



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOQUÍMICA: PETRÓLEO E  
MEIO AMBIENTE - POSPETRO**

**DANIELE DE JESUS MAGALHÃES SOUZA**

**GEOQUÍMICA DE SEDIMENTOS DE TANQUES DE  
CARCINICULTURA NA BAÍA DE TODOS OS SANTOS, BAHIA**

Salvador  
2015

**DANIELE DE JESUS MAGALHÃES SOUZA**

**GEOQUÍMICA DE SEDIMENTOS DE TANQUES DE  
CARCINICULTURA NA BAÍA DE TODOS OS SANTOS, BAHIA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Geoquímica: Petróleo e Meio Ambiente – POSPETRO, Instituto de Geociências, na Universidade Federal da Bahia, como requisito para obtenção do título de Mestre em Geoquímica do Petróleo e Ambiental

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Gisele Mara Hadlich  
Co-orientador: Prof. Dr. José Martin Ucha

Salvador  
2015

## **FOLHA APROVAÇÃO**

Dedico este trabalho a Deus,  
aos meus pais e ao meu esposo,  
Misael e Josevalda e Romário.

## AGRADECIMENTOS

Sou muito grata ao meu Maravilhoso, Conselheiro, Deus Poderoso, Pai da eternidade, Príncipe da paz, ao Senhor meu Deus, a ti toda honra, glória, louvor e adoração. A ti Senhor Jesus Cristo te agradeço pela vitória alcançada que nos proporcionou, pois a vitória é nossa. O Senhor meu Deus é meu tudo, minha razão de viver que me sustentou, consolou, deu forças para prosseguir a todo instante e jamais desistir. Obrigada meu Deus por tudo, pois sem ti nada sou. Sou totalmente dependente e cabalmente de ti. Te ADORO, TE AMO.

Ao meu esposo Romário, que sempre esteve do meu lado e com sua paciência suportou os momentos da construção do projeto, me dando forças e incentivando a todo instante. Você é meu tudo, te amo, meu amor, por toda vida.

Obrigado meus pais, Valda e Misael pois os senhores são meu exemplo e espelho de vida. Estiveram sempre do meu lado. Vocês são presente de Deus na minha vida. Minha mãe, guerreira, batalhadora, vencedora, princesa de Deus. Meu pai, varão abençoado, guerreiro, forte, meu herói. Amo vocês do fundo do coração por toda vida.

Ao meu irmão Michel, exemplo de determinação e vencedor, que sempre me deu forças e minha cunhada irmã Regiane que sempre esteve do meu lado.

Às minhas tias, aos meus primos e à toda família (tias e tios; primas e primos; cunhada e cunhados; sogra e sogro) que amo muito compartilharam com minha vitória.

À Pastora Margarida e as irmãs da igreja que abraçaram minha causa, me ajudaram em oração.

Agradeço esta mulher que foi escolhida por Deus para me orientar em todos os sentidos. A você, professora Gisele, a quem tenho muito carinho, respeito, minha amiga. Que através de sua determinação, conhecimento e capacidade me ensinou a lutar pelos meus objetivos, assim como através dos erros e acertos corrigidos por ti. E com isso, favoreceu na construção deste trabalho, Sua orientação compartilharei para sempre, Te amo. Assim como, o professor José Ucha, que também contribuiu para produção deste trabalho. Muito obrigado por tudo.

Agradeço aos coordenadores do POSPETRO, Prof. Dr. Antônio Fernando e Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup>. Olívia Maria a toda equipe de Professores do Mestrado, principalmente professor Joil que também me ajudou na construção do projeto. E aos colegas do laboratório NEA/UFBA, principalmente Gisele, Sarah e Jorginho que proporcionaram de sua amizade e sua dedicação, estando sempre do meu lado, assim como Isabel e à coordenadora professora Karina; a participação de vocês foi essencial para a execução desta pesquisa. Agradeço à secretária Naná, Alex, Adriana, Cícero, Juci, Regina, Rui e Lula. Além das meninas da limpeza e o Sr, "Bossal".

Minha amiga que amo muito e que sempre esteve ao meu lado, lutando junto comigo, Carola. À Luana, parceira e amiga para toda obra, que sempre lutava junto comigo, sua alegria me cativava sempre. Assim como minha amiga Maria Verônica que com sua experiência de vida me orientava e aconselhava e outras amigas que vou guardar no meu coração Maria Stella, Elaine, Danússia, Daiane, Daniela, Mirella, Gisele e Sarah.

Agradeço à Daniella e ao Gabriel, queridos alunos de Iniciação Científica, que se doaram totalmente no que estava fazendo, sem eles não conseguiria terminar esta pesquisa. Alunos totalmente responsáveis e atenciosos. Muito obrigado!!!!

Aos amigos que também contribuíram neste trabalho Ubiraci e Adriano, com a confecção dos mapas. As professoras Rosely e Lídice que também compartilharam com essa vitória. Muito obrigado!!!

À Fundação de Amparo à Pesquisa da Bahia (FAPESB) pela bolsa concedida.

Agradeço à Maricultura Valença da Bahia, em Salinas da Margarida, em nome do Zootecnista Edison Cláudio Silva, Gerente desta unidade de produção, que permitiu o acesso aos tanques de carcinicultura pesquisados. Além dos outros proprietários e administradores das fazendas de Mucujó e Mutá, no município de Jaguaripe que permitiram o acesso aos tanques de carcinicultura estudados.

Aos demais amigos que fizeram parte ao longo desta caminhada: Isana, Marcão, Joiciane, Tati, Jade, Adriele, Cláudia. Enfim, agradeço a todos que, de alguma maneira, contribuíram para minha formação profissional e a todos que ajudaram para realização deste trabalho, muito obrigada!!!!

As grandes realizações do mundo foram alcançadas  
por homens que tinham altos ideais e que  
receberam grandes visões. O caminho não é fácil,  
a escalada é áspera e dura, mas a glória  
final faz tudo valer a pena.

MATTHEW HENSON

## RESUMO

O objetivo desta pesquisa foi analisar a concentração de metais traço (Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, V e Zn) e elementos maiores (Al, Ca, Fe, Mg) em sedimentos superficiais de fundo de tanques de carcinicultura localizados na Baía de Todos os Santos (BTS), Bahia. Buscou-se, verificar a relação entre a distribuição dos metais traço e parâmetros físico-químicos dos sedimentos. A carcinicultura marinha (cultivo de camarão) pode acarretar na contaminação de sedimentos de fundo dos tanques por metais traço, ocasionados pelo uso continuado de ração e fertilizantes. Os metais traço encontrados em tanques de carcinicultura associam-se ao material particulado em suspensão e/ou são depositados nos sedimentos de fundo, formando reservatórios relativamente estáveis. Sedimentos são de grande importância na avaliação do nível de contaminação do ambiente por apresentarem capacidade de acumulação. Os municípios de Jaguaripe e Salinas da Margarida, locais escolhidos para execução do estudo, localizam-se no litoral da BTS e possuem áreas de carcinicultura. Foram realizadas três coletas de sedimentos superficial (0-10 cm) de fundo de tanques nas localidades de Mucujó e Mutá (Jaguaripe) e Madeiro (Salinas da Margarida), em ago/2013, fev/2014 e ago/2014, visando apresentar os diferentes períodos anuais. Foram analisados nos sedimentos (valores de medianas): profundidade da lâmina de água sobre o sedimento (82,72 cm), parâmetros físico-químicos pH (7,52), Eh (-190,08 mV), condutividade (2,57 S/m) e salinidade (25,5); nutrientes N (0,13 %), P (700,52 mg kg<sup>-1</sup>) e K (1868,05 mg kg<sup>-1</sup>); matéria orgânica (1,89 %); granulometria (g.kg<sup>-1</sup>) areia (909,99), silte (86,80), argila (3,30); metais traço (mg kg<sup>-1</sup>) por solubilização parcial Ba (3,47), Cd (0,25), Co (0,11), Cr (1,19), Cu (1,87), Mn (5,88), Ni (0,51), Pb (1,64), V (1,91) e Zn (7,16) e elementos maiores Al (522,29), Ca (6566,52), Fe (1363,53), Mg (2053,57). As concentrações dos metais traço e elementos maiores diferenciaram-se entre os tanques. Dentre os tanques estudados, o de Mucujó apresentou maiores concentrações de metais traço e elementos maiores, assim como granulometria de frações finas favorecendo na retenção desses metais traços e elementos maiores. Conforme o teste aplicado foi possível visualizar diferenças significativas entre os tanques, principalmente os tanques de Mucujó (JG) e Mutá (MU) quando comparado como de Madeiro (SA). Analisando todos os dados obtidos observou-se correlação da M, O, N, metais traço e elementos maiores, exceto para o Ca e Mg, e também correlação entre as concentrações dos metais traço entre si, indicando distribuição semelhante dos metais em cada tanque. O Ca e o Mg mostraram acumulados nos tanques de MU e SA. Os valores encontrados de metais traço no sedimento para os tanques estudados foram comparados com os limites de qualidade do sedimento disposto na Resolução Conama nº 454 de 01/11/2012 e com o TEL e PEL (NOAA) para sedimentos marinhos. Para ambas as referências, os metais traço encontrados nos sedimentos apresentaram valores abaixo dos valores do limiar da menor probabilidade de efeitos adversos à biota.

**Descritores:** carcinicultura, sedimento, metais traço, elementos maiores, nutrientes, parâmetros físico-químicos.



## ABSTRACT

This research aimed to analyze the concentration of trace metals (Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, V and Zn) and major elements (Al, Ca, Fe, Mg) in surface sediments from the bottom of shrimp tanks located in the All Saints' Bay, Bahia. We attempted to verify the relationship between the distribution of trace metals and physicochemical parameters of sediments. The marine shrimp (shrimp farming) can result in the bottom sediments contamination of the tanks by trace metals, caused by the continued use of feed and fertilizer. Trace metals found in shrimp ponds are associated with the suspended particulate material and/or are deposited at bottom sediments, forming relatively stable reservoirs. Sediments are of great importance in assessing the environmental contamination level due to their accumulation capacity. The municipalities of Jaguaripe and Salinas da Margarida, locations chosen for the execution of the study, are located on the coast of the BTS and have areas of shrimp farming. Three collections of surface sediments (0-10 cm) from the bottom of the tanks were performed in the villages of Mucujó and Mutá (Jaguaripe) and Madeiro (Salinas da Margarida), two after rainy periods (Aug / 2013 to Aug / 2014) and another after a period of lower rainfall ("dry" period, Feb / 2014). The following aspects were analyzed in sediments (median values): depth of the water layer on the sediment (82,72 cm), physicochemical parameters pH (7,52), Eh (-190,08 mV) conductivity (2,57 S/m) and salinity (25,5); nutrients N (0,13%), P (700,52 mg kg<sup>-1</sup>) and K (1868,05 mg kg<sup>-1</sup>); organic material (1,89%); grain size (g.kg<sup>-1</sup>) sand (909,99), silt (86,80), clay (3,30); trace metals (mg kg<sup>-1</sup>) per partial extraction Ba (3,47), Cd (0,25), Co (0,11), Cr (1,19), Cu (1,87), Mn (5,88), Ni (0,51), Pb (1,64), V (1,91) and Zn (7,16) and major elements Al (522,29), Ca (6566,52), Fe (1363,53), Mg (2053,57). The concentrations of trace metals and major elements differ between the tanks. Of the tested tanks, the Mucujó showed higher concentrations of trace metals and larger elements as well as fine particle size fractions favoring the retention of these metal lines and larger elements. As the applied test was possible to see significant differences between the tanks, especially those tanks Mucujó (PG) and Mutá (MU) as compared Madeiro (SA). Analysing all the data observed correlation O,M, (organic material), N, trace metals and major elements except for Ca and Mg, and also a correlation between the trace metals concentrations of each other, indicating a similar distribution of metals in each tank, Ca and Mg showed accumulated in the tanks of MU and SA. The values of trace metals in the sediment for the studied tanks were compared with the quality limits of the provisions of sediment in Resolution CONAMA 454 of 01/11/2012 and the TEL and PEL (NOAA) for marine sediments. For both references, the trace metals found in sediments showed values below the threshold values of lower likelihood of adverse effects to biota.

**Descriptors:** shrimp, sediments, trace metals, nutrients, physicochemical parameters.

## SUMÁRIO

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO</b> .....  | <b>10</b> |
| 1.1      | ÁREA DE ESTUDO .....   | 13        |
| <b>2</b> | <b>OBJETIVOS</b> .....   | <b>16</b> |
| 2.1      | OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....   | 16        |
| <b>3</b> | <b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....   | <b>17</b> |
| 3.1      | REVISÃO DE LITERATURA .....  | 17        |
| 3.2      | TRABALHO EM CAMPO .....  | 17        |
| 3.3      | ANÁLISES LABORATORIAIS .....   | 20        |
| 3.3.1    | Sedimentos.....  | 20        |
| 3.3.2    | Análise de metais traço e elementos maiores em sedimentos .....  | 20        |
| 3.4      | ANÁLISES, DISCUSSÃO E APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....   | 22        |
| <b>4</b> | <b>METAIS TRAÇO E ELEMENTOS MAIORES EM SEDIMENTOS DE TANQUE DE CARCINICULTURA E VALORES DE REFERÊNCIAS, NA BAÍA DE TODOS OS SANTOS, BAHIA</b> .....                            | <b>23</b> |
| 4.1      | INTRODUÇÃO .....   | 23        |
| 4.2      | MATERIAIS E MÉTODOS.....   | 26        |
| 4.3      | RESULTADOS E DISCUSSÕES .....  | 29        |
| 4.4      | CONCLUSÕES .....   | 34        |
| <b>5</b> | <b>PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS, METAIS TRAÇO E ELEMENTOS MAIORES DOS SEDIMENTOS SUPERFICIAIS DE FUNDO DE TANQUES DE CARCINICULTURA, NA BAÍA DE TODOS OS SANTOS, BAHIA</b> ..... | <b>36</b> |
| 5.1      | INTRODUÇÃO .....   | 36        |
| 5.2      | MATERIAIS E MÉTODOS.....   | 38        |
| 5.3      | RESULTADOS E DISCUSSÕES .....  | 41        |
| 5.4      | CONCLUSÕES .....   | 49        |
| <b>6</b> | <b>CONCLUSÕES</b> .....  | <b>50</b> |
|          | <b>REFERÊNCIAS</b> .....   | <b>52</b> |
|          | <b>APÊNDICES</b> .....   | <b>60</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

A criação de camarões marinhos em cativeiro, denominada carcinicultura marinha, é encontrada em mais de 50 países (MESQUITA et al., 2012) e está sendo considerada como o ramo da aquicultura que mais cresce no Brasil, representando uma importante atividade econômica do setor produtivo, principalmente no Nordeste, onde atingiu, no ano de 2010, uma produção de 80 mil toneladas (CAMARA, 2011). Economicamente, portanto, a carcinicultura, constitui um importante agronegócio, pois gera renda e emprego para o desenvolvimento regional e divisas para os países produtores (ARAÚJO, 2003; PINHA, 2006; ROCHA, 2011; ABCC, 2013). Durante o processo de produção, esta atividade, conseqüentemente, utilizam subprodutos (ração, fertilizantes, corretivos e antibióticos), às vezes contaminantes ao ambiente. Assim, a carcinicultura apresenta impactos positivos na economia, como também impactos ambientais negativos (CAMARA, 2011).

A Resolução nº 312 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), de 10 de outubro de 2002 (BRASIL, 2002) cita que a atividade de carcinicultura pode ocasionar impactos ambientais nos ecossistemas costeiros. Os principais impactos ocasionados pela implantação da carcinicultura descritos são degradação do ecossistema e da paisagem; risco de remobilização de sedimentos para a coluna d'água na fase de implantação; perda da cobertura vegetal; impacto dos resíduos resultantes dos processos de cultivo, pré-processamento e processamento; alterações físico-químicas e biológicas de corpos receptores de efluentes; impactos sobre o aquífero e conseqüente aumento da salinidade. Outros impactos apontados na literatura são: contaminação dos sedimentos e água por metais traço que podem ser disponibilizados na cadeia alimentar e ainda diminuição da biodiversidade; localização do empreendimento em áreas de preservação ambiental; eutrofização pelos resíduos da ração; poluição da água, devido ao uso de corretivos e outros produtos químicos para controle de enfermidades (NASCIMENTO, 2000; PÁEZ-OSUNA, 2001; BOYD, 2003; FIGUEIRÊDO et al., 2003; AZEVÊDO, 2005; IBAMA, 2005; AZEVEDO, 2011; CAMARA, 2011; WU; YANG, 2011; MARISCAL-LAGARDA et al., 2012; MESQUITA et al., 2012; RAMOS, 2012; MARISCAL-LAGARDA; PÁEZ-OSUNA, 2014).

Os efluentes das fazendas de camarão são considerados eutróficos, isto é, ricos em nutrientes, principalmente nitrogênio (N) e fósforo (P) e em material orgânico, resultantes de restos da ração, excreções do camarão e resíduos de exúvia gerado pelo camarão no momento da ecdise. Estes efluentes podem conter, também, elementos químicos como os metais traço (Cu, Pb e Zn) e elementos maiores (Ca e Mg) (BODY; GREEN, 2002; BARROS, 2006;

CAMARA, 2011). Os metais traço presentes nos tanques de carcinicultura geralmente são provenientes da ração, fertilizantes e antibióticos, sendo que a maior parte dos metais traço que se encontram nos tanques estão sob forma iônica ou agregada a sedimentos (COSTA, 2006; WU; YANG, 2011).

Uma vez lançados no ambiente aquático, os metais associam-se ao material particulado em suspensão e, eventualmente, são depositados nos sedimentos de fundo, formando reservatórios relativamente estáveis. Entretanto, mudanças nas condições físico-químicas do meio podem causar a mobilização dos metais depositados nos sedimentos e a liberação de formas mais biodisponíveis para a coluna d'água. A ressuspensão de sedimentos de fundo e a bioturbação desempenham um papel fundamental na remobilização de metais acumulados nos sedimentos (HATJE; ANDRADE, 2009). Portanto, os sedimentos têm sido considerados de grande importância na avaliação do nível de contaminação dos ecossistemas aquáticos devido não só à sua capacidade em acumular metais traço, mas também por serem reconhecidos como possíveis fontes de contaminação, uma vez que, sob determinadas mudanças das condições ambientais, tal compartimento pode liberar espécies contaminantes estocadas anteriormente (OLIVEIRA, 2011) e também, são reservatórios dinâmicos dentro do sistema estuarino, que estão sujeitos a uma variedade de processos físicos, químicos e biológicos, responsáveis pela reciclagem desses elementos na coluna d'água. Os processos de reciclagem incluem a difusão química dos metais na água intersticial, pela estratificação física e ressuspensão de sedimentos superficiais (OLIVEIRA, 2012).

Conforme ao dinamismo dos processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem no ecossistema, os parâmetros físico-químicos nos tanques de carcinicultura devem ser controlados e monitorados, pois o aumento da matéria orgânica, a influência dos períodos sazonais (chuvoso e seco) e a presença de metais traço no sedimento de fundo do tanque podem acarretar, além de doenças no camarão, modificação na composição do sedimento e da água nos tanques (GARCIA, 2009; CAMARA, 2011). Portanto, nas águas de um viveiro de criação de camarão coexistem inúmeras variáveis que, juntas, são responsáveis pelas alterações nas concentrações dos metais, nas diferentes frações extraíveis (OLIVEIRA, 2006).

Devido às associações estabelecidas entre os metais e as diferentes frações do sedimento (frações trocável, associada a carbonatos, associada a óxidos e hidróxidos, ligada à matéria orgânica ou inclusa nos minerais etc.), a carga total recebida desses contaminantes não fica totalmente imobilizada e nem permanece totalmente disponível para a incorporação biológica, ou seja, a disponibilidade dos metais nos sedimentos é mediada pela intensidade da

interação ligante/suporte e pelas mudanças sofridas nas características naturais do ambiente (TORRES, 2009).

As variáveis abióticas mais relevantes na alteração do fluxo dos metais entre os compartimentos geoquímicos no ambiente estuarino são: pH, salinidade, temperatura, oxigênio dissolvido (OD), potencial redox (Eh) e condutividade. A quantidade de material particulado em suspensão e o teor de matéria orgânica caracterizam-se também como variáveis importantes na distribuição dos contaminantes metálicos no ambiente, pois apresentam elevada afinidade com essas espécies (TORRES, 2009).

Comparando-se as concentrações de metais reportadas para os sedimentos da BTS a outros estuários e baías costeiras, pode-se constatar que em estuários com conhecido histórico de contaminação (como, por exemplo, a Baía da Guanabara, no Brasil, os estuários europeus, Scheldt e Thames, e o Port Jackson na Austrália), os teores de metais desses ambientes são bem mais elevadas do que aquelas observadas na BTS (HATJE; ANDRADE, 2009).

Vários são os efeitos negativos ocasionados pela atividade da carcinicultura, geralmente citados na literatura, inclusive na legislação, sendo que esses efeitos nem sempre foram comprovados cientificamente, não passando de hipóteses. Um efeito comprovado em alguns estudos é o acúmulo de metais traço nos ambientes estuarinos, apontando a carcinicultura como possível ou comprovada fonte desses metais (DOURADO, 2013; AMORIM, 2012; LIMA, 2008; BARROS, 2006; LOPES, 2006; JESUS et al., 2004; LACERDA et al., 2004).

Há estudos que mostram a adição de metais em diversos ambientes aquáticos, especificamente o marinho, Lopes (2006) quantificou a acumulação progressiva de metais traço (Cu e Zn), em sedimentos de viveiros de cultivo de camarão através da análise de perfis sedimentares.

Em um estudo realizado para verificar o comportamento dos metais Cu, Fe e Zn em sedimentos de tanque de carcinicultura e em áreas adjacentes do rio Ribeira, localizados no município de Santa Rita, PB, observou-se um maior teor de Cu no sedimento, atribuído à influência da fração Cu ligado à matéria orgânica. Já os valores de Zn foram maiores nas frações ligadas à matéria orgânica e aos sulfetos, fração residual ou ligadas a minerais. As quantidades encontradas podem estar relacionadas à quantidade de Zn presente na ração fornecida no sistema de cultivo dos camarões, sendo que a quantidade de Zn na ração utilizada era superior à de Cu (OLIVEIRA, 2006).

Existem poucos estudos com enfoque direto sobre a análise de metais em sedimento de fundo de tanques de carcinicultura. A maioria dos estudos está relacionada ao crescimento

da carcinicultura e seus impactos e também sobre o monitoramento dos parâmetros físico-químicos em tanques de carcinicultura e a qualidade da água (PÁEZ-OSUNA et al., 1998; PÁEZ-OSUNA, 2001; TROTT et al., 2004; MOLNAR et al., 2013).

No Nordeste do Brasil, os trabalhos realizados com a carcinicultura contemplam principalmente os estados do Rio Grande do Norte e Ceará. O estado da Bahia é o terceiro maior produtor de camarões do Brasil, mas raros são os estudos nesse estado (IBAMA, 2005; PINHA, 2006; FONSECA, 2009; MESQUITA et al., 2012). Dentre os estudos realizados envolvendo a carcinicultura no Nordeste, não há estudos mais aprofundados na Bahia, sobretudo na Baía de Todos os Santos (BTS), onde há diversos pequenos, médios e alguns poucos grandes produtores localizados nos municípios de Jaguaripe, Salinas da Margarida e Saubara (costa oeste da BTS) (HADLICH; UCHA, 2008; PASSOS, 2010; RIOS, 2010; UCHA et al., 2011). A Associação Brasileira de Criadores de Camarão (ABCC) considera produtores pequenos e médios aqueles com área de produção inferior a 50 ha (ABCC, 2013). Enquanto a Resolução nº 312 do CONAMA (BRASIL, 2002) afirma que os empreendimentos individuais de carcinicultura em áreas costeiras são classificados em categorias de acordo com a dimensão efetiva de área inundada (Quadro 1.1).

**Quadro 1.1** – Classificação do porte dos empreendimentos de carcinicultura segundo áreas inundadas

| <b>PORTE</b> | <b>ÁREA EFETIVAMENTE INUNDADA (ha)</b> |
|--------------|--|
| Pequeno      | Menor ou igual a 10                    |
| Médio        | Maior que 10 e menor ou igual a 50     |
| Grande       | Maior que 50                           |

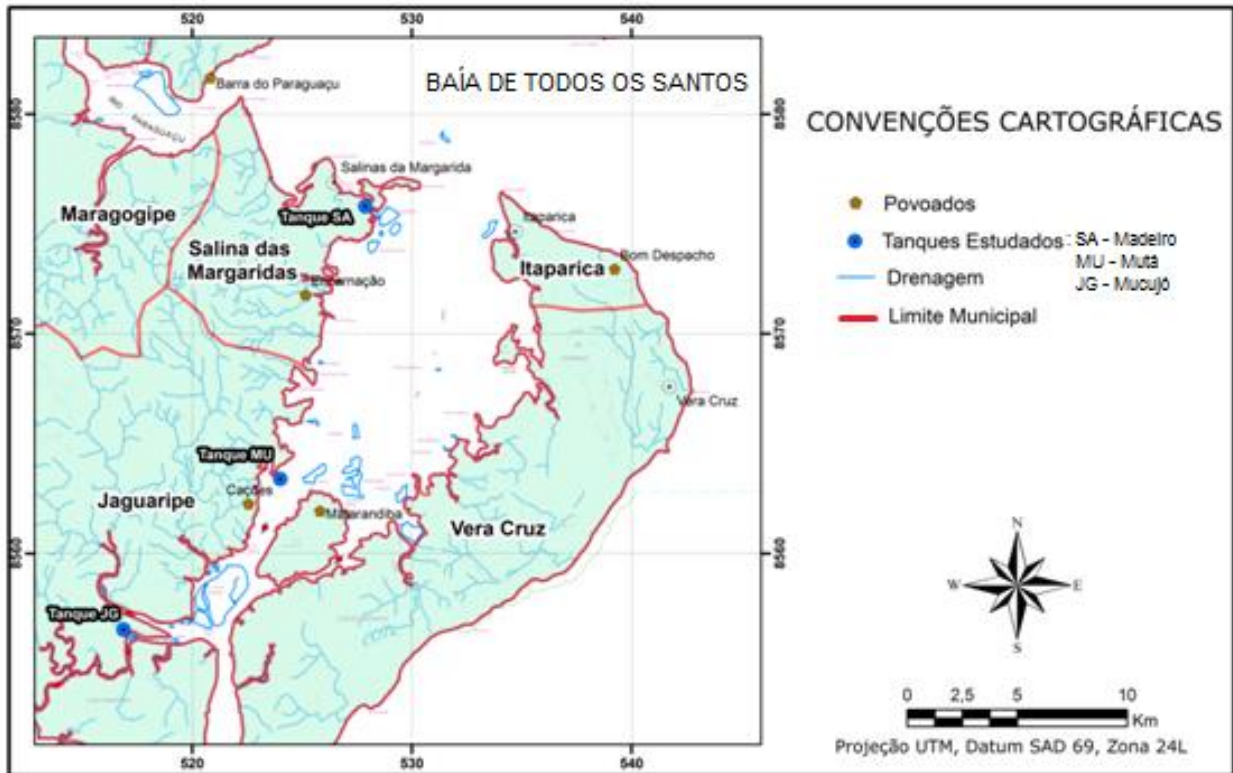
Fonte: Brasil (2002).

Estudos preliminares na BTS demonstraram que há significativo acúmulo de metais traço nos sedimentos de fundo dos tanques, em relação aos bancos de areia de origem marinha adjacentes (DOURADO, 2013). Entretanto, não há estudos específicos dos sedimentos no interior dos tanques.

## 1.1 ÁREA DE ESTUDO

As localidades escolhidas para realização desta pesquisa encontram-se nos municípios de Jaguaripe, nas localidades de Mucujó (JG) e de Mutá (MU), e em Madeiro (SA) no município de Salinas da Margarida, situadas na porção oeste da BTS (Figura 1.1).

**Figura 1.1-** Localização dos municípios de Jaguaripe e Salinas da Margarida e dos tanques de estudos, na Baía de Todos Santos, Bahia



Fonte: Modificado de IBGE (2013).  
Elaboração: Daniele Souza e Adriano Costa (2015)

A BTS é a maior baía do Brasil, com aproximadamente 1.100 km<sup>2</sup> de extensão e com profundidade média de seis metros. Ela abriga manguezais nos estuários de vários rios, que ocupam mais de 60% de seu perímetro; agrega duas pequenas baías em seu interior, a de Iguape e a de Aratu. A BTS caracteriza-se como um ambiente deposicional flúvio-marinho com forte influência antrópica devido ao processo de ocupação no seu entorno e do tráfego e exploração petroleira, além de atividades relacionadas à carcinicultura (QUEIROZ, 2008; HATJE; ANDRADE, 2009).

A atividade de carcinicultura no Nordeste, e conseqüentemente na Bahia, destaca-se por apresentar condições favoráveis de clima e disponibilidade de áreas costeiras, às vezes impróprias para a agricultura, favorecendo, assim, a carcinicultura (OLIVEIRA, 2007; PASSOS, 2010; ABCC, 2013). Este tipo de ambiente favoreceu a expansão da atividade de carcinicultura inclusive nos municípios de Salinas da Margarida e Jaguaripe, que bordejam a BTS.

O município de Salinas da Margarida está inserido na Área de Proteção Ambiental da Baía de Todos os Santos - APA BTS, ocupando uma área total de 149,82 km<sup>2</sup> (IBGE, 2014). O clima é caracterizado como quente e úmido devido seu elevado índice pluviométrico,

superior a 60 mm no mês mais seco, e chuvas bem distribuídas. A precipitação média anual corresponde a 2.100 mm e apresenta temperaturas elevadas em todas as estações do ano (RAMOS, 2012).

O município de Jaguaripe é limítrofe ao sul de Salinas da Margarida e apresenta clima úmido a subúmido (PASSOS, 2010). Os municípios estudados apresentam o relevo composto por Baixadas Litorâneas com planícies marinhas e fluviomarinhas e Tabuleiros do Recôncavo, com áreas onde predominam areais quartzosas marinhas (Neossolo Quartzarênico) e Argissolo Vermelho. A geologia da Baía de Todos os Santos corresponde a rochas sedimentares que preenchem a bacia sedimentar do Recôncavo. A Bacia do Recôncavo localiza-se ao norte de Salvador, ocupando uma área de 10.359 km<sup>2</sup>, sendo 9.657 km<sup>2</sup> em terra e 702 km<sup>2</sup> em área que corresponde à Baía de Todos os Santos e integra também o Rifte Recôncavo Tucano-Jatobá (BARBOSA, 2012). Os tanques estudados situam-se nas planícies marinhas.

A vegetação original de Salinas da Margarida é composta por floresta ombrófila densa com formações pioneiras, com influência fluviomarinha (mangue) e o município de Jaguaripe é formado por vegetação de floresta arbóreo-arbustiva, apicuns e manguezais associados às margens de baías, foz de rios, reentrâncias costeiras, envolvendo vastos espaços de APP's (PASSOS, 2010).

O município de Salinas da Margarida possui uma maior área cultivada e de produção do que Jaguaripe devido à presença de uma grande empresa de produção de camarões marinhos, a Maricultura Valença da Bahia. No entanto, o número de produtores é maior em Jaguaripe (PASSOS, 2010). Em Salinas da Margarida há uma área cultivada de 287 hectares com 9 produtores e uma produção registrada de 863 toneladas em 2011, enquanto que em Jaguaripe são 95 hectares com 13 produtores e uma produção de 241 toneladas nesse mesmo ano (ABCC, 2013).



## 2 OBJETIVOS

O objetivo geral desta pesquisa foi verificar a distribuição de metais traço em sedimentos superficiais de fundo de tanques de carcinicultura localizados na Baía de Todos os Santos, Bahia, visando identificar se representam um risco ao meio ambiente.

### 2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar os parâmetros físico-químicos (pH, Eh, condutividade, salinidade), profundidade da lâmina d'água sobre o sedimento, matéria orgânica (M.O), granulometria e nutrientes (N, P, K) dos sedimentos superficiais de fundo de tanques de carcinicultura;
- quantificar as concentrações de metais traço (Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, V e Zn) e elementos maiores (Al, Ca, Fe, Mg) no sedimento superficial de fundo dos tanques de carcinicultura e comparar com legislação vigente;
- avaliar a distribuição dos metais traço e elementos maiores a partir de possíveis relações entre a concentração de metais e características físico-químicas dos sedimentos;
- analisar, através dos resultados analíticos obtidos, se ocorrem diferenças entre tanques de carcinicultura na BTS.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão detalhadas as etapas da pesquisa que compreendem trabalhos em escritório (revisão de literatura e posteriormente, o tratamento estatístico dos dados analíticos), em campo (realização da coleta de amostras) e em laboratório (análises de sedimentos).

#### 3.1 REVISÃO DE LITERATURA

A pesquisa consistiu no levantamento de informações já existentes, através do auxílio de teses, dissertações, livros, periódicos sobre a carcinicultura e impactos ambientais; contaminação de sedimentos por metais traço; informações sobre nutrientes e parâmetros físico-químicos em sedimentos superficiais de fundo de tanques; dados da área de pesquisa e metodologia para determinação de metais traço em sedimentos superficiais de fundo de tanque de carcinicultura.

#### 3.2 TRABALHO EM CAMPO

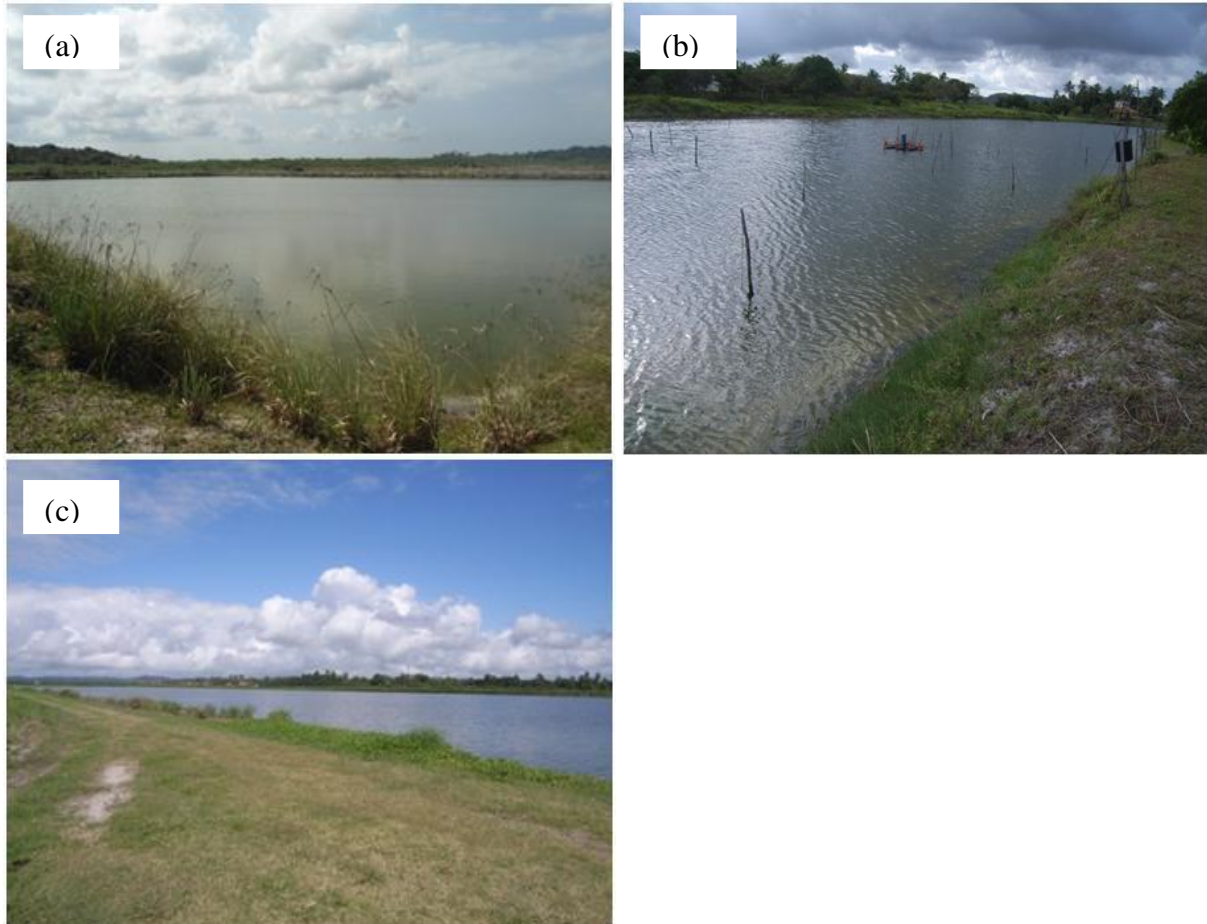
As coletas das amostras de sedimento superficial de fundo foram realizadas em três fazendas de carcinicultura, na costa oeste da BTS. Foram feitas coletas em três campanhas: no mês de agosto de 2013 e nos meses de fevereiro e de agosto de 2014, visando abarcar diferentes períodos anuais (verão e inverno).

No campo foram feitas observações e registro fotográfico dos tanques estudados e da coleta dos sedimentos superficiais (0-10 cm). Com um aparelho GPS (*Global Positioning System*, coordenadas UTM, datum WGS 84) foram marcadas as coordenadas dos pontos de coleta dentro dos tanques.

A estratégia de coleta foi padronizada dentro de um tanque em cada fazenda de carcinicultura: Mucujó (JG) e Mutá (MU), município de Jaguaripe (Figuras 3.2a; 3.2b) e Madeiro (SA) em Salinas da Margarida (Figura 3.2c). Os pontos, para os tanques de Mucujó e Madeiro, foram escolhidos seguindo recomendações de Queiroz et al., (2004), ou seja, foram distribuídos ao longo de transectos transversais aos tanques, sendo amostrados 3 pontos por

transectos. Para o tanque de Mutá a amostragem ocorreu em zigue-zague devido à forma do tanque, alongada e estreita (Figura 3.3).

**Figura 3.2** – Tanques de carcinicultura, onde foram coletadas as amostras de sedimento; (a e b) localidade de Mucujó (JG) e Mutá (MU), no município de Jaguaripe, (c) localidade do Madeiro (SA), no município de Salinas da Margarida

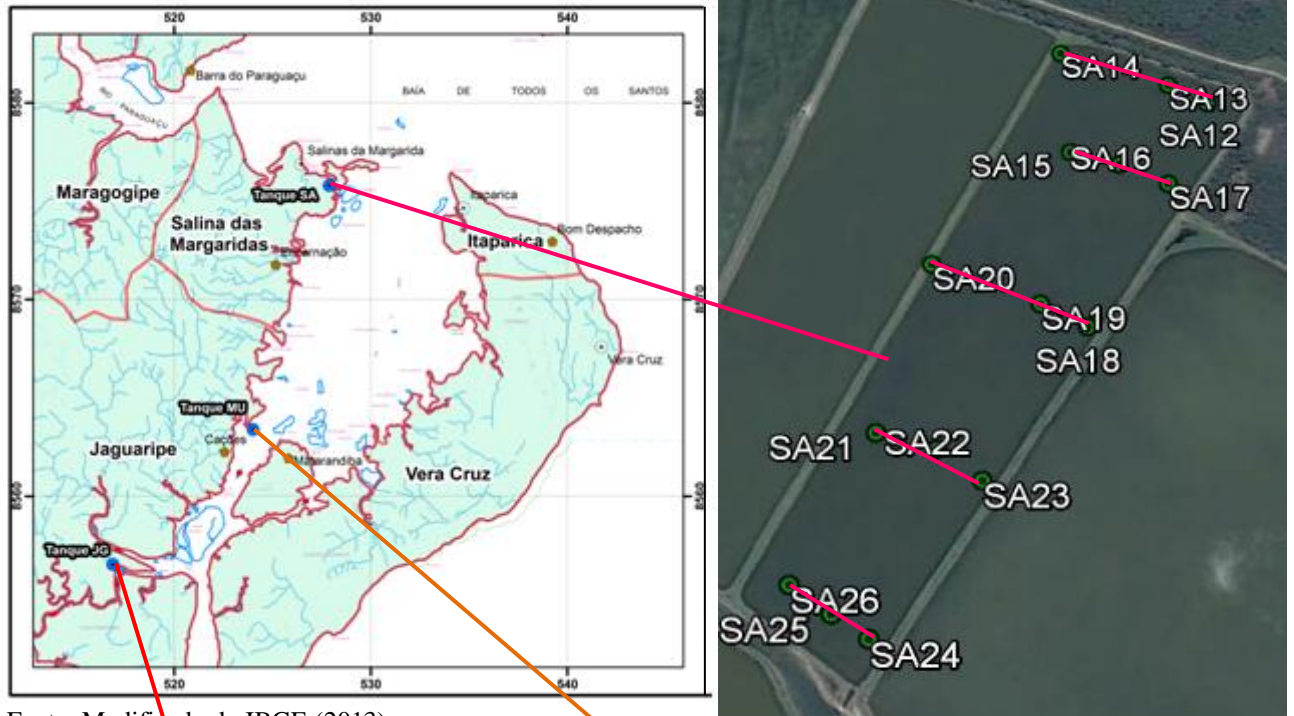


Os dados georreferenciados na 1ª campanha de coleta de amostras serviram como base para coleta dos sedimentos (0-10 cm) nas 2ª e 3ª campanhas, sendo realizada nos mesmos pontos ou próximo dos pontos anteriores. Foram coletados sedimentos superficiais de fundo dos tanques de carcinicultura, distribuídos em 35 pontos dentro dos tanques das fazendas (JG, MU e SA) nas três (1ª, 2ª e 3ª) campanhas, totalizando 105 amostras de sedimentos.

As coletas de sedimento foram realizadas com o auxílio de potes de PVC previamente descontaminados com ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) a 10% por 24 h, e enxaguados com água ultra pura (Milli-Q). Os potes eram mergulhados até o fundo do tanque, estando o pote de PVC ainda fechado sob a água e aberto somente junto ao sedimento, que foi coletado por arraste do pote no sedimento superficial (0-10 cm). Antes da coleta, todo um cuidado foi tomado para não ressuspender o sedimento de fundo. A profundidade da lâmina d'água sobre o sedimento

foi medida dentro do tanque no momento da coleta em cada ponto de amostra com o auxílio de uma trena.

**Figura 3.3** - Localização dos pontos de amostragem para as coletas de sedimento superficial de fundo de tanque de carcinicultura nas três áreas estudadas



Fonte: Modificado do IBGE (2013).  
Elaboração: Daniele Souza e Adriano Costa (2015)



Após a coleta, foram realizadas medições, diretamente nos sedimentos contidos nos potes, dos parâmetros físico-químicos pH, Eh e condutividade, com a utilização da sonda portátil multiparâmetros (pH Meter D-54, Horiba). A salinidade foi mensurada com o refratômetro (Hand-Refractometer, Atago). Em seguida os potes foram acondicionados em caixas tipo Cooler, transportados para serem congelados no mesmo dia e levados para o Laboratório de Estudos de Manguezais – LEM/IGEO/UFBA para posterior análise.

### 3.3 ANÁLISES LABORATORIAIS

Em laboratório foram realizadas as seguintes análises no sedimento: nutrientes (N, P, K), granulometria, matéria orgânica (M.O), metais traço (Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, V e Zn) e elementos maiores (Al, Ca, Fe, Mg) por solubilização parcial. Todas as análises foram realizadas no LEM/IGEO/UFBA.

#### 3.3.1 Sedimentos

As amostras congeladas de sedimento passaram por pré-tratamento, sendo inicialmente liofilizadas (liofilizador L101-LIOTOP). Em seguida foram maceradas, homogeneizadas e peneiradas para obtenção da fração menor que 2 mm e depois preservadas em frascos plásticos descontaminados, fechados e armazenados em ambiente seco e climatizado (segundo recomendado por Aguiar, 2007). No quadro 3.1 constam os parâmetros analisados e a síntese das análises que foram realizadas.

#### 3.3.2 Análise de metais traço e elementos maiores em sedimentos

Para análise dos metais traço e elementos maiores, todo o material utilizado foi devidamente descontaminado com ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) 15% durante 24 horas e em seguida enxaguado com água destilada e ultrapura (sistema Milli-Q).

O controle de qualidade das amostras de sedimento foi realizado com triplicatas (10% do total das amostras), além do branco. Além disso, as análises foram validadas com análises de padrões nacionais de sedimentos marinhos (CRM STSD-4), cujos resultados são apresentados nos capítulos que seguem.

**Quadro 3.1** - Métodos empregados para as análises de parâmetros físico-químicos das amostras de sedimento superficial de fundo dos tanques coletados em Mucujó, Mutá e Madeiro, Bahia

| <b>Parâmetros</b>  | <b>Análises/Determinação</b>   |
|--|--|
| <b>Granulometria</b>   | Pré tratamento da amostra, segundo Embrapa (1997) adaptado, Análise realizada em analisador de partículas com difração a laser (Modelo Silas 1064) e tratamento dos dados com programa GRADSTAT, As amostras foram classificadas em (areia, silte e argila) segundo Folk et al., (1957).       |
| <b>Matéria Orgânica</b>  | Método proposto pela Embrapa (1997), utilizado o $K_2Cr_2O_7$ e a titulação com o sulfato ferroso amoniacal hexahidratado $[Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O]$ à $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ ocorrendo o aparecimento de uma coloração verde brilhante.   |
| <b>Nitrogênio total – N</b>                                      | Método Kjeldahl, segundo recomendação da Embrapa (1997).   |
| <b>Fósforo assimilável - P</b>                                   | Métodos de Grasshoff et al, (1983) e Aspilla (1976) e determinação realizada no Espectrofotômetro Molecular de marca Varian, modelo Cary Bio 50  |
| <b>Potássio - K</b>  | Empregada a mesma técnica utilizada para determinação dos metais traços e elementos maiores, com determinação realizada por ICP – OES (descrito no item 3.3.2)   |
| <b>Solubilização parcial de metais traço e elementos maiores</b> | Solubilização parcial em forno microondas de acordo com a metodologia D 5258-92 - ASTM (1992) adaptada ao manual do equipamento nº 24 (Manual de Microondas Provecto DGT 100 plus). Determinação dos metais por ICP - OES modelo Agilent Technologies 700 series (detalhamento no item 3.3.2). |

A solubilização parcial de metais traço e elementos maiores dos sedimentos foi realizada utilizando 1,0 g da amostra seca diretamente em camisas de teflon, adicionando 10 mL de  $HNO_3$  (1:1) a 65% na capela, sendo agitado e pré-digerido o sedimento por cerca de 10 minutos. Em seguida foram adicionados mais 10 mL de água ultra pura (Milli-Q), e depois digerido no microondas (Provecto, modelo DGT 100 Plus). Este procedimento envolveu uma solubilização parcial de cada amostra. A programação utilizada na decomposição das amostras solubilizadas em microondas segue nos próximos capítulos.

As quantificações dos metais traço (Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, V e Zn) e elementos maiores (Al, Ca, Fe, Mg) dos sedimento foram realizadas em um espectrômetro de emissão óptica com plasma acoplado indutivamente (ICP-OES), modelo AGILENT TECHNOLOGIES 700 series. A espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado é uma técnica analítica multielementar amplamente utilizada para a determinação de elementos químicos em diferentes tipos de matrizes.

Os valores dos comprimentos de onda ( $\lambda$ ), os limites de detecção e de quantificação dos analitos seguem nos próximos capítulos, bem como as condições de operação do ICP-OES.

### 3.4 ANÁLISES, DISCUSSÃO E APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Após as determinações dos parâmetros físico-químicos analisados e da concentração de metais traço e elementos maiores, os dados foram armazenados em banco de dados no aplicativo Excel e em seguida foram realizadas análises estatísticas através do programa *Statistica* versão 7.0 e o programa BioEstat versão 5.0.

Os resultados e discussão estão sendo apresentados na forma de artigos científicos que compõem a dissertação e contemplam:

- “Metais traço e elementos maiores em sedimentos de tanques de carcinicultura e valores de referência ambiental, Baía de Todos os Santos, Bahia”;
- “Parâmetros físico-químicos, metais traço e elementos maiores dos sedimentos superficiais de fundo de tanques de carcinicultura na Baía de Todos os Santos, Bahia”.

Tabelas estatísticas encontram-se em apêndice para comprovar resultados obtidos e discutidos nos artigos que seguem.



## **4 METAIS TRAÇO E ELEMENTOS MAIORES EM SEDIMENTOS DE TANQUE DE CARCINICULTURA E VALORES DE REFERÊNCIA AMBIENTAL, BAÍA DE TODOS OS SANTOS, BAHIA**

### **RESUMO**

Os metais traço e elementos maiores encontrados nos tanques de carcinicultura são provenientes de ração, antibióticos, fertilizantes e corretivos usados no processo produtivo, bem como da própria água marinha. Os metais podem ocorrer no tanque de carcinicultura ligados ao material em suspensão, dissolvidos na coluna d'água, na água intersticial dos sedimentos ou ligados ao sedimento de fundo. O sedimento é um compartimento importante para avaliar a concentração dos metais traço devido à sua capacidade de acumulação e por ser considerado como o depósito final desses elementos. O objetivo deste trabalho foi avaliar as concentrações de metais traços e elementos maiores no sedimento superficial de fundo dos tanques de carcinicultura na Baía de Todos os Santos (BTS) e comparar os níveis de metais traço encontrados no sedimento, com valores de referência conforme legislação. Foram realizadas três campanhas de campo (ago/2013; fev/2014 e ago/2014), para demonstrar os diferentes períodos anuais das coletas de sedimento superficial (0-10 cm) de fundo, em três fazendas de carcinicultura, nos municípios de Jaguaripe e Salinas da Margarida. No sedimento foram realizadas extrações de metais traço (Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, V e Zn) e elementos maiores (Al, Ca, Fe, Mg) através da solubilização parcial. Os resultados analíticos apresentaram distribuição não normal para os metais estudados. Existem diferenças, nos resultados obtidos, entre os tanques estudados. A ACP demonstrou separação entre os três tanques estudados (JG, MU e SA) principalmente para o tanque de Mucujó (JG) com o agrupamento dos metais traço, indicando comportamento semelhante entre eles, exceto Ca e Mg. As concentrações de Cd e Co mantiveram-se abaixo do limite de quantificação do método adotado. O tanque Mucujó, em Jaguaripe, apresentou maiores concentrações de metais traço. Os valores encontrados de metais traço no sedimento foram comparados com os limites de qualidade do sedimento disposto na Resolução Conama nº 454, de 01/11/2012, e com o TEL e PEL do NOAA (1999) para sedimentos marinhos. Os metais traço encontrados no sedimento superficial de fundo dos tanques de carcinicultura apresentaram valores abaixo dos valores do limiar da menor probabilidade de efeitos adversos à biota de acordo com a legislação citada.

Descritores: Sedimento, toxicidade, metais traço, captação de água

### **4.1 INTRODUÇÃO**

O estudo dos metais traço e elementos maiores geralmente abrange a ideia de contaminação e toxicidade, porém muitos desses elementos são necessários à vida, pois os metais traço podem ser encontrados em concentrações naturalmente variáveis no ambiente devido ao processo de intemperismo das rochas e formação de solos, bem como com concentrações alteradas, pelas atividades antrópicas, decorrentes do acelerado



desenvolvimento industrial, contemplando também as atividades agrícolas, urbanização e outros, inclusive a carcinicultura (SAMPAIO, 2003; RAMOS, 2012; RODRIGUES, 2012; LOUREIRO et al., 2012). Os metais traço, como o Cu, Zn, Mg e o Ca, são adicionados a tanques de carcinicultura através da utilização de fertilizantes e calcário, aplicação de antibióticos para redução de doenças de camarões, além do uso de rações para alimentação. A ração administrada na alimentação dos camarões nos tanques de carcinicultura possui uma composição química rica em diversos elementos, como: cálcio, fósforo, magnésio, manganês, cobre, zinco, iodo, selênio, ácido fólico, pantotenato de cálcio e vitaminas que podem favorecer no enriquecimento desses elementos no sedimento de fundo de tanque (BARROS, 2006; OLIVEIRA, 2006; ANJOS, 2009; LÚCIO, 2009; CUNHA, 2010).

No ambiente aquático e em um tanque de carcinicultura, esses metais podem ocorrer das seguintes maneiras: ligados ao material em suspensão, dissolvidos na coluna d'água e na água intersticial dos sedimentos ou ligados ao sedimento de fundo. Os metais traço, quando presentes no sedimento, podem ser encontrados sob diferentes formas químicas, também chamadas espécies químicas, em virtude das condições ambientais do próprio sedimento e também da coluna d'água. Dentre essas espécies químicas destacam-se as cinco fases geoquímicas como: fase trocável, oxidável, carbonática, redutível e residual (LOUREIRO, 2012; OLIVEIRA, 2012). Devido às associações estabelecidas entre os metais e as diferentes fases geoquímicas do sedimento, a carga total recebida desses contaminantes não fica totalmente imobilizada e nem permanece totalmente disponível para incorporação biológica, ou seja, a disponibilidade dos metais nos sedimentos é mediada pela intensidade da interação ligante/suporte e pelas mudanças sofridas nas características naturais do ambiente (TORRES, 2009). Por isso são realizadas extrações parciais de metais traço para avaliação de sua disponibilidade, e não extrações totais.

Alguns estudos encontrados no Nordeste com enfoque em metais traço em sedimentos de tanques de carcinicultura mostraram seu incremento nos sedimentos em fundos de tanques. Santos (2005) observou as concentrações de Cu e Zn nos sedimentos dos viveiros durante um ciclo de engorda e constatou o acúmulo desses metais. Este resultado sugere que o sistema de cultivo intensivo do *Litopenaeus vannamei* pode funcionar como um acumulador de metais provenientes de alimentação, insumos e exúvias ao longo do tempo, de forma similar aos sistemas lênticos costeiros, como lagos e manguezais.

No Ceará, estudo sobre a distribuição dos metais cobre (Cu) e chumbo (Pb) nos compartimentos ambientais: sedimento, material particulado em suspensão e biota receptores de efluentes de carcinicultura no canal do Cumbe, mostraram que os resultados da

percentagem da biodisponibilidade para a concentração do Cu foram elevados (TORRES, 2009).

Os sedimentos são considerados como compartimento de acumulação de contaminantes no ambiente estuarino e por isso tem sido utilizados na avaliação do nível de contaminação dos ecossistemas aquáticos, pois a determinação de metais traços em sedimentos permite historiar e prognosticar o grau de contaminação ao qual água, sedimento, organismos aquáticos e bentônicos estão potencialmente sujeitos (TORRES, 2009; OLIVEIRA, 2012).

Não existem critérios estabelecidos na legislação brasileira para avaliar a qualidade dos sedimentos estuarinos, porém em alguns estudos são utilizados critérios para avaliar essa qualidade (NASCIMENTO et al., 2008; HORTELLANI et al., 2008; ISHIKAWA et al., 2009; LÚCIO, 2009; RODRIGUES, 2012; DOURADO, 2013).

Em um estudo realizado para quantificar as concentrações de Cu, Pb e Zn em sedimentos superficiais do Rio Corrente dos Matões, PI e sua distribuição geoquímica, observou-se que os metais traço estudados (Cu, Pb e Zn), apresentaram valores inferiores aos limites previstos na resolução CONAMA 344/10, revogada pela resolução CONAMA 454/12 que dispõe sobre as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional. As concentrações obtidas são típicas de ambientes pouco impactados e não contaminados, exceto para um ponto que apresentou diferença em relação ao valor médio, o que pode estar relacionado com proximidade das áreas de cultivo de camarões (RODRIGUES, 2012).

Caldas e Sanches (2013) estudaram concentrações de metais pesados (Cu, Pb e Zn) no sedimento na região do Pontal da Barra, RS, visando a caracterização das condições ambientais frente a estes contaminantes, e ao comparar os resultados obtidos com os valores definidos pelo Guia de Qualidade de Sedimentos para Proteção da Vida Aquática do Canadá (CCME EPC-98E, 1999), observaram que os valores obtidos estão abaixo do TEL (*Threshold Effect Level*), indicando baixa contaminação, ou seja, raramente ocorrerão efeitos biológicos danosos em função destes xenobióticos.

Em virtude dos metais traço serem encontrados na composição química da ração dos camarões, bem como na água marinha, e sua possível concentração em sedimentos de fundo de tanques de carcinicultura, este trabalho tem como objetivo avaliar as concentrações de metais traço (Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, V e Zn) e elementos maiores (Al, Ca, Fe, Mg) no sedimento superficial de fundo de tanques de carcinicultura em três fazendas localizadas nos distritos de Mucujó e Mutá, município de Jaguaripe, e Madeiro, em Salinas da Margarida,

localizados nos entornos da Baía de Todos os Santos (BTS), região onde inexistem estudos específicos sobre sedimentos em tanques de cultivo de camarões. Os valores obtidos serão comparados com os dados de referência da Resolução nº 454 do CONAMA (BRASIL, 2012) e com o TEL (*Threshold effect level*) e o PEL (*Probable Effect Level*) do *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA, 1999) para sedimento marinho.

#### 4.2 MATERIAIS E MÉTODOS

A Baía de Todos os Santos (BTS) não é exceção, com centros urbanos e diversas atividades humanas em suas margens. Em virtude, os sedimentos em vários locais da Baía possuem altas concentrações de diferentes poluentes, como os metais traço (HATJE; ANDRADE, 2009). Esta pesquisa foi realizada no entorno da BTS nos municípios de Jaguaripe e Salinas da Margarida, distribuída em três tanques de carcinicultura, Mucujó (JG) e Mutá (MU) em Jaguaripe e Madeiro (SA) em Salinas da Margarida, áreas propícias à atividade de carcinicultura. Foram realizadas três campanhas de coleta de amostras de sedimento (0-10 cm), duas em agosto (2013 e 2014) e outra em fevereiro de 2014, englobando diferentes períodos anuais. Na 1ª campanha todos os dados foram georreferenciados com a utilização do GPS (*Global Positioning System*, coordenadas UTM, datum WGS 84). Nas 2ª e 3ª campanhas, as coletas foram realizadas nos mesmos pontos ou próximos dos pontos coletados anteriormente.

Foram padronizadas as coletas dos sedimentos (0-10 cm) dentro de cada tanque. Os pontos de coleta para os tanques de JG e SA, foram escolhidos seguindo recomendações de Queiroz et al., (2004), ou seja, foram distribuídos ao longo de transectos transversais aos tanques, sendo coletados três pontos por transecto. Para o tanque MU, a amostragem ocorreu em zigue-zague devido à forma do tanque, alongada e estreita. Foram coletados 35 amostras de sedimento superficial (0-10 cm) em cada campanha, totalizando 105 amostras de sedimento superficial de fundo.

As coletas de sedimentos foram realizadas através de potes de PVC, mergulhados até o fundo do tanque, totalmente fechados sob a água e abertos somente próximo do sedimento que foi coletado por arraste do pote no sedimento superficial (0-10 cm) evitando antes da coleta a ressuspensão do sedimento. Após coleta, os potes foram acondicionados em caixas tipo Cooler, transportados para serem congelados no mesmo dia e levados para o Laboratório de Estudos de Manguezais – LEM/IGEO/UFBA para posterior análise. Todo o material

utilizado para coleta e procedimentos analíticos foi descontaminado com ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) 15% por 24 horas, em seguida enxaguado com água destilada e ultrapura (Milli-Q).

As amostras de sedimento, após serem liofilizadas (liofilizador L101-LIOTOP), passaram pelo processo de maceração, homogeneização e peneiramento para obtenção da fração menor que 2 mm. Em seguida as amostras foram acondicionadas em frascos plásticos, fechados e armazenadas em ambiente climatizado para análises posteriores.

Foi realizada a solubilização parcial de metais traço e elementos maiores dos sedimentos utilizando 1,0 g da amostra seca diretamente em camisas de teflon, adicionando 10 mL de  $\text{HNO}_3$  (1:1) a 65%, sendo agitado e pré-digerido o sedimento, por cerca de 10 minutos. Em seguida foram adicionados mais 10 mL de água ultra pura (Milli-Q), e depois digerido no microondas (Provecto, modelo DGT 100 Plus). A solubilização parcial em forno microondas seguiu a metodologia D 5258-92 - ASTM (1992) adaptada ao manual do equipamento nº 24 (Manual de Microondas Provecto DGT 100 plus). A determinação dos metais traço e elementos maiores foi realizada por espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES, modelo Agilent Technologies 700 series). No quadro 4.1 mostra a programação utilizada na decomposição das amostras digeridas pelo microondas.

**Quadro 4.1** - Programação do forno de microondas para solubilização parcial dos metais traço e elementos maiores nos sedimentos

| <b>Etapas</b>    | <b>1<sup>a</sup></b> | <b>2<sup>a</sup></b> | <b>3<sup>a</sup></b> | <b>4<sup>a</sup></b> |
|------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Tempo (minutos)  | 5                    | 1                    | 5                    | 5                    |
| Potência (Watts) | 200                  | 790                  | 320                  | 0                    |

Na Tabela 4.2 são apresentados os valores dos comprimentos de onda ( $\lambda$ ) os limites de detecção e quantificação dos analitos determinados nas soluções provenientes da solubilização com aquecimento em microondas. As condições de operação do ICP-OES com configuração axial constam no Quadro 4.2.

O controle de qualidade das análises de sedimento foi realizado com triplicatas (10% do total das amostras), além do branco. Além disso, as análises foram validadas com análises de padrões nacionais de sedimentos marinhos (CRM STSD-4) (Tabela 4.3).

**Tabela 4.2** - Comprimento de onda ( $\lambda$ ) dos elementos utilizados para a determinação dos metais traço e elementos maiores em sedimentos de superficial de fundo dos tanques de carcinicultura, por meio dos métodos de solubilização parcial, e respectivos limites de detecção (L.O.D.) e de quantificação (L.Q.M)

| Elemento | $\lambda$ (nm) | LOD (mg kg <sup>-1</sup> ) | LQM (mg kg <sup>-1</sup> ) |
|----------|----------------|----------------------------|----------------------------|
| Al       | 308,15         | 2,45                       | 7,35                       |
| Ba       | 455,403        | 0,18                       | 0,55                       |
| Ca       | 317,933        | 1,99                       | 5,96                       |
| Cd       | 226,502        | 0,17                       | 0,50                       |
| Co       | 238,892        | 0,07                       | 0,21                       |
| Cr       | 267,716        | 0,04                       | 0,11                       |
| Cu       | 327,395        | 0,25                       | 0,75                       |
| Fe       | 234,350        | 0,44                       | 1,33                       |
| K        | 769,897        | 0,35                       | 1,05                       |
| Mg       | 285,213        | 0,63                       | 1,90                       |
| Mn       | 257,61         | 0,17                       | 0,50                       |
| Ni       | 216,55         | 0,15                       | 0,46                       |
| Pb       | 220,53         | 0,25                       | 0,76                       |
| V        | 311,837        | 0,07                       | 0,22                       |
| Zn       | 213,857        | 0,15                       | 0,46                       |

**Quadro 4.2** - Condições de operação do ICP-OES com configuração axial

| Parâmetros             | Especificações  |
|------------------------|---|
| Potência               | 1,10 kW   |
| Vazão do plasma        | 15 L/min  |
| Vazão do gás auxiliar  | 1,5 L/min   |
| Vazão do nebulizador   | 0,75 L/min  |
| Pressão do nebulizador | 200 Kpa   |
| Sistema de nebulização | Nebulizador V-Groove com câmara de nebulização Sturman-Master |

**Tabela 4.3** - Resultados da análise do CRM STSD-4 através do método proposto

| ANALITO                   | VALOR OBTIDO | VALOR CERTIFICADO | % RECUPERAÇÃO |
|---------------------------|--------------|-------------------|---------------|
| Cd (mg kg <sup>-1</sup> ) | 0,5 ± 0,1    | 0,6               | 0,83          |
| Cu (mg kg <sup>-1</sup> ) | 68,0 ± 2,8   | 66                | 1,03          |
| Fe (%)                    | 2,8 ± 0,9    | 2,6               | 1,08          |
| Ni (mg kg <sup>-1</sup> ) | 26,0 ± 0,8   | 23                | 1,13          |
| Pb (mg kg <sup>-1</sup> ) | 16,0 ± 1,0   | 13                | 1,23          |
| V (mg kg <sup>-1</sup> )  | 56,4 ± 1,0   | 51                | 1,09          |

Além da estatística descritiva, teste de normalidade como o Shapiro-Wilk e teste de diferenciação de médias o Mann-Whitney foi aplicada a análise de componentes principais (ACP), com o intuito de observar o comportamento geral dos dados e verificar quais variáveis contribuem para separação e grupos de variáveis com comportamento semelhante. A análise de componentes principais (ACP) é uma ferramenta útil no tratamento de dados ambientais

pois possibilita a realização de uma análise exploratória de dados multivariados e também ao volume de informação coletada, além de observar o comportamento geral dos dados, assim como verificar que variáveis contribuem mais para separação e grupos de variáveis com comportamento semelhante (LÚCIO, 2009). No tratamento estatístico dos dados e geração dos gráficos foi utilizado o programa Statistica® 7.0 e/ou Bioestat 5.0.

#### 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na tabela 4.4 são apresentadas medidas descritivas dos metais traço (Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, V e Zn) e elementos maiores (Al, Ca, Fe, Mg) dos sedimentos de fundo nos tanques analisados (Mucujó-JG, Mutá-MU e Madeiro-SA). São apresentados os dados de medianas devido aos altos valores de coeficientes de variação para os diversas variáveis analisadas: de 42,8% a 72,3% para JG; 65,9% a 171% para MU; 70,8% a 145,2% para SA. A não-normalidade dos dados foi confirmada por teste de normalidade de Shapiro-Wilk.

Verificou-se a diferença entre os três tanques estudados, através da aplicação do teste de diferenciação de médias, o teste de Mann-Whitney (Tabelas 4.4 e 4.5) principalmente o tanque de JG com valores de medianas mais elevados, com exceção do Ca e Mg para o tanque de Mutá, apresentando os valores do coeficiente de variação superiores a 50%, demonstrando elevada variabilidade entre os dados de metais traço e elementos maiores determinados. Podemos observar que o tanque de JG apresenta mais quantidades de metais traços e elementos maiores quando comparados com os demais tanques MU e SA, essa resposta pode está relacionada com a captação de água desses tanques, pois o tanque de JG a captação ocorre diretamente do rio Jaguaripe, enquanto os tanques de MU e SA a captação é diretamente da BTS. Com isso, a quantidade de metais traço e elementos maiores no tanque de JG é pontual, enquanto MU e SA em virtude dessa captação ocorrer em diferentes fontes da BTS sua capacidade de diluição é muito maior referente ao tanque de Mucujó (JG).

O teste de Mann-Whitney  $p < 0,0001$  (Tabela 4.6) aplicado comprovou que não houve diferenças significativas dos metais traço e elementos maiores entre os dois períodos de coletas (ago e fev), nos diferentes períodos anuais, porém existem diferenças entre os tanques estudados. Assim, optou-se por tratar os dados em conjunto, ou seja, sem diferenciação dos períodos de coleta, porém diferenciando por tanques estudados.

**Tabela 4.4** – Medidas descritivas dos metais traço e elementos maiores nos sedimentos nos três tanques estudados, nas fazendas de Mucujó, Mutá e Madeiro. Valores de medianas, diferem significativamente ao nível de 99% de confiança segundo o teste de Mann-Whitney

| Análito | Tanque Mucujó-JG n= 33 |              |       | Tanque Mutá-MU n= 27 |                 |        | Tanque Madeiro-SA n= 45 |               |       |
|---------|------------------------|--------------|-------|----------------------|-----------------|--------|-------------------------|---------------|-------|
|         | Mediana                | Min-Máx      | C,V%  | Mediana              | Min-Máx         | C,V%   | Mediana                 | Min-Máx       | C,V%  |
| Al**    | 744,2                  | 215,3-1817,5 | 47,63 | 197,2                | 51,5-1281,8     | 93,79  | 255,4                   | 138,9-2076,4  | 92,04 |
| Ba*     | 4,85                   | 1,25-11,45   | 57,66 | 1,09                 | 0,27-4,26       | 78,09  | 2,34                    | 0,46-10,18    | 76,36 |
| Ca*     | 1582,9                 | 475,1-4209,2 | 55,78 | 7641,8               | 1070,2-19099,05 | 70,95  | 5881,96                 | 858,6-43613,2 | 99,78 |
| Cr*     | 1,27                   | 0,05-3,58    | 60,81 | 0,12                 | 0,05-3,41       | 170,98 | 0,84                    | 0,05-10,12    | 125,1 |
| Cu*     | 2,21                   | 0,37-5,85    | 48,68 | 0,95                 | 0,37-10,36      | 136,32 | 1,05                    | 0,37-9,93     | 116,6 |
| Fe**    | 2165,36                | 884,3-5762,4 | 45,96 | 253,6                | 0,66-2090,5     | 111,30 | 735,17                  | 326,5-8466,7  | 113,7 |
| Mg*     | 1695,87                | 533,9-5078,1 | 52,88 | 2556,5               | 829,5-8523,1    | 65,92  | 1212,1                  | 414,1-6518,9  | 70,77 |
| Mn*     | 10,31                  | 3,56-25,56   | 42,79 | 2,63                 | 0,25-9,14       | 84,12  | 2,39                    | 0,53-15,77    | 83,49 |
| Ni*     | 0,57                   | 0,23-2,15    | 72,28 | 0,23                 | 0,23-1,16       | 69,97  | 0,23                    | 0,23-4,13     | 145,2 |
| Pb*     | 1,83                   | 0,38-5,02    | 49,19 | 0,38                 | 0,38-3,99       | 104,14 | 1,32                    | 0,38-8,95     | 84,23 |
| V*      | 2,16                   | 0,86-6,33    | 47,62 | 0,43                 | 0,11-3,25       | 106,42 | 1,37                    | 0,55-12,1     | 95,57 |
| Zn*     | 7,5                    | 1,36-21,42   | 52,14 | 4,77                 | 0,23-41,95      | 123,50 | 4,72                    | 0,23-28,54    | 89,30 |

n = número de amostras; Valores em \*\* % e \* mg kg<sup>-1</sup>

**Tabela 4.5** – Comparação entre os tanques de estudo (JG, MU e SA), para os metais traço e elementos maiores conforme o teste de Mann-Whitney

| TANQUES                    | p-bilateral |
|----------------------------|-------------|
| Mucujó (JG) x Madeiro (SA) | 0,0002      |
| Mucujó (JG) x Mutá (MU)    | < 0,0001*   |
| Madeiro (SA) x Mutá (MU)   | 0,0039      |

\* Valor de p<0,0001 considera diferença estatística extremamente significante.

**Tabela 4.6** - Teste de Mann-Whitney dos metais traço e elementos maiores dos sedimentos nos períodos de coleta (agosto e fevereiro) demonstrando os diferentes períodos anuais

| Variável | Agosto          |                 | Fevereiro       |                  | p-bilateral |
|----------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|-------------|
|          | Mediana ± D.P   | Min-Máx         | Mediana±D.P     | Min-Máx          |             |
| Al**     | 447.37±423.35   | 51.53-1817.57   | 262.99±441.58   | 59.15-2076.36    | 0.0449      |
| Ba*      | 2.78±2.99       | 0.27-11.45      | 1.9±2.74        | 0.27-10.97       | 0.5362      |
| Ca*      | 3621.65±8415.06 | 475.11-43613.21 | 4117.94±5213.61 | 1081.61-19540.02 | 0.6007      |
| Cd*      | 0.25±0          | 0.25-0.25       | 0.25±0          | 0.25-0.25        | 1           |
| Co*      | 0.10±0.09       | 0.10-0.47       | 0.10±0          | 0.10-0.10        | 0.4050      |
| Cr*      | 0.98±1.04       | 0.05-4.63       | 0.59±1.83       | 0.05-10.12       | 0.0073      |
| Cu*      | 1.57±1.48       | 0.37-7.36       | 1.05±2.40       | 0.37-10.36       | 0.0289      |
| Fe**     | 1105.51±1137.60 | 0.66-5762.36    | 884.33±1653.33  | 67.6-8466.73     | 0.5317      |
| Mg*      | 1442.04±1536.01 | 414.14-8177.85  | 1779.52±1707.87 | 757.41-8523.17   | 0.0685      |
| Mn*      | 3.85±5.29       | 0.25-22.9       | 3.56±5.45       | 0.74-25.56       | 0.8014      |
| Ni*      | 0.23±0.47       | 0.23-2.15       | 0.23±0.75       | 0.23-4.13        | 0.3260      |
| Pb*      | 1.49±1.07       | 0.38-5.02       | 1.00±1.70       | 0.38-8.95        | 0.0836      |
| V*       | 1.63±1.41       | 0.11-6.56       | 1.39±2.08       | 0.11-12.1        | 0.2635      |
| Zn*      | 6.41±5.34       | 0.23-29.6       | 4.59±8.46       | 0.23-41.95       | 0.0755      |

n = número de amostras; Valores em \*\* (%) e \*(mg kg<sup>-1</sup>)

Os valores de Cd (0,25) e Co (0,10) apresentaram abaixo do limite de quantificação do método, com exceção de oito amostras do Co, sendo sete amostras distribuídas em JG (0,42; 0,21; 0,45; 0,47; 0,22; 0,34; 0,41) e uma amostra em SA (0,32) entre 105 amostras totais. Essa resposta dos metais traço, pode estar relacionada à fontes associadas, a origem litogênica e naturais. Em virtude disso, os metais traço Cd e Co não foram utilizados nas análises estatísticas.

A quantidade de Ca pode ser justificada pela calagem que é eventualmente realizada nos tanques de carcinicultura após as despescas, através da introdução do calcário no sedimento de fundo dos tanques para neutralizar o pH que tende a baixar devido ao acúmulo de matéria orgânica oriundo de ração, fezes e exúvia dos camarões. A aplicação de calcário e o uso de fertilizantes contendo nitrogênio inorgânico aumenta a degradação da matéria orgânica nos sedimentos entre os períodos de cultivo (QUEIROZ, 2012). O estudo de Lúcio (2009) mostra bem essa quantidade de cálcio nos tanques de carcinicultura (no viveiro), onde o Ca apresentou  $85000 \text{ mg kg}^{-1}$  atingindo concentrações muito superiores àquelas medidas nos pontos a montante ( $10000 \text{ mg kg}^{-1}$ ) e a jusante ( $5000 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Demonstrando a ação da calagem que é realizada nos viveiros após as despescas. E para acompanhar melhor as variações nos pontos a montante e a jusante, Lúcio (2009) traçou um novo gráfico onde ficou mais notório que as concentrações de Ca medidas no ponto a jusante resultaram sempre em valores menores que os do ponto a montante, mostrando que não há evidência de que as medidas tomadas para correção de pH no viveiro, estejam causando alteração dessa variável no sedimento do rio a jusante.

No momento da aplicação da ACP os valores brutos foram transformados em logaritmo de base 10 com o objetivo de normalização dos dados, com exceção do pH e Eh (dados normais). Na Tabela 4.7 são apresentados os resultados da análise fatorial utilizada para o conjunto de dados com objetivo de agrupar as variáveis correlacionadas na ACP.

Os dois primeiros fatores da ACP são suficientes para explicar a distribuição das amostras de acordo com as variações dos metais traço e elementos maiores nos sedimentos superficiais de fundo dos tanques de carcinicultura. Os dois fatores explicam 81,13% da variação total. O fator 1 está relacionado negativamente com Al, Ba, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, V e Zn. Já no fator 2, o Ca e o Mg tiveram maior peso na distribuição dos dados, Os resultados encontrados demonstram que os metais traço e elementos maiores acumulam-se juntos nos tanques, com exceção para o Ca e Mg. Essa distribuição semelhante dos metais traço, indica que eles podem ser oriundos da mesma fonte e/ou possuem comportamento geoquímico semelhante.



**Tabela 4.7** - Valores de carga fatorial e variância explicada para a análise multivariada dos metais traço e elementos maiores

| Analito                   | Fator 1   | Fator 2   |
|---------------------------|-----------|-----------|
| Al (%)                    | -0,941273 | 0,167962  |
| Ba (mg kg <sup>-1</sup> ) | -0,849904 | 0,124465  |
| Ca (mg kg <sup>-1</sup> ) | -0,113225 | -0,870896 |
| Cr (mg kg <sup>-1</sup> ) | -0,871982 | 0,000545  |
| Cu (mg kg <sup>-1</sup> ) | -0,922257 | -0,178839 |
| Fe (%)                    | -0,848191 | 0,260636  |
| Mg (mg kg <sup>-1</sup> ) | -0,498094 | -0,722068 |
| Mn (mg kg <sup>-1</sup> ) | -0,912605 | 0,117363  |
| Ni (mg kg <sup>-1</sup> ) | -0,845213 | 0,077903  |
| Pb (mg kg <sup>-1</sup> ) | -0,881534 | 0,157525  |
| V (mg kg <sup>-1</sup> )  | -0,921989 | 0,143644  |
| Zn(mg kg <sup>-1</sup> )  | -0,864525 | -0,354504 |
| Variância Explicada (%)   | 67,67824  | 13,45353  |
| Var,Exp,Acumulada (%)     | 67,6782   | 81,1318   |

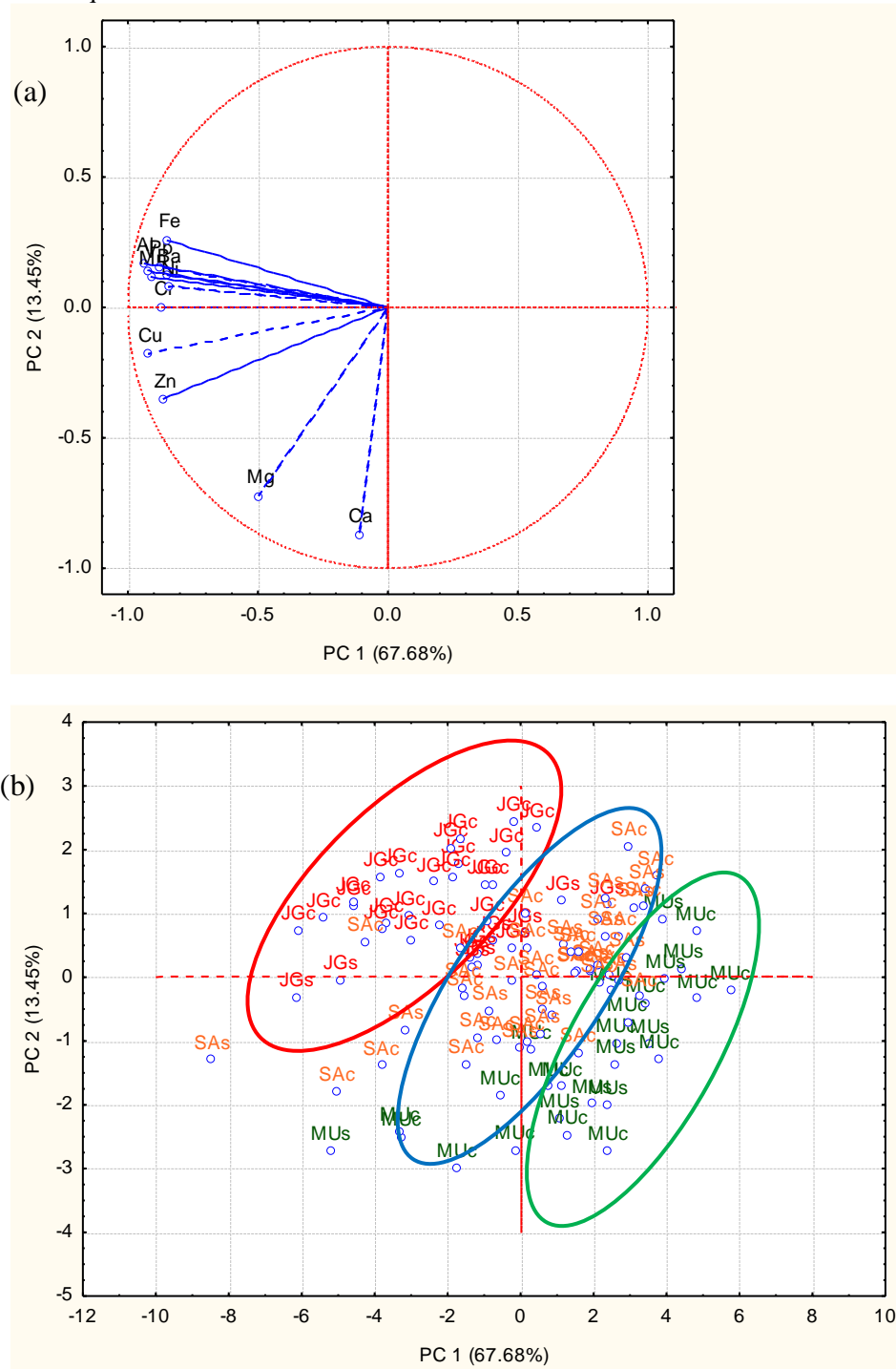
Na Figura 4.1 são apresentadas a distribuição espacial e o gráfico de valores de escores nos eixo da Principal componente PC 1 *versus* a PC 2 dos metais traço e elementos maiores. Os gráficos de pesos e de escores demonstraram que os tanques MU e SA estão situados no lado direito do diagrama de ordenação, no eixo de valores positivos, enquanto o tanque de JG encontra no lado esquerdo do diagrama, no eixo negativo. Os gráficos mostraram a separação e a diferença entre a concentração de metais traço e elementos maiores nos tanques, demonstrando o maior acúmulo dos metais e elementos maiores (Al, Ba, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, V e Zn) no tanque de JG, quando comparado com os tanques de MU e SA exceto para Ca e Mg, que mostraram acumulados nos tanques de MU e SA.

Esta resposta pode ser virtude das práticas de manejo como o uso da ração, antibióticos, fertilizantes e corretivos, além da captação de água diferenciada nos tanques estudados, acarretando no maior acúmulo dos metais traço e elementos maiores nos tanques de carcinicultura. Outro fato que pode estar relacionado é a captação de água, pois no tanque de JG a água é captada do rio Jaguaripe, enquanto os tanques de MU e SA a captação ocorre diretamente da BTS, demonstrando que o tanque de JG possui uma menor influência marinha.

Foram adotados neste trabalho, para avaliação dos resultados obtidos dos níveis de concentração de metais traço nos sedimentos superficiais de fundo de tanques de carcinicultura, os limites de concentração de metais traço em sedimentos de dragagem utilizado pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) descritos na Resolução nº 454, de 01/11/2012 (BRASIL, 2012) que estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional. Foram utilizados também outros critérios de qualidade de sedimentos para comparar os resultados estudados, o TEL (*Threshold effect level*) e o PEL (*Probable effect level*) do

*National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), sendo mais utilizados para os sedimentos marinhos. O TEL representa a concentração abaixo da qual a ocorrência de efeitos adversos à biota é esperada que ocorra apenas raramente, enquanto o PEL representa a concentração acima da qual os efeitos adversos são frequentemente esperados (NOAA, 1999).

**Figura 4.1** – Gráficos de pesos e valores de escores (a e b) dos metais traço e elementos maiores do sedimento nos tanques de carcinicultura.



**Tabela 4.8** – Valores dos níveis de classificação do material a ser dragado instituído pelo CONAMA na Resolução n° 454 (BRASIL, 2012), TEL e PEL em  $\mu\text{g g}^{-1}$ , para metais traço em sedimentos marinhos (NOAA, 1999) e valores presente nos tanques (Tq JG, Tq MU e Tq SA) em estudo

| Metais | CONAMA<br>Água salina/salobra<br>( $\text{mg kg}^{-1}$ ) |           | TEL*  | PEL** | Tq JG | Tq MU | Tq SA |
|--------|--|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|
|        | Nível 1*   | Nível 2** |       |       |       |       |       |
| Ba     | -  | -         | 130,1 | -     | 5,47  | 1,35  | 3,25  |
| Cr     | 81   | 370       | 52,3  | 160   | 1,55  | 0,50  | 1,34  |
| Cu     | 34   | 270       | 18,7  | 108   | 2,51  | 1,77  | 1,46  |
| Ni     | 20,9   | 51,6      | 15,9  | 42,8  | 0,77  | 0,30  | 0,46  |
| Pb     | 46,7   | 218       | 30,2  | 112   | 2,22  | 0,81  | 1,71  |
| Zn     | 150  | 410       | 124   | 271   | 8,64  | 7,88  | 5,65  |

\* Nível 1- limiar abaixo do qual há menor probabilidade de efeitos adversos à biota;

\*\* Nível 2 - limiar acima do qual há maior probabilidade de efeitos adversos à biota;

\*TEL concentração abaixo da qual a ocorrência de efeitos adversos à biota e esperada que ocorra apenas raramente

\*\*PEL concentração acima da qual os efeitos adversos são frequentemente esperados

Na Tabela 4.8 verifica-se que, nos tanques estudados, os valores de Ba, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn estão abaixo dos valores do limiar da menor probabilidade dos efeitos adversos à biota e do TEL (*Threshold effect level*). A comparação dos resultados obtidos nesta pesquisa, com a Resolução n° 454 do CONAMA, (BRASIL, 2012) assim como, o TEL e o PEL do NOAA (NOAA, 1999), mostraram que os metais estão abaixo dos valores da menor probabilidade dos efeitos adversos à biota. Isso indica, que o sedimento de fundo dos tanques estudados (JG, MU e SA) apresentou-se em bom estado de conservação acarretando que não causa provável ameaça à biota deste ambiente. Por outro lado, a atividade de carcinicultura na BTS, e as práticas de cultivo acarretam o acúmulo dos metais traço nos sedimentos superficiais de fundo dos tanques de produção, porém não em quantidades que representem efeitos adversos à biota.

#### 4.4 CONCLUSÕES

Os diversos testes estatísticos para análises dos metais traços (Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, V e Zn) e elementos maiores (Al, Ca, Fe, Mg) realizados neste trabalho, demonstraram que não houve diferenças significativas ao longo do ano (em diferentes períodos de coleta), mas existem diferenças entre os três tanques estudados nos municípios de Jaguaripe e Salinas da Margarida. Inclusive os valores dos metais traço Cd e Co permaneceram abaixo do limite de quantificação do método, justificando que sua origem pode ser litogênica ou natural.

Observou-se que o tanque JG apresentou maiores quantidades de metais traço nos sedimentos. Nota-se que, além de possíveis diferenças de manejo da produção, para esse tanque é captada água do rio Jaguaripe, mostrando pouca influência marinha nesta área,

enquanto que os outros dois tanques estudados (MU e SA) captam água diretamente da BTS, devendo ser realizados estudos sobre a proveniência dos metais traço encontrados nos tanques.

Alguns autores descrevem a ocorrência de Cu, Mg e Zn em sedimentos de fundo dos tanques de carcinicultura, porém outros metais traço merecem atenção nesses estudos. A análise estatística demonstrou que os metais traço Al, Ba, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, V e Zn apresentam distribuição semelhante, o que não ocorre com o Ca e o Mg.

Vale ressaltar que apesar de haver o acúmulo dos metais traço no sedimento, não há limites legais específicos para avaliação da qualidade desses sedimentos. Portanto comparando-se com os limites estabelecidos para sedimentos de dragagem, exposto na Resolução nº 454 do CONAMA (BRASIL, 2012) e o TEL e PEL (NOAA, 1999) os valores médios obtidos para Ba, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn nos tanques de carcinicultura permanecem abaixo dos valores de efeitos adversos à biota.

Por fim, visto que as concentrações de metais nos sedimentos apresentaram abaixo do efeito adversos à biota, pode-se inferir que apesar da atividade da carcinicultura contribuir neste acúmulo dos metais traço no sedimento, os tanques estudados apresentam um sedimento em bom estado de conservação para à biota.

## 5 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS, METAIS TRAÇO E ELEMENTOS MAIORES DOS SEDIMENTOS SUPERFICIAIS DE FUNDO DE TANQUES DE CARCINICULTURA, NA BAÍA DE TODOS OS SANTOS, BAHIA

### RESUMO

O objetivo deste trabalho é avaliar possíveis relações entre parâmetros físico-químicos, metais traço (Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, V e Zn) e elementos maiores (Al, Ca, Fe, Mg) encontrados em sedimentos superficiais de fundo de tanques de carcinicultura na Baía de Todos os Santos, Bahia. Os sedimentos são considerados reservatórios de matéria orgânica, nutrientes, metais traço e elementos maiores no ambiente estuarino por apresentarem capacidade de acumulação. A avaliação de parâmetros físico-químicos, metais traço e elementos maiores são de fundamental importância em tanques de carcinicultura, pois o acúmulo de matéria orgânica, nutrientes, metais e elementos maiores no sedimento de fundo pode ocasionar alterações, físico-químicas, provocando uma modificação na dinâmica entre elementos, água e sedimento. A presença de metais traço no sedimento é dependente de diversos fatores ambientais, como pH, Eh, condutividade, teor de matéria orgânica, salinidade, força iônica e granulometria. O comportamento de alguns parâmetros físico-químico, assim como o uso de ração, de antibióticos e de fertilizantes, são importantes fatores que favorecem a presença dos metais traço e elementos maiores no sedimento de fundo de tanque de carcinicultura. Foram analisados parâmetros físico químicos (pH, Eh, condutividade, salinidade, profundidade da lâmina d'água sobre o sedimento), matéria orgânica (M.O.), nutrientes (N, P, K), granulometria, metais traço (Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, V e Zn) e elementos maiores (Al, Ca, Fe, Mg) nos sedimentos (0-10 cm) de fundo de tanque de carcinicultura nos municípios de Jaguaripe e Salinas da Margarida, em três campanhas de campo (ago/2013, ago/2014 e fev/2014) com o intuito de abarcar diferentes períodos anuais. As medidas descritivas dos parâmetros físico-químicos, nutrientes (N, P e K), matéria orgânica (M.O.), granulometria (areia, silte e argila), metais traço e elementos maiores dos tanques de coleta nas três fazendas estudadas (Mucujó-JG, Mutá-MU, Madeiro-SA), mostraram os valores de medianas, maiores para o tanque de Mucujó (JG) comparado com os outros dois tanques estudados, conforme o teste de Mann-whitney. O teste de normalidade apresentou distribuição não normal para os parâmetros determinados. Houve correlação da M.O e N com os metais traço e elementos maiores, e estes entre si, exceto Ca e Mg. A M.O, assim como as frações finas do sedimento (silte e argila), foram fatores determinantes no acúmulo dos metais traço e elementos maiores nos sedimentos superficiais de fundo. A ACP demonstrou um agrupamento entre os tanques MU e SA e separação no tanque de JG. Possíveis práticas de manejo de produção e/ou captação de água, assim como, a menor influência marinha são fatores que podem estar contribuindo para este comportamento.

Descritores: Sedimento, ração, metais traço, carcinicultura, estuário

### 5.1 INTRODUÇÃO

A ocorrência dos metais traço no sedimento depende de diversos fatores ambientais, como pH, Eh, condutividade, salinidade, força iônica, o tipo e concentração de ligantes

orgânicos e inorgânicos e da superfície disponível para adsorção causada pela variação da granulometria. A dinâmica dos metais traço no ambiente estuarino pode ser influenciada pelos seguintes processos: bioturbação, adsorção, desorção, difusão, mobilização e retenção, apresentando uma maior frequência de acumulação em sedimentos de granulometria fina assim como elevados teores de matéria orgânica (DAVIES et al., 2006; BONAI et al., 2009; FERREIRA, 2009; OLIVEIRA, 2012; LOUREIRO, 2012).

O pH do sedimento de fundo em tanques de carcinicultura é um parâmetro pouco monitorado nas fazendas de carcinicultura no Brasil, apesar de muito importante na aquicultura. Possui um efeito sobre o metabolismo e os processos fisiológicos de todos os organismos aquáticos, além de influenciar em muitos processos químicos, como na disponibilidade de nutrientes que estão diretamente relacionados com a produtividade primária, que por sua vez influencia toda a cadeia trófica da qual o camarão faz parte, e devido às suas interações com outras variáveis físico-químicas, podendo provocar mudanças físicas ou químicas no sedimento (ALVES; MELLO, 2007).

Em tanques de carcinicultura, o comportamento de alguns parâmetros físico-químicos e fatores ambientais são importantes fatores que favorecem a presença dos metais traço no sedimento de fundo. A ração utilizada na alimentação, assim como o uso de antibióticos e de fertilizantes e corretivos, é responsável pelo incremento desses metais no sedimento. A ação do vento no tanque corresponderia ao fator natural que mais influencia na circulação do interior dos viveiros, acarretando na ressuspensão de sedimentos de fundo; uma vez, ressuspensos, os sedimentos podem disponibilizar metais traço para coluna d'água (FREIRE, 2008; CUNHA, 2010).

Dentre os constituintes presentes na ração, destacam-se o P, o N e o K além de proteínas brutas e alguns metais, como Cu e Zn, que ao serem adicionados nos viveiros, podem acumular nos sedimentos de fundo. Em sistemas que usam alta densidade de camarões, o P extrapola os valores ideais e então ocorre uma eutrofização, com consequentes blooms de cianobactérias que comprometem a qualidade da água e do sedimento nos cultivos de camarão (OLIVEIRA, 2006; ALVES; MELLO, 2007; CUNHA, 2010).

A camada recente de sedimento (mais superficial) geralmente possui a maior concentração de matéria orgânica e é a que está em contato direto com a coluna d'água, correspondendo à parte do sedimento biologicamente mais ativa, pelo fato de possuir, maior densidade de organismos bentônicos e grande atividade microbiana. A capacidade do sedimento em acumular compostos faz deste compartimento um dos mais importantes na avaliação do nível de contaminação de ecossistemas aquáticos continentais, além de atuar

também como portador de poluentes. Os compostos indicadores de contaminação ambiental encontrados no sedimento podem ser orgânicos ou inorgânicos, como os metais pesados. O sedimento funciona também como um sumidouro dos metais traço, que poderão ser disponibilizados para o ambiente caso haja alterações nas condições físico-químicas do meio (SAMPAIO, 2003; JESUS et al., 2004; TORRES, 2009; MARQUES et al., 2011).

Em virtude dos sedimentos serem considerados compartimento importante para acumulação dos metais traço e a atividade de carcinicultura favorecer este acúmulo, esta pesquisa tem como objetivo avaliar possíveis relações entre parâmetros físico-químicos e concentração de metais traço (Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, V e Zn) e elementos maiores (Al, Ca, Fe, Mg) no sedimento superficial de fundo dos tanques de cultivo de camarões localizados no entorno da Baía de Todos os Santos, Bahia.

## 5.2 MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi conduzido nos municípios de Jaguaripe nas fazendas de Mucujó (JG) e Mutá (MU) e Salinas da Margarida na localidade de Madeiro (SA). Na região inexistem estudos específicos que caracterizam os sedimentos de fundo de tanques de carcinicultura.

Nesta pesquisa para realização do estudo nas três diferentes fazendas Mucujó (JG), Mutá (MU) e Madeiro (SA), foram realizadas três campanhas de campo para coleta de amostras de sedimento (0-10 cm), duas em agosto (2013 e 2014) e outra em fevereiro de 2014, identificando os diferentes períodos anuais, respectivamente. Foram coletados 11 pontos amostrais em Mucujó (JG) e 9 em Mutá (MU) município de Jaguaripe e 15 no tanque do Madeiro (SA) no município de Salinas da Margarida totalizando 105 amostras de sedimentos superficiais de fundo de tanque considerando as três coletas realizadas. Em todas as campanhas os dados foram georreferenciados com a utilização do GPS (*Global Positioning System*, coordenadas UTM, datum WGS 84), porém os dados da 1ª campanha serviram como base para coleta dos sedimentos na 2ª e 3ª campanhas, onde as coletas foram realizadas nos mesmos pontos ou próximos dos pontos coletados anteriormente. As coletas dos sedimentos (0-10 cm) foram padronizadas dentro de um tanque em cada fazenda de carcinicultura. Os pontos, para os tanques de Mucujó e Madeiro, foram escolhidos seguindo recomendações de Queiroz et al. (2004), ou seja, foram distribuídos ao longo de transectos transversais aos tanques, sendo coletados 3 pontos por transectos. Para o tanque de Mutá, a amostragem ocorreu em zigue-zague devido à forma do tanque, alongada e estreita.

Após a coleta, foram realizadas medição, diretamente nos sedimentos contidos nos potes, dos parâmetros físico-químicos (pH, Eh, condutividade) com a utilização da sonda portátil multiparâmetros (pH Meter D-54, Horiba). A salinidade foi mensurada com o refratômetro (Hand-Refractometer, Atago). Em seguida os potes foram acondicionados em caixas tipo Cooler, transportados para serem congelados no mesmo dia e levados para o Laboratório de Estudos de Manguezais – LEM/IGEO/UFBA para posterior análise. As amostras de sedimento, após serem liofilizadas (liofilizador L101-LIOTOP), passaram pelo processo de maceração, homogeneização e peneiramento para obtenção da fração menor que 2 mm. Em seguida as amostras foram acondicionadas em frascos plásticos, fechados e armazenadas em ambiente climatizado para análises posteriores.

As seguintes análises realizadas foram: N (nitrogênio) total através do método Kjeldahl, (recomendação EMBRAPA, 1997); P (fósforo) assimilável (segundo o método de ASPILLA, 1976 e GRASSHOFF et al., 1983); M.O (matéria orgânica) método proposto pela Embrapa (1997); para a granulometria, foi feito primeiro o pré tratamento da amostra segundo Embrapa (1997), e a análise foi realizada em analisador de partículas com difração à laser (Modelo Silas 1064) e tratamento dos dados no programa GRADSTAT, com granulometria determinado segundo FOLK et al., 1957.

Para análise do K (potássio) foi adotada a mesma metodologia para determinação dos metais traço (Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, V e Zn) e elementos maiores (Al, Ca, Fe, Mg), todo material utilizado foi descontaminado, com ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) 15% por 24 horas, em seguida enxaguado com água destilada e ultrapura (Milli-Q). O controle de qualidade das amostras de sedimento foi realizado com triplicatas (10% do total das amostras), além do branco. Além disso, as análises foram validadas com análises de padrões nacionais de sedimentos marinhos (CRM STSD-4).

Foi realizada a solubilização parcial de metais traço e elementos maiores dos sedimentos utilizando 1,0 g da amostra seca diretamente em camisas de teflon, adicionando 10 mL de  $\text{HNO}_3$  (1:1) a 65% na capela, sendo agitado e pré-digerido o sedimento, por cerca de 10 minutos. Em seguida foram adicionados mais 10 mL de água ultra pura (Milli-Q) e depois digerido no microondas (Provecto, modelo DGT 100 Plus). A solubilização parcial em forno microondas seguiu a metodologia D 5258-92 - ASTM (1992) adaptada ao manual do equipamento nº 24 (Manual de Microondas Provecto DGT 100 plus). A determinação dos metais traço e elementos maiores foi realizada por espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP OES, modelo Agilent Technologies 700 series



ICPOES). No quadro 5.1 mostra a programação utilizada na decomposição das amostras digeridas pelo microondas.

**Quadro 5.1** – Programação do forno de microondas para solubilização parcial dos metais traço e elementos maiores nos sedimentos

| Etapas           | 1 <sup>a</sup> | 2 <sup>a</sup> | 3 <sup>a</sup> | 4 <sup>a</sup> |
|------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Tempo (minutos)  | 5              | 1              | 5              | 5              |
| Potência (Watts) | 200            | 790            | 320            | 0              |

Na Tabela 5.1 constam os valores dos comprimentos de onda ( $\lambda$ ), os limites de detecção e de quantificação dos analitos certificados (CRM STSD-4). A Tabela 5.2 mostra os valores obtidos e certificado (CRM STSD-4) dos analitos estudados no sedimento. As condições de operação do ICP OES com configuração axial constam no Quadro 5.2.

**Tabela 5.1** - Comprimento de onda ( $\lambda$ ) dos elementos utilizados para a determinação dos metais traço e elementos maiores em sedimentos superficial de fundo dos tanques de carcinicultura, por meio dos métodos de solubilização parcial, e respectivos limites de detecção (L.O.D.) e de quantificação (L.Q.M)

| ELEMENTO | $\lambda$ (nm) | LOD (mg kg <sup>-1</sup> ) | LQM (mg kg <sup>-1</sup> ) |
|----------|----------------|----------------------------|----------------------------|
| Al       | 308,15         | 2,45                       | 7,35                       |
| Ba       | 455,403        | 0,18                       | 0,55                       |
| Ca       | 317,933        | 1,99                       | 5,96                       |
| Cd       | 226,502        | 0,17                       | 0,50                       |
| Co       | 238,892        | 0,07                       | 0,21                       |
| Cr       | 267,716        | 0,04                       | 0,11                       |
| Cu       | 327,395        | 0,25                       | 0,75                       |
| Fe       | 234,350        | 0,44                       | 1,33                       |
| K        | 769,897        | 0,35                       | 1,05                       |
| Mg       | 285,213        | 0,63                       | 1,90                       |
| Mn       | 257,61         | 0,17                       | 0,50                       |
| Ni       | 216,55         | 0,15                       | 0,46                       |
| Pb       | 220,53         | 0,25                       | 0,76                       |
| V        | 311,837        | 0,07                       | 0,22                       |
| Zn       | 213,857        | 0,15                       | 0,46                       |

**Tabela 5.2** - Resultados da análise do CRM STSD-4 através do método proposto

| ANALITO                   | VALOR OBTIDO | VALOR CERTIFICADO | % RECUPERAÇÃO |
|---------------------------|--------------|-------------------|---------------|
| Cd (mg kg <sup>-1</sup> ) | 0,5 ± 0,1    | 0,6               | 0,83          |
| Cu (mg kg <sup>-1</sup> ) | 68,0 ± 2,8   | 66                | 1,03          |
| Fe (%)                    | 2,8 ± 0,9    | 2,6               | 1,08          |
| Ni (mg kg <sup>-1</sup> ) | 26,0 ± 0,8   | 23                | 1,13          |
| Pb (mg kg <sup>-1</sup> ) | 16,0 ± 1,0   | 13                | 1,23          |
| V (mg kg <sup>-1</sup> )  | 56,4 ± 1,0   | 51                | 1,09          |

**Quadro 5.2** - Condições de operação do ICP OES com configuração axial

| <b>Parâmetros</b>      | <b>Especificações</b>   |
|------------------------|---|
| Potência               | 1,10 kW   |
| Vazão do plasma        | 15 L/min  |
| Vazão do gás auxiliar  | 1,5 L/min   |
| Vazão do nebulizador   | 0,75 L/min  |
| Pressão do nebulizador | 200 Kpa   |
| Sistema de nebulização | Nebulizador V-Groove com câmara de nebulização Sturman-Master |

Foi aplicada a análise de componentes principais (ACP), com o intuito de observar o comportamento geral dos dados e verificar quais variáveis contribuem para separação e grupos de variáveis com comportamento semelhante, No tratamento estatístico dos dados e geração dos gráficos foi utilizado o programa Statistica® 7.0.

### 5.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na tabela 5.3 são apresentadas as medidas descritivas e diferença significativa conforme o teste de Mann-Whitney com 99% de confiança dos parâmetros físico-químicos, nutrientes (N, P e K), M.O. granulometria (areia, silte e argila), metais traço (Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, V e Zn) e elementos maiores (Al, Ca, Fe, Mg) dos tanques de coleta nas três fazendas estudadas (Mucujó-JG, Mutá-MU e Madeiro-SA). Verifica-se a diferença entre as três fazendas estudadas, principalmente para o tanque de Mucujó-JG com valores de medianas mais elevados para M.O, os nutrientes (K e N), granulometria (silte e argila), os metais traço (Ba, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, V e Zn) e elementos maiores (Al e Fe), enquanto o tanque de Mutá-MU possui maiores valores de medianas para areia e elementos maiores (Ca e Mg) e o tanque de Madeiro-SA com valores maiores de medianas para profundidade da lâmina d'água sobre o sedimento, pH, condutividade, salinidade e P. O teste de Mann-Whitney demonstrou que os tanques de Mucujó (JG) e o de Mutá (MU) foram o que mais diferiram entre si, quando comparado com os tanques de JG e SA ou SA e MU apresentando um  $p < 0,0001$  (Tabela 5.4). Devido esse fato, observa-se que o tanque de Mucujó apresenta uma área com menos influência marinha, comparado com os demais tanques (MU e SA). Os valores do coeficiente de variação foram superiores a 50%, demonstrando elevada variabilidade entre os dados estudados. Em todos os tanques, a alimentação é feita em forma de bandejas, sendo que o manejo utilizado, como calagem, despesca e captação de água, nos três tanques, pode ser um fator importante para sua diferenciação, pois conforme aplicado (ração, fertilizante, corretivo

e antibióticos) acarretará no maior acúmulo de nutrientes e matéria orgânica, alterando os parâmetros físico-químicos, além de favorecer na retenção de metais traço e elementos maiores nos sedimentos superficiais de fundo de tanque de carcinicultura.

Outro fator que pode estar relacionado a esta resposta, além do manejo empregado, uso da ração, antibiótico, fertilizante e corretivo é a captação de água, pois no tanque de Mucujó a água é captada diretamente do rio Jaguaripe, enquanto que os tanques Mutá e Madeiro, a origem da água captada é diretamente da BTS. Nos tanques de Mucujó, Mutá e Madeiro pode-se observar que a ração é manipulada em forma de bandejas, o que reduz a desintegração e também a perda na água e sedimento, a ração é distribuída nas bandejas com auxílio de caiaques.

**Tabela 5.3** – Medidas descritivas das variáveis físico-químicas, nutrientes, granulometria, metais traço e elementos maiores nos três tanques estudados, nas fazendas de Mucujó, Mutá e Madeiro. Valores de medianas seguidos por letras diferentes, na mesma linha, diferem significativamente ao nível de 99% de confiança segundo o teste de Mann-Whitney

| Variável                     | Tanque Mucujó (JG) n= 33 |               |        | Tanque Mutá (MU) n= 27 |                 |        | Tanque Madeiro (SA) n= 45 |               |        |
|------------------------------|--------------------------|---------------|--------|------------------------|-----------------|--------|---------------------------|---------------|--------|
|                              | Mediana                  | Min-Máx       | CV%    | Mediana                | Min-Máx         | C,V%   | Mediana                   | Min-Máx       | C,V%   |
| Prof da água (cm)            | 50 <sup>a</sup>          | 32-104        | 33,39  | 89 <sup>b</sup>        | 63-120          | 17,77  | 100 <sup>b</sup>          | 58-156        | 32,38  |
| pH                           | 7,11 <sup>a</sup>        | 6,78-7,73     | 3,51   | 7,07 <sup>a</sup>      | 6,84-7,25       | 1,69   | 8,33 <sup>b</sup>         | 6,66-8,76     | 6,94   |
| Eh (mV)                      | -152 <sup>a</sup>        | -197-(-109)   | -15,64 | -168 <sup>b</sup>      | -193-(-153)     | -6,09  | -237 <sup>c</sup>         | -267-(-191)   | -8,77  |
| Cond (S/m)                   | 1,77 <sup>a</sup>        | 0,05-3,25     | 78,31  | 2,63 <sup>a,b</sup>    | 0,04-5,13       | 78,57  | 3,74 <sup>b</sup>         | 0,04-7,27     | 75,70  |
| Salinidade                   | 10 <sup>a</sup>          | 9-35          | 52,34  | 30 <sup>b</sup>        | 25-35           | 9,44   | 30 <sup>b</sup>           | 20-40         | 21,39  |
| M.O (%)                      | 2,49 <sup>a</sup>        | 0,24-8,34     | 59,61  | 1,10 <sup>b</sup>      | 0,19-7,79       | 102,2  | 1,20 <sup>b</sup>         | 0,31-4,98     | 66,48  |
| N (%)                        | 0,16 <sup>a</sup>        | 0,08-1,13     | 94,73  | 0,08 <sup>b</sup>      | 0,08-0,52       | 80,84  | 0,08 <sup>b</sup>         | 0,08-0,30     | 49,46  |
| P (mgkg <sup>-1</sup> )      | 236,9 <sup>a</sup>       | 24,8-1017,4   | 77,82  | 618,8 <sup>b</sup>     | 26,7-4854,4     | 120,60 | 679,6 <sup>b</sup>        | 115,3-2451    | 81,52  |
| K (mgkg <sup>-1</sup> )      | 765,6 <sup>a</sup>       | 393,1-10906,5 | 119,12 | 240,2 <sup>b</sup>     | 132,8-3330,5    | 113,37 | 331,2 <sup>a,b</sup>      | 119,7-10355,8 | 140    |
| Areia (g kg <sup>-1</sup> )  | 820,5 <sup>a</sup>       | 10,33-97,5    | 23,30  | 991,9 <sup>b</sup>     | 82,15-100,01    | 4,76   | 976,7 <sup>b</sup>        | 81,26-100,01  | 4,22   |
| Silte (g kg <sup>-1</sup> )  | 174,8 <sup>a</sup>       | 2,51-85,97    | 75,56  | 8,10 <sup>b</sup>      | 0-17,85         | 172,82 | 22,6 <sup>a,b</sup>       | 0-18,30       | 174,08 |
| Argila (g kg <sup>-1</sup> ) | 4,60 <sup>a</sup>        | 0-3,92        | 119,07 | 0 <sup>b</sup>         | 0-0,64          | 511,38 | 0,7 <sup>a,b</sup>        | 0-1,90        | 401,92 |
| Al (%)                       | 744,2 <sup>a</sup>       | 215,3-1817,5  | 47,63  | 197,2 <sup>b</sup>     | 51,5-1281,8     | 93,79  | 255,4 <sup>a,b</sup>      | 138,9-2076,4  | 92,04  |
| Ba (mgkg <sup>-1</sup> )     | 4,85 <sup>a</sup>        | 1,25-11,45    | 57,66  | 1,09 <sup>b</sup>      | 0,27-4,26       | 78,09  | 2,34 <sup>a,b</sup>       | 0,46-10,18    | 76,36  |
| Ca (mgkg <sup>-1</sup> )     | 1582,9 <sup>a</sup>      | 475,1-4209,2  | 55,78  | 7641,8 <sup>b</sup>    | 1070,2-19099,05 | 70,95  | 5881,96 <sup>a,b</sup>    | 858,6-43613,2 | 99,78  |
| Cr (mgkg <sup>-1</sup> )     | 1,27 <sup>a</sup>        | 0,05-3,58     | 60,81  | 0,12 <sup>b</sup>      | 0,05-3,41       | 170,98 | 0,84 <sup>b</sup>         | 0,05-10,12    | 125,1  |
| Cu (mgkg <sup>-1</sup> )     | 2,21 <sup>a</sup>        | 0,37-5,85     | 48,68  | 0,95 <sup>b</sup>      | 0,37-10,36      | 136,32 | 1,05 <sup>b</sup>         | 0,37-9,93     | 116,6  |
| Fe (%)                       | 2165,36 <sup>a</sup>     | 884,3-5762,4  | 45,96  | 253,6 <sup>b</sup>     | 0,66-2090,5     | 111,30 | 735,17 <sup>a,b</sup>     | 326,5-8466,7  | 113,7  |
| Mg (mgkg <sup>-1</sup> )     | 1695,87 <sup>a</sup>     | 533,9-5078,1  | 52,88  | 2556,5 <sup>b</sup>    | 829,5-8523,1    | 65,92  | 1212,1 <sup>a</sup>       | 414,1-6518,9  | 70,77  |
| Mn (mgkg <sup>-1</sup> )     | 10,31 <sup>a</sup>       | 3,56-25,56    | 42,79  | 2,63 <sup>b</sup>      | 0,25-9,14       | 84,12  | 2,39 <sup>b</sup>         | 0,53-15,77    | 83,49  |
| Ni (mgkg <sup>-1</sup> )     | 0,57 <sup>a</sup>        | 0,23-2,15     | 72,28  | 0,23 <sup>b</sup>      | 0,23-1,16       | 69,97  | 0,23 <sup>b</sup>         | 0,23-4,13     | 145,2  |
| Pb (mgkg <sup>-1</sup> )     | 1,83 <sup>a</sup>        | 0,38-5,02     | 49,19  | 0,38 <sup>b</sup>      | 0,38-3,99       | 104,14 | 1,32 <sup>a</sup>         | 0,38-8,95     | 84,23  |
| V(mgkg <sup>-1</sup> )       | 2,16 <sup>a</sup>        | 0,86-6,33     | 47,62  | 0,43 <sup>b</sup>      | 0,11-3,25       | 106,42 | 1,37 <sup>a</sup>         | 0,55-12,1     | 95,57  |
| Zn (mgkg <sup>-1</sup> )     | 7,5 <sup>a</sup>         | 1,36-21,42    | 52,14  | 4,77 <sup>b</sup>      | 0,23-41,95      | 123,50 | 4,72 <sup>b</sup>         | 0,23-28,54    | 89,30  |

**Tabela 5.4** – Comparação entre os tanques de estudo (JG, MU e SA), conforme o teste de Mann-whitney

| TANQUES                    | p-bilateral       |
|----------------------------|-------------------|
| Mucujó (JG) x Madeiro (SA) | 0,0001            |
| Mucujó (JG) x Mutá (MU)    | < <b>0,0001</b> * |
| Madeiro (SA) x Mutá (MU)   | 0,0344            |

Valor de  $p < 0,0001$  considera diferença estatística extremamente significante\*

No tanque de carcinicultura o P é de fundamental importância para a vida de certos organismos. Este nutriente é um fator limitante para o desenvolvimento do fitoplâncton e, quando disponível no viveiro, é rapidamente absorvido. Uma parte do P presente nos viveiros é absorvida pelos produtores (fitoplâncton e macrófitas) e outra grande parte é absorvida pelo sedimento dos viveiros. Um fator que pode influenciar na disponibilidade do P no sedimento é o pH, pois este regula a disponibilidade de P, tornando-o indisponível devido à precipitação com o alumínio, manganês e o ferro (pH ácido), ou mesmo com o cálcio (pH básico) (ALVES; MELLO, 2007; QUEIROZ, 2012). Entretanto, não foi observada variação nos valores medianos de pH nesse estudo para os diferentes períodos anuais. Já a grande variabilidade dos dados apresentados pela granulometria (argila) pode ser em virtude da ressuspensão do sedimento, na qual ocasiona o revolvimento deste, no fundo do tanque, e com isso, influencia na granulometria.

O teste de Mann-Whitney aplicado, mostra que existem diferenças significativas entre os parâmetros a condutividade e salinidade, com valores medianos maiores nos tanques de Mutá (MU) e Madeiro (SA) em relação ao tanque de Mucujó (JG). A condutividade e a salinidade estão associadas à quantidade de íons disponível no ambiente e os baixos valores apresentado no tanque de JG resultam da ocorrência de chuvas nas semanas que anteciparam a coleta. Os valores mais elevados podem ser explicados também, pela utilização contínua de fertilizantes, em conjunto com os restos de ração e pela evaporação local associada à grande superfície do espelho d'água, contribuindo para o acúmulo de sais no sedimento dos tanques, ocasionando a elevação da condutividade e da salinidade do sedimento de fundo dos tanques de carcinicultura (FIGUEIRÊDO et al., 2005).

Os valores de Cd (0,25) e Co (0,10) permaneceram abaixo do limite de quantificação do método, por isso não foram utilizados nas análises estatísticas.

Os dados de parâmetros físico-químico, metais traço e elementos maiores apresentaram, através do teste de normalidade Shapiro-Wilk, distribuição não normal

( $p < 0,05$ ) para ambos os períodos de coleta, com exceção da profundidade da lâmina d'água sobre o sedimento, pH, Zn e do P demonstrado nos diferentes períodos anuais.

A correlação de Spearman ( $p < 0,05$ ) (Tabela 5.5), demonstra que os metais traço correlaciona-se entre si. O Ca e a profundidade da lâmina d'água sobre o sedimento, relacionam-se positivamente, sendo que sua distribuição está em áreas com menos argila, demonstrando que em profundidade elevada a maior circulação diminui o acúmulo dos sedimentos finos e em consequência reduz a M.O. Já a correlação entre a salinidade e condutividade, pode ser justificada devido a interação desses parâmetros no tanque e a presença de sais e íons.

Correlacionam-se positivamente a M.O. e N, que por sua vez estão fortemente correlacionados com a presença dos metais traço e elementos maiores, onde verificou-se que os metais e a M.O, são encontrados em menor quantidade em áreas mais arenosas, além da M.O. e N estarem associados quanto a distribuição dos compostos nitrogenados presente na matéria orgânica. O teor de matéria orgânica no sedimento de fundo caracteriza-se, como variável importante na distribuição dos contaminantes metálicos no ambiente, pois apresentam elevada afinidade com essas espécies químicas (TORRES, 2009).

Correlacionaram-se negativamente a salinidade com M.O., silte e argila, que pode ser justificado devido a elevação da condutividade em granulometria mais grosseira, que por sua vez aumenta a quantidade de íons no sedimento, acarretando na redução de M.O., silte e argila.

A M.O. correlaciona-se inversamente com a areia e positivamente com o silte, demonstrando que em ambientes arenosos ocorre a redução no acúmulo da M.O. assim como dos metais traço e elementos maiores. A troca de íons presente no sedimento para com a coluna d'água, promove o enriquecimento da fração fina no sedimento e, conseqüentemente promove um aumento da M.O. dos metais traço e elementos maiores, devido à maior área superficial nesta fração (silte e argila) que se agregam com mais facilidade (BERRETA, 2007), fato este comprovado no estudo. A correlação inversa entre o P e o K indica processos geoquímico de acúmulo diferenciado para esses elementos, inferindo que apesar da utilização de N, P, K e da ração no tanque de carcinicultura, mostra que a dinâmica e o comportamento desses dois elementos são diferentes nos tanques.

O pH regula a disponibilidade de P, tornando-o indisponível devido à precipitação com o Al e o Fe (pH ácido), ou mesmo com o Ca (pH básico); portanto o pH ao se ligar facilmente com esses elementos e formar precipitados, promove a retenção do P aos sedimentos e o K pode ser retido na fração fina do sedimento, principalmente argila (ALVES,

2007). Em um tanque de carcinicultura, a principal controladora da deposição de Al, Fe e Zn no sedimento de fundo é a matéria orgânica (SANTOS, 2005; LOPES, 2006).

As concentrações de Ca e Mg não correlacionaram-se com os parâmetros físico-químicos e os demais metais traço e elementos maiores estudados, corroborando que esses metais possuem comportamento geoquímico diferente no tanque de carcinicultura. O processo de calagem e a ração usada na alimentação são fatores essenciais para o acúmulo do Ca e Mg no sedimento.

Na Tabela 5.6 são apresentados os resultados da análise fatorial utilizada para o conjunto de dados com objetivo de agrupar as variáveis correlacionadas na ACP. Antes de aplicar a ACP os dados foram transformados para logaritmo de base 10 com o objetivo de normalização dos dados, com exceção do pH e Eh (dados normais). Os dois primeiros fatores demonstram a distribuição das amostras conforme as variações dos parâmetros físico-químicos, metais traço e elementos maiores. Pela análise fatorial essa relação da salinidade, M.O, granulometria (silte e argila), metais traço e os elementos maiores observados na correlação, foi comprovada no presente estudo. Os dois fatores explicam 62,03% da variação total dos dados. O fator 1 apresenta uma relação maior com M.O, silte, argila, metais traço e elementos maiores. Já o fator 2 possui maior peso para os parâmetros físico-químicos (profundidade da lâmina d'água sobre o sedimento, Eh e salinidade). O Ca relacionou-se positivamente, enquanto que o Eh e a argila, negativamente. A aplicação do Ca, que corrige o pH, favorece para neutralizar o Al e Mn, porém o excesso de Ca aumenta o pH, por sua vez indisponibiliza micronutrientes (Cu, Fe, Mn, Zn) no sedimento.

Observa-se que no fator 1 houve a distribuição dos metais traço e elementos maiores, que estão sendo influenciados pela M.O e granulometria, favorecendo a retenção desses metais no sedimento de fundo de tanque de carcinicultura. O fator 2 explica que em ambientes mais profundos (>1m), em virtude da maior circulação e conseqüente diluição dos sais e íons nas águas mais superficial do tanque, ocorre um aumento da salinidade, e com isso aumenta na concentração do Ca que é adicionado aos tanques através da calagem, além de proporcionar um ambiente redutor com acúmulo de M.O e maiores teores das frações finas do sedimento.

Tabela 5.5 – Correlação de Spearman para os parâmetros físico-químicos, metais traço e elementos maiores no sedimento

|      | Prof                     | pH                       | Eh                       | Cond                | Sal                      | M.O                      | N                        | P                        | K                        | Are                      | Sil                      | Argi                | Al                  | Ba                  | Ca                | Cr                  | Cu                  | Mn                  | Ni                  | Pb                  | V                   | Zn                  | Mg           | Fe           |
|------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------|--------------|
| Prof | 1,00000<br>0             |                          |                          |                     |                          |                          |                          |                          |                          |                          |                          |                     |                     |                     |                   |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |              |              |
| pH   | 0,13484<br>6             | 1,00000<br>0             |                          |                     |                          |                          |                          |                          |                          |                          |                          |                     |                     |                     |                   |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |              |              |
| Eh   | -<br>0,33119<br>6        | -<br><b>0,78425</b><br>3 | 1,00000<br>0             |                     |                          |                          |                          |                          |                          |                          |                          |                     |                     |                     |                   |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |              |              |
| Cond | 0,26543<br>3             | 0,47711<br>4             | -<br><b>0,51851</b><br>7 | 1,00000<br>0        |                          |                          |                          |                          |                          |                          |                          |                     |                     |                     |                   |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |              |              |
| Sal  | 0,40686<br>3             | <b>0,52804</b><br>4      | -<br><b>0,68556</b><br>4 | <b>0,72577</b><br>3 | 1,00000<br>0             |                          |                          |                          |                          |                          |                          |                     |                     |                     |                   |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |              |              |
| M.O  | -<br>0,20987<br>1        | -<br>0,35581<br>8        | 0,42113<br>7             | -<br>0,42337<br>1   | -<br><b>0,55204</b><br>7 | 1,00000<br>0             |                          |                          |                          |                          |                          |                     |                     |                     |                   |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |              |              |
| N    | -<br>0,18727<br>3        | -<br>0,21244<br>8        | -<br>0,37393<br>9        | -<br>0,28330<br>9   | -<br>0,33232<br>5        | -<br><b>0,69897</b><br>2 | 1,00000<br>0             |                          |                          |                          |                          |                     |                     |                     |                   |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |              |              |
| P    | -<br>0,11412<br>8        | -<br>0,18888<br>5        | -<br>0,25561<br>4        | -<br>0,27640<br>7   | -<br>0,17279<br>9        | -<br>0,05051<br>0        | 0,14700<br>0             | 1,00000<br>0             |                          |                          |                          |                     |                     |                     |                   |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |              |              |
| K    | -<br>0,07295<br>8        | -<br>0,07449<br>3        | 0,20970<br>6             | 0,30842<br>5        | -<br>0,21544<br>2        | -<br>0,49487<br>2        | 0,27173<br>5             | -<br><b>0,66030</b><br>3 | 1,00000<br>0             |                          |                          |                     |                     |                     |                   |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |              |              |
| Are  | 0,45556<br>4             | 0,27202<br>8             | -<br><b>0,55982</b><br>6 | 0,39551<br>6        | <b>0,62206</b><br>4      | -<br><b>0,50906</b><br>4 | -<br><b>0,57140</b><br>6 | 0,05358<br>1             | -<br>0,29378<br>2        | 1,00000<br>0             |                          |                     |                     |                     |                   |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |              |              |
| Sil  | -<br>0,45425<br>8        | -<br>0,28651<br>7        | <b>0,57036</b><br>1      | -<br>0,40418<br>9   | -<br><b>0,62938</b><br>4 | -<br><b>0,51612</b><br>5 | -<br><b>0,57362</b><br>7 | -<br>0,05697<br>5        | 0,29734<br>0             | -<br><b>0,99719</b><br>7 | 1,00000<br>0             |                     |                     |                     |                   |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |              |              |
| Argi | -<br><b>0,53193</b><br>6 | -<br>0,15762<br>8        | <b>0,52476</b><br>4      | -<br>0,21513<br>2   | -<br><b>0,52332</b><br>6 | -<br>0,39250<br>9        | 0,41126<br>2             | -<br>0,15652<br>2        | -<br>0,35422<br>9        | -<br><b>0,74906</b><br>4 | -<br><b>0,73572</b><br>2 | 1,00000<br>0        |                     |                     |                   |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |              |              |
| Al   | 0,26522<br>8             | 0,20334<br>8             | 0,41035<br>1             | 0,29107<br>8        | 0,49592<br>6             | <b>0,72991</b><br>1      | <b>0,74236</b><br>1      | -<br>0,05199<br>6        | -<br><b>0,50922</b><br>7 | -<br><b>0,69879</b><br>8 | -<br><b>0,58491</b><br>8 | 1,00000<br>0        |                     |                     |                   |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |              |              |
| Ba   | -<br>0,06393<br>7        | 0,06446<br>8             | 0,16787<br>2             | -<br>0,12496<br>4   | -<br>0,32339<br>2        | 0,48479<br>2             | <b>0,61387</b><br>8      | 0,10903<br>2             | 0,43104<br>4             | -<br><b>0,60875</b><br>1 | <b>0,60304</b><br>4      | <b>0,53478</b><br>2 | <b>0,78249</b><br>2 | 1,00000<br>0        |                   |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |              |              |
| Ca   | <b>0,60839</b><br>8      | 0,21446<br>8             | -<br>0,41953<br>7        | 0,18173<br>5        | 0,46110<br>4             | 0,05494<br>7             | 0,10030<br>2             | 0,44615<br>6             | -<br>0,11676<br>3        | 0,31193<br>7             | -<br>0,31356<br>7        | -<br>0,40191<br>3   | -<br>0,09394<br>6   | 0,10363<br>2        | 1,00000<br>0      |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |              |              |
| Cr   | -<br>0,12571<br>7        | -<br>0,00228<br>4        | 0,15642<br>9             | -<br>0,19700<br>7   | -<br>0,38191<br>7        | <b>0,67802</b><br>3      | <b>0,66263</b><br>6      | 0,04766<br>2             | 0,48533<br>5             | -<br><b>0,53360</b><br>2 | <b>0,53041</b><br>8      | 0,44409<br>8        | <b>0,87618</b><br>6 | <b>0,77902</b><br>1 | 0,06204<br>6      | 1,00000<br>0        |                     |                     |                     |                     |                     |                     |              |              |
| Cu   | -<br>0,08863<br>1        | -<br>0,26490<br>2        | 0,41832<br>7             | -<br>0,23700<br>9   | -<br>0,44040<br>0        | <b>0,79823</b><br>8      | <b>0,78024</b><br>6      | 0,00090<br>6             | <b>0,53002</b><br>8      | -<br><b>0,60152</b><br>7 | <b>0,60235</b><br>2      | 0,48211<br>9        | <b>0,87039</b><br>3 | <b>0,74378</b><br>0 | 0,11352<br>5      | <b>0,80902</b><br>9 | 1,00000<br>0        |                     |                     |                     |                     |                     |              |              |
| Mn   | -<br>0,28397<br>1        | -<br>0,22999<br>0        | 0,47817<br>2             | -<br>0,29434<br>0   | <b>0,50635</b><br>7      | <b>0,70011</b><br>9      | <b>0,79080</b><br>9      | 0,01796<br>4             | 0,44207<br>0             | -<br><b>0,77087</b><br>4 | <b>0,77182</b><br>6      | <b>0,67550</b><br>1 | <b>0,87673</b><br>2 | <b>0,82941</b><br>9 | -<br>0,06930<br>9 | <b>0,72791</b><br>0 | <b>0,85876</b><br>1 | 1,00000<br>0        |                     |                     |                     |                     |              |              |
| Ni   | -<br>0,24477<br>9        | -<br>0,23168<br>0        | 0,39878<br>9             | -<br>0,26585<br>0   | 0,46884<br>4             | <b>0,61372</b><br>9      | <b>0,64780</b><br>7      | 0,00178<br>9             | 0,36133<br>5             | -<br><b>0,64659</b><br>4 | <b>0,64738</b><br>4      | <b>0,56376</b><br>0 | <b>0,79152</b><br>5 | <b>0,70150</b><br>5 | -<br>0,10002<br>1 | <b>0,76581</b><br>7 | <b>0,73775</b><br>9 | <b>0,73851</b><br>1 | 1,00000<br>0        |                     |                     |                     |              |              |
| Pb   | -<br>0,19336<br>4        | 0,00502<br>9             | 0,19083<br>7             | -<br>0,20640<br>1   | -<br>0,38507<br>6        | <b>0,61679</b><br>2      | <b>0,67442</b><br>0      | 0,07275<br>4             | 0,40151<br>1             | -<br><b>0,56511</b><br>1 | <b>0,56298</b><br>5      | 0,47713<br>5        | <b>0,81384</b><br>2 | <b>0,74541</b><br>2 | -<br>0,02161<br>2 | <b>0,88054</b><br>6 | <b>0,77278</b><br>8 | <b>0,72674</b><br>5 | <b>0,74075</b><br>7 | 1,00000<br>0        |                     |                     |              |              |
| V    | -<br>0,22356<br>0        | -<br>0,02173<br>3        | 0,19696<br>1             | -<br>0,30831<br>5   | -<br>0,41260<br>2        | <b>0,66189</b><br>5      | <b>0,73133</b><br>5      | 0,17535<br>8             | 0,31412<br>0             | -<br><b>0,63582</b><br>4 | <b>0,63176</b><br>7      | <b>0,51643</b><br>6 | <b>0,87838</b><br>7 | <b>0,79475</b><br>0 | -<br>0,00180<br>4 | <b>0,91310</b><br>6 | <b>0,79274</b><br>8 | <b>0,81290</b><br>8 | <b>0,80735</b><br>1 | <b>0,87072</b><br>7 | 1,00000<br>0        |                     |              |              |
| Zn   | 0,02373<br>8             | -<br>0,21537<br>6        | 0,33429<br>0             | -<br>0,18525<br>5   | -<br>0,30078<br>2        | <b>0,76492</b><br>1      | <b>0,76258</b><br>9      | 0,11801<br>8             | 0,49090<br>5             | -<br><b>0,51579</b><br>1 | <b>0,51848</b><br>7      | 0,38497<br>6        | <b>0,79309</b><br>8 | <b>0,74819</b><br>6 | 0,33079<br>7      | <b>0,73875</b><br>2 | <b>0,91454</b><br>4 | <b>0,82364</b><br>9 | <b>0,66328</b><br>9 | <b>0,69491</b><br>7 | <b>0,71016</b><br>5 | 1,00000<br>0        |              |              |
| Mg   | 0,07602<br>8             | -<br>0,39839<br>6        | 0,34688<br>6             | -<br>0,13390<br>4   | -<br>0,00458<br>2        | 0,41478<br>9             | <b>0,56905</b><br>5      | 0,22412<br>0             | 0,05921<br>6             | -<br>0,22658<br>0        | 0,23668<br>9             | 0,06632<br>8        | 0,38880<br>4        | 0,22871<br>7        | 0,46224<br>3      | 0,25815<br>9        | 0,49237<br>5        | 0,45200<br>7        | 0,36141<br>0        | 0,25084<br>8        | 0,33083<br>9        | <b>0,59449</b><br>6 | 1,00000<br>0 |              |
| Fe   | -<br>0,36940<br>5        | -<br>0,07225<br>8        | 0,31315<br>7             | -<br>0,24837<br>2   | -<br>0,48000<br>7        | <b>0,65385</b><br>1      | <b>0,74470</b><br>6      | 0,00554<br>6             | 0,42937<br>0             | -<br><b>0,72956</b><br>7 | <b>0,72632</b><br>4      | <b>0,62670</b><br>9 | <b>0,91744</b><br>8 | <b>0,79009</b><br>3 | -<br>0,19226<br>6 | <b>0,85107</b><br>2 | <b>0,79221</b><br>6 | <b>0,89164</b><br>0 | <b>0,79954</b><br>5 | <b>0,84028</b><br>2 | <b>0,92332</b><br>3 | <b>0,69261</b><br>8 | 0,26992<br>5 | 1,00000<br>0 |

Legenda: Prof = profundidade da lâmina d'água sobre o sedimento; Sal = salinidade; Cond = condutividade; M.O = matéria orgânica; Are = areia; Sil = silte e Argi = argila  
p-valor (>0,05)

**Tabela 5.6** – Valores de carga fatorial e variância explicada para análise multivariada dos parâmetros físico-químicos, metais traço e elementos maiores no sedimento

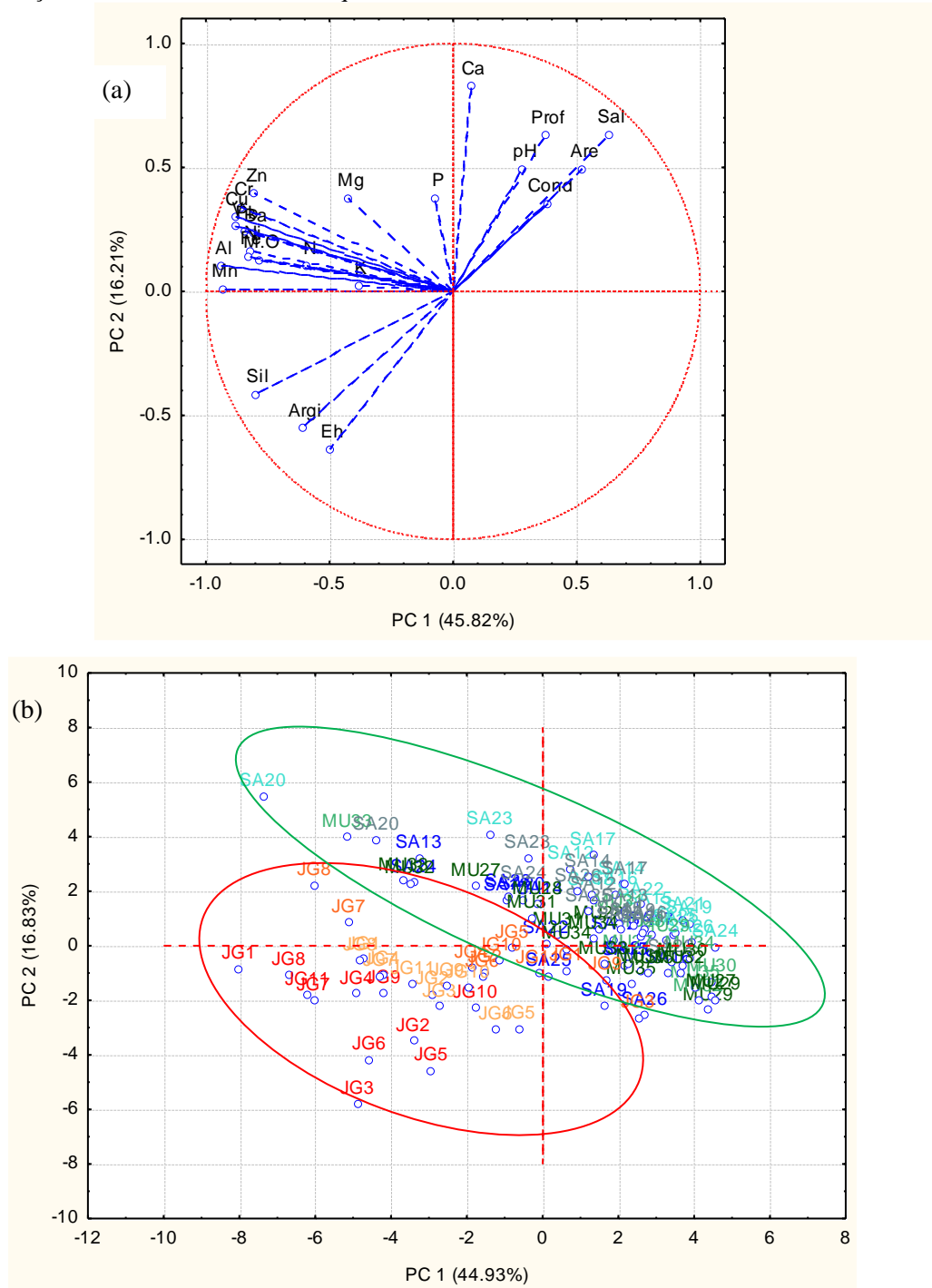
|   | Factor 1         | Factor 2         |
|---|------------------|------------------|
| Profundidade da lâmina d'água sobre o sedimento | 0,373806         | <b>0,627962</b>  |
| pH  | 0,280017         | 0,492762         |
| Eh (mV)   | -0,498151        | <b>-0,636878</b> |
| Condutividade (S/m)                             | 0,384006         | 0,353875         |
| Salinidade                                      | <b>0,632017</b>  | <b>0,633946</b>  |
| M.O (matéria orgânica) (%)                      | <b>-0,784302</b> | 0,126996         |
| N (%)   | <b>-0,590976</b> | 0,103489         |
| P (mg kg <sup>-1</sup> )                        | -0,069736        | 0,376256         |
| K (mg kg <sup>-1</sup> )                        | -0,383692        | 0,021191         |
| Areia (g kg <sup>-1</sup> )                     | <b>0,522160</b>  | 0,494701         |
| Silte (g kg <sup>-1</sup> )                     | <b>-0,799325</b> | -0,414230        |
| Argila (g kg <sup>-1</sup> )                    | <b>-0,607779</b> | <b>-0,552244</b> |
| Al (%)  | <b>-0,935906</b> | 0,103068         |
| Ba (mg kg <sup>-1</sup> )                       | <b>-0,807594</b> | 0,234292         |
| Ca (mg kg <sup>-1</sup> )                       | 0,071561         | <b>0,828553</b>  |
| Cr (mg kg <sup>-1</sup> )                       | <b>-0,858207</b> | 0,340776         |
| Cu (mg kg <sup>-1</sup> )                       | <b>-0,883369</b> | 0,298603         |
| Fe (%)  | <b>-0,828212</b> | 0,141899         |
| Mg(mg kg <sup>-1</sup> )                        | -0,423115        | 0,376458         |
| Mn (mg kg <sup>-1</sup> )                       | <b>-0,932307</b> | 0,008888         |
| Ni (mg kg <sup>-1</sup> )                       | <b>-0,818878</b> | 0,163262         |
| Pb (mg kg <sup>-1</sup> )                       | <b>-0,842654</b> | 0,244777         |
| V (mg kg <sup>-1</sup> )                        | <b>-0,880414</b> | 0,261357         |
| Zn (mg kg <sup>-1</sup> )                       | <b>-0,803695</b> | 0,396538         |
| Variância Explicada (%)                         | 45,81909         | 16,21411         |
| Var, Exp, Acumulada (%)                         | 45,8191          | <b>62,0332</b>   |

Na Figura 5.1 são apresentadas a distribuição espacial dos parâmetros físico-químicos, metais traço e elementos maiores e o gráfico de valores de escores nos eixo da principal componente PC 1 *versus* PC 2. Os gráficos de pesos e de escores explicaram que os tanques MU e SA, estão no lado direito do diagrama de ordenação, no eixo de valores positivos, enquanto, o tanque de JG encontra no lado esquerdo do diagrama, no eixo negativo, diferenciando dos outros dois, em virtude do tanque de JG receber menos influencia marinha, quando comparado aos demais tanques estudados.

Os tanques MU e SA estão agrupados entre si e separaram em relação ao tanque de JG. Podemos observar no gráfico de peso que houve a associação dos metais traço e elementos maiores entre si, exceto para o Ca. A M.O e os nutrientes estão influenciando no acúmulo desses metais traço e elementos maiores no sedimento superficial de fundo de tanque de carcinicultura. Enquanto a presença do Ca, que é adicionado nos tanques no momento da



**Figura 5.1** – Gráfico de pesos (a) e (b) gráfico de valores de escores dos parâmetros físico-químicos, metais traço e elementos maiores nos tanques de coleta.



calagem após despesca, pode ser considerado um fator determinante que está influenciando na profundidade da lâmina d'água sobre o sedimento assim como, a condutividade, salinidade, pH e areia, inferindo que a ação do vento promove uma maior circulação no tanque, e em consequência a entrada de material lixiviado no tanque acarreta numa maior ocorrência da fração de areia do que de silte e argila, e com isso quanto maior a profundidade

ocorrerá uma maior estratificação na salinidade e maior condutividade em ambientes profundos (>1m). As frações finas (silte e argila) estão presentes em ambiente mais redutor (Eh negativo) no tanque de JG. Visualizou que o tanque JG em relação aos de MU e SA, apresenta comportamento diferenciado, justifica-se pelo fato do tanque de JG captar água diretamente do rio Jaguaripe, enquanto os tanques de MU e SA captam água da BTS. Além disso, a atividade de carcinicultura na BTS, e as práticas de cultivo acarretam o acúmulo dos metais traço e elementos maiores nos sedimentos de fundo dos tanques de produção.

#### 5.4 CONCLUSÕES

A importância de estudar a concentração dos metais traço, elementos maiores e parâmetros físico-químicos em sedimentos de fundo de tanques de carcinicultura relaciona-se ao entendimento da forma como esses elementos se encontram associados no sedimento e, assim, indicar sua possível concentração e os fatores que à estão influenciando.

Pode-se concluir que ocorre diferenciação nas medidas descritivas nos valores das medianas entre si, para os parâmetros físico-químicos, nutrientes, M.O., granulometria, metais traço e elementos maiores tanto nos tanques (JG, MU e SA), como durante os diferentes períodos anuais de coleta, do qual JG é o tanque que mais diferenciou.

Os tanques estudados mostraram diferenças significativas para os parâmetros físico-químicos, nutrientes, matéria orgânica, granulometria, metais traço e elementos maiores analisados, conforme o teste de Mann-whitney. Considerando uma diferença extremamente significativa para os tanques de Madeiro (JG) e Mutá (MU), com uma maior distribuição dos metais traços e granulometria de frações finas (silte e argila) no tanque de JG.

Tendo em vista as correlações que apresentaram entre a M,O, N, os metais traço e elementos maiores entre si (Al, Ba, Ca, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Ni, Pb, V e Zn), o maior acúmulo de matéria orgânica e teores das frações finas do sedimento são favoráveis na retenção dos metais traço e elementos maiores no sedimento de fundo dos tanques de carcinicultura.

A análise multivariada (ACP) mostrou diferenças entre os tanques de carcinicultura na BTS, No qual o tanque de JG se diferenciou em relação aos tanques de MU e SA. Deve ser levado em consideração que o tanque JG apresenta pouca influencia marinha, podendo inferir também que as práticas de manejo e a captação de água estejam contribuindo com essa resposta e comportamento nos tanques.

## 6 CONCLUSÕES

Em relação as análises dos metais traço e elementos maiores realizadas no sedimento nos tanques de carcinicultura, demonstrou que não houve diferenças significativas ao longo do ano em diferentes (períodos de coleta), porém existem diferenças entre os tanques estudados JG, MU e SA, destacando o tanque de JG por apresentar uma área com menor influência marinha. A análise estatística apresentou a separação dos três tanques estudados e distribuição semelhante entre os metais traço, exceto para o Ca e o Mg.

Os metais traço Cd e Co possuem fonte litogênica e natural, por este motivo apresentaram abaixo do limite de quantificação do método.

As medidas descritivas das concentrações de metais traço e elementos maiores no sedimento e possíveis relações entre parâmetros físico químicos para os períodos de coletas, demonstraram que o tanque de JG possui um ambiente com maior quantidade de M.O, e frações finas de sedimento favorecendo no maior acúmulo dos metais, já os tanques de MU e SA são influenciados por granulometria mais arenosas e os parâmetros físico-químicos.

As concentrações de metais traço e elementos maiores no sedimento e possíveis relações entre parâmetros físico químicos, mostraram diferenças significativas entre os parâmetros físico-químicos condutividade e salinidade e correlações entre a M.O, N, argila e os metais traço, bem como entre os metais e elementos maiores entre si (Al, Ba, Ca, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Ni, Pb, V e Zn). Portanto, o maior acúmulo de matéria orgânica e teores das frações finas do sedimento são fatores favoráveis para retenção dos metais no sedimento de fundo dos tanques de carcinicultura.

O tanque JG apresentou comportamento diferente em relação aos tanques de MU e SA, demonstrando que, além de possíveis diferenças de manejo de produção aplicado no tanque, outro fator que pode estar contribuindo é a captação de água, pois em JG a água é captada do rio Jaguaripe, com pouca influência marinha enquanto que os dois tanques estudados captam água diretamente na BTS, devendo ser realizados estudos referentes às características das águas captadas para os tanques.

Vale lembrar que apesar de haver o acúmulo dos metais traço no sedimento, não há limites legais específicos para avaliação da qualidade desses sedimentos. Assim sendo, comparando-se com os limites estabelecidos para sedimentos de dragagem, expostos na Resolução nº 454 do CONAMA (BRASIL, 2012) e limites para sedimentos marinhos segundo o TEL e PEL do NOAA (NOAA, 1999) os valores médios obtidos para Ba, Cr, Cu,

Ni, Pb e Zn nos tanques de carcinicultura permanecem abaixo dos valores de efeitos adversos à biota.

É importante ressaltar que este constitui em um primeiro estudo sobre sedimento de fundo de tanque de carcinicultura na BTS, e que novos estudos devem ser realizados sobre a influência da carcinicultura nos sedimentos de fundo dos tanques, analisar a captação de água e a proveniência dos metais traço encontrados nos tanques, estudar os perfis sedimentares para prognosticar e historiar o efeito da carcinicultura neste tanque e também avaliar áreas próximas ao local onde o efluente esta sendo lançado. Existem poucos estudos relacionados ao acúmulo de metais traço em sedimentos de fundo dos tanques de carcinicultura e por isso são necessários mais estudos, para fazer inferências mais seguras e consistentes acerca do efeito da carcinicultura nos sedimentos e redondezas.

## REFERÊNCIAS

- ABCC - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CRIADORES DE CAMARÃO. **Levantamento da infraestrutura produtiva e dos aspectos tecnológicos, econômicos, sociais e ambientais da carcinicultura marinha no Brasil em 2011**. Natal: Ministério de Pesca e Aquicultura, Governo Federal, p. 01-82, 2013. Disponível em: <http://abccam.com.br/site/wp-content/uploads/2013/12/LEVANTAMENTO-DA-INFRAESTRUTURA-PRODUTIVA.pdf>. Acesso em: 18 fev. 2014.
- AGUIAR, J. E.; MARINS, R. V.; ALMEIDA, M. D. **Comparação de metodologias para determinação da partição geoquímica de metais em sedimentos da plataforma continental nordeste brasileira**. In: Congresso Latino-Americano de Ciências do Mar – Colacmar 12. 2007, Instituto de Ciências do Mar-Labomar, UFC, Florianópolis, 2007.
- ALVES, C. S.; MELLO, G. L. **Manual para o monitoramento hidrobiológico em fazendas de cultivo de camarão**. 2007. Recife: Federação da Agricultura do Estado de Pernambuco, p.1-58. 2007.
- AMORIM, E. P. **Avaliação da concentração de metais e outros elementos de interesse em amostras de sedimentos dos Estuários de Santos / São Vicente e Cananéia, Estado de São Paulo, Brasil**. 2012. 350 f. Tese (Doutorado em Ciências na área de Tecnologia Nuclear – Aplicações) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.
- ANJOS, A. E. S. **Avaliação quimiométrica da influência da carcinicultura sobre a qualidade da água do rio da Ribeira, Santa Rita, Pernambuco**. 2009, 63 p. Dissertação (Mestrado em Química), Programa de Pós-Graduação em Química do Centro de Ciências Exatas e da Natureza, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2009.
- ARAÚJO, D.C. **Avaliação do programa nacional de desenvolvimento da aquicultura: o caso da carcinicultura marinha no nordeste**. 2003. 139 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão Pública para Desenvolvimento do Nordeste) - Agência de Desenvolvimento do Nordeste, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2003.
- 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**, Londres, v. 101, p. 187-197, 1976.
- ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard practice for Extraction of trace elements from sediments**. West Conshohocken: ASTM, v.11, n. 2, 1992.
- AZEVÊDO, V. C. S. **Carcinicultura: parâmetros integrativos como instrumentos de prevenção de impactos**. 2006. 160 f. Dissertação (Mestrado em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo) - Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2005.
- AZEVÊDO, R. V. **Biofiltração e desempenho da ostra *Crassostrea Rhizophorae* (Guilding, 1828) utilizando efluentes de tanque de sedimentação de cultivo do camarão**

***Litopenaeus Vannamei* (Boone, 1801).** 2011. 57 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) - Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal, Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, 2011.

BARROS, S. R. R. C. **Estudo da partição de metais traço em uma linha d'água em um tanque de cultivo de camarão marinho do município de Santa Rita, PB. João Pessoa.** 2006. 80 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal Da Paraíba, 2006.

BERRETA, M. S. R. **A qualidade das águas da lagoa do Imaruí e dos efluentes da carcinicultura- Laguna, SC.** 2007. 164 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós Graduação em Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

BONAI, N.C.; SOUZA-FRANCO, G.M.; FOGOLARI, O.; MOCELIN, D.J.C. & DAL MAGRO, J. 2009. Distribution of metals in the sediment of the Itá Reservoir, Brazil. **Acta Limnologica Brasiliensis**, 21(2): 245-250, 2009.

BOYD, Claude E.; GREEN, Bartholomew W. Coastal water quality monitoring in shrimp farming areas, an example from Honduras. **Report prepared under the World Bank, NACA, WWF and FAO Consortium Program on Shrimp Farming and the Environment. Work in Progress for Public Discussion. Published by the Consortium**, v. 29, 2002.

BOYD, C. E. Guidelines for aquaculture effluent management at the farm level. **Aquaculture**, v. 226, n. 1, p. 101-112, 2003.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 312, de 10 de outubro de 2002. Dispõe sobre o licenciamento ambiental na zona costeira. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, n 203, p. 728-733, 18 out. 2002, Seção 1. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/>> legislação ambiental. Acesso em: 29 set. 2013.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. 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 e revoga as Resoluções nº 344 de 2004 e nº 421 de 2010. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, n 216, p. 66, 08 nov. 2012. Seção 1. Disponível em: <<http://www.in.gov.br/visualiza/index.jsp?jornal=1&pagina=66&data=08/11/2012>>. Acesso em: 18 jan. 2015.

CALDAS, J. S; SANCHES FILHO, P. J. Determinação de Cu, Pb e Zn no sedimento da região do Pontal da Barra, Laranjal (Laguna dos Patos, Pelotas – Rs, Brasil). **Braz. J. Aquat. Sci. Technol.** v.17, n.1, p. 13-18, 2013.

CAMARA, D.A.; LIMA, J.C.; PIMENTA, H.C.D. **Ecoeficiencia na cadeia produtiva da carcinicultura: proposição de indicadores a partir da ISO 14031.** In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO 31. Inovação tecnológica e propriedade intelectual: desafios da engenharia de produção na consolidação do Brasil no cenário econômico mundial. Belo Horizonte, MG, 2011.

CHAGAS, R. B. **Influência de diferentes densidades de estocagem sobre o crescimento do *Litopenaeus vannamei* e caracterização do sedimento e solo dos viveiros.** 2007. 90 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Curso de Pós-Graduação em Ciências Agrárias. Centro de Ciências Agrárias e Ambientais. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2007.

COSTA, N. B. C. **Gestão sócio-ambiental de empresas de carcinicultura do litoral oeste do estado do ceará.** 2006. 120 f. Dissertação (Mestrado em Controladoria) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2006.

CUNHA, P.E.V. **Aplicação da metodologia para estimativa do fator de emissão – nutrientes e metais pesados – para avaliar a contribuição dos efluentes de carcinicultura no estuário do rio Potengi, Natal (RN).** 2010, 119 f. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração em Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

DAVIES, O.A.; ALLISON M.E. & UYI, H.S. 2006. Bioaccumulation of heavy metals in water, sediment and periwinkle (*Tympanotonus fuscatus var radula*) from the Elechi Creek, Niger Delta. **African Journal of Biotechnology**, 5(10): 968-973, 2006.

DOURADO, J. B. **Elementos traço em sedimentos e *Anomalocardia brasiliana* (Gmelin, 1791) em área sob influência de carcinicultura, Salinas da Margarida, Bahia.** 2013. 102 f. Dissertação (Mestrado em Geoquímica: Petróleo e Meio Ambiente) - Programa de Pós-Graduação em Geoquímica: Petróleo e Meio Ambiente, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2013.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo.** 2. ed. rev. atual. 23 p, 1997.

FERREIRA, A. P. Avaliação das concentrações de metais pesados no sedimento, água e em *Leucopternis lacernulata* (gavião-pomba). Estudo de caso: Baía de Sepetiba, Rio de Janeiro. 2009. **Gaia Scientia**, 3(2): 23 – 31, Rio de Janeiro, 2009.

FIGUEIRÊDO, M. C. B.; ROSA, M. F.; GONDIM, R.S. Sustentabilidade ambiental da carcinicultura no Brasil: desafios para a pesquisa. **Revista Econômica do Nordeste**, v.34, n.2, 2003.

FIGUEIREDO, M.C.B.; ARAUJO, L.F.P.; GOMES, R.B. et al. Impactos ambientais do lançamento de efluentes da carcinicultura em águas interiores. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v.10, n.2, p.167-74, 2005.

FOLK, R.L.; WARD, W.C. Brazos river bar: a study of significance of grain size parameters. **J. Sediment. Petrol.**, v. 27, p. 3-26, 1957.

FONSECA, L. V. **Capacidade de retenção de fósforo e material particulado em suspensão por manguezal de área impactada por efluentes da carcinicultura.** 2009. 102 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Marinhas) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais, Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

FREIRE, L.C.S. **Hidrodinâmica e ressuspensão de sedimentos em viveiros de camarão.** 96 f, 2008. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Oceânica) – Programa de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2008.

FROEHNER, S.; MARTINS, R. F. Avaliação da composição química de sedimentos do rio Barigui na Região Metropolitana de Curitiba. **Química Nova**, São Paulo, v.31, n.8, p.2020-2026, 2008.

GARCIA, C. A. B.; SANTOS, G. P.; GARCIA, H. L. Análise dos parâmetros físico químicos dos viveiros de camarão na grande Aracaju, Sergipe, Brasil. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v.11, n. 2, 2009.

GRASSHOFF, K.; EHRHARDT, M.; KREMLING, K. **Methods of seawater analysis.** 2. ed. Weinheim: Verlag Chemie, 1983.

HADLICH, G. M.; UCHA, J. M.; CELINO, J. J. Apicuns na Baía de Todos os Santos, Bahia: distribuição espacial, descrição e caracterização física e química. In: QUEIROZ, A. F.S.; CELINO, J. J. (Org.). **Avaliação de ambientes na Baía de Todos os Santos:** aspectos geoquímicos, geofísicos e biológicos. 1 ed. Salvador: Universidade Federal da Bahia, 2008, p. 59-72.

HATJE, V.; ANDRADE, J. B. **Baía de Todos os Santos:** aspectos oceanográficos. EDUFBA. Salvador: Editora da Universidade Federal da Bahia, 2009. 306 p. : il

HEINRICH, A. B.; MATHIAS, A.L. **Avaliação De Poluentes e granulometria do sedimento de lagos urbanos na Cidade de Curitiba, Paraná.** In: Congresso Nacional de Meio Ambiente de Poços de Caldas. 11.2014, Minas Gerais, 2014.

HORTELLANI, M. A. et al. Avaliação da contaminação por elementos metálicos dos sedimentos do Estuário Santos - São Vicente. **Química Nova**, São Paulo, v. 31, n. 1, p. 10-19, 2008.

IBAMA-INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Diagnóstico da atividade de carcinicultura no Estado do Ceará.** Fortaleza, Ce: IBAMA, 2005, 240 p.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades @.** Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/@Cidades>. Acesso em: 21 fev. 2014.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Bases cartográfica integrada digital do Brasil ao milionésimo.** versão 1. CD ROM. Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: [ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapeamento\\_sistematico/base\\_vetorial\\_continua\\_escala\\_250mil/](ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapeamento_sistematico/base_vetorial_continua_escala_250mil/). Acesso em: 15 jan. 2015.

INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Estações automáticas – gráficos:** Salvador (Ondina). Disponível em: [http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede\\_estacoes\\_auto\\_graf](http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede_estacoes_auto_graf). Acesso em: 23 fev. 2014.



ISHIKAWA, D. N. et al. Avaliação do risco ambiental em sedimentos dos lagos do Riacho Cambe, em Londrina, pela distribuição de metais. **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n. 7, p. 1744-1749, 2009.

JESUS, H. C.; COSTA, E. A.; MENDONÇA, A. S. F.; ZANDONADE, E. Distribuição de metais pesados em sedimentos do sistema estuarino da ilha de Vitória, ES. **Química Nova**, v. 27, p. 378-386, 2004.

LACERDA, L.D.; MARINS, R.V.; VAISMAN, A.G.; MAIA, S.R.R.; AGUIAR, J.E.; DIAS, F.J.S. **Contaminação por metais pesados nas bacias inferiores dos rios Curimataú e Açú (RN) e rio Jaguaribe (CE)** In: Impacto do ambiente Exógeno sobre a Carcinicultura Marinha. Associação Brasileira dos Criadores de Camarão (ABCC), Instituto de Ciências do Mar (LABOMAR-UFC), Sociedade Internacional para Ecossistemas de Manguezal (ISME-BR). Fortaleza, 87 p, 2004.

LIMA, E. A. M. **Avaliação da qualidade dos sedimentos e prognóstico geoquímico ambiental da zona estuarina do rio Botafogo, Pernambuco.** 2008,180 p. Tese (Doutorado em Geociências), Programa de Pós-Graduação em Geociências do Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.

LOPES, D. V. **Acúmulo de metais traço cobre (Cu) e zinco (Zn) em viveiros de cultivo de camarão (*Litopenaeus vannamei*).** 2006. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Marinhas Tropicais) - Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, 2006.

LOUREIRO, D.; FERNANDEZ, M.; HERMS, F.; ARAÚJO, C.; LACERDA, L. D. Distribuição dos metais pesados em sedimentos da Lagoa Rodrigo de Freitas. **Revista O Ecologia Australis.** p. 353-364, set, 2012.

LÚCIO, M. M. L. M. **Avaliação preliminar do efeito da carcinicultura sobre o sedimento de um trecho do Rio da Ribeira, Santa Rita-PB.** 2009. 51 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2009.

MARISCAL-LAGARDA, M.M.; PÁEZ-OSUNA, F.; ESQUER-MÉNDEZ, J.L.; GUERRERO-MONROY,I.; ROMO DEL VIVAR, A.; FÉLIX-GASTELUM, R. 2012. Integrated culture of whiteshrimp (*Litopenaeus vannamei*) and tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) with low salinity groundwater: management and production. **Aquaculture**, México, v. 366, p. 76–84, 2012.

MARISCAL-LAGARDA, M.M., PÁEZ-OSUNA, F. Mass balances of nitrogen and phosphorus in an integrated culture of shrimp (*Litopenaeus vannamei*) and tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) with low salinity groundwater: A short communication. 2014. **Aquacultural Engineering**, México, v. 58, p. 107–112, 2014.

MARQUES, J.S.J.; RANGEL, T.P.; BRITO, F.P.; ALMEIDA, M.G.; SALOMÃO, M.S.M.B.; GOBO, A.A.R.; SOUZA-SANTOS, L.P.; ARAÚJO-CASTRO, C.M.V.; COSTA, M.F.; REZENDE, C.E. Geoquímica de metais em sedimentos da zona estuarina do Complexo Industrial Porto de Suape, PE – Brasil. **Revista da Gestão Costeira Integrada.** v. 11, n. 4, p. 379-387, 2011.

MESQUITA, E.A.; FROTA, P.V.; SOARES, V.L. Carcinicultura no litoral do ceará: análise das modificações impressas no estuário do rio Pirangi, Ceará. **Revista Geonorte**, v.1, n.4, p.540 – 551, 2012.

MILLAN, R.N. **Dinâmica da qualidade da água em tanques de peixes de sistema pesque-pague: aspectos físico-químicos e plâncton**.2009. 97 f. Dissertação (Mestrado em Aquicultura) - Programa de Pós-Graduação em Aquicultura do Centro de Aquicultura, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, São Paulo, 2009.

MOLNAR, N.; WELSH, D.T.; MARCHAND, C.; DEBORDE, J.; MEZIANE, T. Impacts of shrimp farm effluent on water quality, benthic metabolism and N-dynamics in a mangrove forest (New Caledonia). 2013. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 117, p. 12-21, 2013.

NASCIMENTO, I. A. Carcinicultura: problema ou solução. In: *Mangrove 2000 - Sustentabilidade de Estuários e Manguezais: Desafios e Perspectivas*, 2000, Recife, Mangrove 2000 CD ROM. Trabalhos Completos: Exploração Racional do Ambiente, Recife: Universidade Federal de Pernambuco/ International Society for Mangrove Ecosystems, 2000.

NASCIMENTO, M. R. L.; MOZETO, A. A. Reference values for metals and metalloids concentrations in bottom sediments of Tietê River Basin, Southeast of Brazil. **Soil and Sediment Contamination**, Londres, v. 17, n. 3, p. 269-278, 2008.

NOAA - NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. **Environmental Sensitivity index guidelines**: version 2.0. Seattle: Hazardous Materials Response and Assessment Division, NOAA, 1999. (Technical Memorandum NOS ORCA, 115).

OLIVEIRA, M. S. R. **Estudo da especiação de metais traço em sedimentos de um tanque de cultivo de camarão marinho do município de Santa Rita-Pb**. 2006. 83 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Centro de Ciências Exatas e da Natureza, Departamento de Química, Universidade Federal da Paraíba, 2006.

OLIVEIRA,G. D.; MATTOS,K. M. C. Impactos ambientais provocados pela indústria de camarão no município de Nísia Floresta (RN). **Revista Gerenciais**, São Paulo, v. 6, n. 2, p. 183-188, 2007.

OLIVEIRA, R. C.B.; MARINS, R.V. Dinâmica de metais-traço em solo e ambiente sedimentar estuarino. como um fator determinante no aporte desses contaminantes para o ambiente aquático: revisão. **Revista Virtual de Química**. v.3, n. 2, p. 88-102, 2011.

OLIVEIRA, R.C.B. **Investigação do comportamento geoquímico de metais-traços em solos e sedimentos da bacia inferior do rio Jaguaribe, nordeste do Brasil**. 2012. 145 f. Tese (Doutorado em Ciências Marinhas Tropicais) - Programa De Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais do Instituto de Ciências do Mar-Labomar, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.

PASSOS, A. L. O. **Carcinicultura marinha**: caracterização e conflitos entre as esferas ambiental e produtiva no município de Jaguaripe, Bahia. Monografia (Graduação em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2010.

PÁEZ-OSUNA, F.; GUERRERO-GALVÁN, S. R.; RUIZ-FERNÁNDEZ, A. C. The Environmental impact of shrimp aquaculture and the coastal pollution in Mexico. **Marine Pollution Bulletin**, México, v. 36, n. 1, p. 65-75, 1998.

PÁEZ-OSUNA, F. The environmental impact of shrimp aquaculture: causes, effects, and mitigating alternatives. **Environmental Management**, México, v.28, n.1, p.131-140, 2001.

PINHA, C. C. C.L. **Incorporação da produção mais limpa em carcinicultura: Subsídios para uma gestão eco-compatível**. 2006. 185 f. Dissertação (Mestrado em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo) - Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2006.

QUEIROZ, J.F.; BOEIRA, R. C.; SILVEIRA, M. P. **Coleta e preparação de amostras de sedimentos de viveiros de aqüicultura**. EMBRAPA, Comunicado Técnico n. 17. Jaguariúna, Ago, 2004. Disponível em <<http://www.cnpma.embrapa.br/public/conta.php3?flag=39> > Acesso em: 16 Dez. 2004.

QUEIROZ, A. F. de S.; CELINO, J. J. (Org.). **Avaliação de ambientes na Baía de Todos os Santos: aspectos geoquímicos, geofísicos e biológicos**. Salvador: UFBA, 300 p. 2008.

QUEIROZ, J. F. Boas práticas aquícolas (BPA) em viveiros garantem sucesso da produção. **Visão Agrícola**, n.11, p 36-39, São Paulo, 2012.

RAMOS E SILVA, C. A; DÁVALOS, P. B; STERNBERG, L. S. L; SOUZA, F. E. S; SPYRIDES, M. H. C; LUCIO, P. S. The influence of shrimp farms organic waste management on chemical water quality. 2010. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, p. 55-60, 2010.

RAMOS, M. L. N. **Evaluacion Ambiental del Municipio de Salinas da Margarida, Bahía, Brasil**. 2012. 169 f. Tese (Doutorado) - Instituto Universitário de Xeoloxía, Universidade da Coruña, Coruña, 2012.

RIOS, K. A. N.; GERMANI, G. I. Carcinicultura e comunidades pesqueiras: produção do espaço no Distrito de Acupe/ Santo Amaro-Ba. In: ENCONTRO NACIONAL DOS GEÓGRAFOS, 16. Crise, práxis e autonomia: espaços de resistência e de esperanças. Espaço de Diálogos e Práticas. 2010, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: s.d., 2010.

ROCHA, I. P. Shrimp Farming In Brazil. Burgeoning Industry Recovering, Future Holds Potential Associação Brasileira de Criadores de Camarão. 2010. **Global Aquaculture Advocate**, Brasil, p 43-45, 2010.

ROCHA, I. P. Carcinicultura Brasileira: processos tecnologicos, impactos sócio-econômicos, sustentabilidade ambiental, entraves e oportunidades. In: **Associação Brasileira de Criadores de Camarão**, 2011.

RODRIGUES, S.M. **Determinação dos teores de metais-traço: cobre, chumbo e zinco nos sedimentos superficiais de uma Bacia de pequeno porte do Cerrado Piauiense**. 2012, 56 f. Monografia (Licenciado em Ciências Biológicas) - Campus Professora Cinobelina Elvas, Universidade Federal do Piauí, Bom Jesus, Piauí, 2012.

SAMPAIO, A.C.S. **Metais pesados na água e sedimentos dos rios da bacia do alto Paraguai**. 2003. 76 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos) - Centro de Ciências Exatas e Tecnologia do Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2003.

SANTOS, J.A. **Determinação de Cu e Zn em fazendas produtoras de camarão do Litoral Leste do Estado do Ceará**. 2005. 73 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Marinhas Tropicais) - Instituto de Ciências do Mar do Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2005.

TORRES, R. F. **Disponibilidade dos metais cobre e chumbo em um canal de maré receptor de efluentes de carcinicultura**. 2009. 134 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Marinhas Tropicais) - Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, 2009.

TROTT, L.A.; MCKINNON, A.D.; ALONGI, D.M.; DAVIDSON, A.; BURFORD, M.A. Carbon and nitrogen processes in a mangrove creek receiving shrimp farm effluent. 2004, **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, Australia, v. 59, p. 197-207, 2004.

UCHA, J. M.; HADLICH, G. M.; CARVALHO, E. G. S. Manguezais e carcinicultura no Baixo Sul do Estado da Bahia, Brasil. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, 15., 2011, Curitiba. **Anais eletrônicos...** Curitiba: INPE, 2011. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p0354.pdf>. Acesso em: 16 dez. 2013.

WU, X.Y.; YANG, Y.F. Accumulation of heavy metals and total phosphorus in intensive aquatic farm sediments: comparison of tilapia *Oreochromis niloticus* x *Oreochromis aureus*, Asian seabass *Lateolabrax niloticus* and white shrimp *Litopenaeus vannamei* farms. **Aquaculture Research**, China, v. 41, p. 1377-1386. 2010.

WU, X.Y.; YANG, Y.F. Heavy metal (Pb, Co, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn and Zn) concentrations in harvest-size white shrimp *Litopenaeus vannamei* tissues from aquaculture and wild source. **Journal of Food Composition and Analysis**, China, v. 24, p. 62–65, 2011.

## APÊNDICES

**Tabela 1** – Teste de normalidade Shapiro-Wilk dos metais traço e elementos maiores

| Variável                  | <i>p</i> -valor<br>Shapiro-Wilk |
|---------------------------|---------------------------------|
| Al (%)                    | 0,0087                          |
| Ba(mg kg <sup>-1</sup> )  | 0,0089                          |
| Ca (mg kg <sup>-1</sup> ) | 0,0084                          |
| Cr (mg kg <sup>-1</sup> ) | 0,0108                          |
| Cu (mg kg <sup>-1</sup> ) | 0,0081                          |
| Fe (%)                    | 0,0086                          |
| Mg (mg kg <sup>-1</sup> ) | 0,0084                          |
| Mn (mg kg <sup>-1</sup> ) | 0,0091                          |
| Ni (mg kg <sup>-1</sup> ) | 0,0062                          |
| Pb (mg kg <sup>-1</sup> ) | 0,0182                          |
| V (mg kg <sup>-1</sup> )  | 0,0199                          |
| Zn (mg kg <sup>-1</sup> ) | 0,0287                          |

Teste de normalidade Shapiro-Wilk com *p*-valor (<0,05) indicando dados não normais

**Tabela 2-** Teste de Mann-Whitney dos metais traço e elementos maiores dos sedimentos nos períodos (chuvoso e seco) demonstrando os diferentes períodos anuais

| Variável | Período Chuvoso |                 | Período Seco    |                  |                     |
|----------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|---------------------|
|          | Mediana ± D.P   | Min-Máx         | Mediana±D.P     | Min-Máx          | <i>p</i> -bilateral |
| Al       | 447,37±423,35   | 51,53-1817,57   | 262,99±441,58   | 59,15-2076,36    | 0,0449              |
| Ba       | 2,78±2,99       | 0,27-11,45      | 1,9±2,74        | 0,27-10,97       | 0,5362              |
| Ca       | 3621,65±8415,06 | 475,11-43613,21 | 4117,94±5213,61 | 1081,61-19540,02 | 0,6007              |
| Cd       | 0,25±0          | 0,25-0,25       | 0,25±0          | 0,25-0,25        | 1                   |
| Co       | 0,10±0,09       | 0,10-0,47       | 0,10±0          | 0,10-0,10        | 0,4050              |
| Cr       | 0,98±1,04       | 0,05-4,63       | 0,59±1,83       | 0,05-10,12       | 0,0073              |
| Cu       | 1,57±1,48       | 0,37-7,36       | 1,05±2,40       | 0,37-10,36       | 0,0289              |
| Fe       | 1105,51±1137,60 | 0,66-5762,36    | 884,33±1653,33  | 67,6-8466,73     | 0,5317              |
| Mg       | 1442,04±1536,01 | 414,14-8177,85  | 1779,52±1707,87 | 757,41-8523,17   | 0,0685              |
| Mn       | 3,85±5,29       | 0,25-22,9       | 3,56±5,45       | 0,74-25,56       | 0,8014              |
| Ni       | 0,23±0,47       | 0,23-2,15       | 0,23±0,75       | 0,23-4,13        | 0,3260              |
| Pb       | 1,49±1,07       | 0,38-5,02       | 1,00±1,70       | 0,38-8,95        | 0,0836              |
| V        | 1,63±1,41       | 0,11-6,56       | 1,39±2,08       | 0,11-12,1        | 0,2635              |
| Zn       | 6,41±5,34       | 0,23-29,6       | 4,59±8,46       | 0,23-41,95       | 0,0755              |

**Tabela 3** – Teste de normalidade Shapiro-Wilk dos parâmetros, metais traço e elementos maiores nos períodos de coletas

| Variável                     | Período Chuvoso<br><i>p</i> -valor<br>Shapiro-Wilk | Período Seco<br><i>p</i> -valor<br>Shapiro-Wilk |
|------------------------------|--|---|
| Profundidade da água         | <b>0,1375*</b>                                     | 0,0117  |
| pH                           | <b>0,4568*</b>                                     | 0,0090  |
| Eh (mV)                      | 0,0090   | 0,0089  |
| Condutividade (S/m)          | 0,0058   | 0,0074  |
| Salinidade                   | 0,0077   | 0,0089  |
| M.O %                        | 0,0087   | 0,0075  |
| N %                          | 0,0063   | 0,0076  |
| P (mg kg <sup>-1</sup> )     | 0,0069   | <b>0,0758*</b>                                  |
| K (mg kg <sup>-1</sup> )     | 0,0095   | 0,0090  |
| Areia (g,kg <sup>-1</sup> )  | 0,0081   | 0,0078  |
| Silte (g,kg <sup>-1</sup> )  | 0,0081   | 0,0078  |
| Argila (g,kg <sup>-1</sup> ) | 0,0076   | 0,0062  |
| Al (%)                       | 0,0097   | 0,0078  |
| Ba(mg kg <sup>-1</sup> )     | 0,0095   | 0,0084  |
| Ca (mg kg <sup>-1</sup> )    | 0,0080   | 0,0088  |
| Cr (mg kg <sup>-1</sup> )    | 0,0158   | 0,0059  |
| Cu (mg kg <sup>-1</sup> )    | 0,0097   | 0,0066  |
| Fe (mg kg <sup>-1</sup> )    | 0,0097   | 0,0076  |
| Mg (mg kg <sup>-1</sup> )    | 0,0082   | 0,0087  |
| Mn (mg kg <sup>-1</sup> )    | 0,0095   | 0,0088  |
| Ni (mg kg <sup>-1</sup> )    | 0,0075   | 0,0049  |
| Pb (mg kg <sup>-1</sup> )    | 0,0290   | 0,0074  |
| V (mg kg <sup>-1</sup> )     | 0,0331   | 0,0067  |
| Zn (mg kg <sup>-1</sup> )    | <b>0,0501*</b>                                     | 0,0074  |

Teste de normalidade Shapiro-Wilk com *p*-valor (<0,05) indicando dados não normais, \*Valores com *p*>0,05