de P nas folhas de *A. schaueriana* é menor que a de K (Tabela 1), e o Mn apresenta elevadas concentrações.

A deposição de óxidos e hidróxidos de Mn e de Fe é favorecida pela respiração das raízes de plantas de manguezal. Neste processo ocorre a transformação do sulfeto em sulfato, o que reduz a toxidez e forma uma placa de ferro na superfície da raiz. (GONÇALVES, 2010; LEÃO, 2004)

Na Tabela 3 constam os coeficientes de correlação (r) entre alguns elementos que apresentaram maior significância. Nota-se fortes associações entre Mn com Zn (r = 0,71) nas folhas e entre os elementos determinados no sedimento Fe e Zn (r = 0,92) e Cu (r = 0,77), além de Zn e Cu (r = 0,84). Isto sugere que processos geoquímicos semelhantes controlam a distribuição desses elementos na área de estudo.

Tabela 3 – Matriz de correlação de Pearson ( $p < 0,05$ ) entre as concentrações dos elementos químicos determinados nas folhas de *Avicennia schaueriana* e sedimentos de entorno do manguezal do rio Pardo

	Folhas				Sedimentos			
	Fe	Mn	Zn	Cu	Fe	Mn	Zn	Cu
Fe-FH	1,00							
Mn-FH	-0,50	1,00						
Zn-FH	-0,51	0,71	1,00					
Cu-FH	-0,39	-0,24	0,00	1,00				
Fe-SD	0,53	-0,50	-0,30	0,06	1,00			
Mn-SD	0,38	-0,04	-0,24	-0,18	0,47	1,00		
Zn-SD	0,56	-0,42	-0,29	-0,02	0,92	0,39	1,00	
Cu-SD	0,59	-0,42	-0,39	-0,04	0,77	0,10	0,84	1,00

Fonte: Elaboração dos autores.

A formação de “placas de ferro” sobre a raiz regula a dinâmica de alguns elementos considerados tóxicos às plantas de manguezal, dentre eles o Cu, mesmo quando as raízes apresentam elevados teores deste elemento em sua estrutura. (FONSECA, 1993)

Os teores de Cu encontrados nas folhas de *A. schaueriana* para o manguezal de estudo estão bem abaixo da faixa de normalidade estabelecida por Ross (1994),

Epstein (1965), Hopkins (2000) e das demais referências citadas na Tabela 1, aproximando-se apenas do valor encontrado por Bernini e outros (2006). Os teores de Zn determinados neste trabalho estão dentro dos limites considerados normais de acordo com Ross (1994) e próximos para a maior parte das referências.

### **Rio Jequitinhonha**

Nos manguezais do rio Jequitinhonha foram encontradas duas espécies do gênero *Avicennia*: *A. schaueriana* e *A. germinans*.

A comparação entre os estudos realizados permitiu observar que as concentrações de Ca para as duas campanhas foram inferiores às encontradas por Bernini e outros (2006), Epstein (1965), Hopkins (2000) e Passareli (2011). Em geral, os teores de Ca estão abaixo do valor esperado para plantas halófitas, que são de aproximadamente 0,5%. Segundo Medina e outros (2001), esse tipo de comportamento pode ocorrer quando existe a presença de oxalato livre na raiz, o que causa a precipitação deste elemento e, possivelmente, evita seu transporte no xilema. Porém, essa deficiência do Ca para ambas as espécies pode ocasionar um desequilíbrio dos nutrientes e, conseqüentemente, desequilíbrio no desenvolvimento dessas plantas que vivem em áreas de alta salinidade. (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997; WAISEL, 1972) Outro fator que favorece as baixas concentrações de Ca, no gênero *Avicennia*, é a presença de glândulas de sal que desenvolvem um papel significativo na fisiologia da folha, através de um balanço iônico que, além de controlar principalmente os teores de Na, também mostra influência no controle dos teores de Ca, K e Zn, mantendo um equilíbrio osmótico e o teor salino em níveis normais. (SOBRADO; GREAVES, 2000)

Os teores de Fe foram maiores em relação a Bernini e outros (2006), Epstein (1965) e Hopkins (2000) para C<sub>1</sub> e inferiores a Bernini e outros (2006) para C<sub>2</sub> (Tabela 1).

As concentrações de K estão acima dos sugeridos por Mello e outros (1985) (0,5 – 6% de K) para espécies de manguezal. Assim, pode-se inferir que as baixas concentrações de Ca estão sendo inibidas pelas altas concentrações do K, possivelmente associado a uma competitividade entre esses elementos. Para o K, as maiores concentrações ocorreram em C<sub>2</sub>, em comparação a Epstein (1965) e Hopkins (2000), e menores para os dois períodos quando comparadas a Bernini e outros (2006) e Passareli (2011). Os teores dos elementos Mg, Mn, Na e

P foram bastante superiores às concentrações registradas nos estudos citados. Chama-se atenção para o Mg, pois segundo Joshi, Jamale e Bhojale (1974), seus teores em plantas de manguezal não devem ultrapassar 1% para que não ocorra uma inibição fotossintética. Os valores mostrados no presente trabalho estão na faixa de 2 a 3%, sugerindo possíveis alterações nessa função e alterações na morfologia externa da folha, como a clorose.

As concentrações de Zn foram relativamente baixas em comparação com a literatura em C<sub>1</sub>, ao contrário de C<sub>2</sub>, campanha na qual foram encontrados valores superiores aos de Bernini e outros (2006). Ao comparar os teores entre as espécies *A. schauerianna* e *A. germinans*, observou-se que as concentrações de Fe, Mg, Na e P foram bastante elevadas, ao contrário do Ca determinado em folhas de *A. schaueriana*, em relação a Bernini e outros (2006). Em relação ao estudo realizado por Passareli (2011), verificou-se que as concentrações de K foram menores e as de Mn apresentaram-se superiores. Esta análise comparativa permitiu concluir que a *A. schaueriana* tende a acumular concentrações maiores em relação a *A. germinans* e também aos estudos referenciados neste trabalho.

O P também apresentou valores elevados, como nos outros manguezais. As propriedades físico-químicas da água intersticial influenciam diretamente na disponibilidade adequada de elementos químicos para as plantas. (BERNINI; REZENDE, 2010)

Para tanto, foi avaliada a influência dos parâmetros não conservativos aferidos na água intersticial sobre a distribuição dos elementos determinados nos dois períodos de coleta. Observou-se que o pH variou de 6,0 a 7,0 em C<sub>1</sub> e de 6,0 a 7,8 em C<sub>2</sub>, indicando uma variação de ambiente levemente ácido para alcalino. Os valores de Eh variaram de -20 a 20 para C<sub>1</sub> e de -30 a 60 para C<sub>2</sub> (Figura 3).

Na Análise de Componentes Principais (ACP), verifica-se que as duas primeiras componentes principais explicaram 74% da variância total acumulada (Figura 4). A ACP revelou que houve discriminação entre as amostras em função da espécie coletada (Figura 4). Isto corrobora com o que foi discutido anteriormente, que estas espécies do gênero *Avicennia* possuem um mecanismo de absorção de elementos diferenciado, absorvendo quantidades de K e Mn variáveis.

Não foi identificada tendência de separação entre as amostras com base no período de coleta (campanha).

### **Caracterização morfológica**

Os dados qualitativos da morfologia externa foram transformados em valores quantitativos. Estes valores foram obtidos calculando-se a porcentagem de deformações (pastejos, galhas, perfurações e necroses, conforme descrito no Capítulo 2).

Nas duas campanhas de coleta de amostras, a necrose foi a deformação foliar que apresentou as maiores porcentagens (70-100% das folhas avaliadas), seguida de perfuração, pastejo e galha (Figura 5).

É visível a presença significativa de necrose na área foliar em quase a totalidade das estações, sendo que a campanha C2 apresentou porcentagens maiores dessa deformação. Em C2, na coleta de campo realizada em período chuvoso, foi constatada uma maior quantidade de deformações foliares, independentemente do manguezal.

### **Análise comparativa**

De modo geral, para as três áreas de estudo, os elementos que mais chamam atenção são os nutrientes Ca, K, Mg e o Na. Existem razões que podem avaliar a regulação osmótica desses elementos em espécies de manguezal (MEDINA; FRANCISCO, 1997; BERNINI; RESENDE, 2010). Neste estudo, a razão K/Na para C1 foi de 0,36 a 0,65 e para C2 de 0,31 a 0,78 (Tabela 4). Esses valores são inferiores aos encontrados por Bernini e Rezende (2010), em que K/Na foi de 0,95 a 1,30. Com base nesses autores, observa-se que ocorreu uma redução do potencial osmótico (MEDINA; FRANCISCO, 1997), o que diminuiu a taxa de transferência de K para as folhas. As razões Ca/Mg apresentaram comportamento semelhante, variando de 0,03 a 0,13, também inferiores aos resultados obtidos por Lacerda e outros (1993) e Bernini e Rezende (2010). Nota-se ainda que os teores foliares de Na e Mg foram superiores aos desses autores, sugerindo uma maior salinidade no manguezal das áreas de estudo e uma maior absorção do Mg, embora, como citado em capítulos anteriores, a salinidade da água durante as campanhas de coleta de amostras tenha sido baixa. A salinidade aqui sugerida como alta pode decorrer de períodos anteriores, de estiagem, momento em que as plantas absorveram teores maiores de sais, sendo metabolizado pelo sistema fisiológico das *Avicennias*.

Tabela 4 – Razões K/Na e Ca/Mg em folhas de *Avicennia schaueriana* das espécies analisadas no manguezal dos rio Una, Pardo e Jequitinhonha

Analito		Razão K/Na		Razão Ca/Mg	
		C1	C2	C1	C2
rio Una	P1	0,58875	0,442954	0,094757	0,092375
	P2	0,42007	0,314503	0,096685	0,104348
	P3	0,651014	0,283173	0,119707	0,102363
	P4	0,36571	0,284653	0,110937	0,117331
	P5	0,442718	0,432886	0,107454	0,125636
	P6	0,327373	0,393533	0,120645	0,122875
rio Pardo	P1	0,344536	0,377232	0,12976	0,135275
	P2	0,457975	0,324275	0,109571	0,131739
	P3	0,503509	0,302428	0,099482	0,129894
	P4	0,690246	0,778281	0,120626	0,110795
	P5	0,617655	0,424833	0,18298	0,125265
	P6	0,359517	0,311226	0,149169	0,124726
rio Jequitinhonha	P1	0,361733	0,43893	0,120103	0,123972
	P2	0,361733	0,425376	0,120103	0,096019
	P3	0,531585	0,360301	0,100208	0,126368
	P4	0,555719	0,616681	0,085165	0,061949
	P5	0,691043	0,69508	0,057929	0,063675
	P6	0,422853	0,745818	0,127689	0,079599

Fonte: Elaboração dos autores.

As variações na osmorregulação são explicadas pelo conteúdo de Na e Cl. Cerca de 75% e 69 % da variação da pressão osmótica das três espécies é explicada por alterações nas concentrações de Na e Cl, respectivamente, ao passo que apenas 45% são explicados por K. A razão K/Na é um índice da capacidade da planta de absorver K na presença de altas concentrações de Na, por estarem envolvidos no balanço osmótico das plantas. Assim, em relação aos elementos K, Mg e Na, as maiores concentrações observadas nas plantas do gênero *Avicennia* devem estar relacionadas à maior permeabilidade a sais nas raízes dessa espécie, o que é característico do mecanismo de excreção de sal presente nesse gênero. (LACERDA et al., 1985; MEDINA; FRANCISCO, 1997) Ainda assim, os

teores elevados de Mg em todas as estações e nas duas campanhas pode ser a justificativa para as alterações morfológicas identificadas nesse estudo, principalmente as necroses e perfurações.

Como já comentado anteriormente, os teores de Mg acima de 1% em folhas podem causar alterações na atividade fotossintética. No presente estudo, esses teores variaram de 2 a 4% e em nenhuma estação esses valores foram inferiores a 2%. Isso corrobora a alteração morfológica nutricional com consequências na função fotossintética.

### **Considerações finais**

O elemento Mg apresentou as maiores concentrações nas três áreas de estudo e nas duas campanhas de coleta de amostras. De modo geral, as concentrações obedeceram a seguinte ordem: Mg > Na > K > P > Ca > Mn > Fe > Zn > Cu.

Com relação à avaliação nutricional da planta, observa-se uma deficiência do Ca nas plantas do gênero *Avicennia* nos manguezais estudados. Este comportamento pode ser devido à presença de oxalato livre na raiz, o que causa a precipitação deste elemento e, possivelmente, evita seu transporte no xilema. Em contrapartida, nota-se uma elevação nas concentrações do Mg, Na e K nas três áreas de estudos quando comparados com trabalhos da literatura. Esses valores elevados podem estar associados a um desequilíbrio na disponibilidade desses elementos no ambiente, induzindo uma competitividade entre o Ca e o K.

Outro ponto importante é que os teores elevados do K e Mg podem levar a alterações fisiológicas ao nível fotossintético. O processo inicia-se com cloroses, muitas vezes nas pontas e nas margens das folhas mais velhas, seguida por secamento, necrose e perfuração do tecido foliar. Essa sequência foi observada e confirmada através da avaliação da morfologia externa em todas as estações das três áreas de estudo, nas duas campanhas.

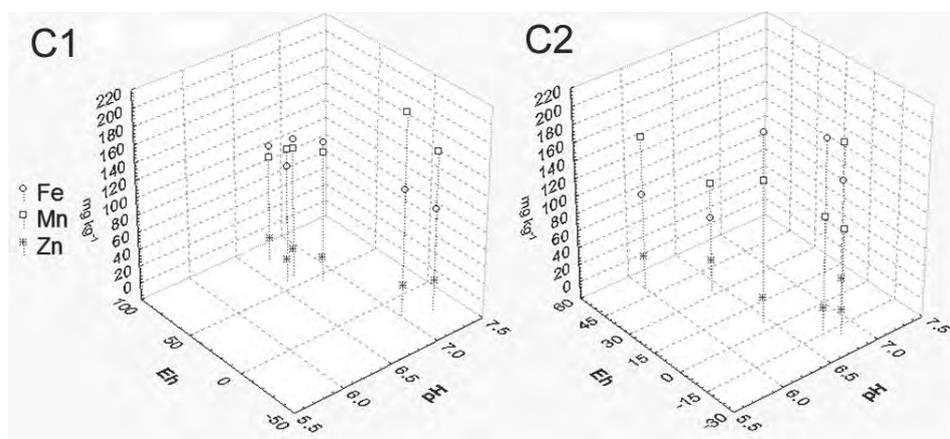
A distribuição das concentrações dos elementos determinados nas folhas do gênero *Avicennia*, em geral, foi maior na primeira campanha (C<sub>1</sub>, período chuvoso), quando foram observados os menores valores de pH, provavelmente relacionadas a precipitações que ocorreram no local, no período de novembro de

2011, e que propiciaram a disponibilização destes elementos aos ambientes marinhos adjacentes. Embora as coletas tenham sido realizadas em períodos distintos, não foram verificadas diferenças significativas quanto à variação temporal.

A flutuação do pH e Eh favoreceu a solubilização de alguns elementos nas três áreas estudadas e, assim, a sua possível disponibilização para a cadeia trófica. Estas concentrações, todavia, encontram-se abaixo dos níveis considerados tóxicos a espécies vegetais.

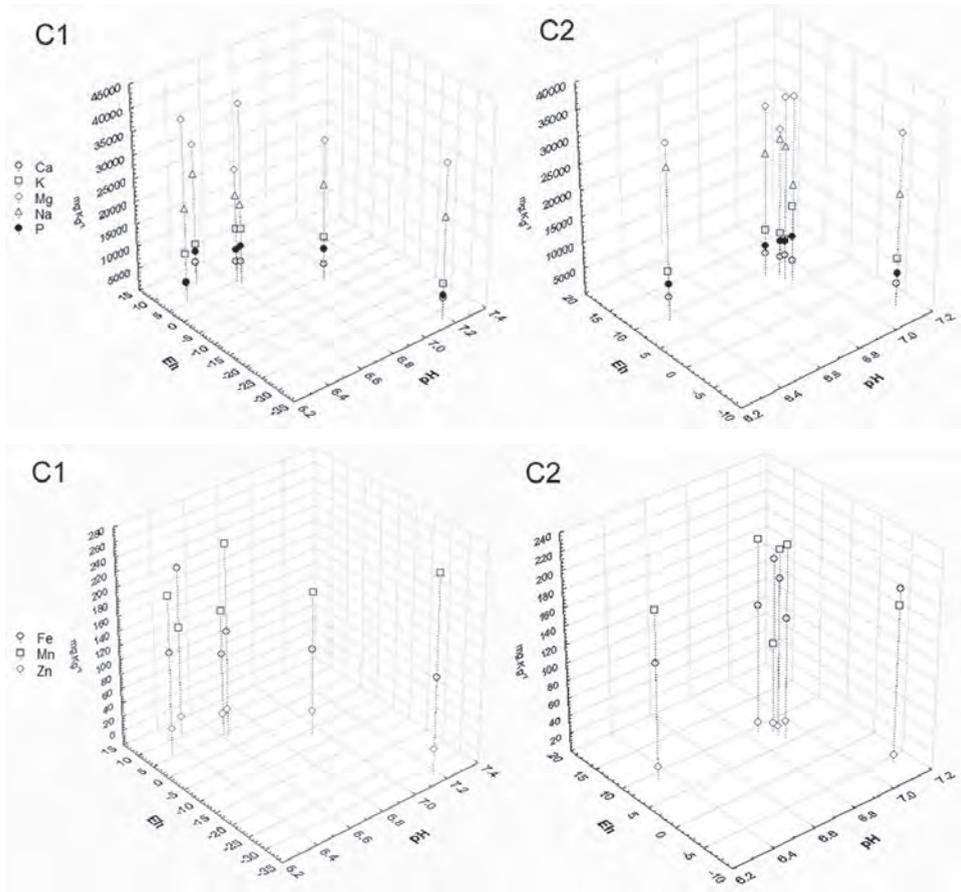
Os baixos valores dos fatores de concentração reforçaram a elevada seletividade das plantas de mangue na translocação de elementos químicos que podem ser nocivos ao seu desenvolvimento.

Figura 1 – Distribuição das concentrações ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) de Fe, Mn e Zn nas amostras analisadas, em função de pH e Eh, nas coletas de campo C1 e C2



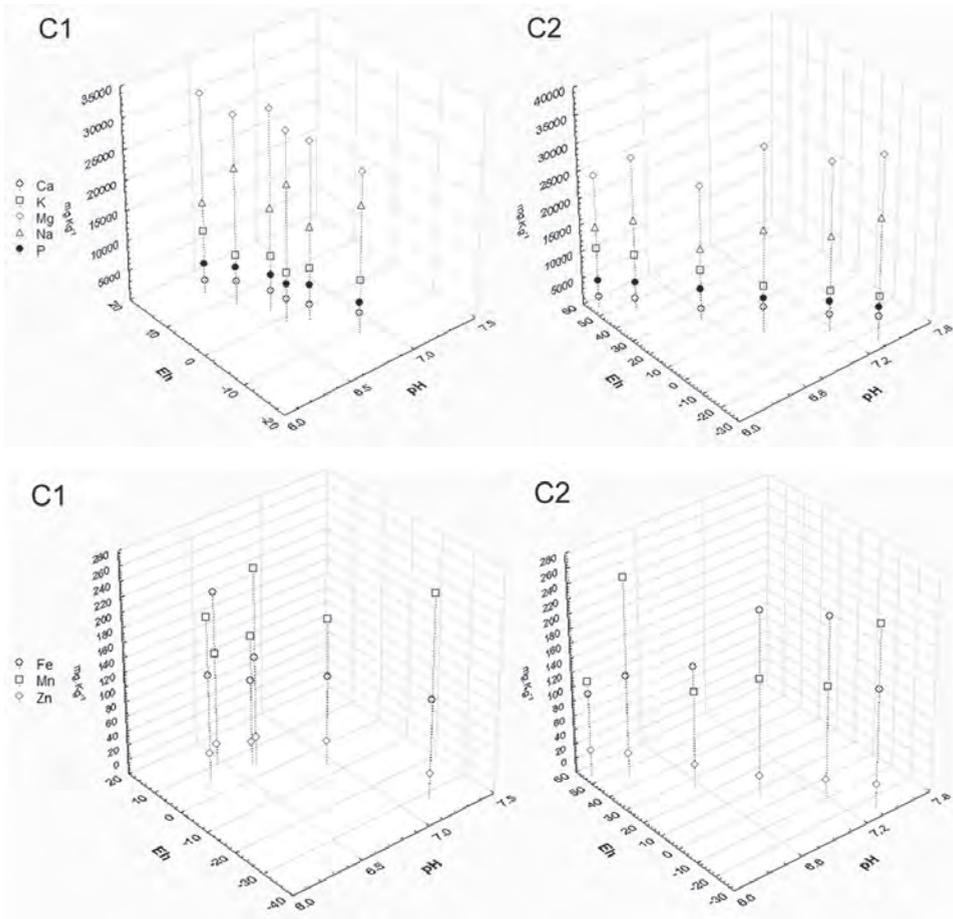
Fonte: Elaboração dos autores.

Figura 2 – 3D Scatterplot das concentrações médias de macrossímbios (Ca, K, Mg, Na e P), acima, e microssímbios (Fe, Mn e Zn), abaixo, nas folhas de *Avicennia schaueriana* Stapf & Leechman Pardo vs. pH e Eh, para as duas campanhas de campo (C1 e C2)



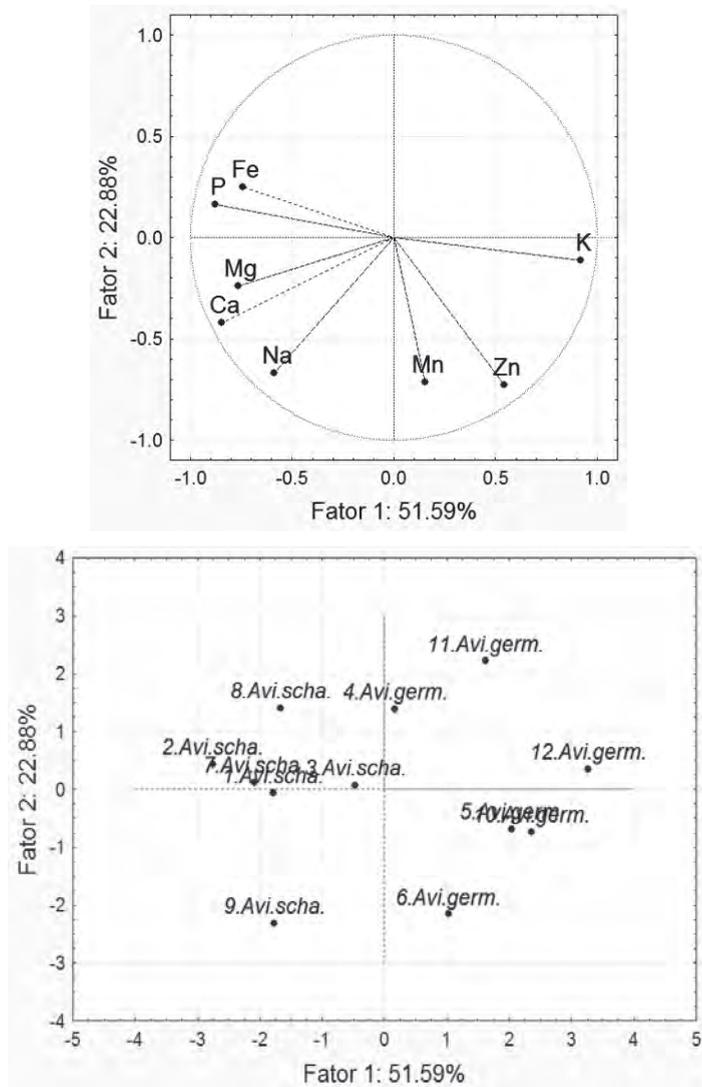
Fonte: Elaboração dos autores.

Figura 3 – Distribuição da concentração de macro elementos (Ca, K, Mg, Na, P), acima, e micro elementos (Fe, Mn e Zn), abaixo, em função do pH e Eh nas folhas de *Avicennia schauerianna* do manguezal do rio Jequitinhonha



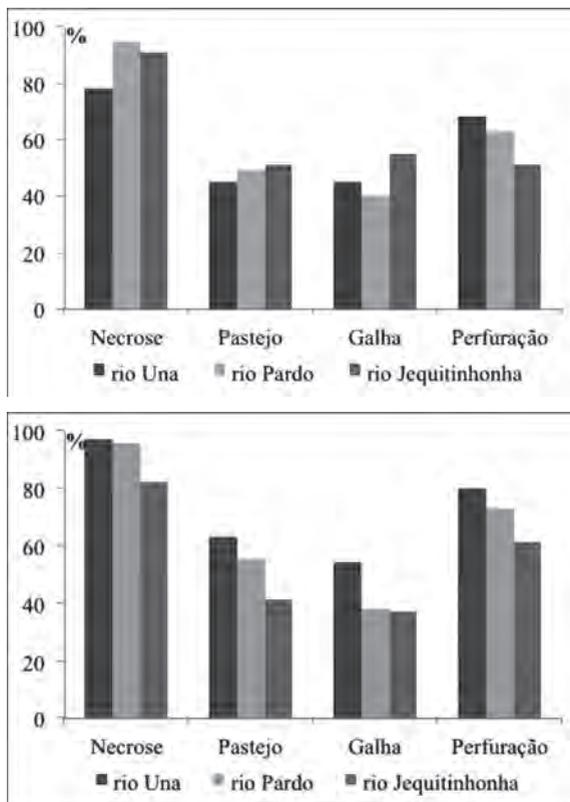
Fonte: Elaboração dos autores.

Figura 4 – Gráfico de pesos e de escores para os elementos químicos determinados nas folhas do gênero *Avicennia* coletadas no manguezal do rio Jequitinhonha



Fonte: Elaboração dos autores.

Figura 5 – Alterações na morfologia externa das folhas do gênero *Avicennia* nos manguezais dos rios Una, rio Pardo e rio Jequitinhonha, em C1 e C2



Fonte: Elaboração dos autores.

# ***Goniopsis cruentata* (Latreille, 1803) como bioindicador passivo nos manguezais dos rios Una, Pardo e Jequitinhonha**

---

Maria Luiza Gomes Garrido Menezes

Catherine Prost

Daniela Santos Anunciação

Simone Souza de Moraes

Táise Bomfim de Jesus

## **Introdução**

Os metais são elementos químicos constituintes naturais do ambiente, encontrados em baixas concentrações como elementos acessórios de minerais e rochas, porém o crescimento das atividades antrópicas tem resultado no aumento do aporte destes elementos para o ambiente, os quais podem acumular-se em sedimentos, fauna e flora e onde podem manifestar sua toxicidade. (AGUIAR NETO et al., 2007)

Assim, são utilizados bioindicadores para detectar qualitativa e quantitativamente uma situação de estresse em um determinado local e avaliar o nível de poluição do mesmo. Para isso, são escolhidos organismos de fácil coleta que possuem capacidade de acumular poluentes e respostas particulares a estes, e que sejam representativos da área pesquisada. (LARCHER, 2000; WAGNER;

BOMAN, 2003) Neste contexto, os crustáceos se destacam por habitar galerias no sedimento dos manguezais e se alimentar de folhas e detritos orgânicos que podem apresentar contaminação por metais. (JESUS et al., 2003)

O *Goniopsis cruentata* (Latreille, 1803), popularmente conhecido como aratu, é um importante recurso pesqueiro na região dos municípios de Una, Canavieiras e Belmonte. Trata-se não apenas de um alimento muito consumido pelas famílias ribeirinhas, mas também uma de suas principais fontes de renda, já que a venda do “catado” resulta em média R\$ 630,00 por pessoa/mês durante a alta estação do turismo. (MENEZES, 2013)

Neste capítulo são apresentadas as concentrações de metais traços em tecidos musculares, hepáticos e branquial de *G. cruentata* mariscados nos manguezais dos rios Una, Pardo e Jequitinhonha, sendo os valores obtidos comparados com os limites da presença de metais traço em alimentos estabelecidos pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária. (ANVISA, 1998)

## **Materiais e métodos**

As coletas de aratu foram realizadas em duas campanhas (abril e outubro de 2012) nos manguezais dos rios Una, Pardo e Jequitinhonha, em seis pontos distribuídos aleatoriamente ao longo das margens de cada rio, nos manguezais (Capítulo 2, Figura 3). Foram coletados 20 crustáceos em cada ponto e em cada campanha, totalizando 120 indivíduos por rio estudado.

Os procedimentos de coleta e análise das amostras estão descritos no Capítulo 2.

Para a comparação das concentrações de elementos traço encontrados com os valores máximos de metais estabelecidos pela Anvisa (1998), as concentrações de elementos traço foram reajustadas para o peso úmido. O fator de conversão utilizado foi a média da porcentagem de umidade dos organismos nos diferentes pontos amostrais.

## **Resultados e discussões**

Em seguida, serão apresentados os resultados referentes às concentrações de metais nos tecidos dos crustáceos analisados, às diferenças encontradas entre machos e fêmeas e nas diferentes épocas de coleta das amostras.

### **Concentrações de metais nos tecidos de *G. cruentata***

Uma análise dos gráficos de correlação de Pearson das três regiões estudadas, observa-se uma tendência de separação entre as amostras de brânquias em relação às demais.

No manguezal do rio Una foi evidenciada forte correlação positiva entre Ba, Cu, Cd, Fe, Ni, V, mas os analitos Ba, Cd, Ni, V e Zn não apresentaram valores altos para os diferentes tecidos analisados. Já o Mn apresentou altos teores nas brânquias e no tecido muscular e o Fe apresentou valores altos em todas as estruturas corpóreas (Tabela 1).

Constatou-se uma correlação positiva entre Ba, Cu, Cd, Fe, Ni, V e Mn no manguezal do rio Pardo, mas os analitos Ba e Ni não apresentaram valores altos para os diferentes tecidos analisados. Com relação ao Zn, este apresentou maior valor no tecido muscular para os indivíduos machos, inclusive excedendo o valor permitido pela legislação brasileira. O Mn e o V apresentaram altos valores nas brânquias e foram detectados teores altos de Fe em todas as estruturas corpóreas (Tabela 1).

Houve uma correlação positiva forte entre Cd, Mn, V, Fe, Ba, Ni e Cu no manguezal do rio Jequitinhonha, sendo que os analitos Zn, Cd e Ni apresentaram valores baixos em todos os tecidos analisados. Já o Ba e Fe apresentaram valores altos nas brânquias e hepatopâncreas, enquanto que o Mn e o V tiveram maiores teores nas brânquias (Tabela 1).

O Cu apresentou valores muito acima do estabelecido pelas Anvisa (1998) em todos os tecidos analisados nos diferentes manguezais estudados, com destaque para o tecido branquial. Os metais traços presentes no ambiente são adsorvidos pelas brânquias, sendo este o primeiro órgão a ser contaminado em razão de apresentar uma alta permeabilidade. (BOITEL; TRUCHOT, 1989; RAINBOW, 1988) Assim, altos teores de Cu nas brânquias são esperados, já que este elemento faz parte da constituição do pigmento respiratório de crustáceos, hemocianina (RAINBOW, 1997), porém, quando encontrado em excesso nas brânquias, pode causar danos e interferir em processos fisiológicos no animal. (HANSEN; MUSTAFA; DEPLEDGE, 1992; HODSON; BORGMANN; SHEAR, 1979)

O fato de ter encontrado teores elevados de Cu no hepatopâncreas concorda com um estudo realizado por Catelani (2009), utilizando *Callinectes danae* (Smith 1869), para determinação de metais na lagoa de Mundaú (AL), no qual foram

verificadas concentrações para Cu mais elevadas nas vísceras. É preciso levar em conta que o hepatopâncreas é um órgão de detoxificação nos crustáceos. Além disso, foram registradas altas concentrações deste elemento também nos tecidos musculares de *G. cruentata*, de modo que espécies diferentes podem assimilar Cu em compartimentos distintos e possuem diferentes estratégias de absorção e eliminação, bem como de regulação de substâncias tóxicas. (CANLI; RODGER, 1997)

O metal Cu tem como principais fontes naturais a vegetação e queimadas de florestas, mas suas fontes artificiais são a mineração, produção de fertilizantes, esgoto doméstico e industrial (GUSMÃO, 2004), além de constituir substância comum em rações para camarões utilizadas em tanques de carcinicultura. Desse modo, este elemento tem sua concentração aumentada devido às atividades antrópicas. (GUILHERME et al., 2005)

Para o elemento Fe, verificam-se altos teores deste metal em todos os tecidos do *G. cruentata*, com destaque para as brânquias e a fonte de contribuição desse elemento pode ser tanto de forma natural, através das rochas, como antropogênica, através de efluentes industriais e mineração. (SIMÕES, 2007)

### **Diferenças entre machos e fêmeas na concentração de metais**

Os teores médios encontrados nos tecidos analisados apresentaram diferença significativa entre os sexos, a qual era esperada já que a bioacumulação de metais em cada sexo pode ser influenciada pelas taxas de crescimento e suas atividades metabólicas diferenciadas. (BARRENTO et al., 2009)

Além disso, os machos tenderam a apresentar maiores teores de metais nas brânquias (Tabela 1). De acordo com Virga, Geraldo e Santos (2007), os metais entre diversos contaminantes químicos podem ser encontrados frequentemente em vários órgãos e tecidos do corpo animal, sendo que alguns possuem uma maior afinidade por um órgão específico. No caso dos machos de *G. cruentata* das regiões estudadas, este órgão foi as brânquias.

### **Concentrações de metais nos tecidos de aratu nas estações seca e chuvosa**

Com relação às campanhas amostrais, a segunda campanha (C2, período seco) apresentou valores mais altos de metais quando comparada a primei-

ra campanha (C<sub>1</sub>) (Tabela 1), os quais podem estar relacionados à redução das vazões fluviais em decorrência de menores precipitações (Capítulo 3) e consequente aumento das concentrações destes elementos. Além disso, temperaturas mais altas (C<sub>2</sub>, período seco) aceleram o metabolismo destes organismos, induzindo a alimentação com maior frequência e resultando em um aumento de concentração de metais em seus corpos. (ORIBHABOR; OGBEIBU, 2009)

### **Considerações finais**

No manguezal do rio Una, constatou-se que os valores médios obtidos para o Cu, nas amostras de aratu analisadas, estão acima dos limites máximos recomendados pela Anvisa (1998).

No manguezal do rio Pardo, os valores de Cu, Cd e Zn estão acima dos limites máximos recomendados pela Agência de Saúde.

No manguezal do rio Jequitinhonha, os valores de Cu estão acima dos limites máximos recomendados.

Para as três localidades, concentrações de Cu estão acima do limite permitido pela Anvisa (1998) nos diferentes tecidos, com destaque para as brânquias, órgão de contato com o ambiente externo.

Para os metais Ba, Ni, V, Mn e Fe não foi possível avaliar se as concentrações encontradas devem ser consideradas elevadas ou não, haja vista não haver limite previsto na legislação brasileira pertinente.

O aratu, *G. cruentata* (Latreille, 1803), mostrou ser um bom bioindicador de contaminação por metais traços devido à sua capacidade em retê-los por diversas vias, conferindo-lhe importante papel para estudos de monitoramentos indiretos.

Tendo em vista a importância socioeconômica do aratu, recomenda-se a realização de estudos que possibilitem avaliar as implicações destes metais na saúde humana, já que este crustáceo é bastante consumido pela população residente e por turistas nestas regiões.

Tabela 1 – Faixas de concentração dos metais (mg kg<sup>-1</sup>) determinados nas amostras de *Goniopsis cruentata* (Latreille, 1803), para as 1<sup>a</sup> (C1) e 2<sup>a</sup> (C2) campanhas, coletadas nos manguezais dos rios Una, Pardo e Jequitinhonha, limites de detecção (LD) e de quantificação (LQ) dos analitos e valores máximos permitidos pela legislação brasileira (Anvisa)

Local/Amostra	Ba		Cd		Cu		Mn		Ni		V		Zn		Fe		
	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2
Rio Una	TM	0,550	0,866	0,104	0,090	4,942	64,648	0,352	39,868	0,045	0,499	0,011	7,966	15,466	9,997	2,991	1888,321
	TF	0,508	2,238	0,096	0,084	1,137	53,018	0,511	41,510	0,045	0,601	0,036	7,576	5,281	4,042	5,640	1802,236
Rio Pardo	BM	3,017	5,436	0,292	0,121	136,270	85,305	112,195	215,490	1,454	1,057	23,216	15,534	3,124	10,448	6041,693	4325,028
	BF	5,352	6,895	0,279	0,126	87,379	76,422	216,122	128,980	1,625	1,173	28,838	20,005	3,124	4,296	7158,743	4989,651
Rio Jequitinhonha	HM	0,795	2,674	0,024	0,009	45,788	57,813	2,740	10,089	0,579	0,595	0,197	0,229	3,124	3,124	461,193	601,457
	HF	1,201	2,064	0,049	0,013	34,039	63,647	7,489	11,146	0,448	0,945	0,307	0,121	3,124	3,124	666,320	407,853
Limites	TM	0,571	0,744	0,043	0,053	16,035	23,314	4,040	5,720	0,243	0,290	0,520	1,866	15,153	29,894	597,250	710,174
	TF	0,583	0,527	0,043	0,049	10,900	12,814	4,824	8,955	0,335	0,228	1,185	1,723	8,383	11,212	509,630	513,113
LD (µg kg <sup>-1</sup> )	BM	4,776	7,701	0,121	0,235	137,586	144,205	45,296	271,417	1,769	2,426	10,596	23,041	3,124	3,124	3913,378	7452,829
	BF	5,591	7,189	0,176	0,243	116,620	142,086	99,568	155,715	2,108	2,890	18,403	22,116	3,124	3,276	5604,406	7860,537
LQ (µg kg <sup>-1</sup> )	HM	0,508	0,948	0,015	0,011	53,433	48,494	8,128	8,424	1,218	1,139	0,386	0,102	3,124	3,124	646,877	452,217
	HF	1,317	0,771	0,027	0,020	45,325	44,755	22,678	22,372	1,159	1,923	0,977	0,259	3,124	10,402	910,221	426,816
ANVISA <sup>1</sup>	TM	2,675	0,318	0,144	0,031	12,647	9,135	0,509	0,352	0,049	0,045	0,020	0,008	17,769	29,263	17,641	8,467
	TF	2,155	0,148	0,127	0,035	5,858	8,823	1,210	1,664	0,050	0,048	0,032	0,036	5,300	10,031	12,745	8,929
Não determinado	BM	13,360	7,417	0,235	0,169	133,298	190,891	212,615	121,567	2,976	2,230	17,745	19,093	3,124	3,124	6314,010	5941,120
	BF	12,189	9,096	0,314	0,212	121,893	170,287	223,801	290,848	3,701	2,765	31,918	23,325	3,124	3,124	9058,887	6859,779
0,891	HM	4,461	4,885	0,040	0,021	154,012	233,133	7,728	20,771	1,241	1,918	0,819	0,168	3,124	3,124	1330,314	837,060
	HF	4,465	4,959	0,038	0,029	94,921	208,654	26,349	28,175	1,456	1,932	0,785	0,305	3,124	7,262	922,683	915,973
0,002		0,045		0,001		0,341		0,106		0,013		0,002		0,891		0,891	
0,008		0,148		0,004		1,137		0,352		0,045		0,008		3,123		2,990	
Não determinado		Não determinado		1,000		30,000		Não determinado		Não determinado		Não determinado		50,000		Não determinado	

TM = tecido muscular do macho; TF = tecido muscular da fêmea; BM = brânquias do macho; BF = brânquias da fêmea;

HM = hepatopâncreas do macho; HF = hepatopâncreas da fêmea. <sup>1</sup> Anvisa (1998).

Fonte: Elaboração dos autores.

# **Sistema de Banco de Dados Geoquímicos Georreferenciados (SBDGG) do litoral sul do Estado da Bahia**

---

Joaquim Bonfim Lago  
Eduardo Magalhães Sampaio  
Gisele Mara Hadlich  
Joil José Celino  
Antônio Fernando de Souza Queiroz

## **Introdução**

A Geoquímica é uma das mais importantes áreas de conhecimento no contexto das Geociências. Grande parte dos serviços geológicos do mundo a utilizam para ampliar e melhorar seu conhecimento em vários segmentos profissionais, acadêmicos e científicos. Assim sendo, são gerados muitos dados que devem ser tratados para se atingir os objetivos que levaram à aquisição destes.

Com a evolução dos instrumentais analíticos que realizam análises geoquímicas, as informações oriundas de etapas de campo e laboratório vem aumentando consideravelmente e a necessidade de analisá-las e guardá-las vem exigindo tecnologias cada vez mais modernas e eficientes. Este armazenamento tem se mostrado um grande desafio nos últimos tempos, devido à necessidade da organização dessas informações de maneira sistematizada e ao mesmo tempo

confiável, e que possam ser disponibilizadas para diversos tipos de trabalhos. Dessa forma, a proposta de armazenar esses dados em sistemas tecnológicos do tipo computacional configura-se como uma importante decisão técnica para profissionais da Geoquímica.

Com relação a esse aspecto, foi desenvolvido o Sistema de Banco de Dados Geoquímicos Georreferenciados (SBDGG/NEA/UFBA, ou simplesmente SBDGG), como uma ferramenta tecnológica destinada a armazenar de forma apropriada dados gerados pelos pesquisadores do Núcleo de Estudos Ambientais (NEA) e do Programa de Pós-Graduação em Geoquímica: Petróleo e Meio Ambiente (Pos-petro), do Instituto de Geociências (IGEO), da Universidade Federal da Bahia (UFBA).

Um banco de dados (BD) é uma coleção de dados persistente, usada pelos sistemas de aplicação de uma determinada organização. (DATE, 2004) Nesse sistema de informática, é apresentado um conjunto de elementos em uma estrutura regular, com informações organizadas e sistematizadas. Essa estruturação normalmente apresenta uma grande complexidade, que é mascarada através dos chamados níveis de abstração (SILVA, 2003), não importando ao usuário como essas informações estão realmente armazenadas, e sim como obtê-las em um formato propício para seu trabalho.

No entanto, durante a construção do sistema, deve existir uma preocupação, por parte da equipe de desenvolvimento, de como esse banco irá guardar os dados. Essa funcionalidade é intrínseca ao modelo de banco de dados, que representa a estrutura física na qual o armazenamento dos dados serão dispostos, dentre os quais se destaca o BD relacional. Este modelo representa o banco de dados como uma coleção de relações, que se parecem, informalmente, com uma tabela de valores. (ELMASRI; NAVATHE, 2011) Ele foi proposto por E. F. Codd, do Laboratório de Pesquisas da IBM, no final dos anos 1960. (DATE, 2004) Silberschatz, Korth e Sudarsha (2006) definem que no banco de dados relacional, cada tabela possui determinada estrutura, denominada de esquema, em que uma linha representa o relacionamento em um conjunto de valores. Uma vez que a tabela é uma coleção de tais relacionamentos, há uma estreita correspondência entre o conceito de tabela e o conceito matemático de relação, de onde o modelo de dados relacional toma o seu nome.

## **Desenvolvimento da ferramenta tecnológica SBDGG**

O BD relacional é cientificamente apropriado para ser utilizado no tratamento, organização e sistematização das informações geoquímicas obtidas, a exemplo os dados adquiridos nos municípios de Una, Canavieiras e Belmonte pelo Projeto Petrotecmangue-Basul. Além disso, o modelo relacional é o mais implementado computacionalmente, tendo muitos aplicativos que se integram nessa plataforma. Assim, podem ser citados: Oracle (ORACLE, 2013), SqlServer (MICROSOFT, 2013), PostgreSQL (POSTGRESQL, 2013), Mysql (ORACLE, 2013), dentre outros. Para a construção do SBDGG foram realizadas diversas etapas, descritas a seguir.

### **Seleção de programas**

Foram empregados *softwares* livres, de acesso gratuito e uso geral, como: o Apache (THE APACHE, 2013), servidor *web*, para hospedagem das páginas; linguagem PHP (THE PHP, 2013), pela funcionalidade na construção de páginas dinâmicas e de fácil integração com o banco; e o Mysql, utilizado como o gerenciador do banco de dados.

### **Seleção de atributos: matrizes e parâmetros físicos e químicos**

No âmbito do NEA são desenvolvidas pesquisas vinculadas à caracterização e ao monitoramento ambiental, onde são realizadas análises geoquímicas com a determinação de diversos parâmetros físico-químicos, análises de elementos traços e de orgânicos em diferentes matrizes ambientais (água, sedimentos, solos, entre outros), seguindo metodologias reconhecidas no meio científico (protocolos).

### **Construção do modelo conceitual**

O primeiro passo para construção foi verificar quais os dados geoquímicos gerados a partir das pesquisas realizadas. Alguns destes são apresentados no Quadro 1 (parte superior).

Destaca-se ainda que existem detalhes que dizem respeito a informações de profundidade de coleta de amostras, medidas de folhas (comprimento, largura) ou de caules (diâmetro à altura do peito) etc.

Quadro 1 – Campos existentes no SBDGG para inserção de dados analíticos e exemplo de cada campo e da relação existente, onde cada matriz pode se relacionar a diferentes variáveis e cada variável reúne diversas subvariáveis (de acordo com protocolos específicos) e seus detalhes

Geral	Ponto	Matrizes	Variáveis	Subvariáveis	Protocolos	Detalhes
Autor	Data (da coleta) coordenadas	Sedimento Água Vegetação Fauna Flora Óleo Solo Atmosfera	Físico-químico Nutrientes Inorgânicos Orgânicos Biometria	Temperatura pH Oxigênio Dissolvido Condutividade Salinidade Matéria Orgânica Alcalinidade Sulfeto Al Cd Fe Ni Pb HPA HTP Folha Raiz	Embrapa (2009) Refratômetro portátil Extração parcial (ASTM, 1992) Extração parcial (água régia) Extração total (EPA, 1996)	Profundidade Comprimento Largura Diâmetro
Exemplo: abaixo são gerados campos para entrada dos valores numéricos relativos às diferentes frações granulométricas (subvariáveis) para as amostras coletadas a 5 cm e a 20 cm de profundidade						
SILVA (2012)	15/nov/12 8457623N 458978E	Sedimento	Granulometria	Areia grossa Areia média Areia fina Silte Argila	EMBRAPA (2009) e difração a laser	Profundidades 5 cm 20 cm

Fonte: Elaboração dos autores.

Para entrada de dados, cada autor/data, devem ser digitadas as coordenadas do ponto de coleta, havendo, geralmente, diversos pontos. Para cada ponto seleciona-se uma ou mais matrizes, sendo que cada matriz possui a possibilidade de escolha de determinadas variáveis; da mesma forma, cada variável possui subvariáveis (Quadro 1). Assim, ao selecionar a matriz “Sedimento”, não aparece a possibilidade de selecionar a variável “Biometria” e as subvariáveis relacionadas à biometria (como “comprimento de folhas”, “diâmetro de caule” etc.). O Modelo Conceitual construído estabelece as relações entre tipos de amostras (Matrizes), localização, datas e parâmetros analisados (Quadro 1). Além disso, incluiu também o tipo de gerenciamento e de saída dos dados.

O SBDGG pode ser acessado por três tipos de usuários (entrando com *login* e senha individuais): 1) o administrador do sistema que tem acesso irrestrito a todo

o banco, incluindo a criação de novas matrizes, variáveis e subvariáveis, e também tem a autonomia para realizar as modificações mais complexas; 2) o usuário avançado que tem acesso à coleta de informações inseridas no Sistema e possui permissão para cadastramento de dados (inserir autores, pontos e resultados analíticos), porém não cria novas matrizes, variáveis, subvariáveis etc.; 3) o usuário padrão tem acesso restrito à coleta de informações inseridas no Sistema. A Figura 1 apresenta um exemplo de tela de entrada para usuário do perfil administrador que tem, por exemplo, possibilidade de criar (inserir) novos parâmetros.

### Seleção e entrada dos dados

Na Figura 2, pode-se visualizar a tela de seleção e operações para a matriz “Sedimento”. Destacam-se os protocolos usados nas análises laboratoriais e, para cada subvariável, existe uma unidade específica que aparece na tela no momento da entrada dos dados. Para as classes granulométricas, por exemplo, utiliza-se a unidade porcentagem; para a concentração de metais traço,  $\mu\text{g g}^{-1}$  ou  $\text{mg kg}^{-1}$ . Caso os dados a serem inseridos estejam em unidades diferentes, eles deverão ser convertidos para o padrão estabelecido, preferencialmente o Sistema Internacional. (INMETRO, 2012)

Depois da escolha citada, uma planilha será criada na qual será possível incluir os dados analíticos (Figura 3).

Os dados numéricos podem ser inseridos a partir de uma planilha pré-existente de outro programa (Tabela 1), através de uma função copiar/colar, atentando-se para que os dados numéricos na planilha externa estejam organizados da mesma forma que a planilha do SBDGG.

Tabela 1 – Exemplo de tabela com resultados analíticos que podem ser copiados/colados na tabela do SBDGG/NEA/UFBA

	pH	% Areia Fina	% AreiaGrossa	% Argila	% Silte	MO
Una-1.1	7,27	6,22	2,66	1,21	52,73	2,69
Una-1.2	7,02	0,00	2,18	1,41	75,55	3,49
Una-1.3	6,84	23,79	0,88	0,49	36,71	2,43
Una-1.4	6,61	0,00	6,63	2,02	67,75	3,26
Una-1.5	6,70	0,00	5,45	1,98	73,90	3,60

Fonte: Elaboração dos autores.

É permitido ao usuário padrão selecionar um ou mais autores e verificar os parâmetros disponíveis para um ponto amostral. As informações geoquímicas disponibilizadas referem-se às matrizes ambientais distintas (por exemplo: sedimento, água, biota) e parâmetros físicos, químicos e biológicos (por exemplo: pH, Eh, condutividade, oxigênio dissolvido, salinidade, Al, Cd, Pb, Zn, biometria de animais e folhas).

Os dados de saída do SBDGG são representados com as informações referente a Autor, Data, Matriz, Ponto, Coordenadas, Parâmetros e outros (Quadro 2).

Quadro 2 – Dados analíticos exportados do SBDGG

<b>Autor: Cruz</b>	<b>Data: 2011-11-01</b>	<b>Matriz: Sedimento</b>	
Pontos_Parametros	Coord.x	Coord.y	M.O.
Una-1.2	500297	8314188	3,49
Una-1.4	500113	8312952	3,26
Una-1.6	499612	8311540	3,42
Una-1.1	499522	8315592	2,69
Una-1.3	500187	8313311	2,43
Una-1.5	499612	8312278	3,6
Una-2.2	500315	8314314	2,53
Una-2.4	500159	8312963	3,46
Una-2.6	499612	8311551	2,52
Una-2.1	500002	8315307	2,02
Una-2.3	500206	8313336	2,88
Una-2.5	498738	8308649	3,04

Fonte: Elaborado pelos autores.

As planilhas geradas no SBDGG podem ser exportadas para outros programas para realização de análises estatísticas ou elaboração de gráficos. Como exemplo, tem-se uma carta de isotores de matéria orgânica (Figura 4), elaborada a partir de dados extraídos do BD, através de uma planilha (Figura 5). Neste exemplo foram utilizados resultados analíticos que amostras de sedimentos coletados no município de Una, região do litoral sul do Estado da Bahia.

## Considerações finais

O SBDGG/NEA/UFBA é um processo de inovação tecnológica construído de forma a habilitar a organização e armazenamento de dados geoquímicos gerados em pesquisas nessa área e de permitir, também, a divulgação e acesso pela comunidade científica cadastrada.

Esse sistema foi implementado na *web* e, dessa forma, possibilita o acesso aos dados a partir de qualquer dispositivo computacional, além da realização de *backup*, facilidade na busca e uso desses dados para novos trabalhos. No SBDGG podem ser armazenados dados científicos obtidos de pesquisas geoquímicas, aplicado para localidades geográficas e compartimentos ambientais sobre os quais as investigações estiverem sendo realizadas. Podem ser cadastrados dados de parâmetros físico-químicos (como pH, Eh, condutividade, oxigênio dissolvido, salinidade, temperatura), nutrientes (N, P, K), químicos (como HPA, HTP, metais traço), biológicos (por exemplo: biometria de animais e vegetação), entre outros.

O sistema de entrada de dados, com usuários com níveis de acesso diferenciados, permite um maior controle do sistema. Já a saída de dados permite o uso destes em outros programas, facilitando realização de análises estatísticas e elaboração de gráficos. Permite, também, a geração de mapas e uso dos dados na geoestatística, haja vista que todos os dados inseridos são georreferenciados.

Figura 1 – Exemplo de janela do SBDGG/NEA/UFBA, para criação de novos parâmetros pelo perfil Administrador

**SBDGG/NEA/UFBA**

Home | Autor | Ponto | Dados | Mapa | Administração | Logout (Administrador do Sistema)

Página inicial » Parametro » Criar

### Criar

Operações  
Listar

Descrição\*  
Silt

Unidade  
%

Menor valor possível  
0

Maior valor possível  
100

Categoria\*  
Granulometria

Create

Figura 2 – Tela de seleção e operações para a matriz “Sedimento” do SBDGG

**SBDGG/NEA/UFBA**

Home | Autor | Ponto | Dados | Mapa | Administração | Logout (Administrador do Sistema)

Página inicial » Parametro » Listar

### Parâmetros

Operações  
Criar

Exibindo 1-50 de 79 resultado(s)

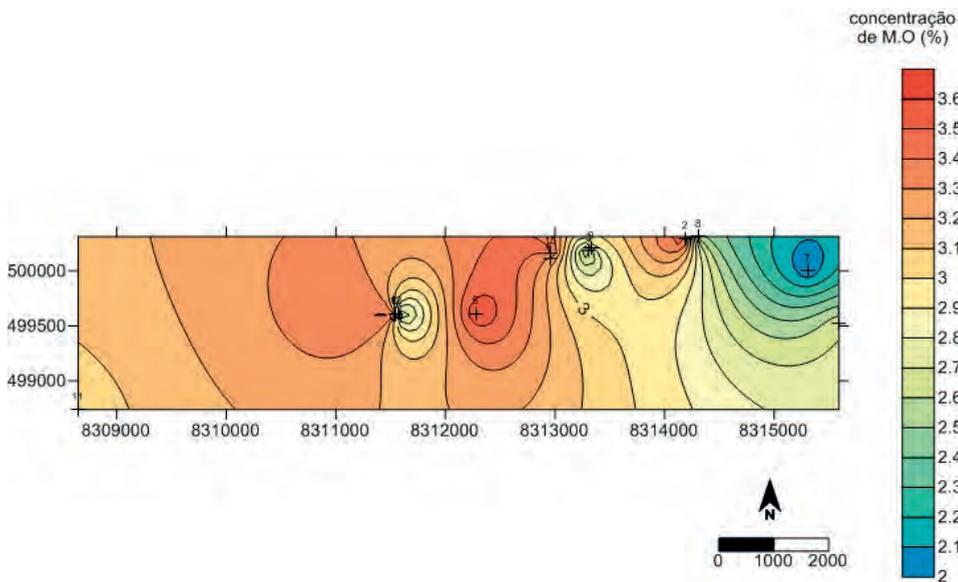
Categoria	Protocolos	Descrição	Unidade	Validação	Operações
Granulometria	Difração a Laser	areia media	%	—	✕ ↗
Granulometria	Difração a Laser	areia total	%	—	✕ ↗
Granulometria	Difração a Laser	argila	%	—	✕ ↗
Granulometria	Difração a Laser	silt	%	—	✕ ↗
Físico-Químico	ASTM, 1992	pH		[0..15]	✕ ↗

Figura 3 – Planilha do BD depois das escolhas dos parâmetros e suas variáveis e subvariáveis

The screenshot shows the SBDGG/NEA/UFBA web interface. At the top, there is a navigation menu with options: Home, Autor, Perfil, Dados, Mapa, Administração, and Logout (Administrador do Sistema). Below the menu, there is a breadcrumb trail: Página inicial » Dados » Inserir Dados. The main heading is 'Insira os valores' (Enter the values). Underneath, it specifies 'Sedimento-0 a 10'. A table with six columns and five rows is displayed. The columns are labeled: pH (ASTM, 1992), areia fina (Direção e Laser), areia grossa (Direção e Laser), argila (Direção e Laser), silte (Direção e Laser), and M.O. (Peróxido-Númetes). The rows are labeled Una-1.1 through Una-1.5. Each cell in the table contains an empty input field for data entry.

	pH (ASTM, 1992)	areia fina (Direção e Laser)	areia grossa (Direção e Laser)	argila (Direção e Laser)	silte (Direção e Laser)	M.O. (Peróxido-Númetes)
Una-1.1	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Una-1.2	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Una-1.3	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Una-1.4	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Una-1.5	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Figura 4 – Distribuição espacial dos teores de MO (%) em sedimentos de manguezais no estuário do rio Una



Fonte: Elaboração de Joaquim B. Lago



# **Isolamento de microrganismos potencialmente degradadores de hidrocarbonetos de petróleo em áreas não degradadas e degradadas pela indústria petrolífera**

---

Ketlyn Luize Fioravanti

Joil José Celino

Juan Carlos Rossi-Alva

## **Introdução**

O petróleo é um líquido viscoso no qual cerca de 90% dos componentes são hidrocarbonetos. (HARAYAMA et al., 1999; YAKIMOV et al., 2005) Alguns microrganismos, ao entrar em contato com o óleo derramado, sofrem um processo de adaptação, reconhecendo seus componentes como fonte de carbono e energia, iniciando assim o processo de degradação. (CRAPEZ et al., 2002)

Microrganismos com habilidade em degradar hidrocarbonetos estão amplamente distribuídos na natureza. (VAN HAMME; SINGH; WARD, 2003) Os hidrocarbonetos de petróleo são passíveis de oxidação por bactérias, cianobactérias, fungos e leveduras que crescem em sua superfície e o utilizam como doadores de elétrons. (MADIGAN; MARTINKO; PARKER, 2004)

O petróleo derramado nos oceanos é levado para os ecossistemas costeiros como, por exemplo, os manguezais, típicos de regiões tropicais e subtropicais. Esse ecossistema destaca-se pela sua função de berçário, refúgio e abrigo para

diversas espécies marinhas e estuarinas em busca de alimento e reprodução. (ALONGI, 2002; QUEIROZ; CELINO, 2008)

Os sedimentos de manguezal apresentam diferentes níveis de contaminação a depender do grau de intervenção humana ao qual estão expostos. A quantidade de óleo derramado, seu tipo, padrão de deposição e tempo de retenção são fatores que irão auxiliar na determinação dos impactos causados à fauna e à flora. (NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION, 2002; PEIXOTO et al., 2011; SANTOS et al., 2011)

Cerca de 90% da biomassa microbiana presente nos manguezais é composta de bactérias, *archaeas* e fungos. Nos sedimentos de manguezais, os diferentes componentes do petróleo são degradados por microrganismos específicos, os quais podem atuar como indicadores ambientais. (ALONGI, 2002; BRITO et al., 2006; PEIXOTO et al., 2011; SANTOS et al., 2011)

Nos manguezais pertencentes aos municípios de São Francisco do Conde, Madre de Deus e Candeias, situados ao norte da Baía de Todos os Santos (BTS), Bahia, são realizadas atividades da indústria petrolífera desde a década de 1950, sendo estes ramos responsáveis por um dos maiores focos de poluição da BTS. (MOREIRA, 2011)

Já no município de Belmonte, localizado no litoral sul da Bahia e uma das áreas foco do projeto Petrotecmangue-Basul, não existem relatos de atividades relacionadas com a indústria petrolífera até os dias atuais. Este fator foi decisivo para a realização deste estudo, cujo objetivo foi isolar e avaliar o potencial de degradação de petróleo por microrganismos (bactérias, leveduras e fungos filamentosos) isolados de sedimento superficial de manguezal e de fundo de rio da região de Belmonte, comparando-os com áreas da BTS influenciadas por atividades da cadeia produtiva do petróleo. Estas áreas estão localizadas no norte da BTS e abrigam diferentes setores da cadeia produtiva do petróleo, como campo de produção de petróleo (campo de Dom João em São Francisco do Conde), terminal portuário (Terminal Almirante Alves Câmara – TEMADRE, em Madre de Deus) e refinaria (RLAM, situado próximo ao município de Candeias).

## **Materiais e métodos**

Em Belmonte foram coletadas quatro amostras de sedimentos em período chuvoso, duas de sedimento de fundo do rio Jequitinhonha (RJ), sob coluna

d'água de aproximadamente 5 m, e duas de sedimento de manguezal (BE), entre 0 a 5 cm, em região de intermaré (Figura 1a).

Na BTS, foram realizadas quatro amostragens em cada uma das três regiões selecionadas no estudo, São Francisco do Conde (DJ), Madre de Deus (MD) e Candeias (CN) (Figura 1b), totalizando 12 pontos de amostragem também em período chuvoso.

Com o auxílio de uma sonda multiparâmetros (marca Horiba), anteriormente calibrada, e de um salinômetro (Atago), os parâmetros pH, Eh, temperatura, condutividade e salinidade foram mensurados *in situ*, diretamente na água do rio Jequitinhonha e em corpos hídricos próximos aos pontos de coleta de sedimentos nas demais estações de estudo.

Para a execução dos procedimentos de isolamento foram coletados cerca de 50 g de sedimento, em frascos de vidro devidamente lavados e esterilizados. Para as análises dos teores de matéria orgânica (MO) e granulometria, cerca de 50 g de amostra foram coletados nos mesmos pontos anteriores e armazenados em sacos plásticos. Todas as amostras foram acondicionadas em caixa de isopor contendo gelo até a chegada ao laboratório (LEPETRO/NEA/IGEO/UFBA).

Nos sedimentos foram realizadas as análises granulométrica e de matéria orgânica (MO), conforme descrito no Capítulo 2.

Anteriormente à realização de todos os procedimentos envolvendo microrganismos, todas as vidrarias foram lavadas e deixadas em banho de Extran a 5%, durante 24 horas. Após esse período foram enxaguadas três vezes com água destilada e mantidas em temperatura ambiente até a sua completa secagem. Após secas, as vidrarias foram embaladas e esterilizadas em autoclave a 121°C, durante 20 minutos.

### **Enriquecimento e isolamento dos microrganismos**

Todas as amostras foram pesadas três vezes (10g). Cada subamostra foi enriquecida para o isolamento de bactérias, leveduras e fungos filamentosos com 1% de petróleo, óleo diesel e gasolina como fonte de carbono. (SOUZA et al., 2005) Uma localidade da BTS (CN) foi selecionada para atuar como controle das áreas comparativas, sem adição de fontes de carbono.

Cada subamostra foi enriquecida em frascos tipo erlenmeyers de 250 mL, contendo 99 mL do meio mineral Buschnell Haas (BH, marca Difco) (composto de

1 g de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , 1 g de  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , 0,20 g de  $\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ , 0,05 g de  $\text{FeCl}_3$ , 0,02 g de  $\text{CaCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , para 1 L de  $\text{H}_2\text{O}$ , para estado sólido acrescenta-se 20,0g de Agar agar, sob pH  $7,0 \pm 0,2$ ) e 1% de petróleo, óleo diesel ou gasolina como única fonte de carbono. Não houve adição de fontes de carbono nos controles. (SOUZA et al., 2005)

A fim de garantir a oxigenação das amostras, os frascos foram incubados em *shaker* rotativo (marca Tecnal) a 180 rpm  $\pm$  e temperatura de  $28^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ , durante 21 dias. (CHAERUN et al., 2004; SOUZA et al., 2005; WETLER, 2006)

Após o período de enriquecimento, os frascos foram homogeneizados e uma alíquota da amostra (alçada abundante) foi semeada, em duplicata, na superfície da placa de ágar BH para a realização dos isolamentos.

A cada sete dias do período de enriquecimento, coletou-se uma alíquota das amostras enriquecidas para efetuar os isolamentos. Com exceção dos controles, foi adicionado, por cima das amostras semeadas, 1% de um dos petroderivados anteriormente utilizados. Devido à sua volatilidade, a gasolina foi adicionada da tampa da placa. (SOUZA et al., 2005) Para o crescimento dos microrganismos, as placas semeadas foram incubadas a  $30^\circ\text{C}$ , durante quatro dias.

Tomando por base as características morfológicas de crescimento, os microrganismos semelhantes às bactérias foram transferidos para placas de Petri com *Tryptic Soy Ágar* (TSA) e os semelhantes às leveduras e aos fungos filamentosos foram transferidos para placas de *Ágar Sabouraud*. Ambos os meios de cultivo (marca Himedia) foram utilizados em repiques consecutivos até a obtenção do isolado propriamente dito e posteriormente para a manutenção destes a cada 30 dias. As placas foram incubadas por 48 horas, sendo as de TSA a  $35^\circ\text{C}$  e as de *Ágar Sabouraud* a  $30^\circ\text{C}$ . (SOUZA et al., 2005)

Após o término de todos os isolamentos, as cepas foram reativadas em tubos de ensaio com caldo Mueller-Hinton, sendo posteriormente armazenadas em tubos de reação de 2,0 mL, em duplicata, contendo 10% de glicerol estéril e mantido em temperatura de  $-85^\circ\text{C}$ .

### **Ensaio de seleção**

Foram realizados dois ensaios de seleção. O primeiro em placas multipoços de 2,0 mL e o segundo adaptado para frascos tipo erlenmeyer de 125 mL, com as cepas selecionadas no primeiro ensaio.

Para o ensaio de seleção primário, as cepas bacterianas isoladas de todas as áreas de estudo, com o uso do petróleo como fonte de carbono (FIORAVANTI; CELINO; ROSSI-ALVA, 2012), foram reativadas em tubos de ensaios com 10 mL de caldo Mueller-Hinton e mantidas em incubação a 35°C durante 48 horas, para o restabelecimento do metabolismo microbiano. Posteriormente, foram inoculadas em triplicata em placas de TSA sob as mesmas condições de incubação em caldo para a garantia de um crescimento satisfatório.

Após as reativações, as cepas foram diluídas em solução salina a 0,9% para padronização da suspensão bacteriana em  $1,5 \times 10^8$  Unidades Formadoras de Colônias (UFC), com ajuste da turbidez até apresentar semelhança com tubo 0,5 da escala de MacFarland.

Os ensaios foram executados com a finalidade de verificar o potencial das bactérias em degradar hidrocarbonetos de petróleo em 24 horas, com o uso do indicador 2,6 diclorofenilidopenol (2,6-DCPIP). Tal técnica, inicialmente desenvolvida por Hanson, G. Desai e A. Desai (1993), vem sendo executada por outros autores. O indicador 2,6-DCPIP atua comoceptor de elétrons, indicando o potencial dos microrganismos em degradar os hidrocarbonetos de petróleo. Tal constatação pode ser observada por meio da alteração da coloração do meio de cultura inicialmente azul (oxidado) para incolor (reduzido). (GOMES, 2004; SOUZA et al., 2005; MARIANO, 2006; MIRANDA et al., 2007; AFUWALE; MODI, 2012)

O primeiro ensaio de seleção foi executado em duplicata em placas multi-poços de 2,0 mL, contendo: 500 µL do meio BH, 50 µL da suspensão bacteriana padronizada, 20 µL de petróleo como fonte de carbono e 10 µL do indicador 2,6 DCPIP. Foi utilizado um controle abiótico para a comparação dos resultados. (HANSON et al., 1993; SOUZA et al., 2005) As cepas foram incubadas estaticamente durante 24 horas a 30°C.

O segundo ensaio de seleção foi executado apenas com as cepas promissoras do primeiro ensaio. Utilizaram-se frascos tipo erlenmeyers de 125 mL com 50 mL do meio BH, 2 mL da suspensão bacteriana padronizada e 1 % do petróleo como fonte de carbono e energia. Os frascos permaneceram sob agitação de 180 rpm em *shaker* rotativo, a  $28^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ , no escuro, durante 17 horas. Após esse período de adaptação dos microrganismos à fonte de carbono adicionou-se 1 mL do indicador 2,6-DCPIP, permanecendo em agitação por mais 24 horas. Neste

ensaio utilizou-se um controle biótico (sem a adição da fonte de carbono) e um controle abiótico (sem a adição da suspensão bacteriana) para a garantia dos resultados obtidos. (SOUZA et al., 2005; GOMES, 2004)

## Resultados e discussões

Os parâmetros físico-químicos e o percentual de matéria orgânica (MO) de cada área de estudo, com os respectivos números de microrganismos isolados, estão representados na Tabela 1.

Tabela 1 – Parâmetros físico-químicos (pH, Eh, temperatura, salinidade), granulometria (areia grossa, areia média, areia fina, areia muito fina, silte, argila) e matéria orgânica das diferentes áreas de estudo (RJ – rio Jequitinhonha, BE – Belmonte, DJ – Dom João, MD – Madre de Deus e CN – Candeias) e o número total de bactérias, leveduras e fungos filamentosos isolados

Parâmetros	Controle			RJ	BE	DJ1	DJ2	MD3	MD4	CN5	CN6
	RJ	BE	BTS								
pH	6,30	6,84	6,97	6,30	6,84	6,88	7,05	7,57	7,71	7,45	6,97
Eh (mV)	325	-19	-19	325	-19	-8	-21	-53	-63	-37	-19
Temp (°C)	27,0	30,4	26,2	27,0	30,4	25,0	25,0	25,0	26,0	25,0	26,2
Salinidade	0,0	15,0	5,0	0,0	15,0	13,0	10,0	11,0	20,0	3,0	5,0
M.O (%)	-	4,54	6,51	-	4,54	2,81	4,0	0,81	3,53	8,11	6,51
Areia Grossa (%)	8,39	1,26	45,81	8,39	1,26	8,36	22,30	1,29	13,70	50,10	45,81
Areia Média (%)	7,37	0,0	0,0	7,37	0,0	0,0	0,0	0,33	0,03	0,0	0,0
Areia Fina (%)	70,72	0,0	0,0	70,72	0,0	0,0	0,0	82,73	54,89	0,15	0,0
Areia M.Fina (%)	8,94	26,38	4,35	8,94	26,38	0,01	0,50	8,70	17,31	23,93	4,35
Silte (%)	4,58	70,90	48,75	4,58	70,90	89,24	75,86	6,82	13,96	25,54	48,75
Argila (%)	0,0	1,45	1,19	0,0	1,45	2,39	1,34	0,14	0,11	0,28	1,19
Isolados											
B	6	20	9	21	48	30	24	27	34	35	46
L	3	22	5	15	24	19	13	22	09	05	16
F	1	02	1	1	03	02	03	01	02	01	02
Total	10	44	15	37	75	51	40	50	45	41	64

B – bactérias, L – leveduras e F – fungos filamentosos

Fonte: Elaboração dos autores.

A temperatura média entre todos os pontos amostrados foi 26,6°C (Tabela 1). A atividade dos microrganismos e, portanto, a taxa de degradação dos compostos orgânicos são influenciadas pela temperatura, podendo alterar a compo-

sição do petróleo e também a estrutura da comunidade microbiana. (BAPTISTA, 2003; LEAHY; COLWELL, 1990) A faixa de temperatura situada entre 25°C e 30°C é considerada ótima para a metabolização dos contaminantes pelos microrganismos. (ANDRADE; AUGUSTO; JARDIM, 2010)

O pH em torno da neutralidade contribuiu com o número de microrganismos isolados em todas as áreas de estudo. As localidades que apresentaram pH mais próximos do neutro obtiveram um maior número de isolados (Tabela 1). A temperatura e o pH são os fatores que mais influenciam a atividade dos microrganismos no ambiente em que estão presentes. Valores de pH entre 6,0 e 8,0 propiciam o crescimento de um maior número de microrganismos. (LEAHY; COLWELL, 1990; ANDRADE; AUGUSTO; JARDIM, 2010) Os íons H<sup>+</sup> afetam diretamente a atividade dos microrganismos, atuando na permeabilidade celular, nas atividades enzimáticas, exercendo também influência indireta na disponibilidade de macro e micronutrientes. (JACQUES et al., 2007)

Os valores apresentados para o Eh variaram significativamente entre as áreas de estudo (Tabela 1). A região do rio Jequitinhonha (RJ) obteve o valor de Eh mais elevado e também o menor número de microrganismos isolados, porém, por ser uma das áreas referências, com características de sedimento de fundo de rio arenoso, já era esperado um número reduzido de isolados em relação às demais áreas de estudo.

A salinidade variou de 0,0 (RJ) a 20,0 (MD4) (Tabela 1). Nos manguezais, a salinidade pode variar de 0,5 a 30,0, sendo considerado um dos parâmetros mais importantes para a determinação da extensão da biodegradação de compostos orgânicos. Elevados teores osmóticos alteram a solubilidade ou sorção dos contaminantes pelos microrganismos, inibindo as taxas de degradação (WETLER, 2006; QIN et al., 2012). São desconhecidos estudos sobre a biodegradação de compostos tóxicos em ambientes hipersalinos. (CRAPEZ et al., 2002) A quantidade de sais dissolvidos é indicada pela condutividade elétrica e possui influência direta nas funções dos microrganismos presentes no meio (ARIAS et al., 2005). Tal parâmetro contribuiu principalmente para os resultados obtidos da estação CN6.

A porcentagem de MO variou de 0,81 (MD3) a 8,11 (CN5), estando os maiores teores relacionados com o maior número de isolados. A região de produção (DJ1 e DJ2) apresentou equivalência com o resultado apresentado por Hadliche

outros (2007). O teor de MO, indicado pela quantidade de carbono orgânico total do meio, é uma variável de grande importância no processo de biorremediação (ANDRADE; AUGUSTO; JARDIM, 2010), já que o carbono serve de fonte de alimentação aos microrganismos.

Bento (2005) indicou, em seus experimentos, que amostras de solo contaminadas com diesel apresentaram uma maior concentração de MO quando comparadas ao solo não contaminado.

Em relação à distribuição do padrão granulométrico, a região do rio Jequitinhonha (RJ) foi principalmente caracterizada pela presença de areia fina e Belmonte (BE), por silte. Entre as estações de estudo da BTS, DJ1 e DJ2 apresentam sedimentos mais siltosos, MD3 e MD4 mais areia fina e CN5 e CN6 possuem maiores proporções de areia grossa e silte (Tabela 1). Em derrames de petróleo, os contaminantes se aderem principalmente nas partículas sedimentares finas. O acesso dos microrganismos aos contaminantes, etapa inicial do processo de biodegradação, é significativamente influenciado pelos mecanismos de transportes e pela interação sedimento-contaminante. (ATLAS, 1995; LIMA, 2010)

Como já era esperado, obteve-se um elevado número de microrganismos isolados com diferentes padrões morfológicos. A variedade de isolados obtidos nas diferentes áreas de estudo indica a abundância e versatilidade de microrganismos presentes em localidades com constantes entradas de hidrocarbonetos. (AFUWALE; MODI, 2012) A área de estudo que obteve o maior número de isolados foi a BTS (65%) que também possuiu o maior número de amostras, seguido de BE (25%) e RJ (10%) (Figura 2).

Belmonte (BE) apresentou o maior número de microrganismos em relação a rio Jequitinhonha. Sugere-se que tal diversidade seja uma condição natural dessa região. Em relação ao total de microrganismos por área de estudo, em RJ obteve-se um total de 47 microrganismos isolados, sendo 58% bactérias, 38% leveduras e 4% fungos filamentosos (Figura 2).

Na BTS foram isolados 306 microrganismos, destes 67% foram bactérias, 24% leveduras e 4% fungos filamentosos (Figura 2). Em trabalhos realizados em diferentes regiões do Brasil e do mundo nota-se o maior número de bactérias isoladas em relação às leveduras e aos fungos filamentosos quando expostos às diversas fontes de carbono. (BATISTA et al., 2006; CHAINEAU et al., 1999; ELMORSY, 2005; SOUZA et al., 2005)

Em sedimentos de manguezais da BTS, o grupo de microrganismos predominantes foi de bactérias, seguido das arqueobactérias e dos fungos filamentosos, independente do tipo de poluente e das condições físico-químicas do meio. (MELO, 2011)

Com o uso das fontes de carbono, todas as áreas apresentaram um maior número de bactérias com adição do petróleo (Figura 3). Isolamentos de microrganismos com o uso de hidrocarbonetos como única fonte de carbono revelaram que os isolados apresentaram preferências distintas quanto ao substrato utilizado. (VAN HAMME; SINGH; WARD, 2003; WETLER-TONINI; REZENDE; GRAVITOL, 2011) A diversidade de elementos que constituem o petróleo bruto ou refinado influencia na degradação do óleo como um todo, bem como as de suas frações (gasolina, diesel etc.). (LEAHY; COLWELL, 1990)

O óleo diesel possui massa específica e cadeias maiores do que a gasolina, sendo, portanto, menos tóxico e menos volátil (MARIANO, 2006), o que propiciou o crescimento de um maior número de microrganismos em relação à gasolina (Figura 3).

A gasolina é uma mistura composta principalmente por hidrocarbonetos voláteis e, em grande parte, por parafinas ramificadas, cicloparafinas, além de compostos aromáticos como benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno (BTEX) que são altamente tóxicos e solúveis em água. (MARIANO, 2006; ANDRADE, 2008) Por possuir um grande número de hidrocarbonetos voláteis, a gasolina é considerada um dos derivados de petróleo mais tóxicos aos microrganismos do solo. (FERREIRA; PARAISO; SÉRVULO, 2009) A volatilidade da gasolina também diminui a sua concentração no meio, indicando que baixas concentrações podem não sofrer degradação pelos microrganismos pelo fato de não estarem disponíveis na forma em que estes podem assimilá-los facilmente. (MARTINS et al., 2003)

O ensaio de seleção primário indicou 26 cepas bacterianas potenciais degradadoras de hidrocarbonetos de petróleo provenientes do sedimento de manguezal BE e 118 para as três regiões da BTS. Já no segundo ensaio, 15 cepas foram consideradas promissoras na BTS enquanto que nenhuma foi selecionada em BE. Mesmo tendo sido detectados maiores quantificações em BE em relação à RJ, esses não apresentaram potencial para a degradação de hidrocarbonetos de petróleo pelo fato de não estarem adaptados à constante presença desse composto (dados não publicados).

Anteriormente à execução das análises dos componentes principais (ACPs), os dados com distribuição não normal foram normalizados.

A ACP das variáveis e de todas as estações de estudo originou a formação de três agrupamentos distintos. A associação de dois fatores foi responsável por 65,28% de variância (Figura 4a). Os teores de MO, juntamente com o Eh, foram os parâmetros que mais influenciaram a distribuição obtida para RJ. A característica granulométrica arenosa contribui para dificultar a adsorção da MO e, conseqüentemente, diminui a quantidade de carbono necessária para a sobrevivência dos microrganismos. Tal constatação, associada ao elevado Eh, determinou o menor número de microrganismos em RJ.

O agrupamento em BE foi influenciado, principalmente, pela temperatura, salinidade, silte e areia muito fina (Figura 4a). A temperatura de 30,4°C, juntamente com o padrão granulométrico fino, proporcionaram um maior número de microrganismos, os quais possivelmente podem estar adaptados a teores osmóticos um pouco mais elevados. Assim, as condições ambientais apresentadas em BE proporcionam um elevado número de microrganismos naturalmente presentes nessa região.

Na BTS, as variáveis de destaque foram condutividade, a areia grossa e o pH próximo da neutralidade, representado pela região de refino (CN), a qual obteve um maior número de isolados dentre as regiões da BTS (Figura 4a).

## **Considerações finais**

A avaliação isolada de cada variável não é suficiente para a compreensão do número de microrganismos isolados por área de estudo, sendo necessária uma análise integrada entre todos os dados. O rio Jequitinhonha, com 47 microrganismos isolados, foi principalmente influenciado pelos teores de MO e pelo Eh.

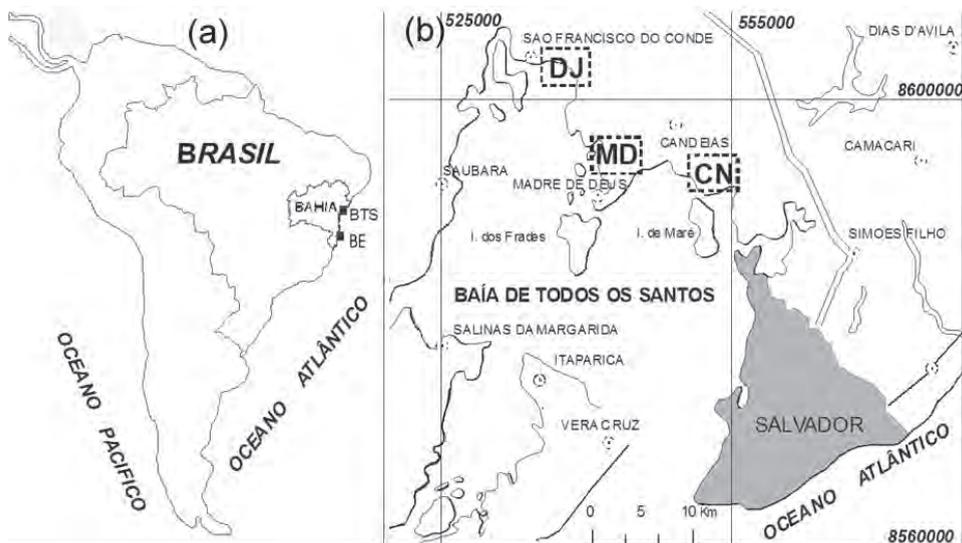
Belmonte, proporcionalmente, apresentou um maior número de isolados (119) em relação ao rio Jequitinhonha, sendo o silte e a salinidade as variáveis de maior significância. Na BTS, a região de refino (CN) foi predominante com 105 microrganismos, influenciada principalmente pelo pH, condutividade e pela areia grossa. Mesmo BE sendo uma área onde não há influência direta de atividades petrolíferas, nota-se que os microrganismos são capazes de se adaptarem às fontes de carbono, crescendo em seu substrato.

O petróleo foi a fonte de carbono que proporcionou o crescimento de um maior número de microrganismos, principalmente de bactérias. Tal fato pode ser explicado pela variedade de arranjos existentes entre seus hidrocarbonetos, aos padrões de toxicidade quando comparado ao óleo diesel e à gasolina, em função do elevado teor de compostos aromáticos nesses últimos, e pelas bactérias normalmente corresponderem à massa microbiana mais abundante nos ecossistemas de manguezais.

Concluiu-se que a quantidade e diversidade de microrganismos isolados foi determinada, principalmente, pelas características das áreas de estudo e pelo uso das diferentes fontes de carbono, culminando em padrões distintos.

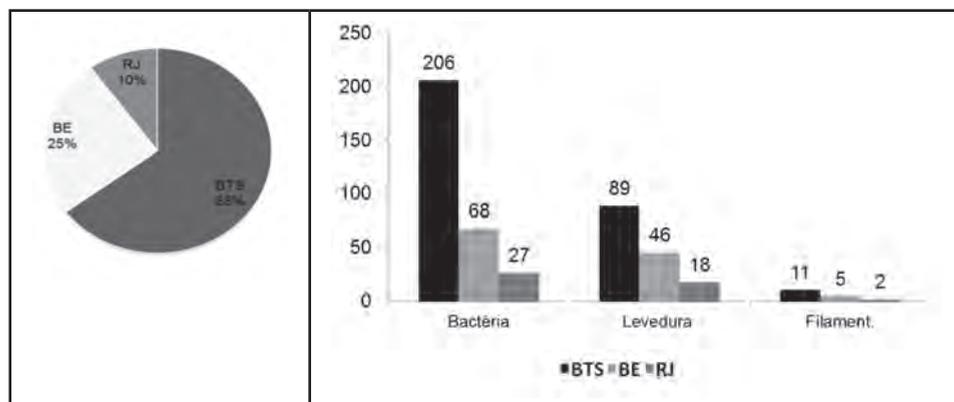
Para estudos subsequentes, sugere-se a avaliação dos teores nutricionais (nitrogênio e fósforo) das diferentes áreas de estudo a fim de verificar se esses apresentam relações com a quantidade de microrganismos, principalmente nos controles.

Figura 1 – (a) Situação da Baía de Todos os Santos (BTS) em relação a Belmonte (BE); e (b) localização das áreas de coleta das amostras de sedimento, campo Dom João (DJ) no município de São Francisco do Conde, Madre de Deus (MD) e Candeias (CN)



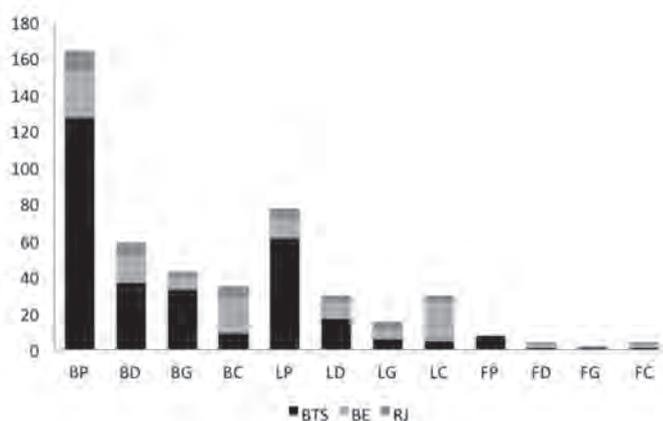
Elaboração: Os autores.

Figura 2 – Microrganismos isolados por área de estudo: percentual, à esquerda, e número total de isolados, à direita, onde: (BTS) Baía de Todos os Santos, (BE) Belmonte e (RJ) rio Jequitinhonha.



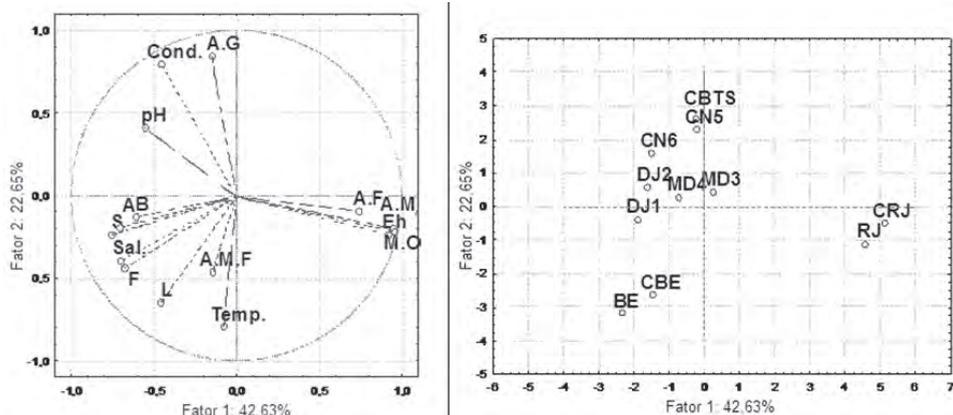
Elaboração: Ketlyn Fioravanti.

Figura 3 – Total de microrganismos isolados nas diferentes áreas de estudo (Baía de Todos os Santos – BTS; Belmonte – BE; rio Jequitinhonha – RJ) com o uso das fontes de carbono, onde BP: bactérias crescidas em petróleo; BD: bactérias crescidas em diesel; BG: bactérias crescidas em gasolina; BC: bactérias controle; LP: leveduras crescidas em petróleo; LD: leveduras crescidas em diesel; LG: leveduras crescidas em gasolina; LC: leveduras controle; FP: filamentosos crescidos em petróleo; FD: filamentosos crescidos em diesel; FG: filamentosos crescidos em gasolina; FC: filamentosos controle.



Elaboração: os autores.

Figura 4 – Análise dos Componentes Principais (ACP) das variáveis e das estações de estudo: variáveis, à esquerda, onde AG: areia grossa, AM: areia média, AF: areia fina, AMF: areia muito fina, S: silte, A: argila, B: bactéria, L: levedura, F: fungo filamentoso; à direita, todas as estações de estudo



Fonte: Elaboração dos autores.



# **Análise preditiva dos impactos de derramamentos de petróleo: uma abordagem morfodinâmica de praias arenosas do litoral sul da Bahia**

---

Carine Santana Silva

Olívia Maria Cordeiro de Oliveira

Ícaro Thiago Andrade Moreira; Mariana Cruz Rios

Lucas Medeiros Guimarães; Marcos de Almeida

Jéssica Verâne Lima da Silva

Igor Oliveira da Silva Andrade

## **Introdução**

As praias arenosas constituem sistemas dinâmicos nos quais elementos básicos como sedimentos, energia dos ventos e das ondas interagem, resultando em processos hidrodinâmicos e posicionais complexos. (MCLACHLAN, 1990) Estas podem ser definidas como acumulações de sedimentos não consolidados, variando de areia a seixo, modeladas pela interação das ondas. Compreende-se assim uma porção subaérea (supra e mesolitoral) delimitada, por um lado, por alguma mudança fisiográfica (por exemplo: campo de dunas, costão rochoso) ou ponto onde uma vegetação permanente é estabelecida e, por outro, uma porção subaquática (infralitoral) que se estende até a profundidade onde se inicia interação da onda com o sedimento de fundo. (HORIKAWA, 1988; HOEFEL, 1998) (Figura 1)

A hidrodinâmica costeira condiciona a construção da linha da costa. As ondas exercem atrito sobre os sedimentos móveis alterando seus padrões de distribuição e dispersão no litoral, modelando o perfil da praia à medida que condições energéticas do ambiente também se modificam. Altera-se assim a morfologia praial, que por sua vez se reflete em modificações no padrão hidrodinâmico atuante. Portanto, morfologia e hidrodinâmica evoluem em conjunto, tornando as praias um dos sistemas mais dinâmicos e complexos do ambiente costeiro. (HOEFEL, 1998)

Nesse sentido, foram estabelecidos seis estágios ou estados de evolução praial para praias arenosas: os extremos energéticos dissipativo e refletivo e quatro estágios intermediários: banco e calha longitudinal, banco e praia de cúspides, bancos transversais e terraço de baixa-mar. (WRIGHT; SHORT, 1984)

As praias dissipativas são caracterizadas por uma face de praia com inclinação suave e sedimento com granulometria fina, variando de silte à areia fina. Neste estágio, onde há grande estoque de sedimento na zona submarina, bancos arenosos longitudinais paralelos à praia são comuns. Associadas à presença dos bancos submersos, as ondas quebram determinando uma ampla zona de surf, com uma progressiva dissipação de energia de onda ao longo da praia. (WRIGHT; SHORT, 1984; HOEFEL, 1998)

A condição oposta diz respeito às praias refletivas, caracterizadas com uma face praial íngreme, geralmente com feições de cúspides. São formadas normalmente por areia grossa e apresentam pequeno estoque de sedimentos subaquosos (sem bancos). Assim, a onda dissipa pouca energia em interações com o fundo e tende a quebrar diretamente na face de praia, determinando uma zona de arrebentação restrita com ondas do tipo ascendente e mergulhante. (CALLIARI et al., 2003; WRIGHT; SHORT, 1984)

As praias intermediárias associam características variadas dos dois extremos, sendo classificadas considerando-se uma sequência de declínio energético e aumento da granulometria. As condições ambientais que favorecem o desenvolvimento desses estágios incluem climas de onda de energia moderada, mas temporalmente variável e com sedimentos de granulometria de média a grossa. O relevo de fundo da praia é caracterizado pela presença de bancos regulares e/ou irregulares, muitas vezes cortados por canais nos quais se desenvolvem as correntes de retorno. (BASTOS; SILVA, 2000; WRIGHT; SHORT, 1984)

Assim, embora sejam ambientes naturalmente instáveis, as praias são classificadas conforme o seu estado morfodinâmico mais recorrente, denotado como uma resposta às características mais frequentes de arrebentação e do tipo de sedimento. (CALLIARI et al., 2003)

Dentro do contexto de sistemas costeiros, têm-se as praias arenosas como ambientes de considerável relevância socioeconômica e ambiental, susceptíveis ao impacto por derramamentos de petróleo. (HOEFEL, 1998) Muitos organismos com importância ecológica e/ou valor econômico direto, como crustáceos, moluscos e peixes, estão associados ao sistema praial e podem ser impactados nos primeiros momentos após um derramamento. Em termos de organismos bentônicos, a presença da fauna permanente, normalmente nos primeiros centímetros do sedimento, determinaria uma exposição prolongada a partir da penetração e soterramento do óleo. (INTERNATIONAL TANKER OWNERS POLLUTION FEDERATION, 2011)

Recentemente, a Agência Nacional de Petróleo Gás Natural e Biocombustíveis concedeu a liberação de blocos exploratórios de petróleo para a região da bacia do Jequitinhonha (AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, 2005), na região sul da Bahia, implicando em um potencial impacto para a região. Estes blocos ocupam áreas entre a ponta de Itapuã (Ilhéus) e a ilha de Atalaia (Canavieiras). O bloco mais próximo do litoral, BM-J-2, tem a distância mínima da costa de 16 km e apresenta uma área de 317 km<sup>2</sup>. (AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, 2005)

A análise de risco, determinada através de modelagem, indica que, em caso de derramamento/vazamento de óleo, o litoral da região de Canavieiras seria a primeira área a ser atingida e haveria impactos também na região dos municípios de Una e Belmonte. (QUEIROZ GALVÃO, 2006) Nesse sentido, o estudo morfodinâmico das praias é muito útil para a predição dos impactos de derramamentos de petróleo nesse ambiente, uma vez que fatores inerentes ao estágio morfodinâmico influenciam diretamente na dispersão ou permanência do óleo na região.

Diversos fatores podem influenciar na magnitude do impacto de derramamentos de petróleo em praias: 1) a inclinação da face de praia que determina não apenas a extensão da região intermareal, ou seja, da área de deposição para o óleo, mas também a ação da quebra da onda, sendo que grandes inclinações fazem com que o espraiamento e refluxo das ondas reduzam o tempo de permanência do óleo; 2) o tipo de sedimento (porosidade e permeabilidade) influen-

ciando na capacidade de penetração e permanência do óleo, onde sedimentos de granulometria elevada, bem selecionados e com alta esfericidade, determinam uma infiltração mais profunda; 3) o grau de exposição à energia de ondas e marés influenciando diretamente na capacidade de autolimpeza da praia; 4) ciclo natural de acreção/erosão da praia possibilitando o soterramento e disponibilização do óleo, respectivamente. (INTERNATIONAL TANKER OWNERS POLLUTION FEDERATION, 2011)

Sob o ponto de vista operacional, durante a realização de planos de contingência e limpeza de praias, esses tipos de informações podem ser de grande utilidade na redução de impactos causados por eventuais derramamentos, minimizando também esforços operacionais e aumentando o sucesso de medidas mitigatórias, reduzindo custos.

Assim, neste capítulo objetiva-se avaliar a vulnerabilidade de diferentes praias, sob o enfoque morfodinâmico e das suas características ambientais, com potencial de serem atingidas por derramamentos de petróleo a partir do bloco BM-J-2.

## **Materiais e métodos**

A área de estudo corresponde às praias de Itapororoca, Atalaia e Mar Moreno, adjacentes aos estuários dos rios Una, Pardo e Jequitinhonha, respectivamente (Figura 2).

De uma maneira geral, a plataforma adjacente à área de estudo é estreita de Una para o norte, alargando-se consideravelmente de Una para o extremo sul onde, em Belmonte, pode alcançar até 200 km, com gradientes de batimetria muito baixos e isóbatas de contornos irregulares. (BITTENCOURT et al., 2000) Internamente, esta é delimitada por antigas falésias do Grupo Barreiras, de idade Terciária, caracterizado por sedimentos semiconsolidados. Apresenta também, na região de Belmonte, marcantes cordões litorâneos arenosos ao longo da costa com distribuição não uniforme. (DOMINGUEZ, 1983)

Externamente, depósitos fluviolagunares formados desde o início da última transgressão até o atual assumem grande desenvolvimento na região do rio Jequitinhonha. Esses materiais, basicamente constituídos de areias e siltes argilosos ricos em matéria orgânica provenientes do manguezal e de pântanos

atuais, são encontrados em locais abrigados das margens dos rios, bem como nos braços de mar e na zona de influência das marés. (DOMINGUEZ, 1983)

As condições oceanográficas da região estão condicionadas aos elementos básicos da circulação atmosférica. A área está situada no campo de atuação da célula de alta pressão do Atlântico Sul, de característica estacionária e que determina a incidência de ventos na região. (DOMINGUEZ; BITTENCOURT, 1994) Para o período de primavera e verão predominam ventos de E e NE, gerando padrões de ondas nessas mesmas direções com altura de 1 metro e período de cinco segundos. Durante o outono e inverno, os ventos predominantes são de SE e SSE, gerando padrões de ondas nessas direções com altura de 1,5 metros e período de 6,5 segundos. (BITTENCOURT et al., 2000) As principais atividades econômicas da região envolvem a carcinicultura, agricultura, pecuária e pesca artesanal. O turismo, em ascensão devido ao grande valor cênico das paisagens, está associado ao veraneio, ecoturismo, turismo histórico cultural e turismo náutico. (FARIAS, 2003) Aspectos sociais da área serão tratados no Capítulo 12.

### **Caracterização morfodinâmica das praias**

O comportamento morfodinâmico do litoral foi estudado em função do padrão de ondas, extensão da zona de surf, o número de zonas de arrebentação, características dos sedimentos e gradiente de inclinação da face de praia. A caracterização topográfica foi realizada através de perfis topográficos perpendiculares à linha de costa durante a maré baixa. As estações foram fixadas no pós-praia, fazendo referência a pontos estáveis fora do sistema praial. Os equipamentos utilizados foram: teodolito, mira topográfica, trena, bússola e GPS (Figura 3).

Foram determinados os seguintes parâmetros: altura da onda imediatamente antes da quebra ( $H_b$ ); período da onda ( $T$ ) estimado com cronômetro, sendo dado por 1/10 do tempo total transcorrido na passagem de 11 cristas consecutivas em um ponto fixo na zona de surf; medida das larguras das feições do perfil praial para realização do perfil topográfico; número de linhas de arrebentação; tipo de arrebentação; o parâmetro adimensional ômega ( $\Omega$ ) de Dean (1973) (Equação 1)

$$\Omega = \frac{H_b}{\omega_s T}$$

(Equação 1)

onde:  $H_b$  = altura da onda;  $\omega_s$  = velocidade de sedimentação da partícula;  $T$  = período da onda.

Conforme o modelo de Wright e Short (1984), praias refletivas apresentam valor de  $\Omega$  igual ou menor que 1, os quatro estágios intermediários ficam com valores entre 1 e 6, enquanto que o estágio dissipativo terá valor de  $\Omega$  igual ou superior a 6.

### **Coleta e distribuição granulométrica do sedimento**

A amostragem do sedimento superficial (0-10cm) foi realizada em novembro de 2011, durante a maré baixa, ao longo do perfil de praia. A coleta foi realizada com o auxílio de amostrador inoxidável e as amostras foram acondicionadas em recipientes de vidro previamente descontaminados, a fim de evitar a presença de outras partículas. Posteriormente, as amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Estudos do Petróleo (LEPETRO/IGEO/UFBA) para análise granulométrica (conforme descrito no Capítulo 2).

### **Determinação do grau de seleção do sedimento**

O grau de seleção dos sedimentos foi avaliado em função do desvio-padrão das amostras através do software Sysgran3.0<sup>®</sup> (CAMARGO, 2006) e classificado conforme descrito no Quadro 1.

Quadro 1 – Limites do desvio padrão para a classificação do grau de seleção do sedimento

Desvio – Padrão	Grau de seleção
< 0,35	Muito bem selecionado
0,35 – 0,50	Moderadamente selecionado
1,00 – 2,00	Pobremente selecionado
2,00 – 4,00	Muito pobremente selecionado
> 4,00	Extremamente mal selecionado

Fonte: Folk (1966).

## Resultados e discussões

A caracterização morfodinâmica das três praias apresentou diferenças morfológicas e dinâmicas, possivelmente devido ao grau de exposição às ondas incidentes nas estações (Tabela 1).

Tabela 1 – Regime de ondas, inclinação da face de praia e distribuição granulométrica nas praias de Itapororoca, município de Una, Mar Moreno, em Belmonte, e Atalaia, em Canavieiras

Município/praias	Una/Itapororoca	Belmonte/Mar Moreno	Canavieiras/Atalaia
Coordenadas Geográficas	15° 15' 01" S / 38° 59' 38" W	15° 42' 09" S / 38° 55' 17" W	15° 86' 14" S / 38° 85' 94" W
Hb (m)	1,8	1,9	1,9
T (s)	9	10,2	9,1
B ( $\beta$ )	3,0	11,5	3,5
Ws	0,0273	0,1281	0,0273
L.A.	5	3	3
T.A.	Deslizante	Mergulhante	Deslizante
% AreiaGrossa	1,81	76,34	18,45
% AreiaMédia	3,30	2,07	9,59
% Areia Fina	84,25	18,78	66,91
% Silte	10,61	2,73	5,06
% Argila	0,08	0,09	0,00
$\Omega$	7	1	7
Estágio Morfodinâmico	Dissipativo	Refletivo	Intermediário dissipativo*

Hb = altura significativa das ondas; T = período das ondas;  $\beta$  = ângulo de inclinação da face de praia;

Ws = velocidade de decantação do sedimento; L.A = número de linhas de arrebatamento;

T.A. = tipo de arrebatamento da onda;  $\Omega$  = parâmetro adimensional de Dean.

\* A praia em questão apresentava canais de retorno típicos do estágio modal intermediário.

Fonte: Elaboração de Carine Santana Silva.

A praia de Itapororoca, adjacente ao estuário do rio Una, é caracterizada por uma extensa faixa de areia emersa, um pós-praia plano delimitado por um berma bem demarcado seguido de uma face de praia com baixa declividade (Figuras 4 e 5). A altura média estimada em campo indicou para esta praia ondas de aproximadamente 1,80 m. Apresenta também uma ampla zona de arrebatamento (Tabela 1), sugerindo a presença de bancos arenosos submersos, predominando

o tipo de arrebatamento deslizante. Segundo a classificação proposta por Wright e Short (1984), essas características são típicas de praias no estágio morfodinâmico dissipativo.

A baixa declividade apresentada pela praia determina uma grande extensão da região intermareal e, por consequência, da área de deposição que o óleo derramado pode alcançar. Além disso, há uma influência direta na permanência do óleo no ambiente, uma vez que a baixa inclinação da face de praia tende a fazer com que a quebra da onda ocorra de maneira mais suave, levando a baixas velocidades de espraiamento e refluxo.

Outro fator que irá influenciar a magnitude do impacto são as características sedimentares. A penetração do óleo é principalmente controlada pelo tamanho do grão e pelo grau de seleção do sedimento. (MCLACHLAN, 1990) Em Itapororoca, a fração areia fina compõe mais de 80% do pacote sedimentar (Figura 6). Observa-se também no seu mesolitoral uma seleção moderada à boa (Tabela 2) dos grãos que, associada com a granulometria baixa, reduz a capacidade de penetração/infiltração do óleo no sedimento. Assim, mesmo com baixa velocidade de espraiamento e refluxo, a compactação do sedimento permite a lavagem superficial do substrato sobre ação das ondas. É importante ressaltar que esse tipo de substrato, tipicamente compacto, permite a trafegabilidade na região, fundamental para a utilização de determinados equipamentos utilizados em operações de limpeza. (BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, 2002)

Tabela 2 – Grau de seleção dos sedimentos superficiais das praias de Itapororoca, Mar Moreno e Atalaia

Município, praia	Posição no perfil	Grau de seleção	Classificação
Una, Itapororoca	Supralitoral	0,5	Moderadamente selecionado
	Meso litoral superior	0,7	Moderadamente selecionado
	Meso litoral inferior	0,4	Bem selecionado
	Infralitoral	0,2	Muito bem selecionado
Belmonte, Mar Moreno	Supralitoral	1,1	Pobrememente selecionado
	Meso litoral superior	0,8	Moderadamente selecionado
	Meso litoral inferior	0,9	Moderadamente selecionado
	Infralitoral	1,1	Pobrememente selecionado
Canavieiras, Atalaia	Supralitoral	1,3	Pobrememente selecionado
	Meso litoral superior	1,2	Pobrememente selecionado
	Meso litoral inferior	1,2	Pobrememente selecionado
	Infralitoral	1,1	Pobrememente selecionado

Elaboração: Carine Santana Silva.

O supralitoral pode ser considerado um ambiente crítico. Uma vez contaminado, pode ser facilmente recoberto por sedimentos limpos transportados eolicamente (Figura 4) e prejudicar a degradação natural do óleo. Nesse processo, o sedimento contaminado pode voltar a ser exposto e recoberto inúmeras vezes através de marés meteorológicas.

Morfológicamente, o perfil em Mar Moreno é refletivo (Figuras 7 e 8), com um berma bem marcado e uma face de praia bastante íngreme ( $11,5^\circ$ ). Essa elevação dificulta que o nível do mar atinja o pós-praia, reduzindo a área de deposição do óleo.

Foram registradas ondas do tipo mergulhante, com altura média de 1,90 m (Tabela 1). Nesse contexto, as ondas sofrem um rompimento abrupto, diretamente sobre a face de praia, com grandes velocidades de espriamento e refluxo. Estes fatores, considerados de maneira isolada, aumentariam a capacidade de autolimpeza da praia em caso de derramamento de petróleo. No entanto, as características do pacote sedimentar da região devem ser consideradas.

O sedimento depositado na praia de Mar Moreno apresentou um predomínio da fração areia grossa (Figura 9). Em termos de seleção, foi verificado que na região do infralitoral o sedimento é pobremente selecionado e no mesolitoral, sob ação do retrabalhamento das ondas, a seleção dos sedimentos aumenta, sendo considerados moderadamente selecionados (Tabela 2). Essas características do pacote sedimentar determinam uma maior permeabilidade, pois quanto maior o diâmetro dos sedimentos que compõem o substrato, mais profunda será a penetração do óleo. (INTERNATIONAL TANKER OWNERS POLLUTION FEDERATION, 2011) Vale ressaltar também que, como se trata de um sedimento de alta mobilidade, a ação das ondas pode reduzir o tempo de permanência do óleo ou, de maneira oposta, ajudar a incorporá-lo aos estratos sedimentares inferiores. (BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, 2002)

A problemática do óleo depositado em subsuperfície gera quatro principais agravantes em um derramamento de petróleo: redução da atenuação natural (ROWLAND et al., 2000); equívocos na estimativa do volume de sedimentos contaminados através de métodos visuais (OWENS, 1988); liberação do óleo em ciclos erosivos da praia (NOAA, 1997); impacto crônico sobre organismos bentônicos. (INTERNATIONAL TANKER OWNERS POLLUTION FEDERATION, 2011)

Soma-se a essas questões o fato de que a aplicação de métodos convencionais de limpeza são dificultados pela alta mobilidade dos sedimentos encontrados nas praias refletivas. (BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, 2002)

A praia de Atalaia, em Canavieiras, apresenta uma configuração semelhante à encontrada na praia de Itapororoca, com uma ampla zona de arrebentação, ondas do tipo deslizantes e gradiente suave na face de praia (Tabela 1). O cálculo do parâmetro de Dean classificou-a como pertencente ao estágio dissipativo ( $\Omega = 7$ ). No entanto, vale ressaltar que a praia de Atalaia apresenta canais de correntes de retorno, uma característica típica do estágio morfodinâmico intermediário dissipativo, sendo mais adequada esta classificação (Figuras 10 e 11).

Assim como na praia de Itapororoca, observou-se na praia de Atalaia o predomínio de areia fina no pacote sedimentar (Figura 12). A média desta fração foi de 66%. Com relação ao grau de seleção dos sedimentos na praia, foi verificada a menor seleção, sendo estes classificados como pobremente selecionados. Esta característica pode aumentar a penetração do óleo no sedimento quando comparado à praia de Itapororoca (Tabela 2). Há, no entanto, uma tendência de resposta semelhante a um derramamento de petróleo em comparação ao verificado na praia de Atalaia, uma vez que as características morfodinâmicas observadas em ambas são próximas (Tabela 1).

## Considerações finais

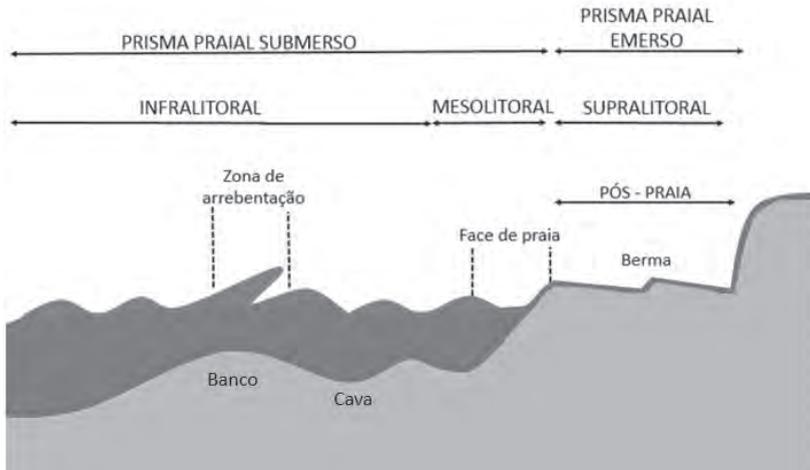
A análise do parâmetro adimensional de Dean e demais parâmetros morfodinâmicos permitiu classificar a praia de Mar Moreno (município de Belmonte) em refletiva, a praia de Itapororoca (em Una) em dissipativa e a praia de Atalaia (município de Canavieiras) como dissipativa intermediária em função da presença de correntes de retorno.

Algumas características semelhantes das praias de Itapororoca e Atalaia permitiram uma análise similar dos possíveis impactos e cenários de resposta a um hipotético derramamento de petróleo. O perfil morfodinâmico de ambas as praias sugere uma tendência de acúmulo do óleo em uma extensão grande da praia em função das oscilações causadas pela maré. O grau de seleção sugere, todavia, que em Itapororoca o óleo permaneça na superfície do sedimento (baixa penetração) e que em Atalaia este possa ser levado para subsuperfície em

função da má seleção dos grãos. Sob o ponto de vista operacional, durante a realização de planos de contingência e limpeza nessas praias, a alta compactação dos sedimentos permite uso de máquinas para limpeza.

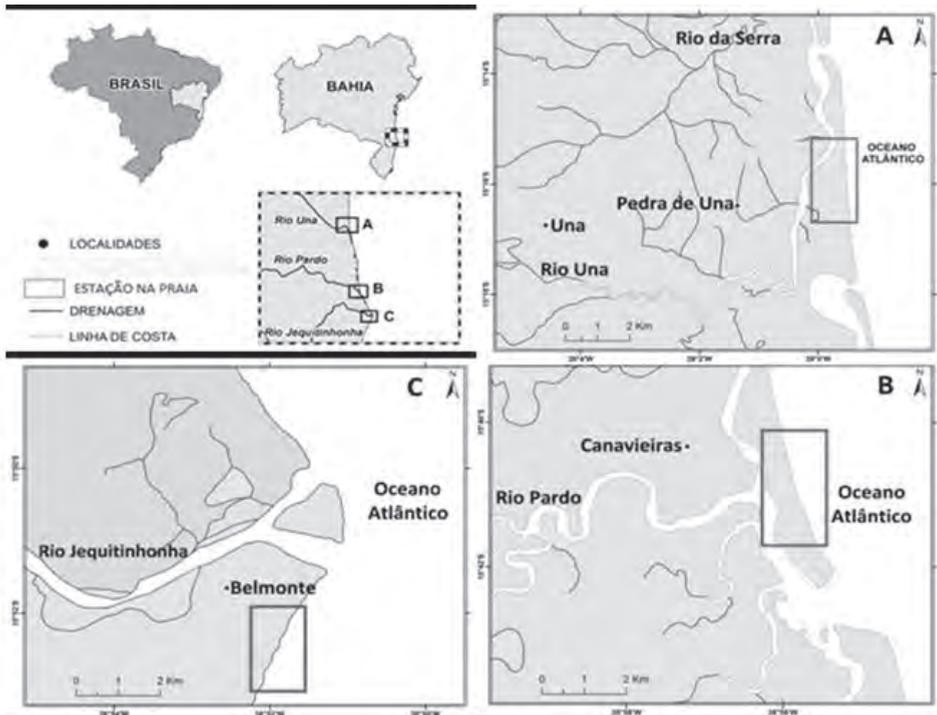
Para a praia do Mar Moreno, em Belmonte, o cenário é mais complexo. Certamente, a área atingida por uma mancha de óleo em caso de um derramamento tende a ser mais restrita; no entanto, a face de praia íngreme, agindo como uma barreira física, pode gerar o acúmulo de grande quantidade de óleo na região intermareal. Como agravante, em função, principalmente, da predominância de areia grossa nos sedimentos, pode ocorrer uma significativa infiltração do óleo, aumentando a sua persistência e impacto no ambiente. Trata-se de uma região de difícil limpeza pela possível mistura de sedimentos contaminados e limpos, assim como em função da dificuldade associada ao tráfego de veículos e uso de equipamentos.

Figura 1 – Desenho esquemático de um perfil praial com divisão hidrodinâmica e morfológica tipicamente observada em praias arenosas



Fonte: Elaboração de Carine Santana Silva.

Figura 2 – Mapa de situação e localização das praias pesquisadas: (A) Itapororoca, no município de Una; (B) Atalaia, em Canavieiras; (C) Mar Moreno, em Belmonte



Elaboração: Felipe Moraes.

Figura 3 – Procedimentos em campo para caracterização das praias de Itapororoca, Atalaia e Mar Moreno, municípios de Una, Canavieiras e Belmonte, respectivamente; as fotografias mostram levantamento topográfico, medida da inclinação da face de praia e coleta do sedimento



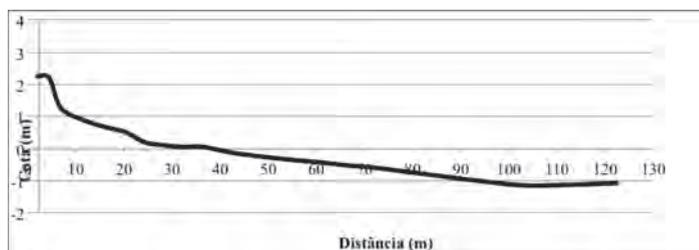
Fotos: Carine Santana Silva.

Figura 4 – Vista lateral da praia dissipativa de Itapororoca, em Una



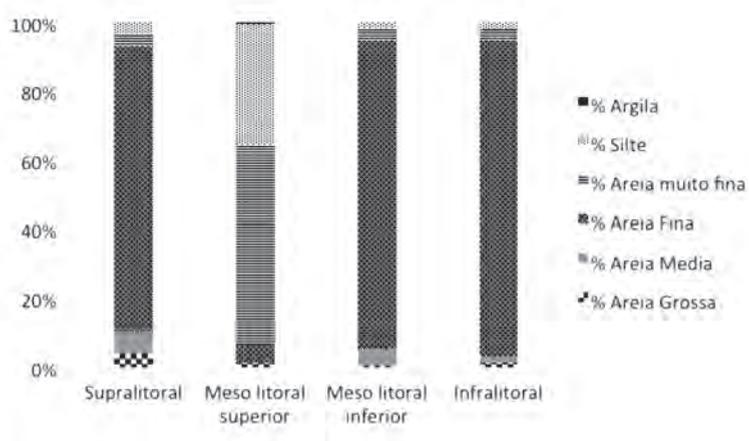
Foto: Carine Santana Silva.

Figura 5 – Perfil topográfico da praia dissipativa de Itapororoca



Elaboração: Carine Santana Silva.

Figura 6 – Distribuição granulométrica ao longo do perfil topográfico da praia de Itapororoca, município de Una



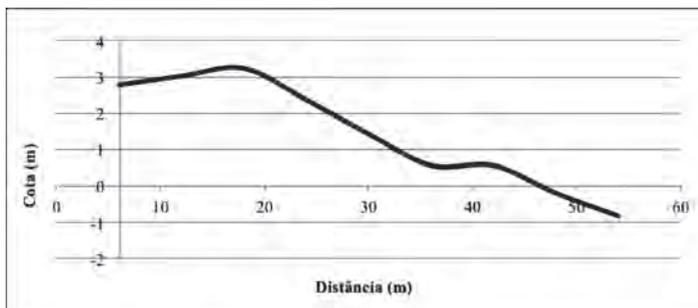
Elaboração: Carine Santana Silva.

Figura 7 – Vista lateral da praia refletiva de Mar Moreno, Belmonte



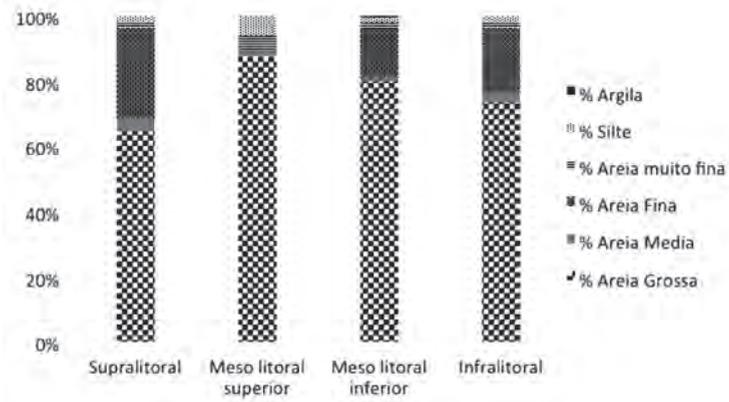
Autor: Carine Santana Silva.

Figura 8 – Perfil topográfico da praia refletiva de Mar Moreno, Belmonte



Elaboração: Carine Santana Silva.

Figura 9 – Distribuição granulométrica ao longo do perfil topográfico da praia de Mar Moreno, Belmonte



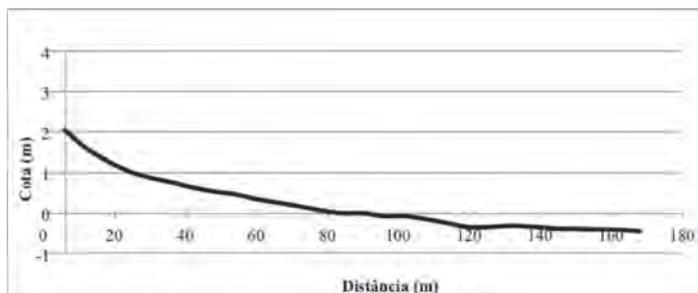
Elaboração: Carine Santana Silva.

Figura 10 – Vista lateral da praia intermediária dissipativa da praia de Atalaia, em Canaveiras



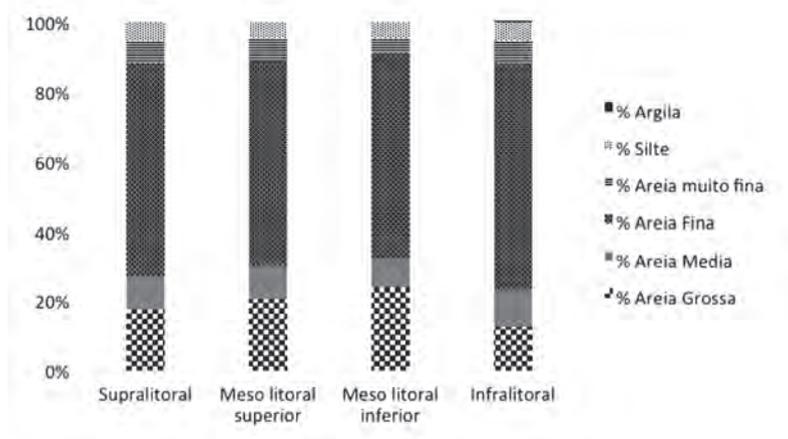
Foto: Carine Santana Silva.

Figura 11 – Perfil topográfico da praia intermediária dissipativa da praia de Atalaia, Canaveiras



Elaboração: Carine Santana Silva.

Figura 12 – Distribuição da fração granulométrica ao longo do perfil na praia de Atalaia (estação Canavieiras)



Elaboração: Carine Santana Silva.

# **Sensibilidade ambiental a derrame de óleo para os ecossistemas costeiros no sul do Estado da Bahia**

---

Adriano de Oliveira Vasconcelos

## **Introdução**

Com a concessão de blocos marinhos para exploração e o desenvolvimento e produção de petróleo e gás natural na última década, as atividades petrolíferas passaram a exercer maior pressão sobre os ambientes marinhos e costeiros do Brasil. Esta nova realidade apresenta riscos de ocorrência de acidentes inerentes à produção e ao transporte de óleo, aumentando a probabilidade de impactos sobre a faixa litorânea.

Diante disso, os órgãos públicos e a indústria petrolífera precisam estar preparados para atender situações emergenciais, tais como o vazamento de óleo no mar. A gestão da emergência estabelecida por meio de um plano de contingência é indispensável para determinar com antecedência os procedimentos para minimizar os impactos de qualquer natureza, considerando ainda os interesses específicos dos setores e instituições envolvidos. (IPIECA, 2000; INTERNATIONAL TANKER OWNERS POLLUTION FEDERATION, 1985b; LOPES, 2007)

Um dos principais objetivos do planejamento de resposta é reduzir, tanto quanto possível, as consequências ambientais de um acidente. Esse objetivo é alcançado quando os locais mais sensíveis, as áreas prioritárias de proteção e

os métodos de limpeza para cada área estão pré-definidos. Assim, foi desenvolvido um método para a elaboração de cartas que explicitam os diferentes níveis de sensibilidade dos distintos segmentos litorâneos a derramamentos de óleo. São conhecidas no Brasil como Cartas de Sensibilidade Ambiental ao Derrame de Óleo (Cartas SAO) e são documentos cartográficos destinados a auxiliar operações de emergência relacionadas a acidentes envolvendo vazamento de petróleo e derivados (BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, 2002)

As Cartas SAO são um componente essencial e fonte de informação primária para o planejamento de contingência e avaliação dos danos ambientais em casos de derramamentos de óleo; representam um instrumento fundamental para o balizamento das ações de resposta a vazamentos de óleo, por possibilitarem a identificação dos ambientes mais sensíveis, o que orienta o direcionamento dos recursos e induz a uma maior eficiência das equipes de apoio em campo.

### **Contexto Legislativo**

A lei nº 9.966, de 28 de abril de 2000 (BRASIL, 2000), foi um marco no que tange planos de contingência para vazamento de óleo. O artigo 28 desta lei atribui ao Ministério do Meio Ambiente (MMA), em consonância com a Marinha do Brasil, a responsabilidade na identificação, localização e definição dos limites das áreas ecologicamente sensíveis com relação “à poluição causada por lançamento de óleo e outras substâncias nocivas ou perigosas em águas sob jurisdição nacional”.

Com base na lei nº 9.966, a Resolução Conama nº 293, de 12 de dezembro de 2001 (BRASIL. Conama, 2002), apresenta o conteúdo dos Planos de Emergência Individuais (PEI) de instalações portuárias e informa o que deve constar em um plano para combate a derrames de óleo no mar. Conforme o International Tanker Owners Pollution Federation (1985a), entre as informações necessárias destacam-se os procedimentos para limpeza de áreas costeiras atingidas que devem estar descritos considerando fatores como tipo de óleo derramado, geomorfologia e grau de exposição da área, tipo e sensibilidade da biota local e atividades socioeconômicas relacionadas.

Nesse contexto, o Ministério do Meio Ambiente (BRASIL, 2002) elaborou documento de orientação para elaboração das Cartas SAO onde são definidos,

como elementos a serem considerados, caracterização física dos ambientes costeiros, recursos biológicos e atividades antrópicas dos espaços e recursos, os quais possam ser prejudicados ao ser atingidos por óleo.

### **Mapa de sensibilidade ambiental a derrame de óleo**

As cartas de sensibilidade, especialmente as Cartas SAO operacionais (ou de detalhe) e as cartas táticas (de escala intermediária), classificam a linha de costa utilizando um Índice de Sensibilidade do Litoral (ISL). Este índice hierarquiza os diversos tipos de contorno da costa em uma escala de 1 a 10, sendo o índice tanto maior quanto maior o grau de sensibilidade.

O ISL é baseado nas características geomorfológicas da costa, fundamentais para a determinação do grau de impacto e permanência do óleo derramado, assim como, em muitos casos, para os tipos de procedimento de limpeza passíveis de serem empregados. A geomorfologia é, também, determinante para o tipo e a densidade das comunidades biológicas presentes na área. O Quadro 1 apresenta a sensibilidade do litoral para cada tipo de costa, bem como sua respectiva cor.

O presente trabalho observou alguns critérios na definição da sensibilidade litorânea da área de estudo, tais como: granulometria, mobilidade e grau de penetração do óleo no substrato; declividade da face de praia; grau de exposição às ondas; largura da praia; fisionomia do ambiente circundante. Todos os dados são provenientes de resultados laboratoriais realizados pelo Núcleo de Estudos Ambientais do Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia e pela O'Brien's do Brasil, além de observações feitas em campanhas de campo.

Para mapear a sensibilidade da área de estudo, as feições geomorfológicas foram divididas em dois ambientes: ambiente costeiro, que corresponde às feições expostas diretamente às ações oceânicas, e ambiente estuarino, que envolve as feições abrigadas das ondas marinhas. De todas as feições sensíveis ao óleo apresentadas no Quadro 1, quatro aparecem no ambiente costeiro e sete no ambiente estuarino.

Quadro 1 – Índice de Sensibilidade do Litoral (ISL)

Cor	Índice	Tipos de costa	
	ISL 1	A	Costões rochosos lisos, de alta declividade, expostos
		B	Falésias em rochas sedimentares, expostas
		C	Estruturas artificiais lisas, expostas
	ISL 2	A	Costões rochosos lisos, de declividade média a baixa, expostos;
		B	Terraços ou substratos de declividade média, expostos (terraço ou plataforma de abrasão, terraço arenítico exumado bem consolidado etc.).
	ISL 3	A	Praias dissipativas de areia média a fina, expostas
		B	Faixas arenosas contíguas à praia, não vegetadas, sujeitas à ação de ressacas (restingas isoladas ou múltiplas, feixes alongados de restingas tipo <i>longbeach</i> )
		C	Escarpas e aludes íngremes (formações do grupo Barreiras e Tabuleiros Litorâneos), expostos
		D	Campos de dunas expostas
	ISL 4	A	Praias de areia grossa
		B	Praias intermediárias de areia fina a média, expostas
		C	Praias de areia fina a média, abrigadas
	ISL 5	A	Praias mistas de areia e cascalho, ou conchas e fragmentos de corais
		B	Terraço ou plataforma de abrasão de superfície irregular ou recoberta de vegetação
		C	Recifes areníticos em franja
	ISL 6	A	Praia de cascalhos (seixos e calhaus)
		B	Costa de detritos calcários
		C	Depósito de Talus
		D	Enrocamentos ( <i>rip-rap</i> , guia corrente, quebra-mar) expostos
		E	Plataforma ou terraço exumados recoberto por concreções lateríticas (disformes e porosas)
	ISL 7	A	Planície de maré arenosa exposta
		B	Terraço de baixa-mar
	ISL 8	A	Escarpa/encosta de rocha lisa, abrigada
		B	Escarpa/encosta de rocha não lisa, abrigadas
		C	Escarpas e taludes íngremes de areia, abrigados
		D	Enrocamentos, abrigados
	ISL 9	A	Planícies de maré arenosas/lamosas abrigadas e outras áreas úmidas costeiras não vegetadas
		B	Terraços de baixa-mar lamosos abrigados
		C	Recifes areníticos servindo de suporte para colônias de corais
	ISL 10	A	Deltas e barras de rio vegetadas
		B	Terraços alagadiços, banhados, brejos, margens de rios e lagoas
		C	Brejos salobros ou de água salgada, com vegetação adaptada ao meio salobro ou salgado; Apicuns
		D	Marismas
		E	Manguezais (mangues frontais ou mangues de estuários)

Fonte: adaptado por Adriano Vasconcelos de Brasil (2002).

A maré é um fenômeno que altera constantemente a linha de contato do topo da lâmina d'água com a superfície continental costeira. Essa subida e descida do nível médio local do mar tornam emersas ou submersas algumas feições geomorfológicas que possuem diferentes composições em seu substrato, o que acarreta na mudança do nível de sensibilidade ambiental perante o óleo em função da dinâmica da maré ao longo do dia. O presente trabalho considerou feições geomorfológicas resultantes de dois momentos extremos de maré: máxima da preamar e mínima da baixa-mar.

A Tabela 1 exibe a extensão e proporção de cada tipo de costa encontrada na área de estudo.

Tabela 1 – Extensão e proporção de cada tipo de costa encontradas na área de estudo

Ambiente	Tipo de Costa	Extensão (m)	(%)
COSTEIRO	Planície de maré arenosa, exposta	126.560,62	10,94
	Praia dissipativa de areia fina a média, exposta	92.027,04	7,95
	Praia intermediária de areia fina a média, exposta	16.598,17	1,43
	Faixa arenosa contígua à praia não vegetada	12.738,71	1,10
	Total Costeiro	247.924,55	21,43
ESTUARINO	Manguezal (Mangue de Estuário)	725.040,75	62,66
	Margem de rios	90.118,94	7,79
	Planície de maré arenosa abrigada	46.108,57	3,98
	Planície de maré lamosa abrigada	33.550,59	2,90
	Praia de areia fina a média, abrigada	5.268,00	0,46
	Estruturas artificiais lisas	4.773,70	0,41
	Barra de rio vegetada	4.313,86	0,37
	Total Estuarino	909.174,40	78,57
	Total Geral	1.157.098,95	100,00

Elaboração: Adriano Vasconcelos.

A seguir, serão descritas as características físicas de cada feição que compõe os ambientes costeiro e estuarino. A ordem de apresentação segue a maior representatividade em cada ambiente considerado de acordo com a Tabela 1.

**Planícies de maré arenosas expostas** são formadas predominantemente por areia, podendo ocorrer frações de silte e cascalho. Ocorrem em baixa declividade e ficam expostas durante a baixa-mar (Figura 1).

Na área de estudo, esta feição ganha bastante notoriedade, pois o regresso do mar durante a maré baixa pode chegar à centena de metros de largura em aproximadamente 126 km de extensão ao longo da linha de costa, como visto na Tabela 1, expondo uma extensa área de planície de maré arenosa de sedimentos finos e compactos, o que torna a percolação do óleo muito reduzida. No entanto, esta feição costeira ganha maior sensibilidade ambiental (ISL 7) devido à sua diversidade biológica. Segundo Scholz e Michel (1994), estes ambientes são favoráveis ao desenvolvimento de complexas comunidades bentônicas de invertebrados, crustáceos, moluscos, anelídeos e equinodermas. A Figura 1 mostra a planície de maré na praia do Albino em Canavieiras.

**Praias dissipativas de areia fina média expostas** apresentam uma extensa região de quebramento de ondas, onde a energia vai se dissipando. Com isso, na face da praia a energia de ondas é baixa, com granulometria mais fina e pouca declividade. (MUEHE, 1995)

Este tipo de praia é a predominante no ambiente costeiro da área de estudo, chegando a pouco mais de 90 km de extensão. As praias possuem declividade da face praial na ordem de  $0^{\circ}$  a  $3^{\circ}$ , com zonas intermarés bastante largas, sendo comum alcançar 100 metros. O substrato praiano é bem compacto (fundo duro) e, portanto, a percolação do óleo geralmente não passa de 10 cm de profundidade. A Figura 2 exibe a foto da praia da Costa em Canavieiras que exemplifica a praia dissipativa de areia fina.

**Praias intermediárias de areia fina a média** abrangem todas as outras praias que ficam entre os extremos dissipativos e reflectivos. São praias com características mistas e que podem ser identificadas pela presença de correntes de retorno.

Este tipo de praia é comum no litoral da cidade de Belmonte. Em toda área de estudo, a praia intermediária atinge cerca de 16 km. Seu substrato não é tão compacto, o que, somado à variação de granulometria ao longo de seu perfil, permite maior penetração do óleo, podendo chegar a 25 cm de profundidade. A Figura 3 exemplifica este tipo de praia.

**Faixas arenosas contíguas a praias não vegetadas** é uma feição bastante comum na área de estudo, pois suas diversas ilhas arenosas favorecem a ocorrência deste tipo de costa, principalmente devido à interação entre os rios estuarinos e a ação do mar. São locais onde prevalece areia de granulometria fina e

sem cobertura vegetal devido à ação de ressacas periódicas. A localização desta feição permite alta e constante mobilidade de seus sedimentos, estando sempre sujeita à erosão e/ou à progradação. A Figura 4 apresenta uma amostra deste tipo de costa.

No ambiente estuarino da área de estudo, os **manguezais** são dominantes, chegando a 725 km de margens fluviais. Os manguezais de estuários possuem baixa energia hidrodinâmica, com substrato lamoso, plano e saturado com água. Diversas características dos manguezais os colocam como o ambiente mais sensível ao óleo, dentre as quais Schaeffer-Novelli (1987) destaca: constituem fontes de nutrientes para a zona costeira; permitem o extrativismo (madeira, mel, ostras, caranguejos, siris, camarões, peixes); contribuem para evitar a erosão e manter a estabilização da costa; retêm metais pesados e outros materiais tóxicos.

Tal vulnerabilidade baseia-se na interação da costa com processos físicos relacionados à deposição e permanência do óleo no ambiente, à extensão do dano ambiental e ao tempo de recuperação. (GUNDLACH; HAYES, 1978) A Figura 5 exhibe foto de manguezais de estuário na área de estudo.

**Margens de rios** sem a presença de manguezais alcançam pouco mais de 90 km de extensão. Esta feição é caracterizada por vegetação rasteira típica de pasto, alternando trechos com presença de vegetação arbustiva e/ou arbórea; possui substrato arenoso onde o alcance do nível d'água do rio varia de acordo com a maré e com as precipitações. Por ser uma margem seca, normalmente está associada a alguma propriedade particular, como fazenda, sítio, pousada ou terreno de comunidade ribeirinha. Em função de sua importância tanto social quanto biológica, além da dificuldade de remoção do óleo, margens de rios se enquadram em nível máximo de sensibilidade. A Figura 6 mostra margens de rios típicas do local.

As **planícies de maré arenosas e lamosas abrigadas** possuem declividade menor que 3° e ficam expostas durante a baixa-mar. Quando ocorrem em ambientes estuarinos, normalmente são protegidas da ação direta das ondas. São feições caracterizadas por serem locais de deposição de sedimentos bem selecionados; por esta razão possuem baixa permeabilidade e constituem barreiras que limitam a navegabilidade inclusive de pequenas embarcações.

Essas planícies possuem grande biodiversidade e, por estar em um ambiente abrigado, tornam-se atraentes para peixes e aves que buscam alimentos, fazendo com que esta feição tenha alta sensibilidade ao óleo. Na área de estudo, as planícies de maré arenosa e lamosa abrigadas alcançam quase 80 km de extensão, o que revela a importância desta feição geomorfológica para a área. As Figuras 7 e 8 exibem amostras de planície de maré abrigada.

**Praias de areia fina abrigadas** aparecem com cerca de 5 km na área de estudo. Possuem características semelhantes às da praia dissipativa de areia fina, no entanto, são mais sensíveis por serem abrigadas da ação direta das ondas e, portanto, o tempo de permanência do óleo sobre esta feição tende a ser maior. A Figura 9 apresenta um registro fotográfico desta feição.

**Estruturas artificiais lisas** representam construções antrópicas que facilitam o acesso ao mar ou rios, ou protegem das suas ações hidrodinâmicas. Na área de estudo predominam estruturas como terminais de carga e descargas para barcos, cais, portos, ancoradouros e paredões que protegem a cidade da cheia dos rios. Todas estas estruturas estão em ambiente exclusivamente fluvial. Tais estruturas são impermeáveis e, portanto, estão inseridas no menor nível de sensibilidade a derrame de óleo. A Figura 10 mostra um exemplo deste tipo de construção.

**Barras de rio vegetadas** são formadas no leito de rio resultantes da ação de múltiplos eventos erosivos e deposicionais. Geralmente apresentam um padrão de crescimento longitudinal com a presença de barras mais antigas normalmente fixadas pela vegetação. São frequentemente encontradas em acumulações fluviais na calha de grandes rios. (IBGE, 2009) Na área de estudo, é comum observar esta feição nos rios Una e Jequitinhonha. Sua representação atinge pouco mais de 4 km de extensão. Possuem substrato que varia de lamoso a arenoso, sendo este mais comum. A vegetação varia de arbustiva a arbórea e funciona como um fixador que torna a barra menos susceptível à erosão pelas correntes fluviais. São ambientes muito sensíveis devido à sua riqueza biológica, ao substrato inconsolidado e à dificuldade de acesso, que tornam a limpeza mais difícil. A Figura 11 exemplifica este tipo de feição.

Depois da exposição de todas as feições litorâneas e estuarinas encontradas na área de estudo, bem como seu respectivo ISL, foi feita uma análise quantitativa do Índice em cada ambiente considerado. A Tabela 2 apresenta a

proporção de cada nível do ISL para a área de estudo de acordo com o seu ambiente de formação. Percebe-se o quanto sensível é o ambiente estuarino, uma vez que 62,6% das margens fluviais são formadas por manguezais (Tabela 1). Em seguida, vem o ISL 9 representando as planícies arenosas e lamosas abrigadas com 8,7% do ambiente estuarino. Têm menor representatividade os ISL 4 e ISL 1, com 0,58% e 0,53%, respectivamente.

No ambiente costeiro, o ISL 7 é o predominante, alcançando 51% da área estudada, enquanto que o ISL 3 atinge 42,3% e, por fim, o ISL 4 ocupa 6,7% da linha de costa.

Tabela 2 – Extensão e proporção de cada nível do ISL encontrada na área de estudo

Ambiente	Tipo de Costa	Extensão (m)	(%)
COSTEIRO	ISL 7	126560.62	51.05
	ISL 4	16598.17	6.69
	ISL 3	104765.75	42.26
	Total Costeiro	247924.55	21.43
ESTUARINO	ISL 10	819473.54	90.13
	ISL 9	79659.16	8.76
	ISL 4	5268.00	0.58
	ISL 1	4773.70	0.53
	Total Estuarino	909174.40	78.57

Fonte: Elaboração de Adriano Vasconcelos.

Diante dos dados apresentados, mapas de sensibilidade ambiental a derrame de óleo foram elaborados em escala 1:50.000 nos três principais rios da região de estudo: Jequitinhonha, Pardo e Una. Dois momentos extremos de atuação da maré foram considerados: preamar e baixa-mar. Com isso, todas as feições geomorfológicas possíveis de entrar em contato com o óleo flutuando através da superfície do corpo d'água foram mapeadas e qualificadas segundo o ISL. As Figuras 12, 13 e 14 apresentam o Mapa de Sensibilidade a Derrame de Óleo para os principais rios da região.

O entendimento do funcionamento de tais ambientes em função dos resultados apresentados neste estudo permite ao tomador de decisões a obtenção da dinâmica de susceptibilidade ambiental de determinado ecossistema à

ocorrência de acidentes ambientais como potenciais derrames de óleo no mar. Dessa forma, o desenvolvimento de instrumentos que possibilitem o maior conhecimento e caracterização de ambientes costeiros assegura às empresas de óleo e gás maior capacidade e agilidade no processo de prevenção e mitigação e monitoramento de tais ambientes.

## Considerações finais

Este capítulo procurou demonstrar a importância de estudos de mapeamento de sensibilidade ambiental a derrames de óleo devido, principalmente, à atual expansão de atividades petrolíferas na região *offshore* brasileira, o que torna os ambientes costeiros mais susceptíveis a acidentes. O Ministério do Meio Ambiente, por sua vez, preparou normas e especificações técnicas para elaboração desse tipo de mapeamento.

Nesse sentido, o presente estudo focou no entendimento do ambiente físico da área de estudo, sendo que cada feição geomorfológica possui um nível de sensibilidade correspondente no Índice de Sensibilidade Litorânea (ISL), proposto pelo MMA (BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, 2002) Com isso, os ambientes estuarino e praiano foram mapeados detalhadamente e classificados de acordo com seu ISL.

Como esperado, o ambiente estuarino é bem mais sensível do que o ambiente costeiro devido ao domínio dos extensos manguezais ao longo dos estuários. Já no ambiente costeiro, predominam praias dissipativas de areia fina a média, conjugado com planícies de maré arenosa que são resultantes da exposição destas praias pela ação da maré.

Diante dos dados apresentados, Mapas de Sensibilidade Ambiental a Derrame de Óleo foram elaborados em escala estratégica. Dois momentos extremos de atuação da maré foram considerados: preamar e baixa-mar. Com isso, todas as feições geomorfológicas possíveis de entrar em contato com o óleo flutuando através da superfície do corpo d'água foram mapeadas e qualificadas segundo o ISL.

O entendimento do funcionamento de tais ambientes em função dos resultados apresentados neste capítulo permite ao tomador de decisões a obtenção da dinâmica de susceptibilidade ambiental de determinado ecossistema à

ocorrência de acidentes ambientais como potenciais derrames de óleo no mar. Dessa forma, o desenvolvimento de instrumentos que possibilitem o maior conhecimento e caracterização de ambientes costeiros assegura às empresas de óleo e gás maior capacidade e agilidade no processo de prevenção e mitigação e monitoramento de tais ambientes.

Figura 1 – Praia do Albino (Canavieiras). Planície de maré arenosa exposta durante a maré baixa. O recuo do mar pode expor em até 100 metros de largura desta feição



Foto: Adriano Vasconcelos, 2012.

Figura 2 – Praia da Costa (Canavieiras). Exemplo de praia dissipativa de areia fina a média exposta



Foto: Adriano Vasconcelos, 2012.

Figura 3 – Praia do Sul (Belmonte). Praia Intermediária de areia fina a média. Declividade pouco mais acentuada do que a praia dissipativa



Foto: Geraldo Marcelo, 2011.

Figura 4 – Foz do rio Pardo, Canavieiras. Faixa de areia contígua à praia de Atalaia



Foto: Adriano Vasconcelos, 2012.

Figura 5 – Manguezal nas margens do rio de Una, em Una. Ambiente típico dos estuários dos rios da área de estudo



Foto: Adriano Vasconcelos, 2012.

Figura 6 – Exemplo da feição margens de rios. Margem esquerda do trecho final do rio Jequitinhonha em Belmonte. Vegetação típica de pasto



Foto: Adriano Vasconcelos, 2012.

Figura 7 – Planície de maré arenosa abrigada. Leito do rio Jequitinhonha, Belmonte. É comum utilizar estacas como orientação para navegabilidade local



Foto: Adriano Vasconcelos, 2012.

Figura 8 – Planície de maré lamosa abrigada. Leito do rio Pardo, Canavieiras



Foto: Geraldo Marcelo, 2011.

Figura 9 – Praia de areia fina abrigada. Praia de Caieiras, rio Jequitinhonha, Belmonte



Foto: Adriano Vasconcelos, 2012.

Figura 10 – Estrutura artificial, em Belmonte. Parede construída para proteger a cidade do rio



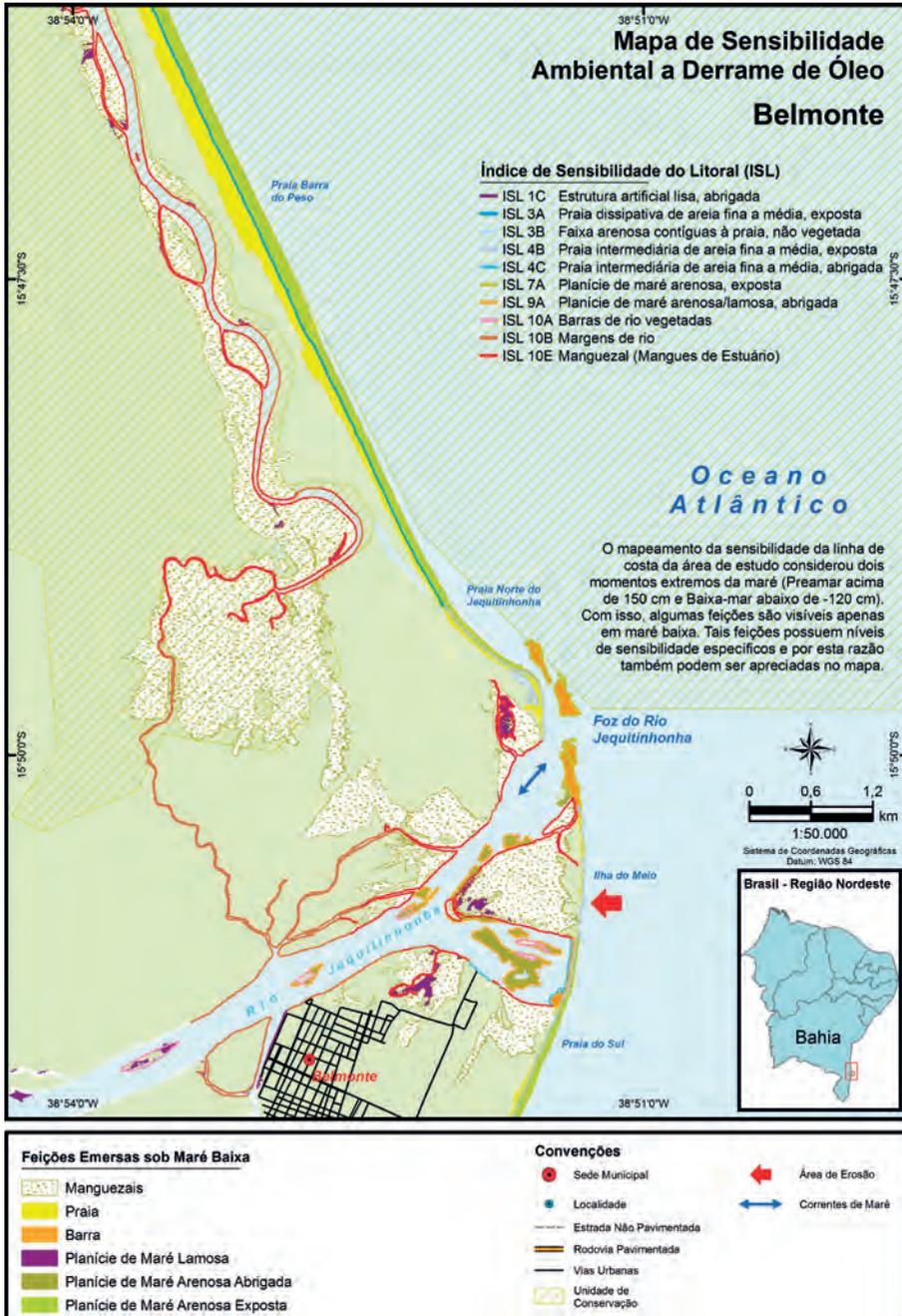
Foto: Adriano Vasconcelos, 2012.

Figura 11 – Barra de Vegetada no leito do rio de Una, Una



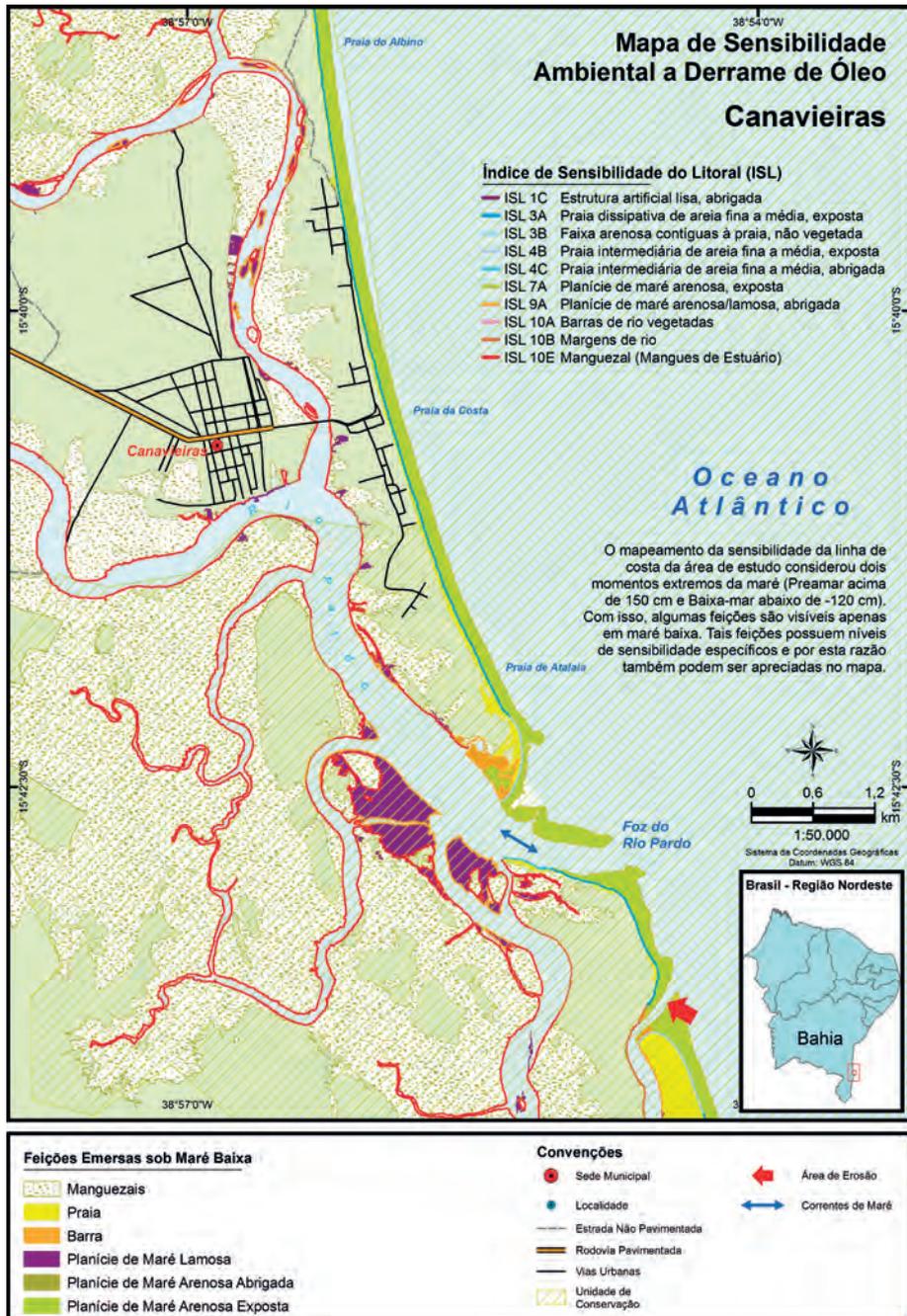
Foto: Adriano Vasconcelos, 2012.

Figura 12 – Mapa de Sensibilidade Ambiental a Derrame de Óleo para Belmonte



Elaboração: Adriano Vasconcelos.

Figura 13 – Mapa de Sensibilidade Ambiental a Derrame de Óleo para Canavieiras



Elaboração: Adriano Vasconcelos.

Figura 14 – Mapa de Sensibilidade Ambiental a Derrame de Óleo para Una



Elaboração: Adriano Vasconcelos.

## **A pesca artesanal: uma atividade de importância social e ambiental em Canavieiras**

---

Catherine Prost  
Ondina Souza Duarte  
Carolina Silva Sapucaia  
Vladimir Félix Pacheco  
Maria Luiza Garrido Menezes

### **Introdução**

O município de Canavieiras destaca-se por ter sido pioneiro no plantio de cacau, produção que marcou a economia e a cultura regional. Atualmente, esta região, tal como o conjunto da região cacauzeira, abriga poucos cacauais em razão de vários episódios de crise desde o século XIX, com profundas mudanças socioespaciais, dentre elas um importante êxodo rural que levou a migrações para cidades maiores ou para a costa. Pela conjugação de concentração fundiária e do mercado de trabalho insuficiente para migrantes rurais, a pesca, característica de ser praticada em área de livre acesso, representou uma solução para a subsistência de amplos segmentos populacionais. (MACHADO, 2007)

A presença lusófona é histórica na região, com o início da ocupação pelos portugueses por volta de 1610, com o intuito de exportar pau-brasil. Em fins do século XVII e início do século seguinte, o povoamento consolidou-se com o nas-

cimento de uma localidade onde hoje se situa Puxim. (AGUIAR, 2011) Ao longo das décadas, Puxim cresceu em população e outros povoados foram criados; todavia, em razão dos conflitos com os indígenas, um movimento de migração dirigiu-se mais ao sul, surgindo a localidade de Canavieiras.

No início deste século, a carcinicultura e a silvicultura foram fomentadas pelos poderes públicos para diversificar as atividades econômicas (IBGE, 2013), mas apreendidas criticamente pelas populações tradicionais por causa dos impactos ambientais observados.

Na última década, a proposta de criação da reserva extrativista (Resex) marinha ampliou-se até a concretização em 2006, expressando a importância ecológica da área e da preservação do modo de vida de populações de pescadores artesanais.

Com clima quente e úmido, a unidade de conservação (UC) estende-se de Belmonte, ao sul, a Canavieiras e contempla uma comunidade de pescadores do município de Una, ao norte. As paisagens são compostas, além dos núcleos populacionais, de praias, ilhas, manguezais, restingas, mata atlântica, além de áreas degradadas, áreas cultivadas e pastagens.

O levantamento socioeconômico elaborado é abrangente e utilizado para obter dados visando a identificar necessidades e a traçar o perfil da população, bem como relevante para implementação de medidas de manejo dos estoques, assim como para o desenvolvimento econômico destas populações. (MINTEVERA; PETRERE, 2000)

A Resex inclui uma esfera de diálogo para o planejamento e gestão entre atores locais na área protegida e seu entorno, democratização da gestão territorial e oportunidade de gestão com maior justiça social e conservação ambiental.

## **Materiais e métodos**

O levantamento de referências sobre a região de estudo e temas de interesse teórico foi complementado pela consulta de dados censitários do IBGE, relatórios técnicos do Instituto Chico Mendes para a Biodiversidade (ICMBio) e das organizações sociais da pesca.

O trabalho em campo consistiu na aplicação de questionários junto a 93 marisqueiras e 93 pescadores, entrevistas a secretários da Prefeitura Municipal

de Canavieiras e lideranças sociais. No questionário, as perguntas referem-se a várias temáticas: 1) perfil social, com dados pessoais e sobre a família (como idade, nível escolar, renda familiar mensal etc.) e condições de moradia; 2) ofício da pesca, com perguntas sobre tipos de apetrechos, espécies capturadas, frequência e tempo de experiência, percepção de evolução do meio ambiente ou da pesca; e 3) laços com o lugar, através de perguntas sobre envolvimento em organização social e sobre a relação pessoal com o lugar.

Os dados foram processados pelas respostas positivas e o número de “sem respostas”.

Por fim, os entrevistados, com perguntas abertas, foram indagados sobre as perspectivas frente à exploração de petróleo. O tratamento das perguntas abertas foi estabelecido de acordo com as respostas, tal como: as razões indicadas sobre causas de mudanças na pesca ou no manguezal ou as razões de querer ficar ou sair do lugar. Outras perguntas foram semifechadas, especificamente quando o tipo de resposta era mais previsível, como as perguntas relativas à moradia. Contudo, sempre permaneceu a possibilidade de indicar outra resposta do que as previstas, que figuram como mais uma categoria criada ou como “outras respostas”.

A partir da fotointerpretação de imagens de satélite Landsat, com Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA e GEBCO do Google Earth e de visitas *in loco* para verificação do uso do solo com auxílio de GPS, tem-se o mapeamento da ocupação e do uso do espaço delimitado pela reserva extrativista marinha. As poligonais foram feitas a partir dos conceitos utilizados na cartografia para dividir territórios e dos pontos levantados com GPS nas visitas em campo. Os pontos foram sobrepostos nas imagens Landsat do Google Earth e, a partir disso, foram feitas as poligonais. Os planos de informação dos limites municipais e do Estado da Bahia foram utilizados como base, usando o programa Arcgis para a elaboração dos mapas.

A área de estudo inclui a sede municipal de Canavieiras (cuja evolução pode ser visualizada na Figura 1), as localidades de Campinhos, Atalaia, Barra Velha, Puxim do Sul, Puxim da Praia, Oiticica, assim como a localidade de Biela, no município de Belmonte, e a de Pedras de Una, no município de Una. Em razão da predominância em extensão e populacional de Canavieiras, o estudo terá como foco esse município.

## Resultados e discussões

Segundo o censo de 2010 do IBGE, no município de Canavieiras residem 32.336 habitantes, sendo 49,8% homens e 51,2% mulheres, e 25.903 urbanos e 6.433 rurais. (IBGE, 2013)

Essa distribuição espacial da população foi bastante alterada pela crise cacauieira. Em escala regional, a proporção da população urbana aumentou nas últimas décadas uma vez que a mão de obra agrícola – que chegou a alcançar mais de 400.000 trabalhadores, segundo Fernandes e outros (2008, citado por AGUIAR, 2011) – sofreu um desemprego maciço e foi forçada a um êxodo rural (Tabela 1).

Tabela 1 – População urbana e rural do território litoral sul da Bahia (1980 – 2000) que abrange o litoral de Marauá, ao norte, a Canavieiras, ao sul

População	1980	%	1991	%	1996	%	2000	%
Urbana	383.338	54,63	542.298	62,50	578.478	67,34	636.670	75,45
Rural	318.189	45,37	325.355	37,49	280.443	32,66	207.231	24,55
Total	701.527	100	867.653	100	858.921	100	843.901	100

Fonte: Freitas (2009, p. 116), elaborado a partir de dados dos Censos Demográficos de 1980 a 2000.

Migrantes dirigiram-se para cidades maiores, enquanto os trabalhadores que permaneceram no campo foram submetidos à redução dos salários. As migrações manifestaram-se em Canavieiras através dos censos, passando de 42.118 habitantes, em 1980, a 33.019, em 1991, tendência verificada também em Una e, em menor proporção, em Belmonte (Tabela 1, Figura 2).

A ocupação, iniciada ao longo do rio Pardo, expandiu-se para oeste, ao longo da rodovia, com construção de muitos loteamentos privados a partir do fim da década de 1980. Mais recentemente, a Prefeitura Municipal promoveu assentamentos, sobretudo na parte norte do município de Canavieiras. Assentamentos espontâneos surgiram também em diversos locais marginais à sede municipal: ocupação de manguezais, aterros ou invasões de construções abandonadas (MACHADO, 2007) (Figura 1). A mancha urbana expandiu-se de 190 ha, em 1990, para 350 ha, em 2005.

A ilha de Atalaia, que abrange uma vila de pescadores, teve seu crescimento acelerado a partir da construção de uma ponte, em 1983, que a liga à sede

municipal, resultando na instalação de numerosas pousadas em Atalaia. Posteriormente serão apresentadas as comunidades rurais pesqueiras.

### **Indicadores socioeconômicos**

No tocante à educação, a população possuía uma média de dois anos e meio de estudo, aumentando para 3,6 em 2000. Apesar do aumento decorrente do êxodo rural, do aumento do número de vagas e de escolas e dos programas sociais federais, a média ainda continua muito baixa e o esforço para melhoria dos estudos deve ser prosseguido.

O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) do município passou de 0,318, em 1991, a 0,439, em 2000, e 0,590, em 2010, índice considerado baixo e que está ainda inferior à média estadual de 0,660, considerado 22º do *ranking* nacional, posição de médio desenvolvimento. Apesar dos números baixos, observa-se uma evolução positiva que comprova os avanços proporcionados por programas sociais, principalmente o programa Bolsa Família (citado por 70 pessoas) e o Bolsa Escola (citado por 19 pessoas).

No tocante ao Produto Interno Bruto (PIB) municipal, o sensível aumento de R\$ 45.677 mil, em 2000, a R\$ 166.817 mil, em 2010, a preços correntes é devido à reorganização econômica efetuada em vistas a compensar as perdas do cacau. Apesar desses esforços, consta que o setor de serviços é o que gera 2/3 da riqueza, frente ao setor primário e ao secundário.

Se o PIB for relacionado à população, obtém-se o PIB *per capita*. O indicador passou de R\$ 1.928,13, em 2002, a R\$ 5.090,73, em 2010. Percebe-se que o valor é baixo comparado ao indicador para a Bahia (R\$ 11.232) ou o Brasil (R\$ 19.016), mas a evolução parece positiva. Comparando com a média estadual, a análise muda, pois o PIB por habitante de Canavieiras, em 2002, representou 43% do PIB *per capita* médio no Estado e ocupou a 198ª posição entre os municípios. Em 2005, representou respectivamente 40,1% na Bahia e a 218ª posição, revelando a perda de dinamismo econômico em escala estadual. O último censo do IBGE de 2010 evidenciou um aumento significativo do PIB *per capita*, com um montante de R\$ 3.257,59.

Apesar dos avanços, as seis mil famílias que recebem Bolsa Família e os cinco mil aposentados evidenciam o grau de precariedade socioeconômica e de dependência para com programas sociais e a Previdência. O ex-secretário mu-

nicipal de Administração, Gilmar Avelar, em entrevista concedida à equipe de pesquisa em março de 2012, admitiu que a pesca ajuda a população a sobreviver, mas lamenta a deficiência da oferta de emprego. Segundo o entrevistado, a economia municipal conta como setor importante de geração de empregos: a própria prefeitura, com 1.300 funcionários, além do comércio, de serviços voltados para a população e do turismo com o *resort* Transamérica. Diante da profunda crise do cacau, o município procura diversificar sua economia, mas encontra dificuldades nessa direção.

### **Diversidade de usos do espaço**

Em seguida são apresentadas as atividades econômicas e sua distribuição no espaço.

### ***Contexto regional da estrutura fundiária***

O sul da Bahia configura-se como mais um exemplo do processo de concentração de terras, incluindo um alto percentual de pequenas e médias propriedades. Os latifúndios, que no Território litoral sul equivalem a propriedades a partir de 300 hectares, aparecem raros, mas um exame mais atento faz vislumbrar o que Freitas (2009) chama de concentração fundiária “descontínua”, ou seja, a fragmentação das terras da família entre os herdeiros.

O levantamento efetuado por Freitas (2009) sobre o índice de Gini no Território mostra o crescimento da concentração fundiária ao longo das décadas do século XX. Mas a autora analisa que, com o agravamento da crise cacauera, apenas os grandes proprietários mantiveram a capacidade de diversificar sua produção agrícola ou conservar suas terras como reserva de valor. Ela evidencia um agronegócio consolidado, em um processo legitimado e apoiado pelo Estado.

A compreensão desse contexto de concentração fundiária e de crise séria enfrentada pelos trabalhadores rurais é fundamental para entender o movimento de migração para o litoral, uma vez que a exploração dos recursos pesqueiros se faz em espaços de livre acesso: manguezais e águas.

### ***Uso do espaço pela cacauicultura***

Segundo Tavares (2001), citado por Freitas(2009), foi em Canavieiras que as primeiras mudas de cacau foram plantadas, na fazenda Cubículo, existente

ainda hoje, porém sem muito sucesso. Somente em meados do século XVIII, em torno de Ilhéus, o cultivo de cacau expandiu-se. Em Canavieiras constou como atividade a partir da década de 1870, à imagem do processo em curso no Estado. De fato, com 9% da produção mundial, a produção baiana representou, entre 1860 e 1890, 20% das exportações do Estado (MACHADO, 2007) e tornou-se o principal produto de exportação a partir do século XX.

A região do litoral sul foi privilegiada para o plantio até meados do século XX, graças a solos apropriados e à disponibilidade de mão de obra do sertão e de Sergipe, em busca de aquisição de terras. (NASCIMENTO; DOMINGUEZ; SILVA, 2009) Contudo, desde o século XIX, a produção conheceu irregularidades em razão da vassoura-de-bruxa, doença causada pelo fungo *Moniliophthora perniciosa*, e de fatores climáticos adversos, assim como de flutuações do preço da *commodity* agrícola nos mercados mundiais.

Em Canavieiras, o ápice da produção foi atingido em 1960, com 14.874 toneladas. (AGUIAR, 2011) Mas a partir de 1985, a produção registrou uma queda significativa em todo o Estado, apesar de experimentos agrônômicos em Canavieiras e Belmonte. As razões do declínio abrangem: contaminação de até 80% da produção pela vassoura-de-bruxa em uma vegetação fragilizada pela seca, falta de visão empresarial em favor da modernização, contexto nacional de alta inflação e altos custos de produção, aumento das dívidas e queda dos preços causada pela superprodução de cacau em escala internacional. (FERNANDES et al. 2008 citado por AGUIAR, 2011) Em Belmonte, as áreas utilizadas passaram de 30.500 ha, em 1990, a 28.300, em 2005, e em Canavieiras, de 14.200 a 13.800 ha, respectivamente. (NASCIMENTO; DOMINGUEZ; SILVA, 2009) Desde então, investimentos em clonagem de cacau e cultivo orgânico foram realizados. Contudo, a cacauicultura não representa mais um setor importante em termos de produção e emprego rural. (SUPERINTENDÊNCIA DE ESTUDOS ECONÔMICOS E SOCIAIS DA BAHIA, 1992)

### ***Uso do espaço pela pecuária e a lavoura***

O uso do solo pela pecuária aumentou entre 1960 e 2005 (AGUIAR, 2011) em espaços outrora destinados aos cultivos de cacau (Tabela 2).

Tabela 2 – Áreas ocupadas em Canaveiras por pastagem e cacauicultura (em hectares e em porcentagem da área do município)

Áreas ocupadas \ ano	1960		1990		2005	
Pastagem	14.870 ha	10,8%	34.480 ha	25,1%	54.300 ha	39,5%
Cacauicultura	-	8%	14.200 ha	10,3%	13.800 ha	10%

Fonte: Nascimento; Dominguez (2009).

Desde a década de 1980, o bovino constituiu o maior rebanho, passando de 8.500 reses a 12.300, embora continue marginalmente na produção da microrregião Ilhéus-Itabuna. (MACHADO, 2007) Frisa-se que o rebanho de grande porte está proibido dentro da poligonal da reserva extrativista, de acordo com o plano de manejo adotado.

Com a maior parte do município ocupada por pecuária, as terras ocupadas por lavoura oscilaram entre 11.000 e 16.000 ha entre 1990 e 2005, em sua maioria lavouras permanentes. A partir da década de 2000, o cultivo de coco expandiu-se e tornou-se o principal produto agrícola nas receitas municipais.

### ***Uso da terra pelo turismo***

Canaveiras, na Costa do Cacau, oferece extensas praias e manguezais. O turismo é fomentado por incentivos fiscais municipais e estaduais e investimentos de estrangeiros. Os estabelecimentos são de pequeno porte, empregando trabalhadores locais em trabalhos não ou pouco qualificados e, por conseguinte, com baixos salários. Investidores estrangeiros afirmaram ter tido grandes projetos de resorts no litoral antes da criação da Resex. Como observa Machado (2007), seria um turismo de enclave, tal como praticado pelo resort Transamérica, situado na ilha de Comandatuba.

As belezas cênicas da paisagem, compostas pelas praias, a barra entre estuário e mar, as ilhas e os rios, compõem os atrativos naturais para os turistas, principalmente baianos. Algumas festividades e o centro histórico preservado servem igualmente de trunfo para o turismo, além da pesca esportiva – com destaque para a pesca do marlim azul – que drena principalmente fluxos de turistas estrangeiros.

Novas atividades foram também fomentadas no município: apicultura, carcinicultura e silvicultura, essas duas últimas com o apoio do governo de Estado.

### ***Uso da terra pela silvicultura***

A silvicultura (plantio de eucalipto), já presente na década de 1990 em Belmonte, teve início em 2000 em Canavieiras. Das três grandes empresas responsáveis pela expansão do setor – Bahiasul, Aracruz e Veracel –, a última está presente em Belmonte e Canavieiras. Implantada na Bahia na década de 1990, a empresa abriu em 2005 uma fábrica de celulose entre Eunápolis e Belmonte.

A silvicultura iniciou sua expansão no norte do Espírito Santo nos anos 1970 com o apoio do Estado, no âmbito do I Plano Nacional de Papel e Celulose.

Na região de estudo, as condições naturais (clima, solo e relevo pouco movimentado, ciclo de crescimento três vezes superior ao de regiões temperadas) e a pavimentação da rodovia BR-101, em 1997, favoreceram a produção e seu escoamento. Nascimento (2009) observou que, em 1990, Belmonte registrava silvicultura em 2.500 ha (1,24% de sua superfície). Em 2005, a monocultura se elevava a 18.600 ha em Belmonte (9,6 % da superfície total) e 570 ha em Canavieiras (0,4% das terras). A expansão ocorreu a despeito da Lei Municipal nº 659/2002, de 12 de setembro de 2002. Esta lei limita a expansão maciça de eucalipto para fins de celulose por tempo indeterminado. Em março de 2012, a lei deixou de vigorar e a Portaria nº 2253 do INEMA (BAHIA, 2012), publicada no *Diário Oficial da Bahia*, autorizou por quatro anos a expansão do cultivo de eucalipto em diversos municípios do Sul e Sudoeste da Bahia, incluindo Canavieiras e Belmonte. (INEMA..., [2012])

Segundo a Federação de Órgãos para a Assistência Social e Educacional (FASE, 2005), citado por Santos (2008), a Veracel é responsável por milhares de hectares de Mata Atlântica desmatados. Nos municípios de Canavieiras e de Belmonte são citados processos de aterramento de nascentes, formação de aglomerados urbanos e adensamentos da população nos núcleos, com aumento sensível do preço da terra. (NASCIMENTO, 2009)

### ***Uso da terra pela carcinicultura***

A atividade de carcinicultura, criação de camarões marinhos em cativeiro, foi fomentada pela empresa Bahia Pesca. No seu Macrodiagnóstico do Potencial da Bahia para a Carcinicultura, realizado em 1999, a empresa formulou avaliações propícias para a atividade em 100 mil ha do Estado. Nessa perspectiva, quatro regiões foram identificadas: as de Jandaíra, de Valença e Ituberá, de Ca-

navieiras e de Caravelas. Segundo Pires, Gomes e Sampaio (2006) citados por Aguiar (2011), os investidores se originam de outros estados, em especial do Sul e Sudeste do Brasil.

Em Canavieiras, a Prefeitura também apoiou mais de 20 projetos implantados em áreas vizinhas aos manguezais, com concentração entre as comunidades de Oiticica e Puxim do Sul, e desta e Barra Velha. Segundo os autores, em 2006, 170 hectares estavam sendo usados para a carcinicultura, equivalente a 3% do potencial local (5 mil ha, segundo a Bahia Pesca), com produtividade variando entre 1,5 a 5,7 t/ha/ano. Segundo os dados oficiais, a produção variou entre 1.000 t em 2007, 600 t, em 2008, e 400 t, em 2009.

Uma visita efetuada em maio de 2013 à Bahia Pesca não permitiu identificar dados mais recentes de produção. O funcionário ressaltou ainda que os dados provavelmente não são confiáveis para os anos de 2008 e 2009 por causa da doença que provocou alta mortalidade dos camarões. Além disso, a Bahia Pesca não conhece com exatidão a produção e o valor da mesma, pois os carcinicultores relutam em repassar dados exatos para um documento público.

O número de fazendas de carcinicultura inicial era de 20, porém a ocorrência de doenças nos camarões e a não renovação da licença ambiental seguida de autuação, causou a drástica redução para cinco empresas funcionando no momento.

### **A pesca artesanal na Resex de Canavieiras**

A pesca na região é, sobretudo, do tipo artesanal, agrupando cerca de 1.300 pescadores e pescadoras na colônia Z-20. Vale lembrar que o número real de pescadores é sempre superior ao número de filiados nas colônias. Segundo dados do Centro de Pesquisa e Gestão de Recursos Pesqueiros do Litoral Nordeste (CEPE-NE) de 2002 (AGUIAR, 2011), o município produziu 664,8 t de pescado em 2002, somando R\$ 10.258.880, valor superior ao do principal produto agrícola do município em 2006, o coco, com R\$ 7 milhões. Em 2005, o valor da produção subiu para 16 milhões de reais, representando cerca de 7% da produção estadual.

Frisa-se que Canavieiras representa o limite onde a plataforma continental, muito estreita ao longo da costa baiana (31 km em frente ao município), volta a se alargar em direção ao sul, o que explica a presença de pesca industrial em razão da abundância de cardumes.

Segundo Fernando e outros (2008, citados por Aguiar, 2011), em 2005, último ano de levantamento detalhado, as estatísticas do CEPENE informam que o município produziu 1.646 t de pescado, correspondendo a 3,6% da produção estadual. As espécies mais capturadas foram: lagosta vermelha (cerca de 210 t/ano), camarão médio (122 t/ano), robalo (111 t/ano) e guaiuba (quase 58 t/ano).

O marisco capturado registra produção bem menor devido à dificuldade de monitoramento da mariscagem, por ela se dar em embarcações pequenas, dificilmente controladas, além do menor tamanho e peso dos indivíduos.

### ***Caracterização do perfil social dos pescadores artesanais***

Em seguida, são apresentados dados oriundos dos questionários aplicados em campo nas comunidades de Campinhos, Atalaia, Barra Velha, Puxim do Sul, Puxim da Praia, Oiticica e sede municipal de Canavieiras. Foram incluídas também as comunidades de Biela, no município de Belmonte, e de Pedra de Una, no município de Una (Figura 3), uma vez que a primeira localiza-se dentro da poligonal da reserva extrativista marinha e a segunda associa seus pescadores na gestão da Resex, uma vez que eles frequentam as águas da unidade de conservação.

Na sede municipal de Canavieiras, os pescadores concentram-se em alguns bairros (Antônio Osório, Birindiba, Sócrates Rezende) nos quais a equipe efetuou as visitas. São bairros mais periféricos, de classe socioeconômica mais baixa, mas com mais acesso a serviços e equipamentos urbanos do que as localidades rurais por estarem na cidade. Já Atalaia beneficia-se também da proximidade do centro urbano e da ligação por ponte à sede.

As comunidades rurais vivem situações diversas em razão de sua acessibilidade: as que não têm uma via de comunicação (fácil) terrestre até a sede geralmente não dispõem de tantos serviços ou equipamentos (tais como rede elétrica, ausente em Puxim da Praia e Barra Velha, frequência irregular de professor em Campinhos, ou escola fechada em Puxim da Praia).

Como explicado na metodologia, o estudo abrangeu as comunidades pesqueiras contempladas na reserva extrativista marinha. O universo de pesquisa concentrou-se em pessoas que estão praticando o ofício de pesca e, portanto, abrange sobretudo adultos, com 84% de mulheres e 77% dos homens nessa faixa etária. Acima de 60 anos, responderam 12% das mulheres e 14% de homens. Apenas 1% das mulheres e 5% dos homens tinham menos de 21 anos.

A pesca artesanal propicia uma base de sustento para milhares de família, mas demais fontes constituem uma parte substancial das rendas familiares (Figura 4).

A atividade foi dividida em mariscagem e pesca por exprimir territorialidades diferentes: a primeira é realizada em manguezais e bancos de areia e/ou lama, e a segunda em rios, estuários e mar. Existem muitos homens que mariscam, em tempo parcial ou integral, mas praticamente todas as mulheres exercem esse ofício e não pescam. Essa divisão de trabalho por gênero responde em parte ao papel da mulher na casa e para a família: o tempo de trabalho das marisqueiras de algumas horas cotidianas e a relativa proximidade dos locais de coleta, em área de manguezal, permitem que a atividade seja conciliada com os afazeres domésticos: o cuidar dos filhos e da casa, com a catação e o cozimento dos mariscos que seguem a coleta.

As condições de moradia obedecem a padrões modestos, tais como indicados nos gráficos a seguir sobre água, esgoto e destino do lixo (Figura 5). 83% dos entrevistados afirmaram ter banheiro dentro de casa, contra 11% sem e 2% sem resposta (Figura 5c).

### ***Artes de pesca na Resex marinha de Canavieiras***

Se a pesca artesanal evita a condição de miserabilidade, ela gera, todavia, uma renda modesta, o que se explica pelos meios de produção de nível bastante artesanais. Não raramente os pescadores praticam várias artes de pesca, implicando em apetrechos específicos a cada arte e em captura de espécies diversas. É o que se expressa no gráfico (Figura 6) com as artes utilizadas na mariscagem, por homens e mulheres, e na pesca, exercida principalmente por homens.

À diversidade dos apetrechos corresponde uma diversidade do pescado capturado, tanto na mariscagem como na pesca em mar (Figuras 7 e 8).

Essa pluralidade de capturas, embora alguns pescados se destaquem, configura certa sustentabilidade da atividade em relação aos padrões industriais de pesca que se concentram em cardumes de poucas espécies (Figuras 7 e 8). Ela expressa também, junto com os apetrechos, uma prática social que se adapta às condições naturais variáveis, segundo os ciclos da natureza: marés, luas, estações, períodos de reprodução das espécies.

Um dos elementos que limita as capturas em relação à pesca industrial reside nas embarcações. Constituídas em maioria de canoas de madeira movidas por motor de rabeta e remo, elas não permitem embarcar grandes capturas, nem efetuar longos deslocamentos no mar na ausência de equipamentos que autorizem maior segurança de navegação e de condições de armazenamento, sob baixa temperatura para manter o pescado fresco.

Uma vez que as famílias pesqueiras integram parte do pescado na sua dieta (com 7,5% que consomem e 15% que consomem e vendem), a atividade responde em primeiro lugar à busca de um valor de uso. Contudo, a maior parte das capturas é vendida (com 42% destinados somente à venda), demonstrando a inclusão também de um valor de troca no uso social dos recursos naturais.

O caráter artesanal dos meios de produção impede, portanto, capturas muito grandes. Além disso, essas variam muito em razão dos ritmos e variações naturais. Para tentar retratar essa variação, os entrevistados declararam quantos quilos de pescado eles capturavam no que eles consideram uma boa pesca e uma pesca ruim, o que pode ser observado nas Figuras 9 e 10.

Sem possibilidade de determinar exatamente os valores obtidos pelos pescadores devido à venda de seus diferentes produtos, são apresentados, na Figura 11, os valores das rendas familiares mensais estimadas pelos entrevistados, tarefa difícil em que pesam as irregularidades da renda oriunda da pesca e da mariscagem. Observa-se a modéstia das rendas monetárias.

Quando as comunidades são de caráter mais rural e os membros da família praticam várias atividades, a subsistência é facilitada pela produção familiar, seja de agricultura, criação ou extrativismo, relativizando os níveis da renda. Todavia, o crescimento de valores urbanos, como o consumo de remédios químicos, ou ainda a moradia em área urbana – sem espaço para produzir uma horta – elevam a necessidade de adquirir produtos de necessidade com dinheiro.

Em contrapartida, os pescadores artesanais detêm uma grande riqueza não monetária: eles são considerados populações tradicionais pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), órgão ambiental do governo brasileiro criado em 2007, em virtude, dentre outros, de seus saberes ambientais. Frutos de observação da natureza, esses conhecimentos que relacionam diversos elementos entre si para entender os processos do mundo vivo, são essenciais para a sustentabilidade. Eles são adquiridos por transmissão oral

e experiência vivida. Geralmente, o ofício é adquirido desde a infância, acompanhando pais ou parentes. Sem surpresa, portanto, os entrevistados, mesmo jovens, contam geralmente com longo tempo de experiência (Figura 12).

Nota-se um alto percentual de pessoas que não souberam responder, ilustrando a dificuldade em apreender a origem dos riscos em uma sociedade que não dispõe de informações necessárias e suficientes para avaliar as causas. Contudo, observações e informações obtidas através de outras vias (vida associativa, mídia etc.) apontam algumas possíveis causas dos problemas observados. Os entrevistados citam mais aquilo que eles mais vivenciam e observam de perto, mas outras causas externas à pesca foram também apontadas (Figura 14).

No tocante à percepção de evolução dos manguezais, no geral, as opiniões positivas, indicando aumento da área ocupada (34,6%), e neutras, indicando estabilidade na área ocupada (18,4%), superam muito as opiniões de que a área de manguezais diminuiu (29,4%). Entretanto, há variações entre as localidades (Figura 15).

Segundo os entrevistados, antes de 2006 a pressão sobre o manguezal provocara um recuo do mesmo. Com a implantação da Resex, a fiscalização exercida pelo ICMBio levou à recolonização pela vegetação das áreas desmatadas. Essa melhora ambiental foi considerada positiva pelos pescadores, uma vez que o ecossistema é fundamental fonte direta e indireta de recursos naturais.

Contudo, observações em reuniões diversas evidenciaram que o esforço de fiscalização deve ser ampliado na sua frequência e extensão, à imagem do que o conjunto do setor da pesca reivindica junto ao poder público. As razões dos impactos negativos sobre o manguezal, observadas pelos entrevistados, são sintetizadas na Figura 16.

### ***Percepção ambiental dos pescadores da Resex***

Percebe-se uma maioria de homens declarando que a pesca diminuiu em quantidade ou em tamanho dos indivíduos capturados nos últimos anos (Figura 13), contrastando com resultados mais equilibrados entre as mulheres entre respostas positivas e negativas. Os entrevistados enunciaram as prováveis causas para a evolução da pesca declarada conforme consta na Figura 14.

### **Um lugar agradável, mas com melhorias desejadas**

Identifica-se claramente, através das entrevistas realizadas com os pescadores e marisqueiros, um sentimento de pertencimento ao lugar. Os pescadores (88% dos homens e 82% das mulheres) gostam de seu lugar de moradia e trabalho. Caso tivessem opção de mudar de local, 72% das mulheres e 65% dos homens afirmaram preferir ficar onde moram, por motivos diversos (Figura 17). Contudo, reivindicações são formuladas em vistas a melhorias, sobretudo no que se refere à saúde e ao emprego (Figura 18).

Esses desejos emitidos não correspondem a meros votos, mas também a reivindicações emanadas da organização social; cada comunidade tem pelo menos uma associação que reúne pescadores. A presença dessas associações, formalmente constituídas ou não, foi um fator favorável explorado e potencializado pela ONG Pangea, na época encarregada de estudo socioambiental da região para criação da Resex. A oportunidade de criar uma área protegida, inicialmente elaborada dentro da Prefeitura Municipal de Canavieiras, foi apropriada e ampliada pelos pescadores com sucesso, embora não sem tensões políticas no município.

### **A Reserva Extrativista Marinha de Canavieiras**

A Resex foi criada em um contexto marcado pelo aumento da instalação de atividades que obedecem a uma lógica vertical, no sentido de estarem ligadas a metas de competitividade e maximização dos lucros que são antagônicas com a proteção ambiental. É o caso do reflorestamento, termo que indica a silvicultura, mas geralmente com espécies de rápido crescimento, exógenas aos ecossistemas nos quais são plantadas; ou ainda da carcinicultura. A Resex apareceu como uma garantia de preservar uma produção do espaço segundo os moldes tradicionais da pesca artesanal. Em 5 de junho de 2006, ela foi oficializada através de Decreto Federal. (BRASIL, 2006) A Resex possui uma superfície de 100,6 mil ha, sendo 5,5 mil de terra firme (17%), 15,5 mil de manguezais, rio e barras e 79 mil ha de mar aberto (83%).

Na perspectiva de gestão dos conflitos através da procura de consenso, as Resex são unidades de conservação (UCs) de uso sustentável, com Conselho Gestor deliberativo. Os conselhos, presididos pelo ICMBio, são compostos de 50% + 1 dos assentos para os extrativistas, sendo os demais assentos dividi-

dos entre outros atores atuantes localmente, como prefeituras, associações e ONGs, centros de pesquisa e/ou universidades e empresas. Todas as associações de pescadores têm representantes no Conselho Deliberativo e constituíram uma associação-mãe, na qual debatem internamente o planejamento e a gestão em escala da Resex.

A implementação da Resex já provocou importantes modificações socioambientais, algumas elencadas ao longo deste capítulo, consideradas entraves ao desenvolvimento por setores da elite econômica local e do poder político. Do ponto de vista ambiental, destaca-se, por exemplo, o avanço da extensão de manguezal em várias comunidades, elemento fundamental pelas numerosas funções ecológicas que o ecossistema desempenha. A mobilização social e intervenção posterior do ICMBio estão também na origem do fechamento de fazendas de carcinicultura ou do funcionamento sob liminar das poucas ainda ativas, de modo a preservar o manguezal do dejetos de eflúvios que o impactavam negativamente, tal como observado no Mapeamento dos Conflitos Socioambientais, realizado em 2007. (RED MANGUEMAR BAHIA, 2007) Naquele ano, o município de Canavieiras contava com cerca de 170 ha de área de produção de camarões. (PIRES; GOMES; SAMPAIO, 2007) Nos anos seguintes, muitas fazendas foram embargadas ou multadas pelo Ibama por não cumprirem os requisitos legais de licenciamento e de preservação ambiental. Os empreendimentos na região localizam-se à margem de manguezais e todos são compostos de vários tanques, ou seja, possuindo uma extensão que, *a priori*, pode causar impactos ambientais negativos. Contudo, deveriam ser desenvolvidos estudos localizados para verificar em que medida os empreendimentos prejudicam os recursos naturais e, por conseguinte, a atividade de pesca.

Do ponto de vista socioeconômico, a organização social na Resex alcançou conquistas como um programa de construção de casas para os mais necessitados, a construção de um estaleiro-escola e uma comercialização de caranguejo mais vantajosa.

Mas é no plano político que a Resex registra talvez os maiores avanços. A coesão social em torno da associação-mãe (AMEX) está demonstrada na unidade dos extrativistas nas decisões tomadas no seio do Conselho Deliberativo, na participação de lideranças em instâncias sociais em outras escalas, como na Comissão de Fortalecimento das Resex Marinhas (CONFREM), ou ainda na forma-

ção de uma Rede Mulheres em seis municípios do baixo sul e do sul da Bahia que visa ampliar e consolidar a participação política da mulher na pesca. (FIGUEIREDO, 2013) Um exemplo disso reside na perspectiva de extração de óleo ou gás ao largo da costa da região. Sabe-se que a camada do pré-sal alcança a plataforma continental até o sul da Bahia e pesquisas já estão em curso em vários blocos de exploração para sondar a presença de jazidas. Os pescadores da Resex optaram por não se opor às empresas petrolíferas, por avaliar que esses atores obedecem a lógicas econômicas hegemônicas, contando mais uma vez com o apoio do Estado. A estratégia foi de negociar um plano de compensação ambiental, sob a forma de construção ou reforma de sedes associativas da Resex, além de acompanhar estudos de impacto ambiental potencial. A preocupação entre os pescadores mais mobilizados e informados permanece sobre os impactos que um possível acidente futuro possa vir a ocasionar, com consequências sobre a pesca. Entre os pescadores, há opiniões que acreditam na geração de empregos e dinamização da economia local, mas que supõem também a gravidade de potenciais impactos para a pesca (Figura 19).

### **Considerações finais**

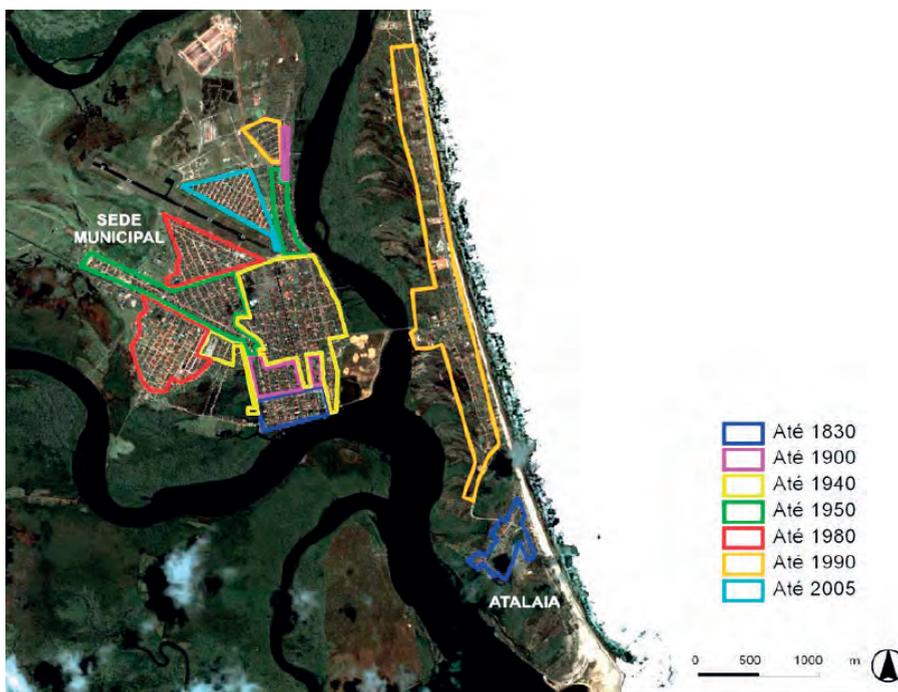
A instalação da Resex de Canavieiras possibilitou importantes avanços no amadurecimento político e na organização social dos pescadores na região. Essa organização e participação social são fundamentais para que os pescadores possam manter seu modo próprio de produção do espaço e para conservar o meio ambiente. Observa-se também o apaziguamento das relações entre a Resex e os atores locais contrários à criação da mesma, permitindo certo diálogo dos agentes locais acerca do planejamento e da gestão dos recursos naturais. Ressalta-se que o processo de implantação da Resex não foi consensual, tema que foi explorado por Pacheco (2011).

Constantes ameaças ao modo de produção dos pescadores e marisqueiras surgem, cujos processos decisórios ocorrem em outras escalas além da local, demandando permanentes avaliações dos pescadores para decidir as estratégias que melhor defendem seus interesses.

A manutenção dos interesses é fundamental para que as atividades de pesca e mariscagem continuem se desenvolvendo, haja vista a importância social que possuem e também econômica, mesmo que modesta.

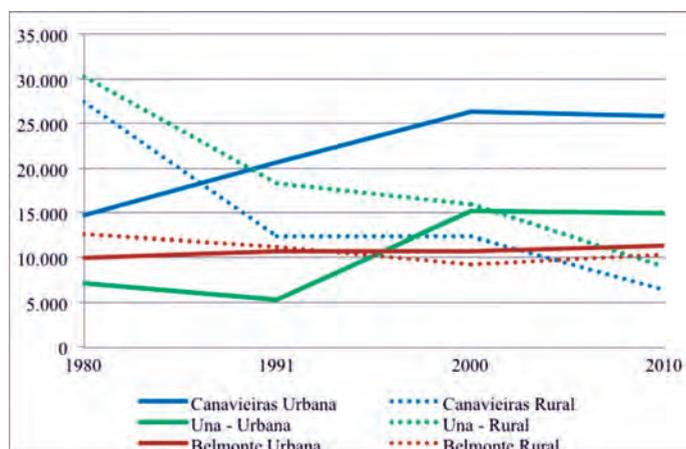
Mas além disso, não se pode deixar de observar a existência de vários modos de produção que conflitem potencialmente entre eles: enquanto as populações tradicionais ensinam um modo de produção ambientalmente sustentável e socialmente mais justo, elites políticas e econômicas com apoio do Estado implementam um modo de produção desenvolvimentista que, não raramente, impacta populações tradicionais em várias regiões do território nacional. Importa, portanto, que governo e movimentos sociais continuem refletindo sobre as unidades de conservação de uso sustentável para melhor garantir a proteção ambiental e modo de vida tradicional das populações locais frente a uma lógica de acumulação consumidora de espaço.

Figura 1 – Mapa da evolução do perímetro urbano de Canavieiras



Fonte: Machado (2007, p. 49).

Figura 2 – Evolução da população urbana e rural dos municípios de Canavieiras, Una e Belmonte (1980-2010)

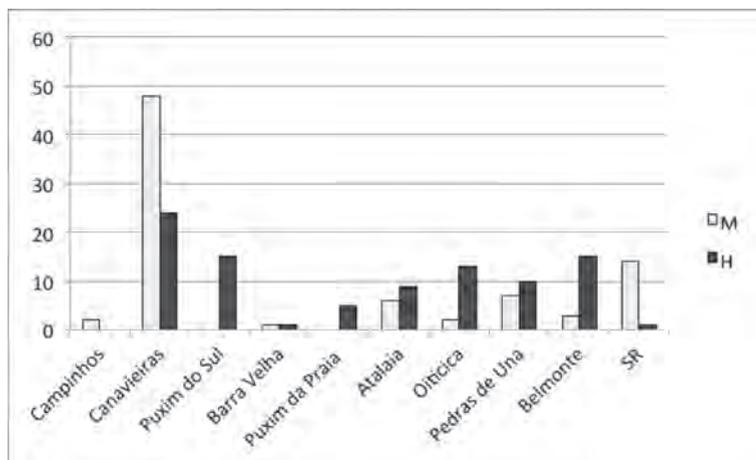


Fonte dos dados: IBGE (2013).

Obs: Para melhor comparação dos dados, nos anos de 1991, 2000 e 2010 foram adicionadas as populações de Canavieiras e Santa Luzia, uma vez que esse município foi emancipado de Canavieiras em 1985.

Elaboração: Catherine Prost.

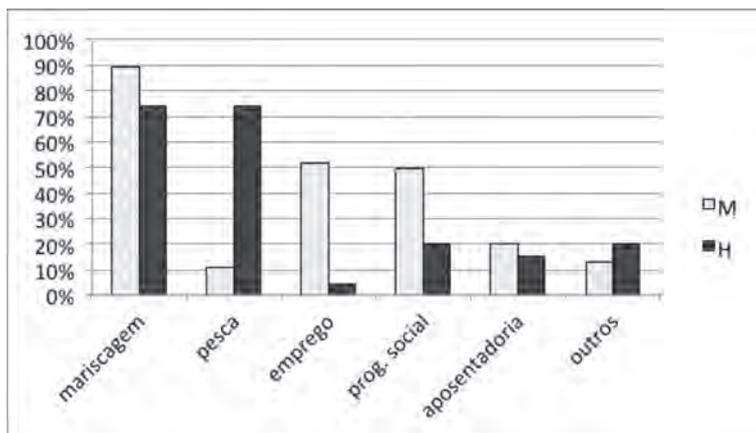
Figura 3 – Local de moradia de mulheres (M) e homens (H) entrevistados na Resex marinha de Canavieiras



SR: sem resposta

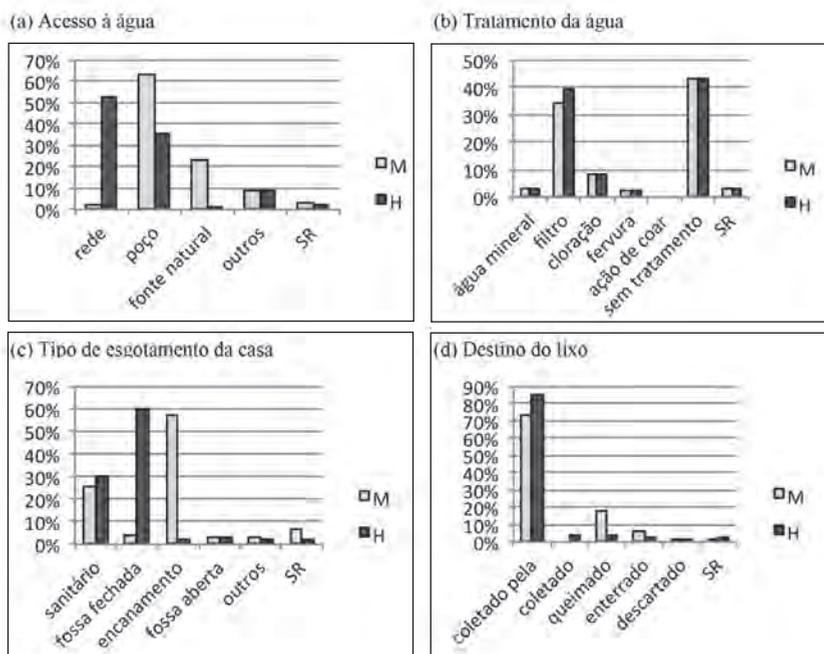
Fonte: dados de campo, 2012-2013.

Figura 4 – Diversidade de fontes de renda familiar na Resex marinha de Canavieiras, por mulheres (M) e homens (H)



Fonte: dados de campo, 2012-2013.

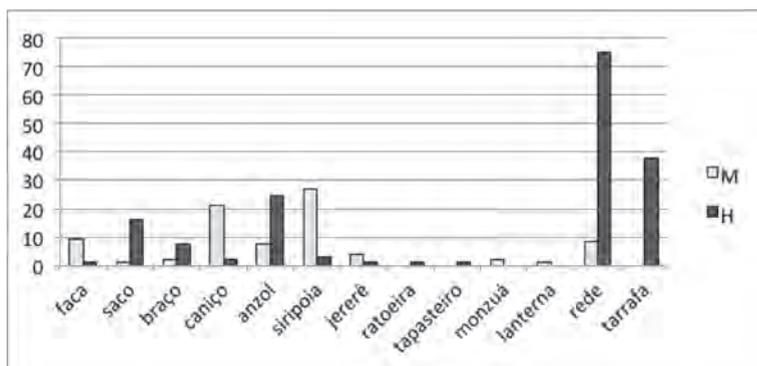
Figura 5 – Dados sociais de moradia coletados junto a mulheres (M) e homens (H) entrevistados na Resex marinha de Canavieiras (%)



SR: sem resposta

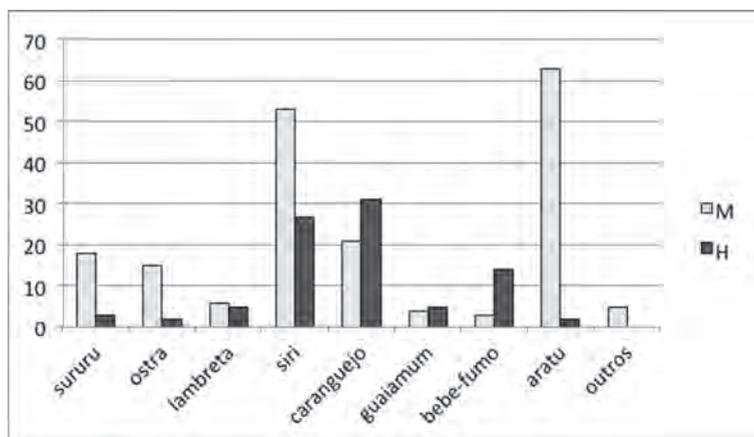
Fonte: dados de campo, 2012-2013.

Figura 6 – Apetrechos utilizados na mariscagem e na pesca (%) na Resex de Canavieiras, por mulheres (M) e homens (H)



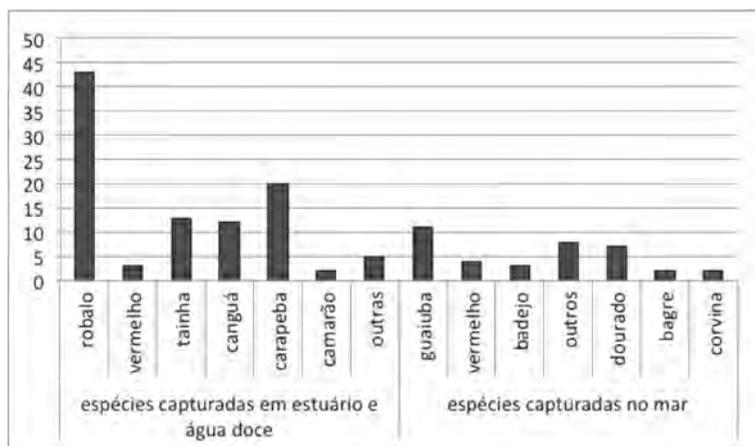
Fonte: dados de campo, 2012-2013.

Figura 7 – Diversidade das espécies capturadas na mariscagem na Resex de Canavieiras (%), por mulheres (M) e homens (H)



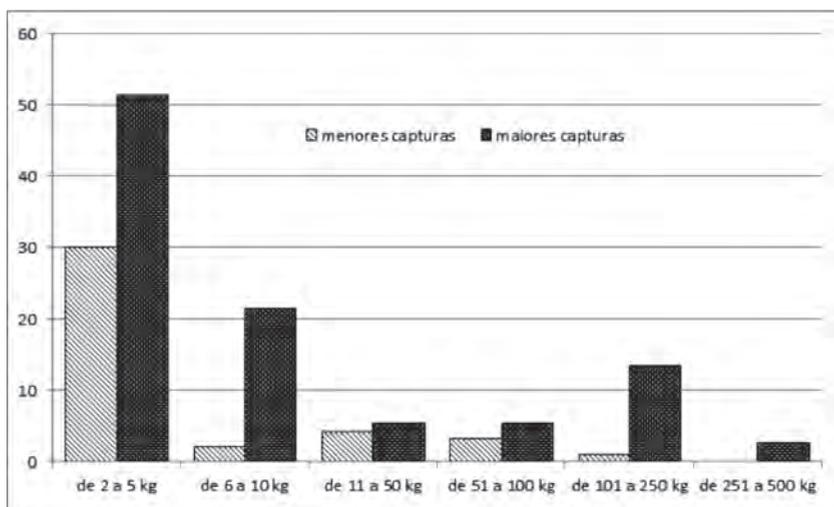
Fonte: dados de campo, 2012-2013.

Figura 8 – Diversidade das espécies capturadas na pesca na Resex de Canavieiras (%)



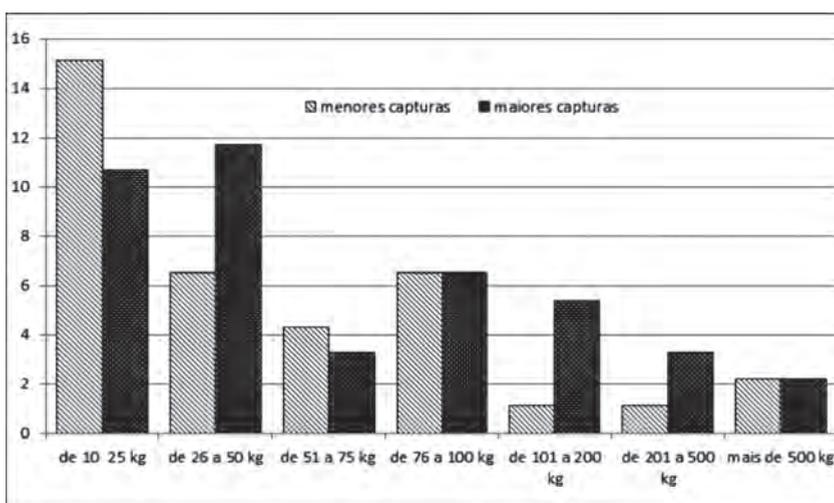
Fonte: dados de campo, 2012-2013.

Figura 9 – Maiores e menores capturas por mulheres na Resex de Canavieiras (%)



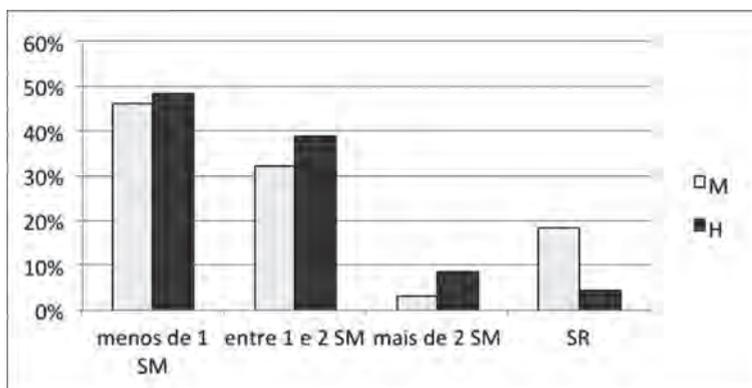
Fonte: dados de campo, 2012-2013.

Figura 10 – Maiores e menores capturas declaradas por homens na Resex de Canavieiras (%)



Fonte: dados de campo, 2012-2013.

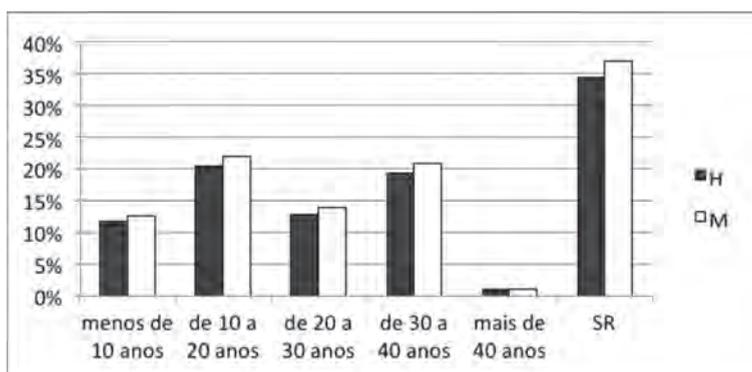
Figura 11 – Renda familiar mensal estimada, por mulheres (M) e homens (H), na Resex de Canavieiras (%)



SM: salário mínimo; SR: sem resposta

Fonte: dados de campo, 2012-2013.

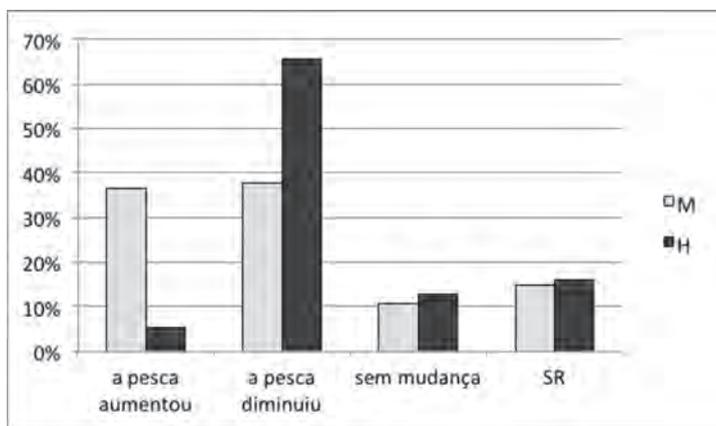
Figura 12 – Tempo de experiência na pesca de mulheres (M) e homens (H) na Resex de Canavieiras (%)



SR: sem resposta

Fonte: dados de campo, 2012-2013.

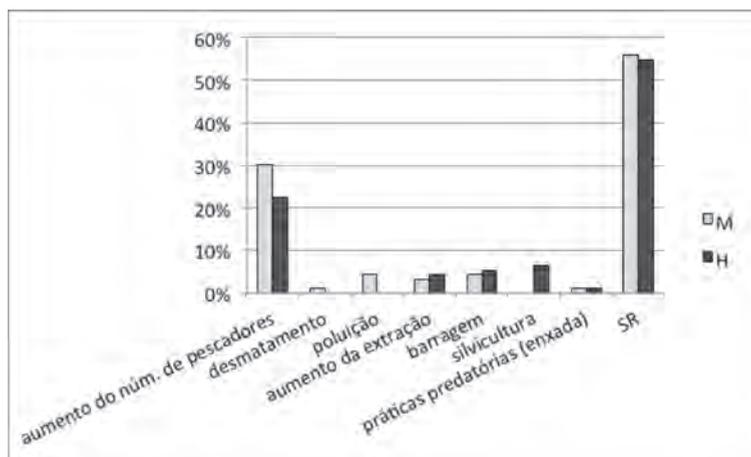
Figura 13 – Percepção de evolução na pesca por mulheres (M) e homens (H) na Resex de Canavieiras (%)



SR: sem resposta

Fonte: dados de campo, 2012-2013.

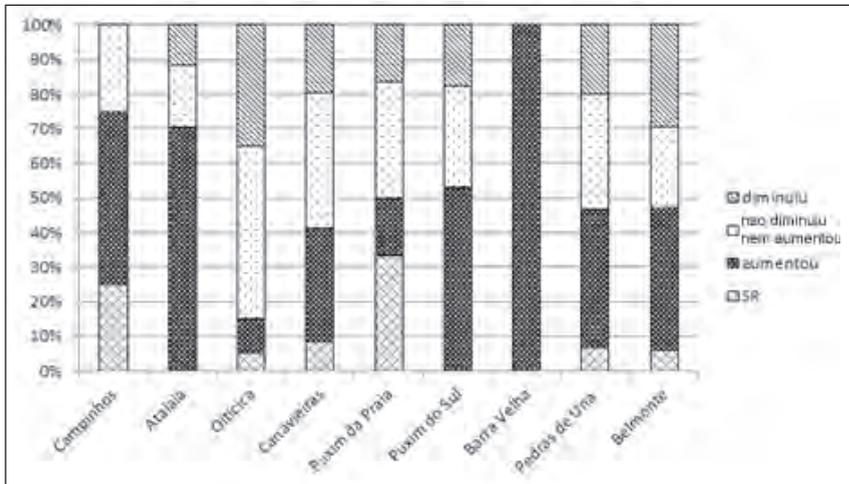
Figura 14 – Percepção das causas de redução na pesca por mulheres (M) e homens (H) na Resex de Canavieiras (%)



SR: sem resposta

Fonte: dados de campo, 2012-2013.

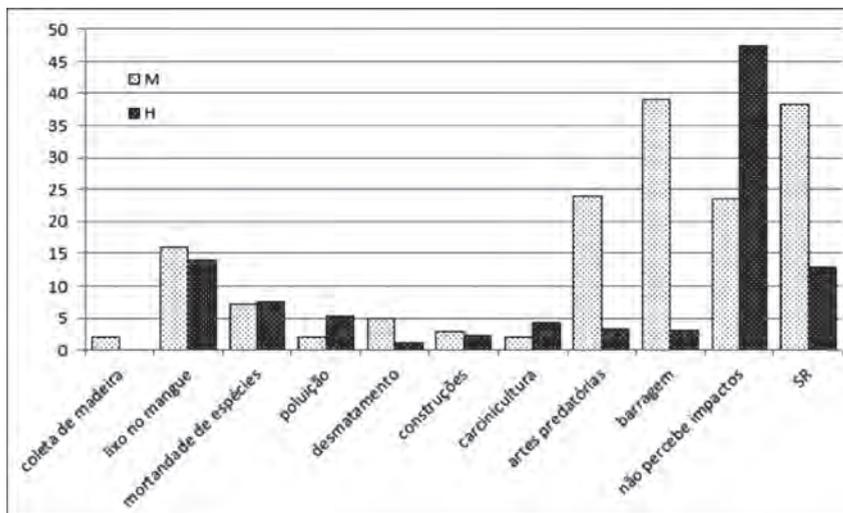
Figura 15 – Percepção de evolução dos manguezais por localidade pesqueira da Resex de Canavieiras (%)



SR – sem resposta

Fonte: dados de campo, 2012-2013.

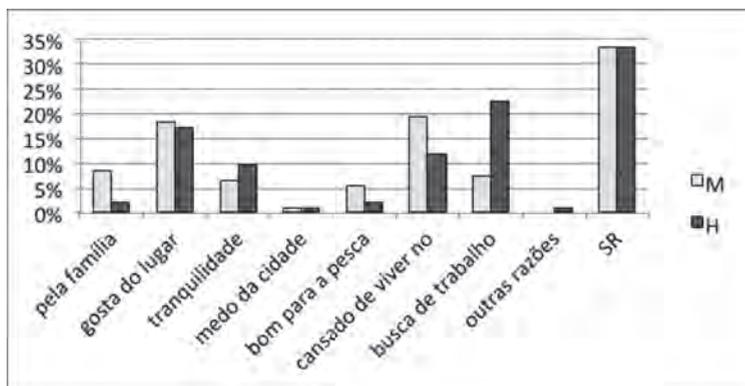
Figura 16 – Percepção das causas de impactos negativos sobre o manguezal, por mulheres (M) e homens (H), na Resex de Canavieiras (%)



SR – sem resposta

Fonte: dados de campo, 2012-2013.

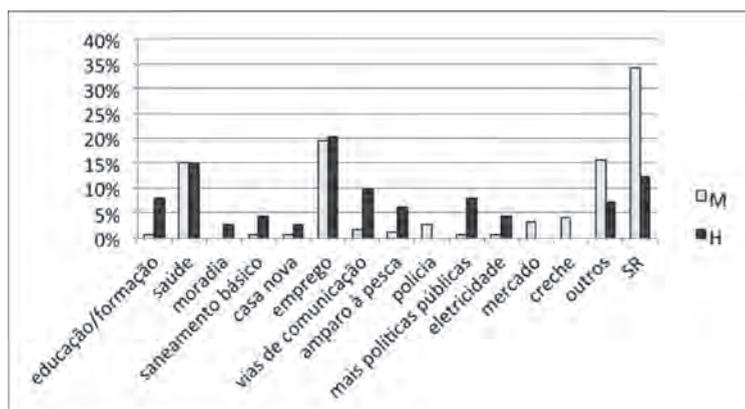
Figura 17 – Razões para ficar ou sair do lugar declaradas por mulheres (M) e homens (H) da Resex de Canavieiras (%)



SR – sem resposta

Fonte: dados de campo, 2012-2013.

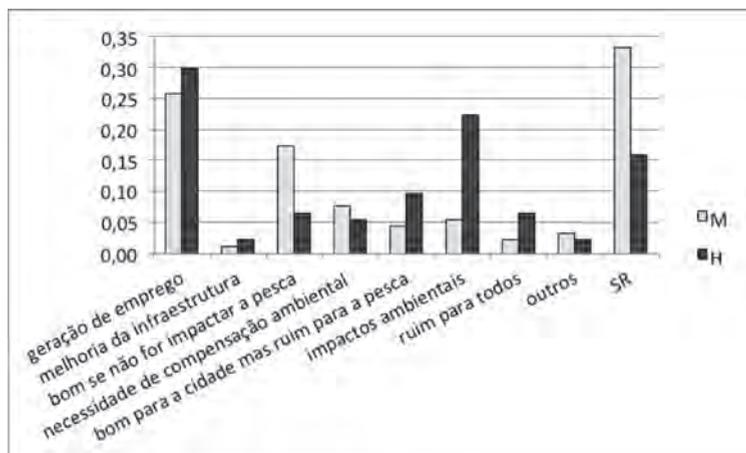
Figura 18 – Desejos de melhorias declarados por mulheres (M) e homens (H) da Resex de Canavieiras (%)



SR – sem resposta

Fonte: dados de campo, 2012-2013.

Figura 19 – Perspectivas de mudanças potenciais em caso de exploração de petróleo ou gás ao largo da costa da região (%)



SR – sem resposta

Fonte: dados de campo, 2012-2013.

## Referências

---

- ABRAHIM, G.; PARKER, R. Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree of contamination in marine sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 136, p. 227-238, 2008.
- ACEVEDO-FIGUEROA, D.; JIMÉNEZ, B.; RODRIGUEZ-SIERRA, C. Trace metals in sediments of two estuarine lagoons from Puerto Rico. *Environmental Pollution*, v. 141, p. 336-342, 2006.
- AFUWALE, C.; MODI, H. A. Study of bacterial diversity of crude oil degrading bacteria isolated from crude oil contaminated sites. *Life Sciences Leaflets*, v. 6, p. 13-23, 2012.
- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO - ANP. Brasil Round 7. 2005. Disponível em: <[http://www.anp.gov.br/brasil-rounds/round7/round7/areas\\_oferecidas.asp](http://www.anp.gov.br/brasil-rounds/round7/round7/areas_oferecidas.asp)>. Acesso em: 14 fev. 2014.
- AGORAMOORTHY, G.; CHEN, F. A.; HSU, M. J. Threat of heavy metal pollution in halophytic and mangrove plants of Tamil Nadu, India. *Environmental Pollution*, v. 155, p. 320-326, 2008.
- AGUIAR NETO, A. B. et al. Distribuição geoquímica de metais pesados em sedimentos de manguezais de Icapuí, CE. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS, 1, 2007, Campinas, SP. *Anais...* Campinas: ABPG, 2007.
- AGUIAR, P. C. B. *Transformações socioambientais do município de Canavieiras (Bahia): uma análise à influência da resex*. 2011, 112 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente) - Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, 2011.
- AGUIAR, P. C. B.; MOREAU, A. M. S. S.; FONTES, E. O. Impactos na dinâmica ambiental do município de Canavieiras (BA) tendo a Resex como fator de influência. *Revista GEOMAE*, v. 2, n. 1, p. 61-78, 2011.
- ALAGARSAMY, R. Organic carbon in the sediments of Mandovi estuary, Goa. *Indian Journal of Marine Science*, v. 20, p. 221-222, 1991.
- ALONGI, D. M. Present state and future of the world's mangroves forests. *Environmental Conservation*, v. 3, n. 29, p. 331-349, 2002.
- AMANO, A. et al. Spatial distribution and corresponding determining factors of metal concentrations in surface sediments of Beppu Bay, southwest Japan. *Marine Environmental Research*, v. 71, p. 247-256, 2011.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA. *Standard methods for examination of water and wastewater*. 22<sup>th</sup> ed. Washington: 10300 Periphyton, 2012.

AMIN, B. et al. Anthropogenic impacts on heavy metal concentrations in the coastal sediments of Dumai, Indonesia. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 148, p. 291-305, 2009.

ANDRADE, A. C. da S.; DOMINGUEZ, J. M. L. Informações geológico-geomorfológicas como subsídios à análise ambiental: o exemplo da planície costeira de Caravelas – Bahia. *Boletim Paranaense de Geociências*, v. 51, p. 9-17, 2002.

ANDRADE, D. M. *Avaliação de bactérias provenientes de um biofiltro de tratamento de vapores de gasolina*. 2008, 96f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

ANDRADE, J. A.; AUGUSTO, F.; JARDIM, I. C. S. F. Biorremediação de solos contaminados por petróleo e seus derivados. *Eclética Química*, v. 35, n. 3, p. 17-43, 2010.

ANVISA. Portaria nº 685, de 27 de agosto de 1998. Aprova o regulamento técnico “Princípios gerais para o estabelecimento de níveis máximos de contaminantes químicos em alimentos” e seu anexo “Limites máximos de tolerância para contaminantes inorgânicos”. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 28 ago. 1998.

ARAÚJO, B. R. N. *Diagnóstico geoambiental de zonas de manguezal do estuário do rio Itanhém, município de Alcobaca – região do extremo sul do Estado da Bahia*. Salvador, 2000. 159 f. Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2000.

ASPILA, K. I.; AGEMIAN, H.; CHAU, A. S. Y. A semi-automated method for the determination of inorganic, organic and total phosphate in sediments. *Analyst*, v. 101, p. 187-197, 1976.

ATLAS, R. M. Bioremediation of petroleum pollutants. *International biodeterioration and biodegradation*, v. 35, n. 1-4, p. 317-327, 1995.

BAEYENS, W. et al. Biogeochemical behaviour of Cd, Cu, Pb and Zn in the Scheldt estuary during the period 1981-1983. *Hydrobiologia*, v.366, p. 15-43, 1998.

BAEYENS, W. et al. Overview of trace metal contamination in the Scheldt estuary and effect of regulatory measures. *Hydrobiologia*, v. 540, p. 141-154, 2005.

BAHIA. Portaria nº 2253 de 13 de março de 2012. Diário oficial da Bahia, Salvador, 14 mar. 2012, ano XCVI, n. 20.801, Caderno 1, p. 48. 2012. Disponível em: <<http://www.governoeletronico.net/diario-oficial-do-estado-da-bahia-ba>>. Acesso em: 10 out. 2012.

BAHIA. Secretaria de Infra-Estrutura. *Plano estadual de recursos hídricos do Estado da Bahia*. Salvador: SEINFRA, 2003. (Relatório Final da Etapa 1 – Diagnóstico e Regionalização).

BAHIA. Superintendência de Recursos Hídricos. *Plano diretor de recursos hídricos: bacias da região leste*. Salvador: Latin Consult, 1997. 242 p.

- BAIRD, C. *Química ambiental*. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.
- BAPTISTA, S. J. *Seleção das melhores condições de biodegradação de petróleo em solo argiloso*. 2003. 163 f. Dissertação (Mestrado em tecnologia de processos químicos e bioquímicos) - Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.
- BARRENTO, S. et al. Macro and trace elements in two populations of brown crab *Cancer pagurus*: ecological and human health implications. *Journal of Food Composition and Analysis*, v. 22, p. 65-71, 2009.
- BASTOS, A. C.; SILVA, C. G. Caracterização morfodinâmica do litoral Norte Fluminense, RJ, Brasil. *Revista Brasileira de Oceanografia*, v. 48, n. 1, p. 41-60, 2000.
- BAPTISTA, S. B. et al. Isolation and characterization of biosurfactant/biomulsifier producing-bacteria from petroleum contaminated sites. *Bioresource technology*, v. 97, p. 868-875, 2006.
- BELTRAME, O. M.; DE MARCO, S. G.; MARCOVECCHIO, J. E. Dissolved and particulate heavy metals distribution in coastal lagoons. A case study from Mar Chiquita Lagoon, Argentina. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 85, p. 45-56, 2009.
- BENTO, D. M. *Análise química da degradação de hidrocarbonetos de óleo diesel no estuário da Lagoa dos Patos – Rio Grande/RS*. 2005. 112 f. Dissertação (Mestrado em oceanografia física, química e geológica) - Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande – RS, 2005.
- BERNINI, E.; REZENDE, C. E. Nutrient concentrations in leaves and sediments at the mangrove of the Northern Rio de Janeiro State. *Journal of Integrated Coastal Zone Management*, v. 2, n. especial, p. 1-10, 2010.
- BERNINI, E. et al. Composição química do sedimento e de folhas das espécies do manguezal do manguezal do rio São Mateus, Espírito Santo, Brasil. *Revista Brasileira de Botânica*, v. 29, n. 4, p. 689-699. 2006.
- BIRCH, G. F.; OLMOS, M. A. Sediment-bound heavy metals as indicators of human influence and biological risk in coastal water bodies. *ICES Journal of Marine Science*, v. 65, p. 1407-1413, 2008.
- BIRCH, G.; TAYLOR, S. Source of heavy metals in sediments of the Port Jackson estuary, Australia. *Science of the Total Environment*, v. 227, p. 123-138, 1999.
- BIRCH, G.; TAYLOR, S.; MATTHAI, C. Small-scale spatial and temporal variance in the concentration of heavy metals in aquatic sediments: a review and some new concepts. *Environmental Pollution*, v. 113, p. 357-372, 2001.
- BITTENCOURT A. C. S. P. et al. Patterns of sediment dispersion coastwise the State of Bahia – Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 72, n. 2, p. 271-287, 2000.
- BLOTT, S. J.; PYE, K. GRADSTAT: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 26, p. 1237-1248, 2001.

- BOAVENTURA, S. F. *Distribuição de metais traço em superfície no município de Madre de Deus, Bahia*. 2011. Dissertação (Mestrado em Geoquímica: Petróleo e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2011.
- BOAVENTURA, S. F.; HADLICH, G. M.; CELINO, J. J. Índices de contaminação de metais traço em encostas, manguezais e apicuns, Madre de Deus, Bahia. *Geociências*, São Paulo, v. 30, p. 631-639, 2011.
- BOITEL, F.; TRUCHOT, J. P. Effects of sublethal and lethal copper levels on hemolymph acid-base balance and ion concentrations in the shore crab *Carcinus maenakept* in undiluted sea water. *Marine Biology*, v. 103, p. 495-501, 1989.
- BOXALL, A. et al. Inputs, monitoring and fate modelling of antifouling biocides in UK estuaries. *Marine Pollution Bulletin*, v. 40, p. 898-905, 2000.
- BRANDÃO, C. J. et al. *Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos*. São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2011.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, n. 053, p. 58-63, 2005.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução nº 454, de 01 de novembro de 2012. Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional. *Diário Oficial da União*, Brasília, seção 1, p. 66, 2012.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - Conama. Resolução nº 293, de 12 de setembro de 2001. Dispõe sobre o conteúdo mínimo do Plano de Emergência Individual para incidentes de poluição por óleo originados em portos organizados, instalações portuárias ou terminais, dutos, plataformas, bem como suas respectivas instalações de apoio, e orienta a sua elaboração. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, 29 abr. 2002.
- BRASIL. Decreto s/nº de 05 de junho de 2006. Dispõe sobre a criação da Reserva Extrativista de Canavieiras, localizada nos Municípios de Canavieiras, Belmonte e Una, Estado da Bahia, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.icmbio.gov.br/portal/biodiversidade/unidades-de-conservacao/biomas-brasileiros/marinho/unidades-de-conservacao-marinho/2287-resex-de-canavieiras.html>>. Acesso em: 15 out. 2011.
- BRASIL. Lei federal nº 9.966, de 28 de abril de 2000. Dispõe sobre a prevenção, o controle e a fiscalização da poluição causada por lançamento de óleo e outras substâncias nocivas ou perigosas em águas sob jurisdição nacional e dá outras providências. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, 29 de abr. 2000.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. *Especificações e normas técnicas para elaboração de cartas de sensibilidade ambiental para derramamentos de óleo*. Brasília, 2002. 95 p.

- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. *Especificações e normas técnicas para elaboração de cartas de sensibilidade ambiental para derramamento de óleo*. Brasília, 2002. 107 p.
- BRITO, E. M. S. et al. Characterization of hydrocarbonoclastic bacterial communities from mangrove sediments in Guanabara Bay, Brazil. *Research in Microbiology*, v. 157, n. 8, p. 752-762, 2006.
- BURTON, A. G.; BAUDOR, M.; ROWLAND, C. Assessing sediment contamination using six toxicity assays. *Journal of Limnology*, v. 60, p. 263-267, 2001.
- CAÇADOR, I.; VALE, C.; CATARINO, F. Accumulation of Zn, Pb, Cu and Ni in sediments between roots of the Tagus estuary saltmarshes, Portugal. *Estuarine Coastal Shelf Science*, v. 42, p. 393-403, 1996.
- CALLIARI, L. J. et al. Morfodinâmica praial: uma breve revisão. *Revista Brasileira de Oceanografia*, n. 51, p. 63-78. 2003.
- CAMARGO, M. G. *Sysgran: análises e gráficos sedimentológicos*. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, Centro de Estudos do Mar, 2006. Disponível em: <<http://www.cem.ufpr/sysgran>>. Acesso em: 08 fev. 2014.
- CANLI, M.; RODGER, R. M. The induction of metallothionein in tissues of the Norway Lobster *Nephrops norvegicus* following exposure to Cd, Cu and Zn: the relationship between metallothionein and the metals. *Environmental Pollution*, v. 96, n. 3, p. 343-350, 1997.
- CARVALHO, C. E. V. et al. Seasonal variation of particulate heavy metals in the Lower Paraíba do Sul River, RJ, Brazil. *Environmental Geology*, v. 37, n. 4, p. 297-302, 1999.
- CATELANI, P. A. *Análise do impacto ambiental na lagoa de Mundaú (AL), através da determinação de metais pesados em siri azul (Callinectes danae, Smith 1869)*. 2009. Monografia (Graduação em Ciências Biológicas) - Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, 2009.
- CESCHINI, E. B. *Estudo da distribuição de metais numa área de recuperação de manguezal na Baía de Guanabara (RJ), com enfoque na aplicação da geoquímica no ensino básico*. 2011. 108 f. Dissertação (Mestrado em Geociências: Geoquímica Ambiental) - Universidade Federal Fluminense, 2011.
- CHAERUN, S. K. et al. Bioremediation of coastal areas 5 years after the Nakhodka oil spill in sea of Japan: isolation and characterization of hydrocarbon degrading bacteria. *Environment International*, v. 30, p. 911-922, 2004.
- CHAIINEAU, C. H. et al. Comparison of the fuel oil biodegradation potential of hydrocarbon-assimilating microorganisms isolate from a temperate agricultural soil. *The Science of Total Environment*, v. 227, p. 237-247, 1999.
- CHAPMAN, P. M.; WANG, F. Assessing sediment contamination in estuaries. *Environmental Toxicology and Chemistry*, v. 20, p. 3-22, 2001.
- CHESTER, R. *Marine geochemistry*. Boston: Unwin Hyman, 1990. 698 p.

- CITRÓN, G.; SCHAEFFER-NOVELLI, Y. *Introduction a la ecologia del manglar*. São Paulo: Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, 1981.
- COLLVIN, L. The effect of copper on growth, food consumption and food conversion of perch *Percafluviatilis* L. Offered maximal food rations. *Aquatic Toxicology*, v. 6, p. 105-113, 1985.
- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. *Levantamento da contaminação ambiental do sistema estuarino de Santos e São Vicente*. São Paulo, 2001. 141 p. (Relatório Técnico).
- CRAPEZ, M. C. et al. Tratamento para derrames de petróleo: biorremediação. *Ciência Hoje*, v. 30, n. 179, p. 33-37, 2002.
- CUZZUOL, G. R. F.; CAMPOS, A. Aspectos nutricionais na vegetação de manguezal do manguezal do rio Mucuri, Bahia, Brasil. *Revista Brasileira de Botânica*, v. 24, p. 227-234, 2001.
- DATE, C. J. *Introdução a sistemas de bancos de dados*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.
- DE PAULA, F. C. F.; SILVA, D. M. L.; SOUZA, C. M. Tipologias hidroquímicas das bacias hidrográficas do leste da Bahia. *Revista Virtual Química*, v. 2, p. 13-18, 2012.
- DENNIS, E. J. *Micronutrientes: uma nova dimensão na agricultura*. 2. ed. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 50 p.
- DESSENAKIS, M.; SCULLOS, M.; GAITIS, A. Trace Metals Transport and Behaviour in the Mediterranean Estuary of Acheloos River. *Marine Pollution Bulletin*, v. 34, n. 2, p. 103-111, 1997.
- DOMINGUEZ, J. M. L. *Evolução quaternária da planície costeira associada à foz do rio Jequitinhonha (BA): influência das variações do nível do mar e da deriva litorânea dos sedimentos*. 1983. 79 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 1983.
- DOMINGUEZ, J. M. L.; BITTENCOURT, A. C. S. P. Utilização de padrões de sedimentação costeira como indicadores Paleoclimáticos naturais (proxies). *Revista Brasileira de Geociências*, v. 24, p. 13-12, 1994.
- DOMINGUEZ, J. M. L.; MARTIN, L.; BITTENCOURT, A. C. S. P. Evolução paleogeográfica do delta do rio Jequitinhonha durante o Quaternário: influência das variações do nível do mar. In: SIMPÓSIO DO QUATERNÁRIO NO BRASIL, 4, Salvador. Atas... Salvador: [s.n.], 1982. p. 69-92.
- DOMINGUEZ, J. M. L. et al. Tendências de erosão costeira no Estado da Bahia. In: BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. *Atlas de erosão costeira no Brasil*. Brasília: MMA, 2005.
- DUARTE, B.; CAÇADOR, I. Particulate metal distribution in Tagus estuary (Portugal) during a flood episode. *Marine Pollution Bulletin*, v. 64, p. 2109-2116, 2012.

DUMAN, F.; AKSOY, A.; DEMIREZEN, D. Seasonal variability of heavy metals in surface sediment of Lake Sapanca, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 133, p. 277-283, 2007.

EÇA, G. F. *Biogeoquímica de nutrientes e clorofila-a na plataforma continental rasa entre Itacaré e Canavieiras – Bahia*. 2009. 57 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas Aquáticos Tropicais) - Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, 2009.

ELMASRI, R.; NAVATHE, S. B. *Sistemas de banco de dados: fundamentos e aplicações*. 6.ed. Rio de Janeiro: Pearson Education do Brasil, 2011.

EL-MORSY, E. M. Evaluation of microfungi for the bioremediation of diesel oil in Egypt. *Land Contamination and Reclamation*, v. 13, n. 2, p. 147-159, 2005.

EMBRAPA. *Manual de método de análise químicas para avaliação de fertilidade do solo*. 2. ed. Brasília: Embrapa Informações Tecnológicas, 2009. 627 p.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - EPA. *Method 3052: microwave assisted acid digestion of siliceous and organically based matrices*. Washington: US EPA, 1996. Disponível em: <<http://www.epa.gov/epaoswer/hazwaste/test/pdfs/3052.pdf>>. Acesso em: 19 fev. 2002.

EPSTEIN, P. Mineral metabolism. In: BONNER, J.; VARNER, J. E. (Ed.). *Plant biochemistry*. London: Academic Press, p. 438-466, 1965.

ESCOBAR, N. F. C. *Geoquímica da água superficial e do sedimento de fundo nos baixos cursos dos rios Una, Pardo e Jequitinhonha, sul da Bahia, Brasil*. 2013. 121 f. Dissertação (Mestrado em Geoquímica: Petróleo e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2013.

FALCÃO, B. A. *Geoquímica de sedimentos da Baía de Todos os Santos, Bahia, Brasil*. 2012. Dissertação (Mestrado em Geoquímica: Petróleo e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2012.

FANG, T. H.; LI, J. Y.; FENG, H. M.; CHEN, H. Y. Distribution and contamination of trace metals in surface sediments of the East China Sea. *Marine Environmental Research*, v. 68, p. 178-187, 2009.

FARIAS, L. G. Q. O desafio da sustentabilidade nas áreas costeiras do sul da Bahia. *Revista Urutágua*, n. 12, 2003. Universidade Estadual de Maringá.

FERGUSSON, J. E. *The heavy elements: chemistry; environmental impact and health effects*. New York: Pergamon, 1990.

FERNANDES, C. et al. Heavy metals in water, sediment and tissues of *Liza saliens* from Esmoriz-Paramos lagoon, Portugal. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 136, p. 267-275, 2008.

FERREIRA, G.; PARAISO, D.; SÉRVULO, E. F. C. Monitoramento microbiológico de solo argiloso contaminado artificialmente com gasolina. In: SIMPOSIO DE MICROBIOLOGIA APLICADA, 4. 2009, Rio Claro. *Resumo...* São Paulo: Instituto de Biociências – UNESP, 2009.

- FIGUEIREDO, M. M. A. de. *Trabalho e participação político-social das pescadoras na reserva extrativista Canavieiras - BA*. 2013, 121 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2013.
- FIORAVANTI, K. L.; CELINO, J. J.; ROSSI-ALVA, J. C. Isolamento, seleção e identificação de microrganismos degradadores de petróleo e seus derivados em sedimentos de manguezais contaminados. *Cadernos de Geociências*, v. 9, n. 2, p. 130-141, 2009.
- FOLK, R. L. A review of grainsize parameters. *Sedimentology*, v. 6, p. 73-93, 1966.
- FOLK, R. L.; WARD, W. C. Brazos Bar, a study in the significance of grainsize parameters. *Journal of Sedimentary Petrologie*, n. 27, p. 3-27, 1957.
- FONSECA, K. T. *Biogeoquímica de metais pesados na rizosfera de plantas de manguezal do Rio de Janeiro*. 62 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Fluminense, 1993.
- FÖRSTNER, U. G.; WITTMANN, G. T. W. *Metal pollution in the aquatic environmental*. Berlin: Springer-Verlag, 1981.
- FREITAS, H. I. de. *A questão (da reforma) agrária e a política de desenvolvimento territorial rural no litoral sul da Bahia*. 2009. 227 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2009.
- FUNDAÇÃO CARGILL. *Micronutrientes*. 2. ed. Campinas: Cargill, 1987. 92 p.
- GARCIA, K. S. *Estudos biogeoquímicos em folhas de Avicennia shaueriana Stapf & Leechman em zonas de manguezal da região de São Francisco do Conde e Madre de Deus-BA*. 2005. Dissertação (Mestrado em Geoquímica Ambiental) - Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2005.
- GOMES, E. B. *Biodegradabilidade de querosene de aviação movimentado pelo terminal portuário de Suape, PE*. 2004, 127 f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia de Produtos Bioativos) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2004.
- GONÇALVES, G. M.; CARVALHO, C. E. V. Particulate heavy metal dynamics in a tropical estuary under distinct river discharge and tidal regimes, Southeastern, Brazil. *Journal of Coastal Researsch*, v. 39, p. 1032-1035, 2006.
- GONÇALVES, M. V. P. *Análise de plantas de mangue como bioindicadoras da qualidade ambiental nas ilhas de Tinharé e Boipeba, município de Cairu, Bahia, Brasil*. 144 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Planejamento Ambiental) – Universidade Católica do Salvador, Salvador, 2010.
- GRASSHOFF, K.; KREMLING, K.; EHRHARDT, M. *Determination of trace element in: methods of seawater analysis*. 3. ed. Weinheim: Willey-VchVerlag, 1993. p. 253-262, 1993.
- GUILERME, L. R. G. et al. Elementos-traço em solos e sistemas aquáticos. *Tópico Ciências do Solo*, v. 4, p. 345-390, 2005.
- GUNDLACH, E. R.; HAYES, M. O. Vulnerability of coastal environments to oil spill impacts. *Marine Technology Society Journal*, v. 2, n. 4, p. 18-27, 1978.

- GUPTA, A. et al. Analysis of some heavy metals in the riverine water, sediments and fish from river Ganges at Allahabad. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 157, p. 449-458, 2009.
- GUSMÃO, L. F. M. *Efeitos do cobre e do cromo na comunidade zooplanctônica: um estudo experimental em mesocosmos*. 288 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2004.
- HADLICH, G. M. et al. Geoquímica de metais traços em apicuns (planícies hipersalinas) do campo de produção de petróleo em Dom João, São Francisco do Conde, Bahia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 11. 2007, Atibaia. *Anais...Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Geoquímica*, 2007. v. 1, p. 1-3. CD-ROM.
- HANSEN, J. I.; MUSTAFA, T.; DEPLEDGE, M. Mechanisms of copper toxicity in the shore crab *Carcinusmaenas*. II. Effects on key metabolic enzymes, metabolites and energy charge potential. *Marine Biology*, v. 114, p. 259-264, 1992.
- HANSON, K. G.; DESAI, G.; DESAI, A. J. A rapid and simple screening technique for potential crude oil degrading microorganisms. *Biotechnology techniques*, v. 7, n. 10, p. 745-748, 1993.
- HARAYAMA, S. Petroleum biodegradation in marine environments. *Journal of Molecular Microbiology and Biotechnology*, v. 1, n. 1, p. 63-70, 1999.
- HART, B. T.; HINES, T. Trace elements in rivers. In: SALBU, B.; STEINNES, E. (Ed.). *Trace Elements in Natural Waters*. Boca Raton, FL: CRC Press, 1995.
- HATJE, V. et al. Contaminação química. In: HATJE, V.; ANDRADE, J. B. (Ed.). *Baía de Todos os Santos: aspectos oceanográficos*. Salvador: Edufba, p. 243-299, 2009.
- HATJE, V.; BARROS, F. Overview of the 20th century impact of trace metal contamination in the estuaries of Todos os Santos Bay: Past, present and future scenarios. *Marine Pollution Bulletin*, v. 64, p. 2603-2614, 2012.
- HATJE, V.; BIRCH, G. F.; HILL, D. M. Trace metal and total suspended solids concentrations in freshwater: the importance of small-scale temporal variation. *Journal of Environmental Monitoring*, v. 3, p. 251-256, 2001.
- HODSON, P. V.; BORGMANN, U.; SHEAR, H. Toxicity of copper to aquatic biota. In: NRIAGU, J. O. (Ed.). *Copper in the environment: health effects*. New York: John Wiley, 1979. p. 307-372.
- HOEFEL, F. G. *Morfodinâmica de praias arenosas oceânicas: uma revisão bibliográfica*. Itajaí: Editora da Univali, 1998. 92 p.
- HOPKINS, W. G. *Introduction to plant physiology*. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 2000. 512 p.
- HORIKAWA, K. *Nearshore dynamics and costal process*. Tokyo: University of Tokyo Press, 1988. 522 p.

- HUANG K-M.; LIN, S. Consequences and implication of heavy metal spatial variations in sediments of the Keelung River drainage basin, Taiwan. *Chemosphere*, v. 53, p. 1113-1121, 2003.
- IBGE. *Atlas Brasil 2013*. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/>>. Acesso em: out. 2013.
- IBGE. *Manual técnico de geomorfologia*. 2. ed. Rio de Janeiro, 2009. 182 p.
- IGNÁCIO, G. M. et al. Variação nos níveis de herbivoria foliar em dois manguezais da baía de Paranaguá (Paraná – Brasil). *Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology*, v. 2, n. 9, p. 1-4, 2005.
- INEMA autoriza plantação de mais de 93.000 hectares de eucalipto na Bahia. [2012]. Disponível em: <<http://bahia-ja.jusbrasil.com.br/politica/8614823/inema-autoriza-plantacao-de-mais-93000-hectares-de-eucalipto-na-bahia>>. Acesso em: 16 jun. 2014.
- INMETRO. *Sistema Internacional de Unidades: SI*. Duque de Caxias, RJ, 2012.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. Balanço hídrico climático: estação Canavieiras. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=agrometeorologia/balancoHidricoClimatico>>. Acesso em: 15 jul. 2011.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. *Estações convencionais: Canavieiras*. Disponível em: <[http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede\\_estacoes\\_conv\\_graf](http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede_estacoes_conv_graf)>. Acesso em: 21 jan. 2014.
- INTERNATIONAL TANKER OWNERS POLLUTION FEDERATION - ITOPF. *Contingency planning for oil spills*. London, 1985a. 8p. (ITOPF, Technical Information Paper, 9).
- INTERNATIONAL TANKER OWNERS POLLUTION FEDERATION - ITOPF. *Effects of marine oil spill*. London, 1985b. 8p. (ITOPF, Technical Information Paper, 10).
- INTERNATIONAL TANKER OWNERS POLLUTION FEDERATION – ITOPF. *Shoreline clean up*. London, 2011. Disponível em: <<http://www.itopf.com>>. Acesso em: 12 dez. 2011.
- IPIECA. *A guide to contingency planning for oil spills on water* London. *IPIECA Report Series*, n. 2, 2000. 28 p.
- JACQUES, R. J. S. et al. Biorremediação de solos contaminados por hidrocarbonetos aromáticos policíclicos. *Ciência Rural*, v. 37, n. 4, p. 1192- 1201, 2007.
- JESUS, H. C. et al. *Avaliação da contaminação por metais pesados em caranguejos e sedimentos de áreas de manguezal do sistema estuarino de Vitória - ES*. Vitória: Facitec, 2003. 40 p. (Relatório Técnico - Projeto Facitec/PMV-ES)
- JESUS, R. S. *Metais traço em sedimentos e no molusco bivalve Anomalocardia brasiliana (Gmelin, 1791), municípios de Madre de Deus e de Saubara, Bahia*. 2011. Dissertação (Mestrado em Geoquímica: Petróleo e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2011.
- JOSHI, G. V.; JAMALE, B. B.; BHOJALE, L. Ion regulation in mangroves. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON BIOLOGY AND MANAGEMENT ON MANGROVES.

- 1974, Honolulu. *Proceedings...* Florida: Institute of Food and Agricultural Sciences, 1974. p. 595-607.
- KARBASSI, A. et al. Metal pollution assessment of sediment and water in the Shur River. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 147, p. 107-116, 2008.
- KESHAVARZ, M. et al. Accumulation of heavy metals (Pb, Cd, V) in sediment, roots and leaves of mangrove species in Sirik Creek along the Sea Coasts of Oman, Iran. *Journal of Life Science and Biomedicine*, v. 2, n. 3, p. 88-91, 2012.
- KRUG, F. J. Métodos de decomposição de amostras. In: WORKSHOP SOBRE PREPARO DE AMOSTRAS, 5., 2004, São Paulo. *Livro de resumos...* São Paulo: CENA/USP, [s.n.], 2004. Cap. 1.
- KUCUKSEZGIN, F.; ULUTURHAN, E.; BATKI, H. Distribution of heavy metals in water, particulate matter and sediments of Gediz River (Eastern Aegean). *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 141, p. 213-225, 2008.
- KUMAR, I. J. N. et al. An assessment of the accumulation potential of Pb, Zn and Cd by *Avicennia marina* (Forssk.) Vierh in Vamleshwar mangroves, Gujarat, India. *Notulae Scientia Biologicae*, v. 3, n. 1, p. 36-40, 2011.
- LACERDA, L. D. et al. Mineral concentration in leaves of mangrove trees. *Biotropica*, v. 17, p. 260-262, 1985.
- LACERDA, L. D. et al. The biogeochemistry and trace metals distribution of mangrove rizospheres. *Biotropica*, v. 25, p. 252-257, 1993.
- LACERDA, L. D. et al. The fate of heavy metals in suspended matter in a mangrove creek during a tidal cycle. *Science of the Total Environment*, v. 75, p. 249-259, 1988.
- LARCHER, W. *Ecofisiologia vegetal*. São Carlos: Rima Artes e Textos, 2000. 531p.
- LEAHY, J. G.; COLWELL, R. R. Microbial degradation of hydrocarbons in the environment. *Microbiological reviews*, v. 54, n. 3, p. 305-315, 1990.
- LEÃO, C. da S. *Caracterização geoambiental de zonas de manguezal da baía de Aratu, Bahia, Brasil*. 124f. Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2004.
- LEITE, F. Amostragem analítica em laboratório. *Revista Analytica*, n. 06, p. 52-59, 2003.
- LICHT O. A. B. *Prospecção Geoquímica: princípios, técnicas e métodos*. Rio de Janeiro: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais CPRM, Serviço Geológico do Brasil, 1998. 236 p.
- LIMA, D. F. *Biorremediação em sedimentos impactados por petróleo na Bahia de Todos os Santos, Bahia: avaliação na degradação de hidrocarbonetos saturados*. 2010. 234f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2010.
- LIMA, E. S. *Avaliação do potencial para formação de pláceres diamantíferos na região do delta do rio Jequitinhonha e plataforma continental adjacente no sul da Bahia*. 2011. 122f.

- Dissertação (Mestrado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2011.
- LIN, C et al. Distribution and contamination assessment of heavy metals in sediment of the Second Songhua River, China. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 137, p. 329-342, 2008.
- LONG, E. R.; FIELD, L. J.; MACDONALD, D. D. Predicting toxicity in marine sediments with numerical sediment quality guidelines. *Environmental Toxicology and Chemistry*, v. 17, p. 714-727, 1998.
- LOPES, C. F. *Ambientes costeiros contaminados por óleo: procedimentos de limpeza – manual de orientação*. São Paulo: Secretaria de Estado do Meio Ambiente, 2007. 120 p.
- LOSKA, K. et al. Use of enrichment, and contamination factors together with geoaccumulation indexes to evaluate the content of Cd, Cu, and Ni in the Rybnik water reservoir in Poland. *Water, Air and Soil Pollution*, v. 93, p. 347-365, 1997.
- MACDONALD, D. D.; INGERSOLL, C.; BERGER, T. Development and evaluation of consensus-based sediment quality guidelines for freshwater ecosystems. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, v. 39, p. 20-31, 2000.
- MACFARLANE, G. R.; BURCHETT, M. D. Toxicity, growth and accumulation relationships of copper, lead and zinc in the grey mangrove *Avicennia marina* (Forsk.) Veirh. *Marine Environmental Research*, v. 54, p. 65-84, 2002.
- MACHADO, R. A. S. *O meio natural na organização produtiva da população pesqueira tradicional do município de Canavieiras, BA*. 2007. 159 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2007.
- MADIGAN, M. T.; MARTINKO, J. M.; PARKER, J. B. *Brock: biología de los microorganismos*. 10. ed. Madrid: Pearson Education, 2004.
- MAKEPEACE, D. K.; SMITH, D. W.; STANLEY, S. J. Urban stormwater quality: summary of contaminant data. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, v. 25, p. 93-139, 1995.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. de. *Avaliação nutricional das plantas: princípios e aplicações*. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.
- MANUAL de métodos DGT 100. Campinas: Provecto, 2001.
- MARIANO, A. P. *Avaliação do potencial de biorremediação de solos e água contaminados por óleo diesel*. 2006, 162f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP. 2006.
- MARTIN, L. et al. *Mapa geológico do quaternário costeiro do estado da Bahia: texto explicativo*. Salvador: CPM/SME, 1980. Escala 1:250.000.
- MARTINS, A. et al. Biorremediação. In: FÓRUM DE ESTUDOS CONTÁBEIS, 3. 2003, Rio Claro. *Anais eletrônicos...* Rio Claro: Faculdades Integradas, 2003. Disponível em: <[www.ceset.unicamp.br/lte/artigos/3fec2401](http://www.ceset.unicamp.br/lte/artigos/3fec2401)>. Acesso em: 8 maio 2011.

- MCLACHLAN, A. Dissipative beaches and macrofauna communities on exposed intertidal sands. *Journal of Coastal Research*, West Palm, v. 6, n. 1, p. 57-71, 1990.
- MEDINA, E. et al. Mangal communities of the “Salgado Paraense”: ecological heterogeneity along the Bragança peninsula assessed through soil and leaf analysis. *Amazoniana*, v. 16, p. 397-416, 2001.
- MEDINA, E.; FRANCISCO, A. M. Osmolality and  $^{13}\text{C}$  of leaves tissues of mangrove species from environments of contrasting rainfall and salinity. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 45, p. 337-344. 1997.
- MELLO, F. et al. *Fertilidade do solo*. 3. ed. São Paulo: Nobel, 1985. 400 p.
- MELO, E. G. V. *Avaliação da glicerina bruta na estimulação de bactérias hidrocarbonoclasticas para remediação de áreas contaminadas por hidrocarbonetos*. 2011. 70 f. Dissertação (Mestrado em Geoquímica: Petróleo e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2011.
- MENEZES, M. L. G. G. *Estudos sócio-geoambientais em manguezal do sul do estado da Bahia: utilização do crustáceo Goniopsis cruentata (Latreille, 1803) como bioindicador de contaminação por metais*. 2013. Dissertação (Mestrado em Geoquímica: Petróleo e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2013.
- MICROSOFT. Disponível em: <<http://www.microsoft.com>>. Acesso em: 5 nov. 2013.
- MILAZZO, A. D. D. *Biodisponibilidade e bioconcentração de metais em ecossistema manguezal do estuário do rio São Paulo, Baía de Todos os Santos, Bahia, Brasil*. 2011. Dissertação (Mestrado em Geoquímica: Petróleo e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2011.
- MINTE-VERA, C. V.; PETRERE, M. Artisanal fisheries in urban reservoirs: a case study from Brazil (Billings reservoir, São Paulo Metropolitan Region). *Fisheries Management and Ecology*, v. 7, p. 537-549, 2000.
- MIRANDA, L. B.; BÉRGAMO, A. L.; SILVA, C. A. S. Dynamics of a tropical estuary: Curimataú River, NE Brazil. *Journal of Coastal Research*, v. 39, p. 697-701, 2006.
- MORAES FILHO, J. C. R. *Projeto Porto Seguro – Santa Cruz Cabrália*. Salvador: Serviço Geológico do Brasil, 1999. v. 3, 65 p. (Capítulo 3: Geologia).
- MORAES FILHO, J. C. R.; LIMA, E. S. *Região de Itapetinga, sul da Bahia (borda SE do cráton do São Francisco): geologia e recursos minerais*. Salvador: Serviço Geológico do Brasil, 2007. 72 p. (Série Arquivos Abertos, 27).
- MOREIRA, I. T. A. et al. Phytoremediation using *Rhizophoramangle* L. in mangrove sediments contaminated by persistent total petroleum hydrocarbons (TPHs). *Microchemical Journal*, v. 99, p. 376-382, 2011.
- MUEHE, D. Geomorfologia costeira. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.). *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995. p. 253-308.

- MÜLLER, G. Schwermetalle in den Sedimenten des Rheins-Veränderungenseit 1971. *UmschaUNA*, v. 79, p. 778-783, 1979.
- NASCIMENTO, D. M. C.; DOMINGUEZ, J. M. L. Avaliação da vulnerabilidade ambiental como instrumento de gestão costeira nos municípios de Belmonte e Canavieiras, Bahia. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 39, n. 3, p. 395-408, 2009.
- NASCIMENTO, D. M. C.; DOMINGUEZ, J. M. L.; SILVA, S. B. M. Mudanças na ocupação econômica do litoral Sul da Bahia: os exemplos de Belmonte e Canavieiras, Bahia. *Revista Desenhahia*, Salvador, n. 10, p. 7-28, 2009.
- NASCIMENTO, L. *Caracterização geoambiental da linha de costa da Costa do Cacau – Litoral Sul da Bahia*. 2006. 128p. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2006.
- NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION - NOAA. *Environmental Sensitivity index guidelines: version 2.0*. Seattle: Hazardous Materials Response and Assessment Division, NOAA, 1999. (Technical Memorandum NOS ORCA 115).
- NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION - NOAA. *Oil spills in mangrove: planning and response considerations*. Washington, 2002. 70 p.
- NEGREIROS-FRANSOZO, M. L.; FRANSOZO, A.; REIGADA, A. L. D. Biologia populacional de *Epiplatys brasiliensis* Dana 1852 (Crustacea, Majidae). *Revista Brasileira de Biologia*, v. 54, p. 73-80, 1994.
- NGUYEN, H.L. et al. Correlations, partitioning and bioaccumulation of heavy metals between different compartments of Lake Balaton. *Science of the Total Environment*, v. 341, p. 211-226, 2005a.
- NGUYEN, H. L. et al. Heavy metals in Lake Balaton: water column, suspended matter, sediment and biota. *Science of the Total Environment*, v. 340, p. 213-230, 2005b.
- NOLTING, R. F.; RAMKEMA, A.; EVERAARTS, J. M. The geochemistry of Cu, Cd, Zn, Ni and Pb in sediment cores from the continental slope of the Banc d'Arguin (Mauritania). *Continental Shelf Research*, v. 19, p. 665-691, 1999.
- OLIVEIRA, O. M. C. *Diagnóstico geoambiental em zonas de manguezal da Baía de Camamu-BA*. 2000. 249f. Tese (Doutorado em Geoquímica Ambiental) - Universidade Federal Fluminense – UFF, Niterói, RJ, 2000.
- OLIVEIRA, S. S. de; FREITAS, H. M.; ACCIOLY, M. da C. Composição química das folhas de *Avicennia germinans* (L.) Stearn, *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn. e *Rhizophora mangle* (L.) e de solo do manguezal do rio Mucuri-BA, sob ação de resíduos industriais. *Sitientibus*, Feira de Santana, n. 15, p. 114-135, 1996.
- ORACLE. Disponível em: <<http://www.oracle.com>>. Acesso em: 10 out. 2013.
- ORIBHABOR B. J.; OGBEIBU, A. E. Concentration of heavy metals in a Niger delta mangrove creek, Nigeria. *Global Journal of Environmental Sciences*, v. 8, n. 2, p. 1-10, 2009.

- OUSEPH, P. P. Dissolved and particulate trace metals in the Cochin Estuary. *Marine Pollution Bulletin*, v.24, n.4, p. 186-192, 1992.
- OWENS, E. H. Estimating and Quantifying Oil Contamination on the Shoreline. *Marine Pollution bulletin*, v. 18 n. 3, p. 110-118, 1988.
- PACHECO, V. F. *O cenário geopolítico na implantação da reserva extrativista marinha de Canavieiras*. Salvador: UFBA, 2011. 22 p. (Relatório final PIBIC 2010/2011)
- PASSARELI, L. da S. *Composição química e aporte de nutrientes das folhas de serapilheira em um manguezal do norte do estado do Rio de Janeiro*. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) - Centro de Biociências e Biotecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2011.
- PEIXOTO, R. et al. Bacterial communities reflect the spatial variation in pollutant levels in Brazilian mangrove sediments. *Antonie Van Leeuwenhoek*, v. 99, p. 341-354, 2011.
- PENG, L.; WENJIAN, Z.; ZHENJI, L. Distribution and accumulation of heavy metals in *Avicennia marina* community in Shenzhen, China. *Journal of Environmental Sciences*, v. 9, n. 4, p. 472-479, 1997.
- PEREIRA, E. et al. The contribution of heavy metal pollution derived from highway runoff to Guanabara Bay sediments: Rio de Janeiro/ Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 79, p. 739-750, 2007.
- PIRES, M. M.; GOMES, A. S.; SAMPAIO, J. M. C. O agronegócio da carcinicultura em Canavieiras, Bahia, Brasil. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE SOCIOLOGIA RURAL, 7. *Anais...*, Quito: Alasru, 2006. p. 1-7.
- PRAVEENA, S. et al. Factor-cluster analysis and enrichment study of mangrove sediments – an example from Mengkabong Sabah. *The Malaysian Journal of Analytical Sciences*, v. 2, p. 421-430, 2007.
- PRIJU, C.; NARAYANA, A. Spatial and temporal variability of trace element concentrations in a tropical lagoon, southwest coast of India: environmental implications. *Journal of Coastal Research*, v. 1, p. 1053-1057, 2006.
- PRITCHARD, D. W. What is an estuary, physical viewpoint. In: LAUF, G. H. (Ed.). *Estuaries*. Washington D.C.: American Association for the Advancement of Science, 1967. p. 3-5. (AAAS Publication, 83).
- QUEIROZ GALVÃO. *Atividade de perfuração marítima no bloco BM-J-2: estudo de impacto ambiental EIA*. Recife: QueirozGalvão; Rio de Janeiro: Ecology do Brasil, 2006.
- QUEIROZ, A. F. S.; CELINO, J. J. Impacto ambiental da indústria petrolífera em manguezais da região norte da Baía de Todos os Santos (Bahia, Brasil). *Boletim Paranaense de Geociências*, n. 62-63, p. 23-34, 2008.
- RAINBOW, P. S. Ecophysiology of trace metal uptake in crustaceans. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 44, p. 169-175, 1997.

RAINBOW, P. S. The significance of trace metal concentrations in decapods. *Symposia of the Zoological Society of London*, v. 59, p. 291-313, 1988.

REDE MANGUEMAR BAHIA. *Mapeamento dos conflitos sócio-ambientais relativos à carcinicultura no estado da Bahia*. Salvador, 2007. Relatório.

REIMANN, C.; DE CARITAT, P. *Chemical elements in the environment: factsheets for the geochemist and environmental scientist*, Berlin: Springer-Verlag Heidelberg, 1998.

RODRIGUES, K. M. R. *Estudos biogeoquímicos utilizando folhas do gênero avicennia como indicadora de impactos ambientais na região petrolífera de São Francisco do Conde – Bahia*. 168 f. Dissertação (Mestrado em Geoquímica: Petróleo e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, 2005.

RODRIGUES, K. M. R. et al. Avaliação dos teores de cátions metálicos encontrados em folhas de *Avicennia schaueriana* Stapf & Leechman, em zonas de manguezal do município de São Francisco do Conde – BA: comparação de diferentes processos de trituração. In: MANGROVE, 2003, Salvador. *Livro de resumos...* Salvador: NEA/IGEO/UFBA, 2003. p. 249.

ROSS, S. M. *Toxic metals in soil-plant systems*. New York: John Wiley & Sons, 1994. 484 p.

ROWLAND, D. K. et al. Effects of beach sand properties, temperature and rainfall on the degradation rates of oil in buried oil/beach sand mixtures. *Environmental Pollution*, v. 109, p. 109-118, 2000.

SALATI, S.; MOORE, F. Assessment of heavy metal concentration in the Khoshk River water and sediment, Shiraz, Southwest Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 164, p. 677-689, 2010.

SALISBURY, F. B.; ROSS, C. W. *Plant physiology*. Belmont: Wadsworth Publishing Company, 1992.

SALOMONS, W.; FÖRSTNER, U. *Metal in the hydrocycle*. Berlin: Springer Verlag, 1984. 349p.

SANTOS BERMEJO, J.; BELTRÁN, R.; GÓMEZ ARIZA, J. L. Spatial variations of heavy metals contamination in sediments from Odiel river (Southwest Spain). *Environment International*, v. 29, p. 69-77, 2003.

SANTOS, A. P. dos. *Apropriação da natureza e produção do espaço no município de Belmonte – Bahia*. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2008.

SANTOS, H. F. et al. Bioremediation of mangroves impacted by petroleum. *Water, Air and Soil Pollution*, v. 216, p. 329-350, 2011.

SANTOS, L. M. M. *Determinação de elementos químicos em sedimentos provenientes de manguezais da Bahia*. 2013. Dissertação (Mestrado em Geoquímica: Petróleo e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2013.

- SANTOS, L. O. *Disponibilidade de elementos químicos em apicuns e em sedimentos e folhas de manguezais do município de Madre de Deus, Bahia, Brasil*. 2013. Dissertação (Mestrado em Geoquímica: Petróleo e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2013.
- SAYADI, M.; SAYYED, M.; KUMAR, S. Short-term accumulative signatures of heavy metals in river bed sediments in the industrial area, Tehran, Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 162, p. 465-473, 2010.
- SCHAEFFER-NOVELLI, Y. *Perfil dos ecossistemas litorâneos brasileiros, com especial ênfase sobre o ecossistema manguezal*. São Paulo: IO/USP, 1987. 16 p. (Publicação Especial do Instituto Oceanográfico, 7).
- SCHOLZ, D. K.; MICHEL, J. *Assessment of risks associated with the shipment and transfer of group V fuel oils*. [S. l.]: NOAA, 1994. (NOAA - HAZMAT Report, 94-98).
- SELVARAJ, K.; RAM MOHAN, V.; SZEFER, P. Evaluation of metal contamination in coastal sediments of the Bay of Bengal, India: geochemical and statistical approaches. *Marine Pollution Bulletin*, v. 49, p. 174-185, 2004.
- SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM. *Geologia e recursos minerais do estado da Bahia: sistema de informações geográficas – SIG*. Mapas nas escalas 1:1.000.000 e 1:2.000.000. Salvador, 2003.
- SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM. *Levantamento da geodiversidade: atlas pluviométrico do Brasil - isoietas de precipitações médias anuais do Brasil*. 2012. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=1351&sid=9>>. Acesso em: 15 jun. 2012.
- SHOMAR, B.; MÜLLER, G.; YAHYA, A. Seasonal variations of chemical composition of water and bottom sediments in the Chuvosoland of Wadi Gaza, Gaza Strip. *Ecology Management*, v. 13, p. 419-431, 2005.
- SILBERSCHATZ, A.; KORTH, H. F.; SUDARSHA, S. *Sistema de banco de dados*. 9. ed. Rio de Janeiro: Campus, 2006.
- SILVA, A. B. *Sistemas de informações georreferenciadas: conceitos e fundamentos*. Campinas, SP: Unicamp, 2003.
- SILVA, J. M.; MARTINS, M. B. G.; CAVALHEIRO, A. J. Caracterização anatômica e perfis químicos de folhas de *Avicenniaschaueriana* Stapf. & Leech. ex Moldenke e *Rhizophoramangle* L. de manguezais impactados e não impactados do litoral paulista. *INSULA Revista de Botânica*, v. 39, p. 14-33. 2010.
- SILVA, M. J. *Fracionamento de metais traço (Cr, Cu, Ni, Zn) em solos e sedimentos no município de Madre de Deus, Bahia*. 2012. Dissertação (Mestrado em Geoquímica: Petróleo e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2012.
- SILVA, P. S. C. et al. Metal distribution in sediment cores from São Paulo State Coast, Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, v. 62, p. 1130-1139, 2011.

- SIMÕES, E. C. *Diagnóstico ambiental em manguezais dos complexos estuarinos da Baixada Santista e Cananéia - São Paulo, no tocante a metais e compostos organoclorados*. 2007. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.
- SINGH, K. P. et al. Estimation of source of heavy metal contamination in sediments of Gomti river (India) using principal component analysis. *Water, Air and Soil Pollution*, v. 166, p. 321-341, 2005.
- SINGH, V. K.; SINGH, K. P.; MOHAN, D. Status of heavy metals in water and bed sediments of river Gomti – a tributary of the Ganga river, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 105, p. 43-67, 2005.
- SOBRADO, M. A.; GREVES, E. D. Leaf secretion composition of the mangrove species *Avicennia germinans* (L.) in relation to salinity: a case study by using total-reflection X-ray fluorescence analysis. *Plant Science*, v. 159, p. 1-5, 2000.
- SOUZA, C. S. et al. Isolamento e seleção de microrganismos degradadores de derivados de petróleo. IN: CONGRESSO de P & D EM PETRÓLEO E GÁS, 3. 2005, Salvador. *Anais...* Recife: UFPE, 2005.
- SOUZA, H. de. *Teores e concentrações de cálcio e magnésio no cafeeiro ecegado em função de doses e fontes de  $P_2O_5$* . 2008. 51 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnologia em Cafeicultura) - Escola Agrotécnica Federal de Muzambinho, 2008.
- SOUZA, W. F. L. *A interface terra-mar leste do Brasil: tipologia, aporte fluvial, águas costeiras e plataforma continental*. 234f. Tese (Doutorado em Geoquímica) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2002.
- STIGLIANI, W. M.; ANDERBERG, S. Data integration with respect to river basin studies: the Rhine basin as an example. In: NEWMAN, P. J.; PIAVAUX, M. A.; SWEETING, R. A. *River Water Quality: ecological assessment and Control*. Bruxelas: Commission of the European Communities, 1992. p. 629-637.
- STRICKLAND, J. D. H.; PARSONS, T. R. *A practical handbook of seawater analysis*. Ottawa: Fisheries Research Board of Canada, 1972. 167p.
- SUGUIO, K. *Geologia sedimentar*. São Paulo: Edgard Blucher, 1973. 307p.
- SUNG, W.; MORGAN, J. J. Kinetics and product of ferrous iron oxygenation in aqueous systems. *Environmental Science and Technology*, v. 14, p. 561-568, 1980.
- SUPERINTENDÊNCIA DE ESTUDOS ECONÔMICOS E SOCIAIS DA BAHIA. *Região Sul da Bahia: panorama geoeconômico*. Salvador, 1992. 118 p.
- SYINU, R. et al. Temporal and spatial variability of trace metals in suspended matter of the Mandovi estuary, central west coast of India. *Environmental Earth Science*, v. 65, p. 752-739, 2012.
- THE APACHE Software Foundation. Disponível em: <<http://www.apache.org/>>. Acesso em: 10 out. 2013.

- THE PHP Group. Disponível em: <<http://www.apache.org/>>. Acesso em: 10 out. 2013.
- THOMAS, C.; EONG, O. J. Effects of the heavy metals Zn and Pb on *R. mucronata* and *A. alba* seedlings. In: SOEPADMO, E.; RAO, A. M.; MACINTOSH, M. D. (Ed.). *Proceedings of the Asian Symposium on Mangroves and Environment*. Malaysia: ISME, p. 568–574, 1984.
- TOMLINSON, D.; WILSON, J.; HARRIS, C.; JEFFREY, D. Problems in the assessment of heavy-metal levels in estuaries and the formation of a pollution index. *Helgoländer Meeresun*, v. 33, p. 566–575, 1980.
- TUCCI, C. E. M. *Hidrologia: ciência e aplicação*. Porto Alegre: UFRGS, 2002. 943p.
- TUNA, A. L. et al. Sources and distribution of trace metals in the Saricay Stream basin of southwestern Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 125, p. 47–57, 2007.
- TURNER, A. et al. Application of the KD concept to the study of trace metal removal and desorption during estuarine mixing. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 36, p. 1–13, 1993.
- TURNER, A.; MILLWARD, G. E. Suspended particles: Their role in estuarine biogeochemical cycles. *Estuarine Coastal Shelf Sci.*, v. 55, p. 857–883, 2002.
- TURNER, A.; MILLWARD, G. E.; MORRIS, A. W. Particulate metals in five major North Sea estuaries. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, v. 32, p. 325–346, 1991.
- USERO, J.; GONZALEZ-REGALADO, E.; GRACIA, I. Trace metals in the bivalve molluscs *Ruditapes decussatus* and *Ruditapes philippinarum* from the Atlantic coast of Southern Spain. *Environment International*, v. 23, p. 291–298, 1997.
- VAN HAMME, J. D.; SINGH, A.; WARD, O. P. Recent advances in petroleum microbiology. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, v. 67, n. 4, p. 503–549, 2003.
- VIGANÒ, L. et al. Quality assessment of bed sediments of the Po River (Italy). *Water Research*, v. 37, p. 501–518, 2003.
- VIOLINTZIS, C.; ARDITSOGLU, A.; VOUTSA, D. Elemental composition of suspended particulate matter and sediments in the coastal environment of Thermaikos Bay, Greece: delineating the impact of inland waters and wastewaters. *Journal of Hazardous Materials*, v. 166, p. 1250–1260, 2009.
- VIRGA, R. H. P.; GERALDO, L. P.; SANTOS, F. H. Avaliação de contaminação por metais em amostras de siris azuis. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v. 27, n. 4, p. 779–785, 2007.
- VOGEL, A. I. *Análise química quantitativa*. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.
- WAGNER, A.; BOMAN, J. Biomonitoring of trace elements in Vietnamese fresh water mussels. *Spectrochimica Acta Part B*, v. 59, p. 1125–1132, 2003.
- WASEL, Y. *Biology of halophytes*. Madison: University of Wisconsin, 1972. 395 p.
- WAKIDA, F. et al. Heavy metals in sediments of the Tecate River, Mexico. *Environmental Geology*, v. 54, p. 637–642, 2008.

- WETLER, R. M. C. *Prospecção de microrganismos responsáveis pela degradação de compostos de petróleo em sedimento de um manguezal localizado no Sul da Bahia (Brasil)*. 2006. 84f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, BA, 2006.
- WETLER-TONINI, R. M. C.; REZENDE, C. E.; GRAVITOL, A. D. Biodegradação bacteriana de petróleo e seus derivados. *Revista Virtual de Química*, v. 3, n. 2, p. 78-87, 2011.
- WIN, J. R. G.; GORHAM, J. Osmorregulation. In: LANGE, O. L. et al. *Encyclopedia of plant physiology*. Berlin: Springer-Verlag, 1983. p. 35-58.
- WONG, Y. S.; TAM, N. F. Y. Accumulation and distribution of heavy metals in a simulated mangrove system treated with sewage. *Hydrobiologia*, v. 352, p. 67-75. 1997.
- WRIGHT, L. D.; SHORT, A. D. Morphodynamics variability of surf zones and beaches: a synthesis. *Marine Geology*, v. 56, p. 93-118, 1984.
- YAKIMOV, M. M. et al. Natural microbial diversity in sediments of Milazzo Harbour (Sily) and community successions during microcosms enrichment with various hydrocarbons. *Environmental microbiology*, v. 7, n. 9, p. 1426-1441, 2005.
- YUAN, H. et al. Distribution and contamination of heavy metals in surface sediments of the South Yellow Sea. *Marine Pollution Bulletin*, v. 64, p. 2151-2159, 2012.
- YUE CHE; QING HE; WEI-QING LIN. The distributions of particulate heavy metals and its indication to the transfer of sediments in the Changjiang Estuary and Hangzhou Bay, China. *Marine Pollution Bulletin*, n. 46, p. 123-131, 2003.
- ZHANG, H.; SHAN, B. Historical records of heavy metal accumulation in sediments and the relationship with agricultural intensification in the Yangtze-Huaihe region, China. *Science of the Total Environment*, v. 399, p. 113-120, 2009.
- ZHANG, J.; LIU, C. L. Riverine composition and estuarine geochemistry of particulate metals in China – Weathering features, anthropogenic impact and chemical fluxes. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, v. 54, p. 1051-1070, 2002.
- ZHOU, H. Y.; PENG, X. T.; PAN, J. M. Distribution, source and enrichment of some chemical elements in sediments of the Pearl River Estuary, China. *Continental Shelf Research*, v. 24, p. 1857-1875, 2004.
- ZOURARAH, B.; MAANAM, M.; ROBIN, M. Sedimentary records of anthropogenic contribution to heavy metal content in OumErBia estuary (Morocco). *Environmental Chemical Letters*, v. 7, p. 67-78, 2009.
- ZWOLSMAN, J. J. G.; VAN ECK, G. T. M. Geochemistry of major elements and trace metals in suspended matter of the Scheldt Estuary, southwest Netherlands. *Marine Chemistry*, v. 66, p. 91-111, 1999.

## Agradecimentos

---

Todos os autores agradecem às empresas Manati S.A. e Queiroz Galvão Exploração e Produção S.A., pelos recursos financeiros aplicados no Projeto de Pesquisa “Diagnóstico geoambiental de zonas de manguezal e desenvolvimento de processos tecnológicos aplicáveis à remediação dessas zonas: subsídios a um Programa de Prevenção de Impactos em Áreas com Potencial para Atividades Petrolíferas na Região Litoral Sul do Estado da Bahia – PETROTECMANGUE-BASUL”, convênio FAPEX-Manati-Queiroz Galvão nº 23066030641/11-47, através de Projeto de P&D (Pesquisa e Desenvolvimento) apresentado à Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP).

Além dos recursos oriundos do projeto PETROTECMANGUE-BASUL, a execução das pesquisas que geraram capítulos deste livro contou também com apoio:

- do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq): bolsa de produtividade em pesquisa (300447/2012-4); bolsas de mestrado; projeto “Gestão ambiental e conflitos territoriais nas reservas extrativistas marinhas da Bahia” (Edital MCT/CNPq/MEC/CAPES n. 02/2010);

- da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB): bolsas de mestrado;

- do Programa de Iniciação Científica da Universidade Federal da Bahia (PI-BIC/UFBA): bolsas de Iniciação Científica;

- do Programa Permanecer da Universidade Federal da Bahia: bolsas de Iniciação Científica.

Para desenvolvimento da pesquisa sobre a pesca artesanal na Reserva Extrativista (Resex) de Canavieiras (Capítulo 12) contou-se com a boa vontade de pescadores e marisqueiras da Resex, técnicos do Instituto Chico Mendes para a Biodiversidade (ICMBio) e secretários municipais, para responder aos questionários e entrevistas.

O Núcleo de Estudos Ambientais (NEA) do Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia agradece ao Prof. Dr. Geraldo Marcelo Pereira Lima, pela doação de fotografias para o acervo do NEA.

## Sobre os autores

---

**Adriano de Oliveira Vasconcelos.** Geógrafo, mestre em Meio Ambiente. Programa de Engenharia Civil, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (PEC/COPPE), Universidade Federal do Rio de Janeiro. [adrianoufrj@hotmail.com](mailto:adrianoufrj@hotmail.com); CV: <http://lattes.cnpq.br/5877153568172760>

**Andressa Lopes Nery.** Engenheira Ambiental. Mestre em Tecnologias Aplicáveis à Bioenergia, Faculdade de Tecnologia e Ciências, Bahia. Mestre em Geoquímica do Petróleo e Meio Ambiente, Universidade Federal da Bahia. [andressa.nlopes@gmail.com](mailto:andressa.nlopes@gmail.com); CV: <http://lattes.cnpq.br/9885576034438530>

**Antônio Fernando de Souza Queiroz.** Geólogo, doutor em Geoquímica do Meio Ambiente. [queiroz@ufba.br](mailto:queiroz@ufba.br); CV: <http://lattes.cnpq.br/8307874123800948>

**Bárbara Rosemar Nascimento Araújo.** Administradora de empresas, bióloga, doutora em Botânica, Universidade Estadual de Feira de Santana. [brosemar@yahoo.com.br](mailto:brosemar@yahoo.com.br); CV: <http://lattes.cnpq.br/5003955048180394>

**Carine Santana Silva.** Oceanógrafa, mestre em Geoquímica do Petróleo e Meio Ambiente, Universidade Federal da Bahia. [carine.sntn@gmail.com](mailto:carine.sntn@gmail.com); CV: <http://lattes.cnpq.br/3460216497848455>

**Carolina Silva Sapucaia.** Graduanda em Geografia, Universidade Federal da Bahia. [carol.sapucaia@gmail.com](mailto:carol.sapucaia@gmail.com); CV: <http://lattes.cnpq.br/1712700666714482>

**Catherine Prost.** Geógrafa, doutora em Geopolítica, Universidade de Paris 8, França. [cathprost@yahoo.com](mailto:cathprost@yahoo.com); CV: <http://lattes.cnpq.br/6792753926193979>

**Daniela Santos Anunciação.** Química, doutora em Química Analítica, Universidade Federal da Bahia. [peessoas213@yahoo.com.br](mailto:peessoas213@yahoo.com.br); CV: <http://lattes.cnpq.br/9549507796312647>

**Eduardo Magalhães Sampaio.** Bacharel em Ciências da Computação, mestre em Sistemas e Computação, Universidade Federal da Bahia. edmsampaio@gmail.com; CV: <http://lattes.cnpq.br/4303384266256718>

**Gisele Mara Hadlich.** Engenheira agrônoma, doutora em Geografia, Universidade Federal da Bahia. gisele@ufba.br; CV: <http://lattes.cnpq.br/0146453135230315>

**Gisele Moraes de Jesus.** Técnica em Química, graduanda em Farmácia, Universidade Federal da Bahia. giselemoraes.89@hotmail.com; CV: <http://lattes.cnpq.br/0236859678390530>

**Ícaro Thiago Andrade Moreira.** Biólogo, doutor em Geologia Ambiental e dos Recursos Hídricos, Universidade Federal da Bahia. icarotam@gmail.com; CV: <http://lattes.cnpq.br/9106175138631030>

**Igor Oliveira da Silva Andrade.** Graduando em Oceanografia, Universidade Federal da Bahia. igorosandrade@gmail.com; CV: <http://lattes.cnpq.br/0417606544288322>

**Jéssica Verâne Lima da Silva.** Graduanda em Oceanografia, Universidade Federal da Bahia. veranelima@yahoo.com.br; CV: <http://lattes.cnpq.br/4488175976223479>

**Jessyca Beatriz Alves Palmeira.** Graduanda em Oceanografia, Universidade Federal da Bahia. jessycapalmeirao6@hotmail.com; CV: <http://lattes.cnpq.br/4984861125834793>

**Joaquim Bonfim Lago.** Gestor de Redes de Computadores, mestre em Geoquímica do Petróleo e Meio Ambiente, Universidade Federal da Bahia. joaquim@cpgg.ufba.br; CV: <http://lattes.cnpq.br/1877748156917872>

**Joil José Celino.** Geólogo, doutor em Geologia Regional, Universidade de Brasília. joil@ufba.br; CV: <http://lattes.cnpq.br/8472472348669864>

**Jorge Mário Palma Gomes.** Técnico em Química, Centro Federal de Educação Tecnológica, Bahia. palmagomes@yahoo.com.br; CV: <http://lattes.cnpq.br/9257394811608302>

**Juan Carlos Rossi-Alva.** Biólogo, doutor em Bioquímica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. jcrossi@ucsal.br; CV: <http://lattes.cnpq.br/203969619153980>

**Karina Santos Garcia.** Bióloga, doutora em Geociências, Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro. garciaks@ufba.br; CV: <http://lattes.cnpq.br/5195190698719857>

**Ketlyn Luize Fioravanti.** Bióloga, mestre em Geoquímica do Petróleo e Meio Ambiente, Universidade Federal da Bahia. ketlynfioravanti@gmail.com; CV: <http://lattes.cnpq.br/1453548942302943>

**Lucas Medeiros Guimarães.** Graduando em Oceanografia, Universidade Federal da Bahia. lmguiaraes1@hotmail.com; CV: <http://lattes.cnpq.br/6768778463917041>

**Marcos de Almeida.** Graduando em Oceanografia, Universidade Federal da Bahia. marcosalmeida.mda@hotmail.com; CV: <http://lattes.cnpq.br/5604571201752760>

**Maria Luiza Gomes Garrido Menezes.** Bióloga, mestre em Geoquímica do Petróleo e Meio Ambiente, Universidade Federal da Bahia. luizagarrido@gmail.com; CV: <http://lattes.cnpq.br/1062888083556204>

**Mariana Cruz Rios.** Graduanda em Oceanografia, Universidade Federal da Bahia. marianaa.rios@hotmail.com; CV: <http://lattes.cnpq.br/8176335915693701>

**Narayana Flora Costa Escobar.** Oceanógrafa, mestre em Geoquímica do Petróleo e Meio Ambiente, Universidade Federal da Bahia. nara\_flora@hotmail.com; CV: <http://lattes.cnpq.br/1692735065567879>

**Olivia Maria Cordeiro de Oliveira.** Geóloga, doutora em Geoquímica Ambiental, Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro. olivia@ufba.br; CV: <http://lattes.cnpq.br/6803571168057331>

**Ondina Souza Duarte.** Graduanda em Geografia, Universidade Federal da Bahia. ondina.duarte@gmail.com; CV: <http://lattes.cnpq.br/1483261275330544>

**Rodrigo Azevedo Nascimento.** Graduando em Oceanografia, Universidade Federal da Bahia. r.azevedonascimento@gmail.com; CV: <http://lattes.cnpq.br/6967585952009656>

**Rui Jesus Lorenzo Garcia.** Químico, mestre em Química Analítica, Universidade Federal da Bahia. rgarcia@ufba.br; CV: <http://lattes.cnpq.br/9291163617311754>

**Sarah Adriana Rocha Soares.** Química, doutora em Química Analítica, Universidade Federal da Bahia. sarah@ufba.br; CV: <http://lattes.cnpq.br/2101032120344148>

**Simone Souza de Moraes.** Bióloga, doutora em Geologia, Universidade Federal da Bahia. smoraes@ufba.br, CV: <http://lattes.cnpq.br/1432443985052480>

**Taís Sousa Pereira.** Graduanda em Oceanografia, Universidade Federal da Bahia. will\_tita@hotmail.com, CV: <http://lattes.cnpq.br/0221571154576495>

**Taíse Bomfim de Jesus.** Bióloga, doutora em Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Rio de Janeiro. taisebj@hotmail.com CV: <http://lattes.cnpq.br/2896839202106073>

**Vladimir Félix Pacheco.** Graduando em Geografia, Universidade Federal da Bahia. vladimirf.pacheco@yahoo.com.br; CV: <http://lattes.cnpq.br/4515590093710856>



**Formato:** 170 x 240mm  
**Tipo do texto:** Auto 1 / Aller  
**Papel do miolo:** Alta Alvura 75g/m<sup>2</sup>  
**Papel da capa:** Cartão Supremo 300g/m<sup>2</sup>  
**Impressão e acabamento:** Gráfica Cian  
**Tiragem:** 500 exemplares



A liberação de blocos exploratórios de petróleo no sul da Bahia trouxe a necessidade de avaliação dos ambientes costeiros que podem vir a ser afetados pela atividade na região. Nesse contexto, essa obra revela-se contemporânea, com uma coleção de trabalhos científicos que trazem importantes informações ligadas à questão ambiental no litoral dos municípios de Una, Canavieiras e Belmonte. O livro reúne resultados de pesquisas nas áreas de Geoquímica, petróleo e sociedade, e os assuntos são abordados de forma a estabelecer um marco para outros estudos relacionados com essas temáticas.

