

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR
PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS MARINHAS TROPICAIS

**ACÚMULO DE METAIS TRAÇO COBRE (Cu) E
ZINCO (Zn) EM VIVEIROS DE CULTIVO DE
CAMARÃO
(*Litopenaeus vannamei*)**

DANIELLE VIEIRA LOPES

ORIENTADOR: PROF.DR. LUIZ DRUDE DE LACERDA

**FORTALEZA – CE
AGOSTO/2006**

**ACÚMULO DE METAIS TRAÇO COBRE (Cu) E
ZINCO (Zn) EM VIVEIROS DE CULTIVO DE
CAMARÃO
(*Litopenaeus vannamei*)**

DANIELLE VIEIRA LOPES

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Ciências Marinhas Tropicais do Instituto de Ciências do Mar como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Ciências Marinhas Tropicais, outorgado pela Universidade Federal do Ceará.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Drude de Lacerda

**FORTALEZA – CE
AGOSTO/ 2006**

À minha família pelo apoio incondicional.

AGRADECIMENTOS

Tenho que agradecer muito a diversas pessoas que contribuíram para a realização deste trabalho.

À minha família que sempre me apoiou e permitiu realizar meus sonhos. Ao Iranildo pelo carinho e companhia.

Ao Prof. Drude pelo apoio, paciência, orientação e incentivo durante momentos críticos.

À Prof^a. Rozane Marins pela orientação e treinamento em laboratório e por ter feito às vezes de mãe em várias ocasiões.

Aos amigos do Laboratório de Biogeoquímica Costeira: Gardenny, Samara, Breno, Edvar, Telma, Franze, Marcelo, Heloísa, Maurício, Janaína, Edilza e Raquel. Obrigada pela amizade, pelas ajudas constantes, desde a coleta até os momentos de pia e vidraria!

A todos os amigos que fiz no Labomar, obrigado por todos os momentos compartilhados.

Aos funcionários e professores do Labomar que auxiliaram sempre que necessário.

Ao Sr. Mauro e ao Prof^o Francisco de Paula (UESC/BA) pela cooperação na coleta e envio de amostras.

A CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Mateus que tornou tudo mais significativo.

SUMÁRIO

Lista de tabelas	vi
Lista de figuras	viii
Resumo	1
Abstract	2
1- Introdução	3
1.1 – Metais traço na Carcinicultura	3
2 – Objetivos	5
2.1 – Objetivo geral	5
2.2 – Objetivos específicos	5
3 – Área de estudo	6
3.1 – Seleção e localização das áreas de estudo	6
3.2 – Caracterização das áreas de estudo	7
3.2.1 – Bacia do Rio Jaguaribe	7
3.2.2 – Bacia do Rio Pardo	9
4- Material e Métodos	10
4.1 – Amostragem	10
4.1.1 – Amostragem na Fazenda 1	10
4.1.2 – Amostragem na Fazenda 2	10
4.2 – Processamento das amostras	11
4.2.1 – Perfis sedimentares	11
4.2.2 – Amostras de camarão	12
4.2.3 – Amostras de sedimento superficial e insumos	13
4.3 – Determinação de metais	13
4.3.1 – Validação da metodologia	14
4.4 – Determinação do teor de matéria orgânica em sedimento	14
4.5 – Cálculo dos fatores de enriquecimento dos metais cobre e zinco	15
4.6 Análise estatística	15
4.6.1 – Teste t de Student	15
4.6.2 Análise de Variância	16
5 – Resultados e Discussão	16
5.1 – Concentração de Cu e Zn total em perfis sedimentares	16
5.2 – Concentração de Cu e Zn não disponível em perfis sedimentares	21
5.3 – Concentração de Cu e Zn biodisponível em perfis sedimentares	27
5.4 – Teor de matéria orgânica em perfis sedimentares	32
5.5 – Correlação dos metais Cu e Zn com carreadores geoquímicos	34
5.6 – Fatores de enriquecimento de sedimentos de viveiro da Fazenda 1	35
5.7 – Concentração de metais em camarões cultivados na Fazenda 1	37
5.8 – Concentração de metais em sedimento e insumos da Fazenda 2	38

5.9 – Concentração de metais nos camarões da Fazenda 2	41
6 – Conclusões	44
7 – Referências Bibliográficas	45
8 - Apêndice I	49
9 - Apêndice II	52
10 - Apêndice III	56
11- Apêndice IV	60

LISTA DE TABELAS

- Tabela I** – Resultados da abertura dos Padrões de Referência NIST 1646 a e LGC 6137. As concentrações estão expressas em percentual para Al e Fe e em $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ para cobre e zinco. (n= 30) **14**
- Tabela II** – Concentração de metal total ($\mu\text{g} \text{g}^{-1}$ peso seco) em perfis sedimentares de viveiros de cultivo de camarão com diferentes tempos de atividade, viveiros jovens (10 anos) e velhos (22 anos). Os valores expressam concentração mínima, máxima e média com desvio padrão respectivamente. Id expressa o limite de detecção da análise. **17**
- Tabela III** – Concentração de metal não disponível ($\mu\text{g} \text{g}^{-1}$ peso seco) em perfis sedimentares de viveiros de cultivo de camarão com diferentes tempos de atividade, viveiros jovens (10 anos) e velhos (22 anos). Os valores expressam concentração mínima, máxima e média com desvio padrão respectivamente. Id expressa o limite de detecção da análise. **22**
- Tabela IV** – Concentração de metal biodisponível ($\mu\text{g} \text{g}^{-1}$ peso seco) em perfis sedimentares de viveiros de cultivo de camarão com diferentes tempos de atividade, viveiros jovens (10 anos) e velhos (22 anos). Os valores expressam concentração mínima, máxima e média com desvio padrão respectivamente. Id expressa o limite de detecção da análise. **27**
- Tabela V** – Percentual de cobre e zinco biodisponíveis em relação à concentração total destes metais. Viveiros jovens têm 10 anos de atividade e velhos, 22 anos. Os valores expressam percentual mínimo, máximo e médio com desvio padrão respectivamente. **31**
- Tabela VI** – Percentual de matéria orgânica nos perfis sedimentares da Fazenda 1. Viveiros jovens têm 10 anos de atividade e velhos, 22 anos. Os valores expressam percentual mínimo, máximo e médio com desvio padrão respectivamente. **32**
- Tabela VII** – Correlações das concentrações de cobre e zinco com importantes carreadores geoquímicos. Os valores representam mínimo, máximo e média dos coeficientes de correlação calculados para cada testemunho. **34**
- Tabela VIII** – Fatores de enriquecimento para cobre e zinco em perfis sedimentares da Fazenda 1. Os valores representam mínimo, máximo e média com desvio padrão. **36**
- Tabela IX** – Concentração de cobre e zinco em músculo e carapaça de camarões coletados ao fim do ciclo produtivo nos viveiros estudados na Fazenda 1. Os valores representam mínimo, máximo e média com desvio padrão ($\mu\text{g} \text{g}^{-1}$ peso seco). **37**

Tabela X – Concentração de cobre e zinco em sedimentos coletados na Fazenda 2 e entorno. bd expressa biodisponível e nd não disponível. As concentrações estão em $\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco. **38**

Tabela XI – Concentração de cobre e zinco em sedimentos coletados na Fazenda 2 ao longo de um ciclo produtivo. **39**

Tabela XII – Concentração de cobre e zinco em insumos utilizados na Fazenda 2. **40**

Tabela XIII – Concentração de cobre e zinco em músculo e carapaça de camarões coletados ao longo de um ciclo produtivo na Fazenda 2. Os valores representam mínimo, máximo e média com desvio padrão. **41**

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Mapa do Brasil indicando as regiões participantes do projeto.	7
Figura 02 – Imagem de satélite da área de estudo no estado do Ceará.	8
Figura 03 – Imagem de satélite da área de estudo no estado da Bahia.	9
Figura 04 – Perfil sedimentar de viveiro de cultivo de camarão (Testemunho A5).	11
Figura 05 – Subdivisão de perfil sedimentar de acordo com as características de cada camada. (Testemunho A5).	12
Figura 06 - Concentração de cobre total em perfil sedimentar do viveiro 11.	19
Figura 07 - Concentração de cobre total em perfil sedimentar do viveiro A4.	19
Figura 08 - Concentração de zinco total em perfil sedimentar do viveiro 11.	20
Figura 09 - Concentração de zinco total em perfil sedimentar do viveiro A4.	21
Figura 10 - Concentração de cobre não disponível em perfil sedimentar do viveiro 11.	23
Figura 11 - Concentração de cobre não disponível em perfil sedimentar do viveiro A4.	24
Figura 12 - Concentração de zinco não disponível em perfil sedimentar do viveiro 11.	25
Figura 13 - Concentração de zinco não disponível em perfil sedimentar do viveiro A4.	26
Figura 14 - Concentração de cobre biodisponível em perfil sedimentar do viveiro 11.	28
Figura 15 - Concentração de cobre biodisponível em perfil sedimentar do viveiro A4.	29
Figura 16 - Concentração de zinco biodisponível em perfil sedimentar do viveiro 11.	30
Figura 17 - Concentração de zinco biodisponível em perfil sedimentar do viveiro A4.	31
Figura 18 - Teor de matéria orgânica (%) em perfil sedimentar do viveiro 11.	33
Figura 19 - Teor de matéria orgânica (%) em perfil sedimentar do viveiro A4.	34
Figura 20 – Variação na concentração de cobre em músculo e carapaça de camarões cultivados no estado da Bahia, ao longo de um ciclo de engorda.	42
Figura 21 – Variação na concentração de zinco em músculo e carapaça de camarões cultivados no estado da Bahia, ao longo de um ciclo de engorda.	42

RESUMO

A acumulação progressiva de cobre e zinco em viveiros de cultivo de camarão no estado do Ceará foi quantificada através da análise de perfis sedimentares coletados em viveiros com diferentes tempos de atividade. Houve incremento de 52,25% de cobre nos viveiros jovens e 122,4% nos velhos. Para zinco, o aumento percentual foi de 67,19% nos viveiros jovens e 80,66% nos velhos. O cálculo dos fatores de enriquecimento para estes metais indica que as fontes naturais de cobre ainda são as mais significativas para a região. Para zinco, as fontes antrópicas já superam as fontes naturais deste metal. Também foi analisada a variação temporal das concentrações de cobre e zinco em amostras de camarão coletadas no sul da Bahia. As concentrações de cobre na musculatura variaram de $14,7 \pm 1,9$ a $36,6 \pm 2,9 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ (peso seco) e na carapaça de $34,2 \pm 2,0$ a $58,0 \pm 4,6 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ (peso seco). Para zinco, as concentrações na musculatura variaram de $59,3 \pm 5,2$ a $68,4 \pm 3,5$ e na carapaça de $29,5 \pm 6,2$ a $69,8 \pm 12,1 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ (peso seco). As concentrações encontradas diferem das calculadas para o baixo Jaguaribe, demonstrando um caráter regional dos dados.

Palavras-chave: Carcinicultura, metais traço, sedimento, camarão.

ABSTRACT

The progressive accumulation of copper and zinc in sediments of shrimp aquaculture ponds at Ceará State was quantified by analysing sediment profiles collected in ponds of different ages. The copper content in the sediments increased 52,25% in the younger ponds and 122,4% in the older ones. The zinc concentration increased 67,19% in the younger ponds and 80,66% in the older ones. The enrichment factor calculated for copper demonstrates that the natural sources are still more important than the anthropogenic sources of this metal to the environment. For zinc, the enrichment factor demonstrates that anthropogenic sources are more significant than the natural ones to the total load of this metal to the region. The temporal variability of copper and zinc concentrations in shrimp samples collected in Bahia was also analysed. The copper concentration in muscle tissue ranged from $14,7 \pm 1,9$ to $36,6 \pm 2,9 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ and in the exoeskeleton from $34,2 \pm 2,0$ to $58,0 \pm 4,6 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ (dry weight basis). The zinc content in muscle tissue ranged from $59,3 \pm 5,2$ to $68,4 \pm 3,5$ and in the exoeskeleton from $29,5 \pm 6,2$ to $69,8 \pm 12,1 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ (dry weight basis). The values found in Bahia differ from those calculated to the lower Jaguaribe basin, demonstrating a regional character of the data.

Keywords: Shrimp aquaculture, trace metals, sediment, shrimp.

1 - INTRODUÇÃO

A criação de camarões em viveiros é a atividade que mais cresce no ramo da Aqüicultura. Na região nordeste do Brasil ocorreu uma expansão acelerada da área cultivada, do número de fazendas, da produção e das exportações, resultando em substancial geração de emprego (Sampaio *et al.*, 2003; Sampaio & Costa, 2004). A espécie mais cultivada no Brasil, o camarão branco (*Litopenaeus vannamei*), se adaptou muito bem às condições locais gerando os maiores índices de produtividade mundial localizada, 5.029 Kg.ha⁻¹.ano⁻¹ (Mello, 2003).

Apesar dos excelentes resultados zootécnicos obtidos no país e da crescente produção, atingindo o pico de 90.000 t em 2003, a carcinicultura começou a mostrar sinais de desgaste, com a produção atingindo apenas 53.000 t em 2005 (ABCC, 2005). Esta queda na produção foi atribuída a diversos fatores como a ocorrência de patologias, às crescentes densidades empregadas nos viveiros, deficiências no manejo das fazendas e desequilíbrios ambientais (Tupinambá, 2006).

A viabilidade econômica da carcinicultura, como de qualquer outra atividade de pecuária intensiva, é diretamente influenciada pela qualidade do meio ambiente no qual se insere. Desta forma, a emissão de substâncias contaminantes nas bacias de drenagem e pela própria carcinicultura pode causar significativos decréscimos de produtividade (Bainy, 2000; Lacerda *et al.*, 2004a).

Entre estes contaminantes destacam-se os metais traço, que por serem virtualmente não-degradáveis, causam efeitos duradouros nos ecossistemas, mesmo após o controle ou a suspensão das fontes principais de contaminação (Lacerda, 1998). Estes contaminantes podem se acumular em tanques de cultivo e, eventualmente, causar problemas a própria produtividade da criação.

1.1- Metais traço e a Carcinicultura

Os metais traço são elementos químicos que ocorrem nos ecossistemas em pequenas concentrações, na ordem de partes por milhão a partes por bilhão. São contaminantes ubíquos em efluentes industriais, urbanos e agrícolas. Além disto, são componentes naturais da deposição atmosférica, ocorrendo em solos, águas e na biota. Desta forma, mesmo sob condições de baixo desenvolvimento industrial,

alguns metais podem atingir concentrações potencialmente perigosas para a biodiversidade de uma determinada área (Lacerda *et al.*, 2004a).

Nas zonas costeiras devido às mudanças drásticas na topografia dos rios, na velocidade da água e logo, na capacidade de transporte, ocorre deposição das partículas em suspensão, incluindo metais traço, que são retidos e depositados nos sedimentos (Lacerda, 1998). Apesar de parecer que os ecossistemas costeiros funcionam como sumidouros de poluentes, a imobilização destas substâncias está intimamente relacionada à saúde do ambiente. Ou seja, quando ocorre mudança nas características típicas destes ecossistemas, através de desmatamentos, construção de estruturas para aqüicultura e outras atividades antrópicas, estes ambientes passam a se constituir em fontes de poluentes.

Não apenas o Brasil, mas diversas regiões tropicais têm sofrido intenso processo de industrialização e urbanização ao longo de suas áreas costeiras, com grande percentual da população habitando esses ecossistemas. Assim, a contaminação de ambientes costeiros por metais traço está se tornando uma ameaça real à biodiversidade e à qualidade de muitos recursos naturais renováveis.

Baixos índices de produtividade na carcinicultura têm sido atribuídos a elevadas concentrações de metais tóxicos (Gosavi *et al.*, 2004). Wu e Chen (2005) afirmam que um dos efeitos adversos imediatos dos metais sobre camarões brancos é o retardo do crescimento. Yeh *et al.* (2004) detectaram que a exposição de camarões ao cobre causa aumento na susceptibilidade do *L. vannamei* a *Vibrio alginolyticus*, agente etiológico de doenças infecciosas que atingem viveiros de cultivo de camarão. Bainy (2000) alerta para o risco de perdas massivas na produção de camarões cultivados que empregam diversos insumos a fim de sustentar altas densidades e grandes produtividades. Estes insumos contêm alguns contaminantes, destaque para os metais traço, que afetam significativamente o desempenho zootécnico dos cultivos.

Cobre e zinco são metais traço essenciais para o camarão *Litopenaeus vannamei*, participando na constituição do pigmento respiratório hemocianina e de diversos processos enzimáticos, respectivamente (Rainbow *et al.*, 1999). Assim, esses metais são requeridos em certas concentrações para o metabolismo do animal. Entretanto, concentrações elevadas de cobre e zinco têm o potencial de ser tóxico para os camarões.

Os crustáceos em geral apresentam mecanismos para regular as concentrações destes metais no organismo, através do armazenamento temporário ou permanente dos metais sob formas quimicamente inertes (Rainbow et al., 1999) ou ainda através de mecanismos de depuração via exoesqueleto como sugerido por Keteles & Fleeger (2001). Entretanto essa via de depuração implica em gasto energético já que ocorre via transporte ativo.

Diversos estudos demonstram que os crustáceos são sensíveis à exposição a metais traço, podendo se verificar alterações na taxa de sobrevivência, no crescimento, na muda, no comportamento alimentar (Chen & Lin, 2001; Wu & Chen, 2005), na capacidade de osmoregulação e respiração (Hossain & Khan, 2001).

O acúmulo progressivo de metais traço em sedimentos de viveiros e também em sedimentos dos corpos receptores de efluentes já foi demonstrado por alguns trabalhos (Yuvanatemiya & Boyd, 2006; Mendiguchia *et al.*, 2006). Neste cenário desfavorável à carcinicultura, propõe-se uma análise das concentrações de cobre e zinco em viveiros de cultivo de camarão nos estados do Ceará e Bahia, localizados na principal região produtora de camarão cultivado do país.

2 - OBJETIVOS

2.1 - Objetivo geral

Quantificar a acumulação progressiva de metais traço, cobre e zinco, em sedimentos de viveiros de cultivo de camarão através da análise de perfis de sedimentos obtidos em viveiros de diferentes idades e conseqüentemente diferentes tempos de atividade.

2.2 – Objetivos específicos

- Determinar a concentração de cobre (Cu), zinco (Zn) e sua distribuição em perfis sedimentares coletados em viveiros de cultivo de camarão com dez (viveiros jovens) e vinte e dois anos de atividade (viveiros velhos);

- Determinar os fatores de enriquecimento de Cu e Zn para cada categoria de idade de viveiro;
- Correlacionar as concentrações de Cu e Zn ao teor de matéria orgânica, ferro e alumínio que são importantes carreadores geoquímicos;
- Avaliar a biodisponibilidade de Cu e Zn nos perfis sedimentares coletados;
- Determinar a concentração de cobre e zinco em amostras de camarão (*Litopenaeus vannamei*) coletadas ao final do ciclo de engorda para cada categoria de idade de viveiro;
- Determinar a concentração de cobre e zinco em amostras de camarão (*Litopenaeus vannamei*), sedimento e insumos coletados em Canavieiras-BA, ao longo de um ciclo de engorda e comparar as concentrações de metais traço em camarões cultivados na Bahia com os valores encontrados por Santos (2005) em estudo semelhante realizado no estado do Ceará, a fim de validar o caráter regional dos resultados.

3 - ÁREA DE ESTUDO

3.1 – Seleção e localização das fazendas participantes

Foram selecionadas duas fazendas de cultivo de camarão localizadas em diferentes bacias de drenagem nos estados do Ceará e Bahia (Figura 1). A Fazenda 1 se localiza no município de Aracati, Ceará, no estuário inferior do Rio Jaguaribe (Figura 2). A Fazenda 2 está localizada a 5 quilômetros do município de Canavieiras, Bahia, próximo à foz do Rio Pardo (Figura 3). As duas fazendas empregam métodos e práticas características da atividade de cultivo de camarão (*Litopenaeus vannamei*) realizada no Nordeste do Brasil, com o ciclo produtivo englobando três fases: larvicultura, berçário e engorda (Purina, 2004).

A fazenda 1 foi escolhida para o estudo sobre o enriquecimento de metais em sedimento por estar em atividade há 22 anos, permitindo a comparação das

concentrações de metais entre viveiros jovens e antigos. Os viveiros antigos possuem área média de 10 ha, profundidade de 1,0 m e foram submetidos a cultivos extensivos por aproximadamente 16 anos. A partir de 1999, esses viveiros foram submetidos às práticas de cultivo intensivo, empregando maiores densidades e maior quantidade de insumos. Os viveiros jovens possuem área média de 2 ha e profundidade de 1,5 m. Nestes viveiros sempre ocorreu o cultivo intensivo. Já a Fazenda 2 foi selecionada para o acompanhamento das concentrações de cobre e zinco em camarões ao longo de um ciclo produtivo por se localizar em outra bacia de drenagem, sob diferentes condições geológicas, climáticas e com outro padrão de uso da terra, permitindo uma comparação com os valores já calculados por Santos (2005) para a bacia inferior do Rio Jaguaribe.



Figura 01-Mapa do Brasil indicando as regiões participantes do projeto.

3.2 – Caracterização das Áreas de Estudo

3.2.1 – Bacia do Rio Jaguaribe

O Rio Jaguaribe é o principal curso d'água do Estado do Ceará, com extensão aproximada de 610 Km e sua bacia drena uma área de 72.043 Km². A bacia hidrográfica possui uma grande rede de drenagem, tendo como principais afluentes os rios Cariri, Salgado, Figueiredo, Banabuiú e Palhano. O rio é marcado por uma grande variação de vazão decorrente do regime pluviométrico da região

que é dividido em duas estações típicas: chuvosa (janeiro a maio) e seca (junho a dezembro) (Marins *et al.* 2003).

A planície do Rio Jaguaribe é intensamente utilizada por sua grande fertilidade do solo e disponibilidade de água, gerando elevadas densidades demográficas nas suas proximidades. Os municípios de Aracati, Itaiçaba, Jaguaruana, Alto Santo, Limoeiro do Norte, Morada Nova, Quixeré, Russa, São João do Jaguaribe, Tabuleiro do Norte, Jaguaretama, Jaguaribara, Jaguaribe, Icó e Quixelô estão parcial ou totalmente inseridos na planície Jaguaribana (Rivas *et al.*, 1999).

O saneamento básico ainda é deficitário na Bacia do Rio Jaguaribe, apenas 32,49% dos domicílios recebem água potável com canalização interna, 24,08% têm o lixo coletado diretamente. O esgotamento sanitário é quase inexistente nos domicílios, com grande percentual não apresentando qualquer tipo de escoadouro ou instalação sanitária (Rivas *et al.*, 1999). As atividades agropecuárias e os focos de urbanização são as fontes mais significativas de poluição para a esta bacia de drenagem.



Figura 02- Imagem de satélite da área de estudo no estado do Ceará.
Fonte: Google Earth <www.google.com.br> (Círculos vermelhos)

3.2.2 - Bacia do Rio Pardo

O Rio Pardo é um dos principais cursos d'água do sul da Bahia. Drena uma área de 32.050 Km², atravessando 26 municípios desde sua nascente em Minas Gerais até a foz na cidade de Canavieiras, sendo utilizado por uma população de aproximadamente 700.000 habitantes (Aquino *et al.*, 2001). O clima no baixo Rio Pardo não apresenta estação seca, com índice pluviométrico médio de 1.355 mm .

A maior parte da área ocupada pela bacia hidrográfica do Rio Pardo encontra-se utilizada pelas atividades de pecuária, agricultura, extrativismo vegetal e mineração. Também se observa um crescimento nas áreas ocupadas por processos de urbanização e pequenas atividades industriais (CRA, 2001).

A agricultura e pecuária são as responsáveis pela geração da maior parte das fontes de poluição para a Bacia do Rio Pardo, entretanto as atividades agroindustriais e a própria urbanização também geram fontes significativas de poluição (CRA, 2001).



Figura 03- Imagem de satélite da área de estudo no estado da Bahia.
Fonte: Google Earth <www.google.com.br> (Círculos vermelhos)

4- MATERIALE MÉTODOS

4.1 – Amostragem

Foram definidas duas estratégias de amostragem para a coleta de sedimento, camarão e insumos nas fazendas participantes do projeto a fim de se alcançar os objetivos propostos. No total foram coletadas 35 amostras. A listagem completa das amostras coletadas e suas respectivas descrições encontram-se no Apêndice I.

4.1.1 – Amostragem na Fazenda 1

Para o estudo sobre o enriquecimento de metais em sedimentos de viveiro de cultivo, foram coletados sete perfis sedimentares, dois nos viveiros com dez anos de cultivo e cinco nos viveiros com 22 anos de atividade.

Os viveiros mais antigos foram mais intensamente amostrados por terem área superior (10 ha) a dos viveiros jovens que possuem área média de 2 hectares. Os perfis foram coletados em tubos de PVC com 1,5 m de comprimento.

Nesta fazenda também foram coletadas 5 amostras de camarão, nos mesmos viveiros em que se coletaram os perfis sedimentares, ao fim do ciclo produtivo, próximo ao período de despesca. O material foi coletado através do tarrafeamento empregado nas fazendas durante a biometria dos camarões. Posteriormente, as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, identificadas e enviadas ao Laboratório de Biogeoquímica Costeira/Labomar para análise.

4.1.2 - Amostragem na Fazenda 2

Foram coletadas amostras de camarão, sedimento e insumos na Fazenda 2. As amostras de camarão foram coletadas por funcionários da fazenda, acondicionadas em sacos plásticos, identificadas e enviadas ao Laboratório de Biogeoquímica Costeira/Labomar para análise. Duas amostras iniciais, coletadas em viveiros diferentes, tinham o objetivo de fazer uma varredura sobre a concentração de metais nos camarões desta fazenda. Posteriormente, foram coletadas mais cinco

amostras, num mesmo viveiro, para o acompanhamento da concentração de metais durante o ciclo de engorda.

Onze amostras de sedimento foram coletadas no próprio viveiro e no entorno da fazenda, incluindo os pontos de captação e liberação de efluentes. Para considerar as possíveis fontes de metais adicionadas ao viveiro através dos insumos, foram coletadas amostras de uréia, silicato, ração, superfosfato e melação utilizados durante o ciclo produtivo.

4.2 – Processamento das amostras

4.2.1 - Perfis sedimentares

Os perfis sedimentares foram levados ao Laboratório de Biogeoquímica Costeira para análise. Com o auxílio de uma serra circular, os tubos de PVC foram cortados ao meio (Figura 4), permitindo a descrição de cada camada presente nos perfis.



Figura 04 – Perfil Sedimentar de viveiro de cultivo de camarão (Testemunho A5).

De acordo com as características das camadas, o perfil foi subdividido em várias amostras (Figura 5), acondicionadas em sacos plásticos e mantidas

congeladas até o momento da análise. A descrição de cada perfil sedimentar é apresentada no Apêndice II.

As amostras foram secas em estufa à 60° C por 24 horas, maceradas e homogeneizadas num almofariz de porcelana, e peneiradas em malha grossa (2mm) para a retirada de material como conchas e galhos.



Figura 05- Subdivisão de perfil sedimentar de acordo com as características de cada camada. (Testemunho A5).

Para a digestão das amostras, pesou-se 2g de sedimento em balança analítica de quatro casas decimais, com erro máximo de leitura de $\pm 0,005$ g. Cada amostra foi analisada em duplicata. Em seguida, foram adicionados 20 mL de solução de ácido clorídrico 0,1 N às amostras e levadas para agitador mecânico por 2 horas, para a extração dos metais biodisponíveis. Ao material sedimentar restante nos Erlenmeyers, foram adicionados 20 mL de *Aqua regia* 50% (HCl:HNO₃ 3:1), aquecidos em banho-maria por 2 horas, para a extração dos metais mais fortemente ligados ao sedimento (Fizman *et al.*, 1984, com adaptações). A digestão foi realizada em Erlenmeyers de 125 mL com utilização de “dedos-frios” para evitar a perda de amostra durante o processo de digestão.

As concentrações de cobre, zinco, ferro e alumínio foram determinadas por espectrofotometria de absorção atômica de chama convencional.

4.2.2 – Amostras de Camarão

As amostras de camarão foram conservadas a -20°C até o momento da análise. Após serem descongeladas à temperatura ambiente, foi separado o

músculo e o exoesqueleto abdominal dos organismos para a determinação de cobre e zinco ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ peso seco). Todas as amostras foram realizadas em triplicata.

Foram pesados aproximadamente 5g de camarão e 2g de exoesqueleto, em balança analítica com as mesmas características já descritas anteriormente. Após a pesagem, as amostras foram secas em estufa à 80° C, por 24h, sendo novamente pesadas para a obtenção do percentual de umidade. Em seguida, foram calcinadas em forno mufla, à 450°C por 24h. Às cinzas, foram acrescentados 10 mL de HCl 0,5N para a digestão do material, levados em seguida para banho-maria a 70°C por duas horas. Acrescentou-se mais 10 mL de Aqua regia 50% (HCl:HNO₃ 3:1) às amostras, que permaneceram por mais duas horas em banho-maria, à 70°C (Carvalho *et al.*, 1991).

As concentrações dos metais foram obtidas por espectrofotometria de absorção atômica de chama convencional.

4.2.3 - Amostras de sedimento superficial de viveiro e insumos

As amostras de sedimento superficial de viveiro e insumos foram processadas da mesma maneira que o material dos perfis sedimentares. Nessas amostras foram calculadas as concentrações de cobre, zinco, ferro e alumínio por espectrofotometria de chama convencional.

4.3 - Determinação de metais

As determinações de Cu, Zn, Fe e Al foram realizadas por espectrofotometria de absorção atômica de chama convencional, utilizando o espectrofotômetro de absorção atômica Shimadzu AA-6200, com média de limite de detecção de 0,03 $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$, 0,04 $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$, 0,39 $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ e 0,50 $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ para Cu, Zn, Fe e Al respectivamente.

Após a programação do aparelho para leitura dos metais de interesse, realizou-se a calibração do equipamento com a leitura de curvas de calibração, obtidas a partir de soluções padrões comerciais de Cu, Zn e Al (Merck, Panreac). Em seguida foi realizada a leitura das amostras em absorbância. As concentrações

finais para cada metal, expressas em $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ (peso seco), foram obtidas através da equação:

$$[\text{Me}] = (\text{C} \times \text{V} \times \text{f}) / \text{m}$$

Onde:

C = concentração em $\mu\text{g}/\text{mL}$ obtida através da curva de calibração do metal

V = volume total do extrato

f = fator de diluição do extrato original, quando necessário

m = massa da amostra

4.3.1 - Validação da metodologia utilizada

Para validação da metodologia de análise de metais em sedimento foram utilizados padrões de referência de sedimento estuarino NIST 1646a (National Institute of Standards and Technology) e LGC 6137 (Laboratory of the Government Chemist) durante o processamento das amostras.

Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela I. As análises apresentaram recuperação satisfatória, indicando boa exatidão dos procedimentos empregados em laboratório.

Tabela I – Resultados da abertura dos Padrões de Referência NIST 1646 a e LGC 6137. As concentrações estão expressas em percentual para Al e Fe e em $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ para cobre e zinco. (n= 30)

	NIST 1646 a		LGC 6137	
	Valor Certificado	Valor Obtido	Valor Certificado	Valor Obtido
Al	2,297±0,018	1,49± 0,7	1,9	2,53 ± 0,9
Cu	10,01±0,34	7,28 ± 0,5	31,6	27,57 ± 0,4
Fe	2,008±0,039	1,20± 0,9	3,07	2,59 ± 1,2
Zn	48,9±1,6	37,13 ±3,2	231	194,12 ± 2,6

4.4 – Determinação do teor de matéria orgânica em sedimento

O teor de matéria orgânica nas amostras sedimentares foi determinado através do método gravimétrico, calculando-se a diferença de peso das amostras após incineração em forno mufla, à 450°C por 24 horas (Loring & Rantala, 1992).

Todas as determinações foram realizadas em duplicata. O teor de matéria orgânica [MO], em termos percentuais, foi obtido através da expressão:

$$[MO] = (m_c \times 100) / m_s$$

Onde:

m_c = massa perdida após a calcinação

m_s = massa inicial da amostra sedimentar

4.5 - Cálculo do Fator de Enriquecimento dos metais Cu e Zn

Para o cálculo dos Fatores de Enriquecimento das amostras de sedimento foi utilizada a metodologia proposta por Salomons & Föstner (1984). O alumínio foi utilizado como elemento indicador da contribuição litogênica, considerando sua baixa mobilidade geoquímica.

O cálculo foi realizado através da expressão abaixo:

$$FE = [m_x / m_i] / [m_{refx} / m_{refi}]$$

Onde:

m_x = concentração do metal na amostra

m_i = concentração do alumínio na amostra

m_{refx} = concentração do metal no folhelho médio

m_{refi} = concentração do alumínio no folhelho médio

4.6 – Análise estatística

4.6.1 - Teste t de Student

O teste t é utilizado para comparar valores de dois grupos distintos, indicando se as diferenças entre eles são estatisticamente significativas. Este teste foi utilizado para a comparação da variabilidade entre os dois testemunhos coletados em viveiros jovens e também, para a comparação dos valores obtidos entre viveiros jovens e velhos.

Os cálculos foram realizados utilizando a função estatística específica constante no Programa Excel com 95% de confiança ($\alpha = 0,05$), assumindo uma distribuição bicaudal e a variância entre as duas categorias como igual (tipo 2) e desigual (tipo 3).

Os valores calculados e tabelados para t estão listados no Apêndice III.

4.6.2 - Análise de Variância

A análise de variância permite a comparação entre os valores obtidos para vários grupos ($r > 2$), indicando se as diferenças entre eles são estatisticamente significativas. Este teste foi aplicado aos dados obtidos para os viveiros velhos, testando a variabilidade entre eles, com 95% de confiança ($\alpha = 0,05$). Os valores foram obtidos através do Programa Excel. Os valores calculados e tabelados de F estão no Apêndice III.

5- RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 – Concentração de cobre e zinco total em perfis sedimentares

As concentrações de cobre e zinco total encontradas nas amostras dos perfis sedimentares são apresentadas na Tabela II. As concentrações de Cu para os perfis jovens variaram quase três vezes, de 8,7 a 22,9 $\mu\text{g g}^{-1}$ (peso seco). Para os viveiros velhos, a variação de cobre alcançou cinco vezes, de 7,7 a 38,5 $\mu\text{g g}^{-1}$ (peso seco). Para zinco, a concentração variou seis vezes, de 10,3 a 65,5 $\mu\text{g g}^{-1}$ (peso seco) nos viveiros jovens e dezoito vezes nos viveiros velhos, com concentrações variando entre menores que o limite de detecção a 90,7 $\mu\text{g g}^{-1}$ (peso seco). Apesar de apresentarem faixas de variação distintas, especialmente para zinco, as concentrações médias dos dois metais analisados para as diferentes categorias de idade foram consideradas estatisticamente iguais.

As concentrações de cobre encontradas nos dois viveiros estão próximas a valores reportados em outros estudos. As concentrações de Cu na Fazenda 1 são similares aos calculados por Santos (2005) em fazendas localizadas no Baixo Jaguaribe, em que a concentração de Cu variou de 10,3 a 16,5 $\mu\text{g g}^{-1}$. Mendiguchia *et al.* (2006), realizando estudo sobre o enriquecimento de sedimentos por metais traço na Espanha, encontraram concentrações de cobre de 15,49 $\mu\text{g g}^{-1}$ em viveiros de cultivo de peixes, valor que indicava enriquecimento médio do sedimento em até

362 %. Existem outros estudos que reportam concentrações mais elevadas que as da Fazenda 1. Smith (1996) e Gosavi *et al.* (2004) encontraram 45 e 40 $\mu\text{g g}^{-1}$ de cobre em sedimentos de viveiros na Austrália. Este último trabalho associou o nível de cobre obtido nos viveiros com ambientes altamente contaminados, como aqueles expostos à poluição urbana e industrial, e até mesmo, aos efluentes de mineração. Estudo de Yuvanatemiya & Boyd (2006) reporta concentrações de 7,5 $\mu\text{g g}^{-1}$ de cobre em viveiros de piscicultura nos Estados Unidos. Os viveiros analisados pelos autores tinham de 12 a 34 anos de atividade, e talvez, o menor teor de cobre encontrado se explique pelo fato dos viveiros serem experimentais, com menor grau de intensidade de cultivo.

Tabela II - Concentração de metal total ($\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco) em perfis sedimentares de viveiros de cultivo de camarão com diferentes tempos de atividade, viveiros jovens (10 anos) e velhos (22 anos). Os valores expressam concentração mínima, máxima e média com desvio padrão respectivamente. Id expressa o limite de detecção da análise. (n = 56)

Viveiro	[Cu]	[Zn]
Jovens (Todo o perfil)	8,7 - 22,9 (16,0 \pm 5,8)	10,3 - 65,5 (37,6 \pm 18,8)
0-20 cm	11,4 - 22,6 (17,7 \pm 5,8)	24,5 - 65,5 (44,9 \pm 20,8)
>20 cm	8,7 - 22,9 (15,0 \pm 6,0)	10,3 - 64,3 (33,4 \pm 18,0)
Velhos (Todo o perfil)	7,7 - 38,5 (15,3 \pm 6,5)	< Id - 90,7 (52,8 \pm 17,7)
0-20 cm	7,8 - 23,5 (14,9 \pm 4,8)	< Id - 90,7 (56,3 \pm 25,5)
>20 cm	7,7 - 38,5 (13,7 \pm 8,0)	33,5 - 75,1 (40,9 \pm 13,9)

Para Zinco, os valores obtidos na Fazenda 1 também se assemelham aos valores encontrados na literatura. Santos (2005) reporta valores de 35,1 a 41,1 $\mu\text{g g}^{-1}$ no Baixo Jaguaribe. Gosavi *et al.* (2004) detectou 30 $\mu\text{g g}^{-1}$ de zinco em viveiros da Austrália. Mendiguchia *et al.* (2006) encontrou concentração de 45,64 $\mu\text{g g}^{-1}$ de zinco, que representava aumento de 140% em relação aos valores de background. Smith

(1996) encontrou concentração média de $85 \mu\text{g g}^{-1}$ de zinco em viveiros de cultivo intensivo de camarão. Yuvanatejiya & Boyd (2006) encontraram teor menor que o da Fazenda 1, $17,5 \mu\text{g g}^{-1}$ em viveiros experimentais nos Estados Unidos. Guhathakurta & Kaviraj (2000) estudando um ecossistema de manguezal em Sunderban – Índia, onde são cultivados camarões e tainhas, encontrou níveis altíssimos de zinco, variando de 40,9 a $3448,4 \mu\text{g g}^{-1}$.

Observa-se que as maiores concentrações médias para cobre e zinco total estão na porção superior dos perfis (0-20 cm), independentemente do tempo de cultivo nos viveiros. O incremento das concentrações dos metais traço analisados ao longo do perfil sedimentar sugere que a atividade carcinicultora contribui para que se atinjam esses níveis.

Para a descrição do comportamento dos metais cobre e zinco nos viveiros jovens e velhos foram selecionados dois perfis sedimentares como descritores para cada categoria. O viveiro 11 foi escolhido para a descrição do comportamento dos metais nos viveiros jovens e o viveiro A4, para os velhos. A razão da escolha destes perfis está relacionada à facilidade para a retirada das subamostras e, portanto, melhor descrição de cada camada do testemunho. Tanto para os viveiros descritores quanto para os demais viveiros amostrados, foram consideradas as subamostras da superfície até a profundidade de 50 cm, a partir deste ponto os teores de alumínio calculados sofreram pouca variação, sendo considerados muito semelhantes ao valor de background para a área em estudo. As concentrações de cobre e zinco e os gráficos para os outros viveiros amostrados estão no Apêndice IV.

Nas Figuras 06 e 07 estão plotadas as concentrações totais de Cobre dos viveiros 11 e A4, respectivamente. Pode-se observar que há uma tendência de aumento dos teores de cobre da profundidade 50 cm até os 30 cm. Deste ponto até a superfície ocorre uma inversão de comportamento, com uma tendência decrescente dos teores de cobre. Essa redução de concentração é mais nítida para o viveiro 11, já que no viveiro A4 a redução é muito pequena. É razoável creditar essa inversão de comportamento às mudanças nas condições físico-químicas dos viveiros (pH, Eh, concentração de oxigênio), e às próprias características do sedimento (teor de matéria orgânica, granulometria), que controlam fortemente a taxa de retenção do metal e sua especiação química (Lacerda, 1998). Apesar dessa inversão da tendência de aumento das concentrações de cobre da profundidade de 30 cm até a superfície, os valores encontrados na subamostra mais superficial

representam aumento de 52,25% para o viveiro jovem e 122,4% para o viveiro velho em relação à subamostra mais profunda (50cm).

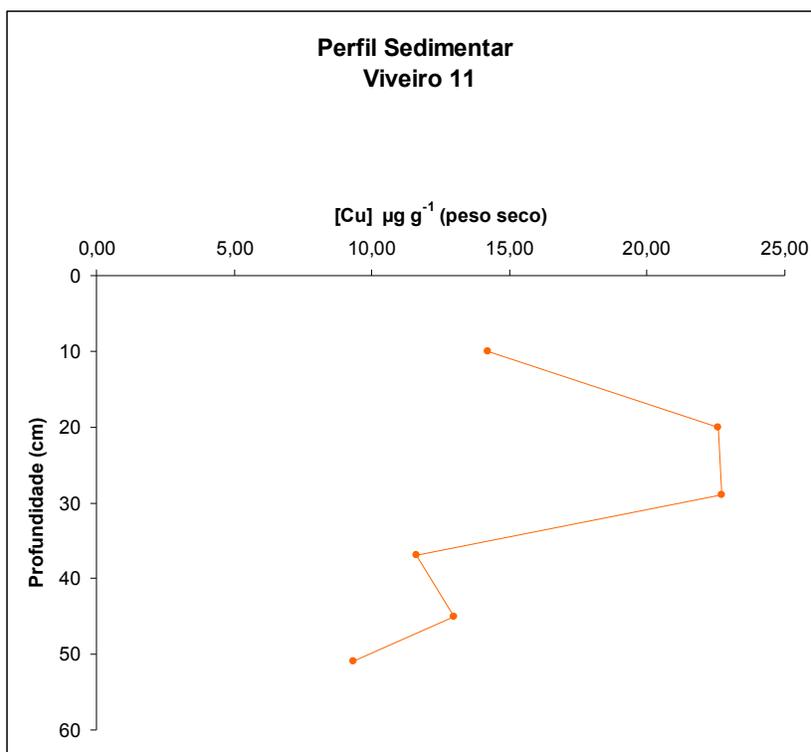


Figura 06 - Concentração de Cu total em perfil sedimentar do Viveiro 11.

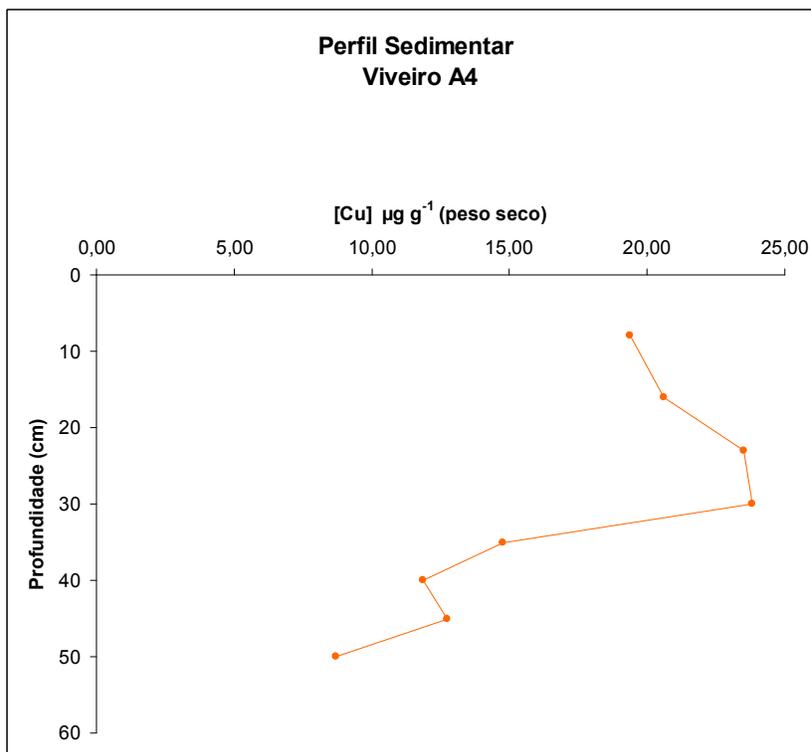


Figura 07 - Concentração de Cu total em perfil sedimentar do Viveiro A4.

Nas Figuras 08 e 09 estão plotadas as concentrações totais de Zinco dos viveiros 11 e A4, respectivamente.

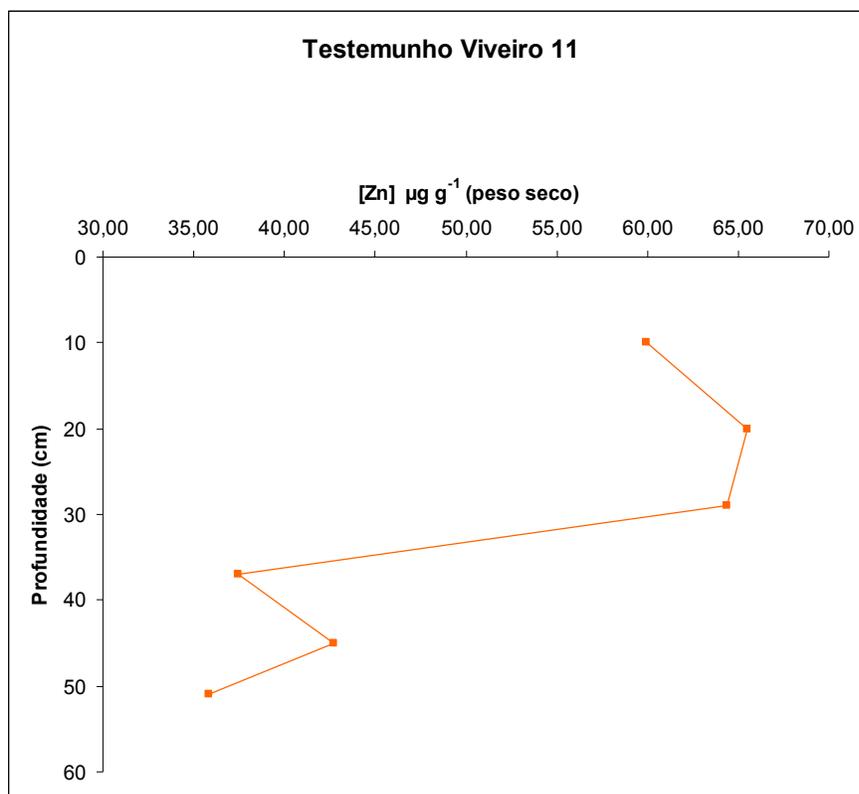


Figura 08 - Concentração de Zn total em perfil sedimentar do Viveiro 11.

Para o viveiro jovem, as concentrações de zinco total se comportaram de forma semelhante ao cobre, com aumento das concentrações da profundidade 50 cm até 20 cm. A partir deste ponto, a tendência se inverte com redução das concentrações até a subamostra mais superficial. No viveiro velho, as concentrações de zinco demonstram constante aumento do ponto 50 cm até a superfície.

Entre o nível mais profundo e o mais superficial, no viveiro jovem houve incremento de 67,19% na concentração de zinco. Para o viveiro velho o aumento nos teores de zinco foi de 80,66%.

Os percentuais de enriquecimento de sedimentos de viveiro tanto para cobre quanto para zinco são menores que os encontrados por Mendiguchia *et al.* (2006) na Espanha, onde os valores foram 184% para cobre e 300 % para zinco. Entretanto, vale ressaltar que esses valores se referem à diferença de concentração de metais no sedimento superficial entre o início e fim dos ciclos produtivos. Neste estudo realizado na Fazenda 1, o percentual de enriquecimento foi calculado entre o nível

mais profundo e o mais superficial do perfil sedimentar, tornando essa comparação não tão significativa. O comportamento distinto entre a acumulação de cobre e zinco nos viveiros já era esperado, pois apesar de estarem sob condições químicas idênticas, a taxa de acumulação é função das características químicas de cada metal (Lacerda, 1998).

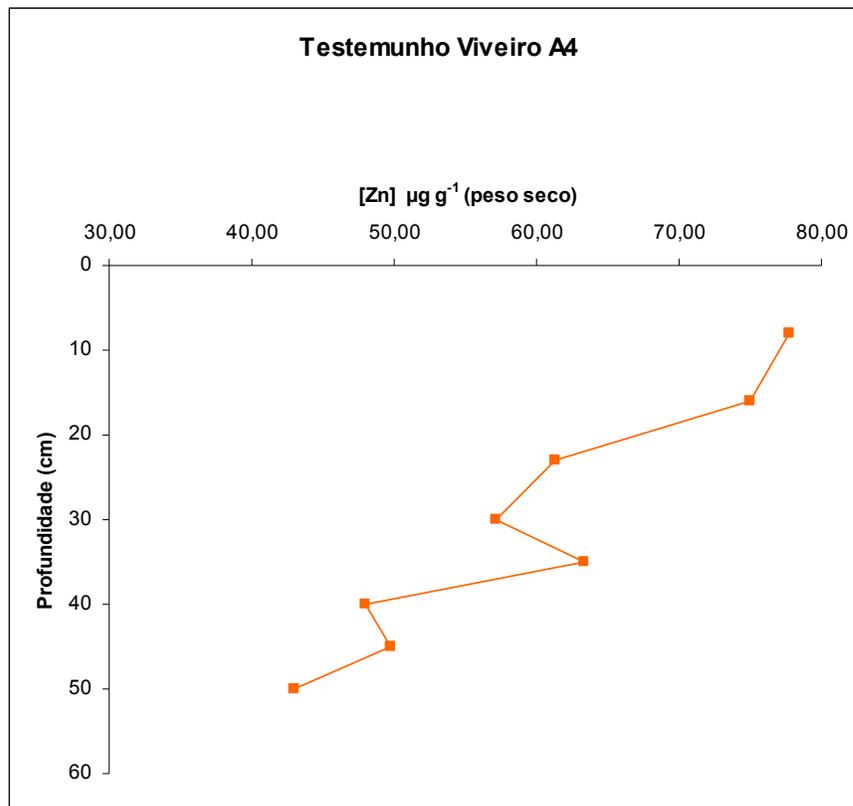


Figura 09 - Concentração de Zn total em perfil sedimentar do Viveiro A4.

5.2 – Concentração de cobre e zinco não disponível em perfis sedimentares

A fração não disponível das amostras sedimentares representa o teor do metal que está mais fortemente ligado à matriz sedimentar, tornando-se assim menos disponível aos organismos. Entretanto, mudanças nas condições físico-químicas locais podem resultar na remobilização de metais para a coluna d'água (Lacerda, 1998). Assim, essa ciclagem que ocorre na interface água-sedimento pode tornar a fração não disponível dos metais traço um compartimento importante para se avaliar o impacto da contaminação dos sedimentos. Isto se torna particularmente

verdadeiro na carcinicultura, onde o manejo dos viveiros envolve revolvimento de sedimentos periodicamente.

Na tabela III são apresentadas as concentrações de cobre e zinco não-disponível para os perfis sedimentares coletados na Fazenda 1.

Tabela III - Concentração de metal não disponível ($\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco) em perfis sedimentares de viveiros de cultivo de camarão com diferentes tempos de atividade, viveiros jovens (10 anos) e velhos (22 anos). Os valores expressam concentração mínima, máxima e média com desvio padrão respectivamente. Id expressa o limite de detecção da análise. (n = 56)

Viveiro	[Cu]	[Zn]
Jovens (Todo o perfil)	5,5 - 19,0 (12,2 \pm 4,6)	10,3 - 56,7 (34,3 \pm 15,5)
0-20 cm	6,8 - 17,2 (13,3 \pm 4,5)	24,5 - 56,5 (38,7 \pm 16,7)
>20 cm	5,5 - 19,0 (11,5 \pm 5,9)	10,3 - 56,7 (19,0 \pm 15,5)
Velhos (Todo o perfil)	1,0 - 33,9 (11,6 \pm 6,0)	< Id - 82,0 (32,6 \pm 24,6)
0-20 cm	1,0 - 19,9 (12,4 \pm 5,6)	< Id - 82,0 (38,6 \pm 29,1)
>20 cm	3,2 - 33,9 (11,6 \pm 7,0)	1,5 - 61,3 (30,0 \pm 21,9)

As concentrações de cobre não disponível nos viveiros jovens variaram três vezes, de 5,5 a 19,0 $\mu\text{g g}^{-1}$. Nos viveiros velhos a variação foi de trinta e três vezes, com concentrações de 1,0 a 33,9 $\mu\text{g g}^{-1}$. Para zinco não disponível nos viveiros jovens, a variação entre a concentração mínima e máxima foi de cinco vezes, de 10,3 a 56,7 $\mu\text{g g}^{-1}$. Nos viveiros velhos a variação atingiu quarenta vezes, com concentrações abaixo do limite de detecção a 82,0 $\mu\text{g g}^{-1}$.

Apesar dos fatores de variação, mais uma vez, serem distintos entre viveiros jovens e velhos, as concentrações médias, tanto para cobre como para zinco foram consideradas estatisticamente iguais.

Os teores encontrados são similares a valores calculados para viveiros de cultivo de peixes e camarões publicados na literatura.

Nas figuras 10 e 11 são apresentadas as concentrações não disponíveis de cobre para os viveiros V11 e A4 respectivamente

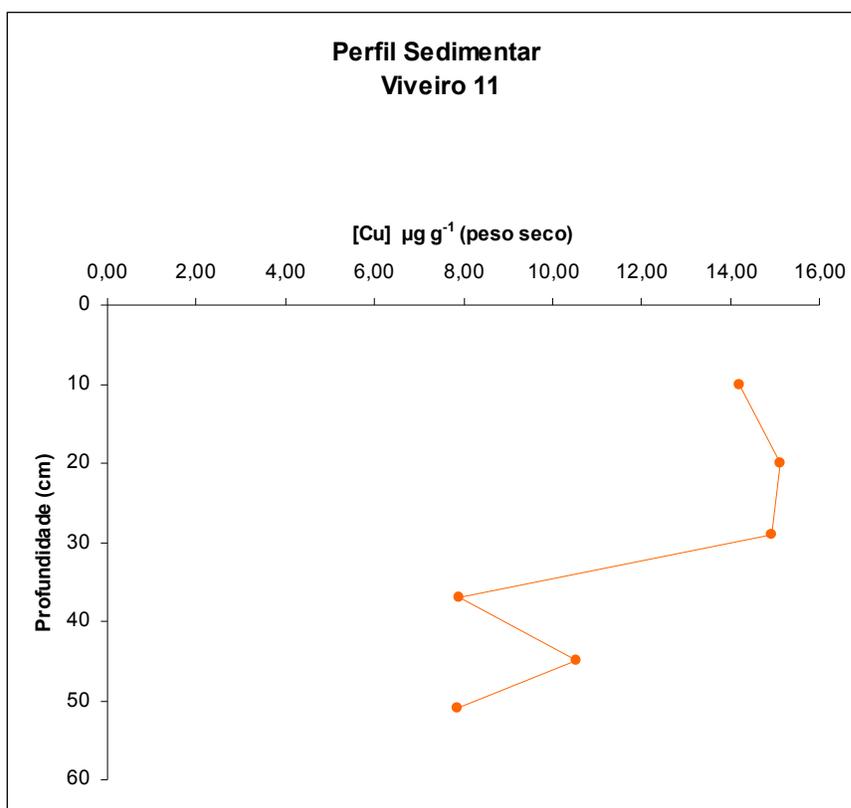


Figura 10 - Concentração de Cu não disponível em perfil sedimentar do Viveiro 11.

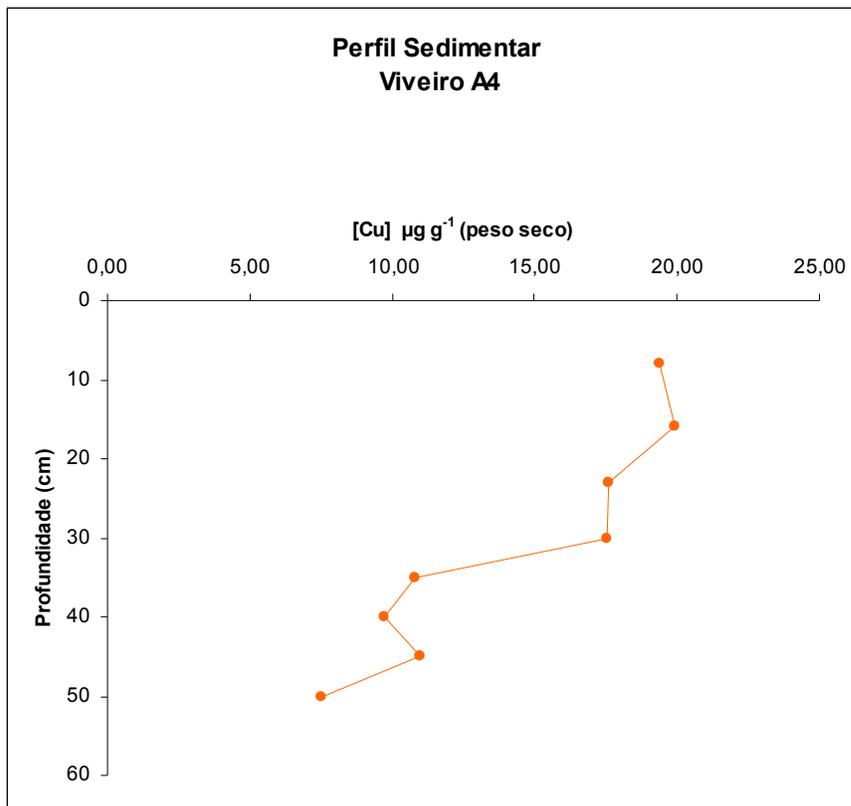


Figura 11 - Concentração de Cu não disponível em perfil sedimentar do Viveiro A4.

Os teores de cobre não disponível se comportam de maneira muito semelhante à do cobre total, já que esta fração contribui de forma mais significativa para o cálculo das concentrações de cobre total. Nota-se, para as duas categorias de viveiro, um aumento constante das concentrações de cobre das camadas mais profundas até a porção superior dos perfis. Somente a partir da camada entre 20 e 15 cm esta tendência de aumento das concentrações muda de comportamento, porém a diminuição dos teores de cobre é muito pequena.

O aumento percentual da concentração de cobre não disponível entre o nível mais profundo e a porção superior do perfil para os viveiros jovens foi de 80,55% e de 158,2% para os viveiros velhos. Mais uma vez os valores ficaram abaixo dos relatados por Mendiguchia *et al.* (2006).

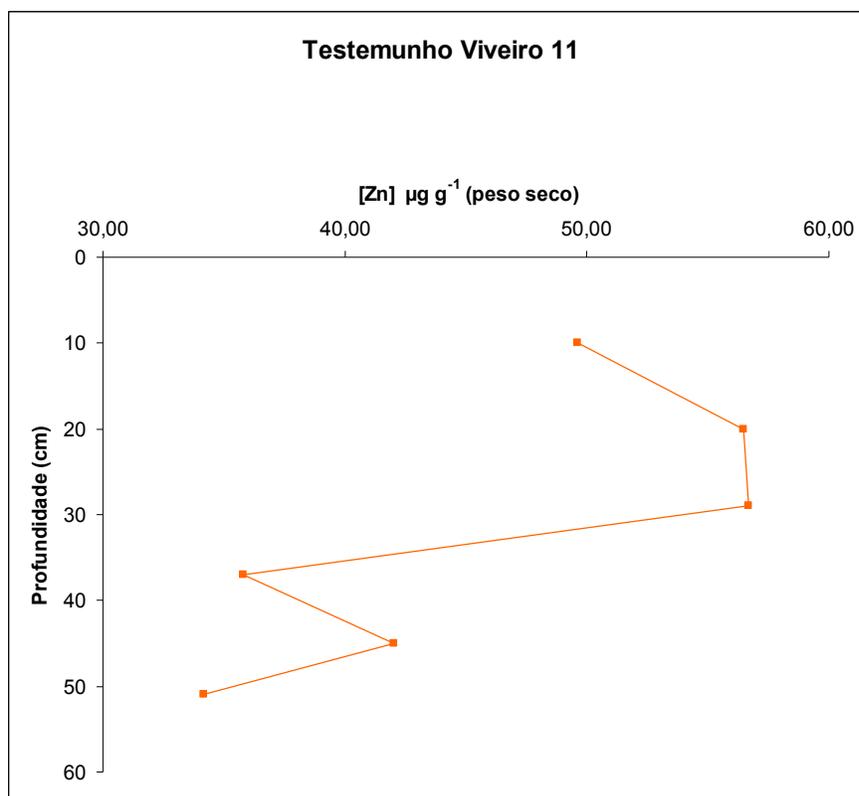


Figura 12 - Concentração de Zn não disponível em perfil sedimentar do Viveiro 11.

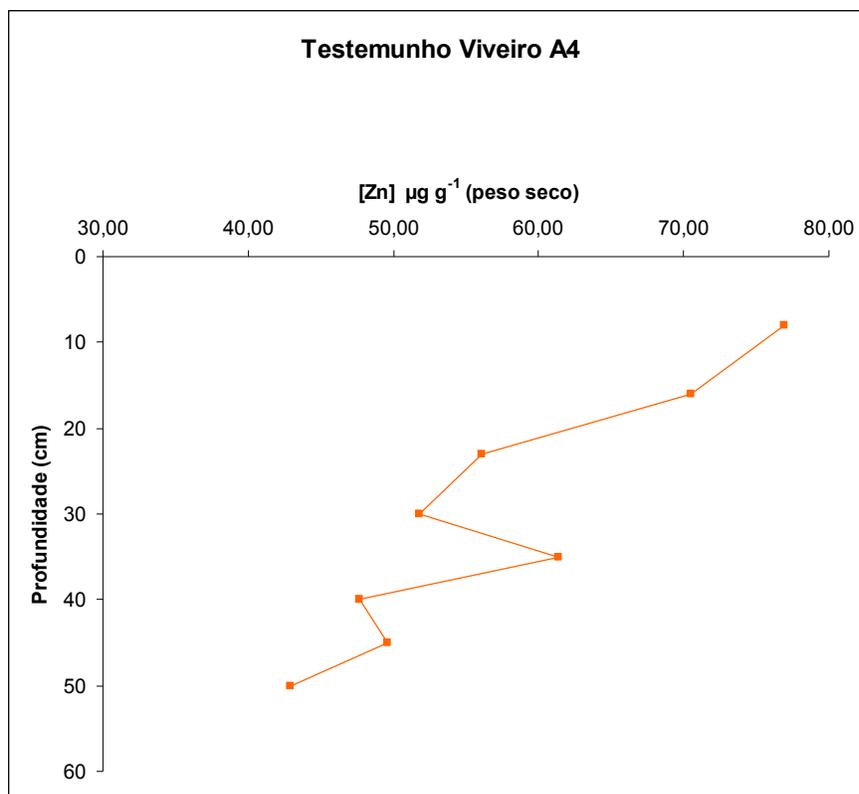


Figura 13 - Concentração de Zn não disponível em perfil sedimentar do Viveiro A4

Os teores de zinco não disponível mostram comportamento ascendente da camada mais profunda até a superfície do perfil. Para o viveiro jovem ocorre uma diminuição do teor de zinco entre 20cm e a superfície. Não se pode creditar essa diminuição a uma mudança na biodisponibilidade do metal, já que se observa que a concentração de zinco biodisponível nessas camadas se mantém quase constante (Figura 16). Talvez esse comportamento se deva às características do sedimento do viveiro 11, como o teor de matéria orgânica e granulometria, já que alguns trabalhos sugerem que essa variável afeta fortemente a taxa de retenção de metais (Lucas *et al.*, 1986; Horowitz & Elrick, 1987 *apud* Lacerda, 1998).

Para zinco não disponível o aumento percentual para o viveiro jovem foi de 45,16% e para os velhos, 79,1%.

5.3 – Concentração de cobre e zinco biodisponível em perfis sedimentares

Considerar que todas as formas químicas de um metal exercem igual impacto no ambiente é uma afirmação errônea (Tessier *et al.*, 1979). Logo, o uso da concentração total como critério para avaliação do impacto da contaminação dos sedimentos sobre a biota é inadequado.

Conhecer a biodisponibilidade dos metais traço é essencial para realizar uma avaliação mais acurada dos potenciais efeitos da contaminação dos sedimentos sobre o ambiente. Compreendendo a biodisponibilidade, pode-se associar a toxicidade intrínseca de uma substância à sua habilidade de produzir um efeito tóxico aos organismos (Burger *et al.*, 2003).

Na tabela IV são apresentados os teores de cobre e zinco biodisponíveis nos perfis sedimentares coletados na Fazenda 1.

Tabela IV - Concentração de metal biodisponível ($\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco) em perfis sedimentares de viveiros de cultivo de camarão com diferentes tempos de atividade, viveiros jovens (10 anos) e velhos (22 anos). Os valores expressam concentração mínima, máxima e média com desvio padrão respectivamente. Id expressa o limite de detecção da análise. (n = 56).

Viveiro	[Cu]	[Zn]
Jovens (Todo o perfil)	< Id - 7,8 (3,8 ± 2,4)	< Id - 10,4 (3,3 ± 4,0)
0-20 cm	< Id - 7,4 (4,3 ± 3,1)	< Id - 10,4 (6,1 ± 4,6)
>20 cm	1,5 - 7,8 (3,5 ± 2,1)	< Id - 7,6 (1,7 ± 2,7)
Velhos (Todo o perfil)	< Id - 8,0 (3,2 ± 2,4)	< Id - 68,5 (18,8 ± 22,2)
0-20 cm	< Id - 7,5 (2,49 ± 3,07)	< Id - 53,7 (17,70 ± 21,64)
>20 cm	1,2 - 8,0 (3,9 ± 1,8)	0,07 - 68,5 (20,4 ± 22,8)

Houve menor variação nos teores de cobre biodisponível. Nos viveiros jovens a variação de cobre chegou a seis vezes, de concentrações abaixo do limite de detecção a $7,8 \mu\text{g g}^{-1}$ (peso seco), enquanto nos velhos, a variação alcançou 7 vezes, com concentrações abaixo do limite de detecção a $8,0 \mu\text{g g}^{-1}$.

Para zinco, as variações foram maiores que as observadas para cobre, alcançando seis vezes nos viveiros jovens, de concentrações abaixo do limite de detecção a $10,3 \mu\text{g g}^{-1}$ (peso seco) e trinta e cinco vezes para os viveiros velhos, com concentrações abaixo do limite de detecção a $68,5 \mu\text{g g}^{-1}$ (peso seco).. Essa variação foi resultado das concentrações obtidas nos viveiros 6A e 6AB onde foram encontradas as maiores concentrações de zinco biodisponível, com média de $42 \mu\text{g g}^{-1}$ (peso seco). Apesar disso, as médias para os dois metais e para as duas categorias de viveiro foram estatisticamente iguais.

Nas Figuras 14 e 15 são apresentadas concentrações de cobre biodisponível para os viveiros V11 e A4.

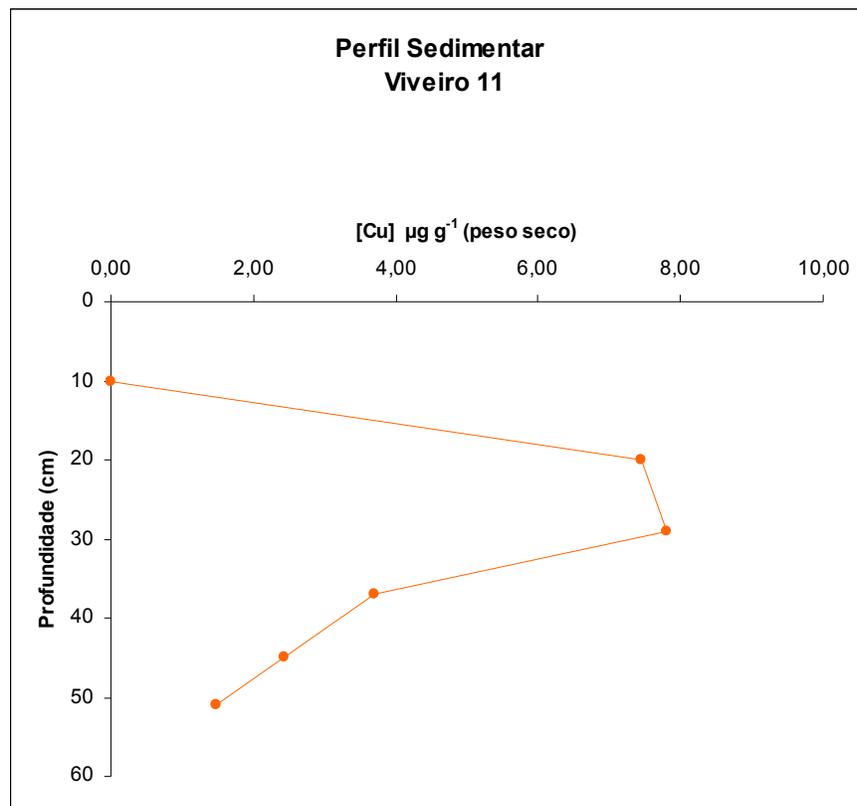


Figura 14 - Concentração de Cu biodisponível em perfil sedimentar do Viveiro 11.

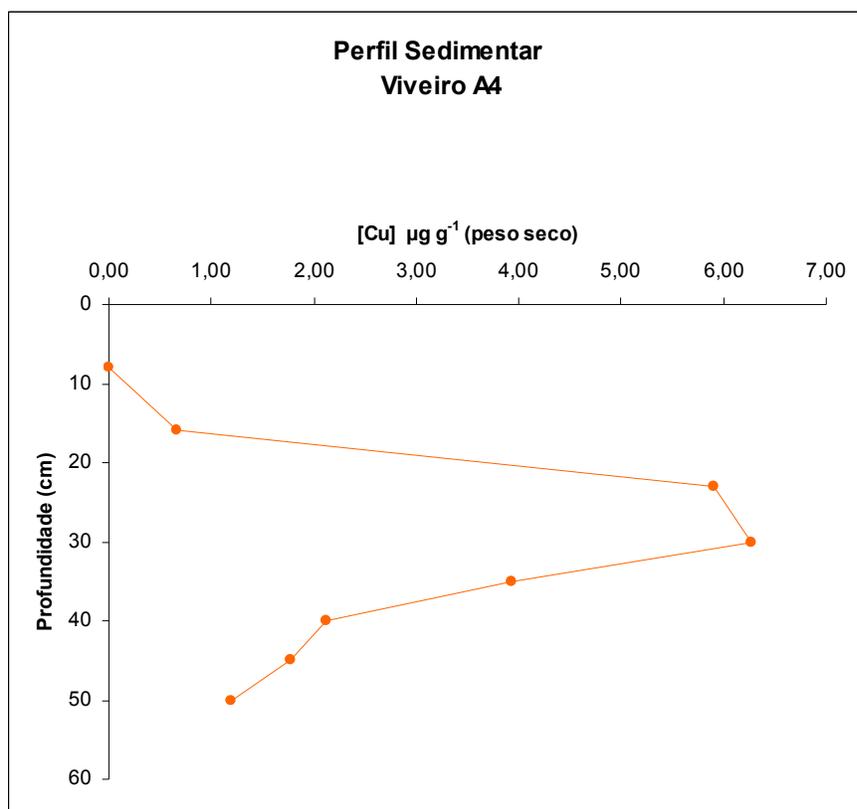


Figura 15 - Concentração de Cu biodisponível em perfil sedimentar do Viveiro A4.

O comportamento para cobre biodisponível foi muito semelhante para as duas categorias de viveiro, com a biodisponibilidade crescente até a camada de 20 cm. A partir deste nível, há uma queda abrupta nas concentrações, com valores abaixo do limite de detecção na subamostra mais superficial.

Essa queda acentuada na biodisponibilidade pode ter ocorrido devido ao aumento de pH nas camadas superficiais. Gosavi *et al.*, (2004) afirma que em condições de pH superior a cinco, a biodisponibilidade de metais é muito baixa. Por esta razão, uma prática usual nos viveiros de cultivo é sempre manter o pH acima deste valor crítico através da calagem. Esta prática pode diminuir os níveis de biodisponibilidade de metais, porém para organismos como os camarões, os metais também são acumulados a partir do material particulado, através da ingestão de ração e sedimento.

Nas Figuras 16 e 17 são apresentadas as concentrações de zinco biodisponível para os viveiros V11 e A4.

O zinco biodisponível nos viveiros jovens apresenta uma tendência crescente de concentração das subamostras mais profundas até o topo do perfil sedimentar. Wu e Chen (2005) analisando o efeito de cádmio e zinco sobre o camarão branco *Litopenaeus vannamei*, afirmam que a exposição a esses metais causa retardo no crescimento. As concentrações de zinco biodisponível encontradas nos viveiros podem representar uma fonte estressora para os animais cultivados.

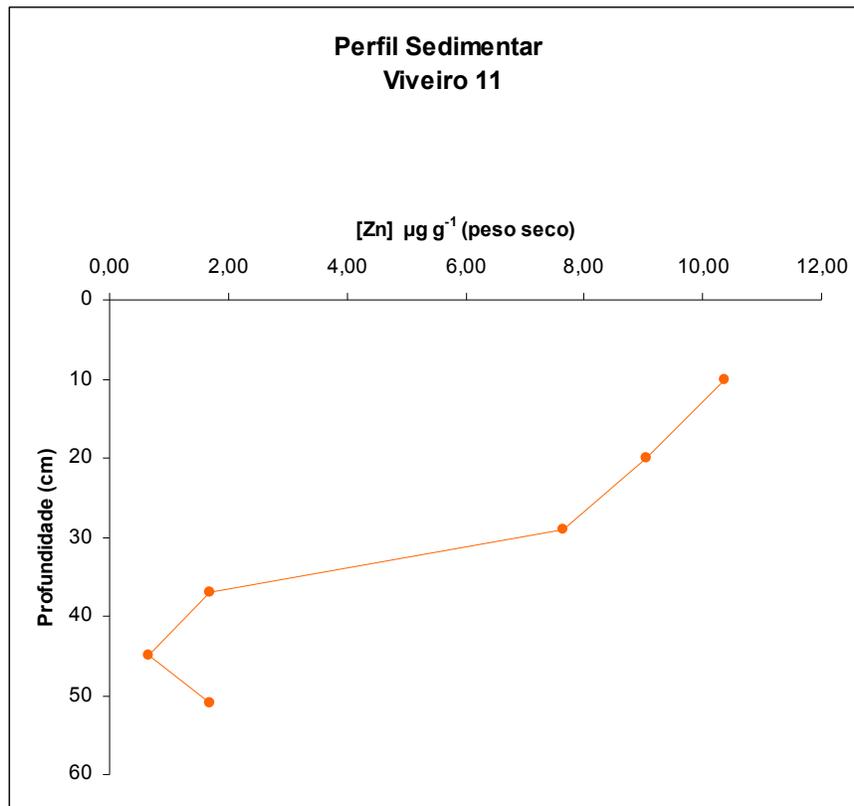


Figura 16 - Concentração de Zn biodisponível em perfil sedimentar do Viveiro 11.

Na tabela V são apresentados os valores de biodisponibilidade de cobre e zinco, em termos percentuais em relação à concentração total destes metais, para as duas categorias de viveiro.

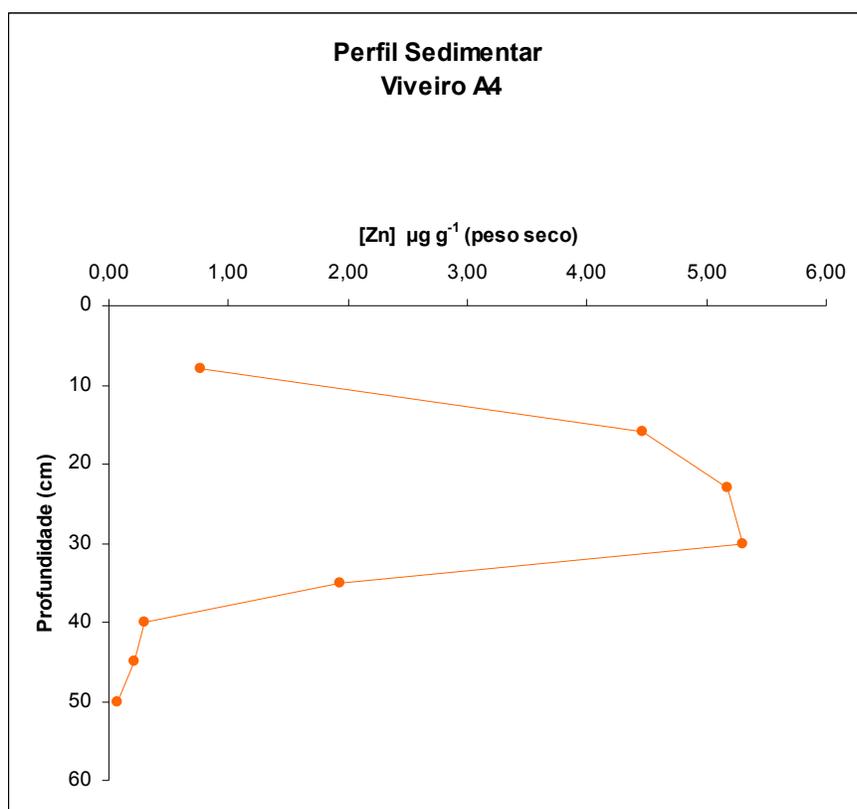


Figura 17 - Concentração de Zn biodisponível em perfil sedimentar do Viveiro A4.

Tabela V – Percentual de cobre e zinco biodisponíveis em relação à concentração total destes metais. Viveiros jovens têm 10 anos de atividade e velhos, 22 anos. Os valores expressam percentual mínimo, máximo e médio com desvio padrão respectivamente.

Viveiro	%[Cu]	%[Zn]
Jovens (Todo o perfil)	0,06 - 40,4 (23,9 ± 12,5)	1,5 - 17,4 (6,5 ± 7,2)
0-20 cm	0,06 - 40,4 (24,2 ± 17,5)	1,5 - 17,4 (12,1 ± 8,2)
>20 cm	11,5 - 37,1 (23,8 ± 10,3)	4,5 - 11,9 (3,2 ± 4,3)
Velhos (Todo o perfil)	1,2 - 87,0 (22,3 ± 18,5)	1,0 - 99,5 (34,6 ± 40,1)
0-20 cm	1,2 - 87,0 (16,4 ± 24,7)	1,0 - 99,5 (28,7 ± 37,6)
>20 cm	11,8 - 59,6 (26,7 ± 12,2)	2,7 - 96,7 (37,1 ± 42,0)

Fica evidente que a contribuição da fração biodisponível de cobre para a concentração total é pouco variável entre viveiros jovens e velhos. Isso sugere que os fatores que controlam a biodisponibilidade do cobre atuam de forma semelhante nos dois viveiros. Já para zinco, a contribuição da fração biodisponível para a concentração total é mais pronunciada nos viveiros velhos. Nos viveiros jovens, as condições físico-químicas favorecem a ocorrência de zinco sob forma não disponível.

5.4 – Teores de matéria orgânica em perfis sedimentares

Os teores de matéria orgânica calculados para os viveiros da Fazenda 1 são apresentados na Tabela VI.

Tabela VI – Percentual de matéria orgânica nos perfis sedimentares da Fazenda 1. Viveiros jovens têm 10 anos de atividade e velhos, 22 anos. Os valores expressam percentual mínimo, máximo e médio com desvio padrão respectivamente.

Viveiro	%[MO]
Jovens (Todo o perfil)	2,8 - 11,8 (6,6 ± 2,8)
0-20 cm	3,8 - 11,8 (7,4 ± 3,6)
>20 cm	2,8 - 10,4 (6,0 ± 2,4)
Velhos (Todo o perfil)	0,6 - 12,0 (7,6 ± 3,2)
0-20 cm	6,2 - 12,0 (8,92 ± 1,78)
>20 cm	0,6 - 11,1 (6,8 ± 3,4)

Os sedimentos de viveiro apresentaram altos valores de matéria orgânica, próximos aos citados por Esteves (1988) caracterizando sedimentos orgânicos. É possível observar que os menores teores foram encontrados em subamostras profundas de viveiros velhos, talvez indicando um processo de mineralização da matéria orgânica.

Os valores encontrados estão na mesma ordem de grandeza para amostras coletadas no Rio Jaguaribe, onde os teores variaram de 0,61% a 9,46% (Paula Filho, 2004).

Nas Figuras 18 e 19 são apresentados os perfis do percentual de matéria orgânica nos viveiros V11 e A4. No viveiro V11, os teores apresentam uma tendência de aumento do fundo até o topo do perfil, indicando um enriquecimento de 69,49%. Para o viveiro velho, os teores de matéria orgânica sofreram menor variação, com um enriquecimento de 15,91% entre o topo e a base do perfil. Talvez o menor valor de enriquecimento para o viveiro velho, reflita processos de mineralização que tenham ocorrido durante os 22 anos de atividade.

As médias para as duas categorias de viveiro foram consideradas estatisticamente iguais.

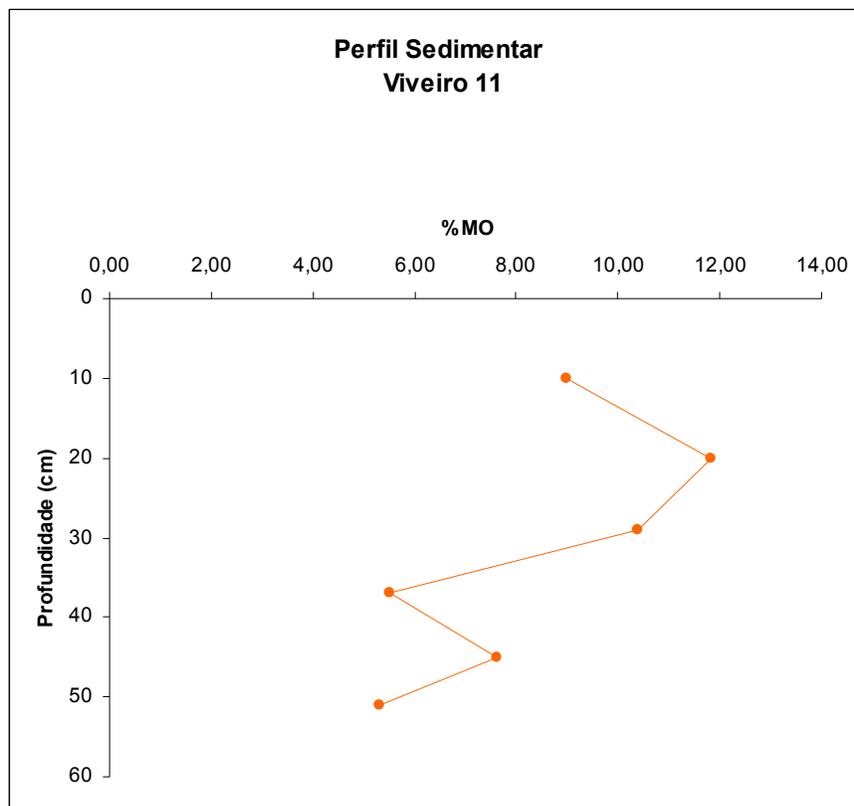


Figura 18 – Teor de Matéria orgânica (%) em perfil sedimentar do Viveiro 11.

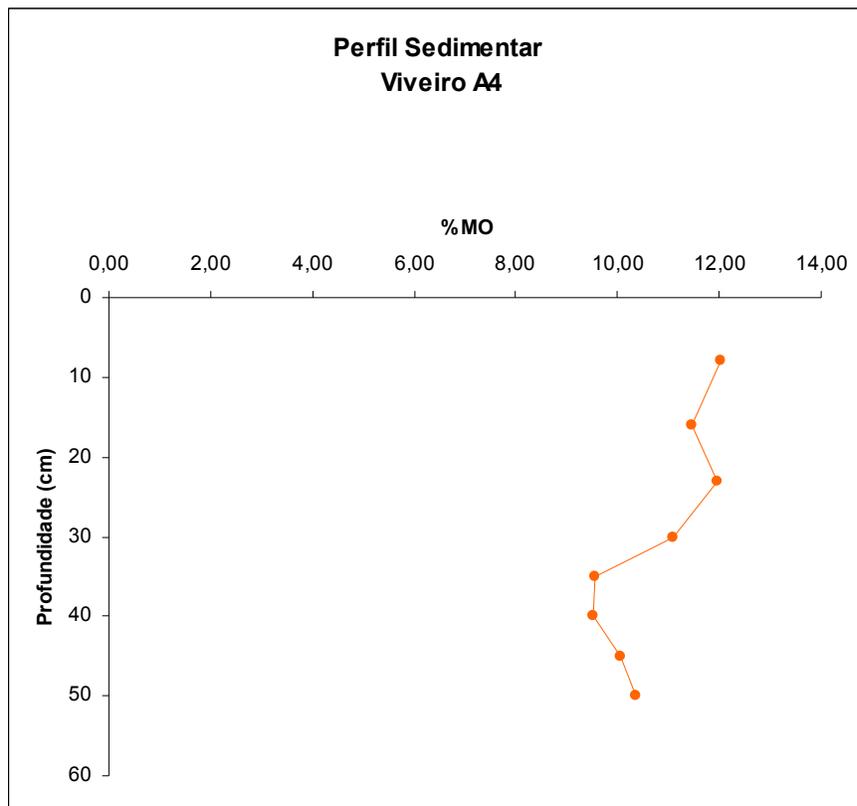


Figura 19 – Teor de Matéria orgânica (%) em perfil sedimentar do Viveiro A4.

5.5 – Correlações dos metais cobre e zinco com carreadores geoquímicos

Na tabela VII são apresentadas as correlações entre a concentração de cobre e zinco com importantes carreadores geoquímicos: matéria orgânica, ferro e alumínio.

Tabela VII – Correlações das concentrações de cobre e zinco com importantes carreadores geoquímicos. Os valores representam mínimo, máximo e média dos coeficientes de correlação calculados para cada testemunho.

Viveiro	Metal	%[Mo]	[Fe]	[Al]
Jovens	Cobre	0,97 - 0,99 (0,98)	0,69 - 0,88 (0,78)	0,79 - 0,81 (0,80)
	Zinco	0,55 - 0,99 (0,77)	0,54 - 0,65 (0,59)	0,63 - 0,79 (0,71)
Velhos	Cobre	-0,10 - 0,75 (0,31)	-0,52 - 0,96 (0,55)	0,82 - 0,95 (0,90)
	Zinco	-0,40 - 0,73 (0,35)	-0,42 - 0,89 (0,40)	0,03 - 0,89 (0,55)

Nos viveiros jovens, as correlações significativas do cobre com a matéria orgânica, ferro e alumínio indicam que a distribuição geoquímica deste metal nos sedimentos é controlada por esses elementos. É possível afirmar que a matéria orgânica atua de forma mais intensa já que a correlação entre cobre e MO foi a mais significativa entre os carreadores analisados. Considerando-se que a matéria orgânica encontrada nos viveiros consiste basicamente de ração, fezes e exúvias de camarão (Mendiguchia *et al.*,2006), pode-se afirmar que a carcinicultura está afetando significativamente a deposição deste metal. Também é importante ressaltar que a contribuição litogênica de cobre para os viveiros é significativa devido à alta correlação deste metal com o alumínio.

As correlações com o Zn e os carreadores analisados foram significativas, porém com menor intensidade que para o cobre. A matéria orgânica se mostra a principal controladora da deposição de zinco, seguida pelo alumínio e ferro.

Nos viveiros velhos, a deposição de cobre é controlada pelo alumínio e pelo ferro, já que a matéria orgânica apresentou baixa correlação com este metal. Isto é bastante razoável já que nesses viveiros durante muito tempo foi praticada a carcinicultura extensiva, com pouca ou nenhuma adição de ração ou outros insumos. As densidades de cultivo eram baixas, o que produzia taxa bem menor de fezes e exúvias de camarão durante o ciclo produtivo. Por outro lado, é possível também uma maior decomposição da matéria orgânica nestes viveiros.

Para zinco nos viveiros velhos o comportamento foi bastante semelhante ao cobre, com a deposição deste metal sendo controlada pelo alumínio. Mesmo para este carreador a correlação não foi muito alta e, as concentrações de zinco devem estar sendo controladas por outros fatores.

5.6 – Fatores de Enriquecimento de sedimentos de viveiro da Fazenda 1

A fim de verificar se as tendências de incremento das concentrações de cobre e zinco encontradas nos perfis sedimentares representam enriquecimento desses metais nos viveiros, foram calculados os fatores de enriquecimento (FE) para cada subamostra dos perfis sedimentares. Os valores calculados são apresentados na tabela VIII.

Tabela VIII – Fatores de enriquecimento para cobre e zinco em perfis sedimentares da Fazenda 1. Os valores representam mínimo, máximo e média com desvio padrão.

Viveiro	Metal	FE
Jovens	Cobre	0,03 - 3,17 (0,89 ± 0,90)
	Zinco	0,02 - 2,31 (1,35 ± 0,87)
Velhos	Cobre	0,29 - 1,75 (0,91 ± 0,31)
	Zinco	0,80 - 2,31 (1,52 ± 0,53)

Frustrando a expectativa de que os viveiros com maior tempo de atividade acumulariam mais metais, a comparação dos valores de FE, tanto para cobre quanto para zinco, foram considerados estatisticamente iguais. Este fato pode ser explicado pelos tipos de cultivo desenvolvidos em cada categoria de viveiro. Nos viveiros velhos foram realizados por quase uma década, o cultivo extensivo, com pouco uso de rações e insumos. Já os viveiros jovens, foram utilizados para cultivos intensivos, com altas densidades de camarões por metro quadrado, onde o uso de ração e insumo se faz necessário para o bom desempenho zootécnico da espécie cultivada.

Os valores de FE obtidos indicam que as fontes antrópicas já estão atuando de forma a causar alterações nas características naturais dos sedimentos analisados. Os valores de FE maiores que 1 indicam que as fontes antrópicas já superam as fontes naturais destes metais para o Baixo Jaguaribe. Isto é mais evidente para o zinco, que teve valor médio de 1,35 e 1,52 para viveiros jovens e velhos, respectivamente. Este metal é encontrado como impureza em diversos insumos utilizados pela carcinicultura em concentrações significativas. Ramalho *et al.* (2000) reportam altos teores de zinco em fertilizantes fosfatados, de 50 a 1450 $\mu\text{g g}^{-1}$ e pedras calcárias, 10 a 450 $\mu\text{g g}^{-1}$.

Para cobre os FE médios não foram superiores a 1, mas é possível observar que em algumas camadas dos perfis sedimentares este valor já foi ultrapassado, 3,17 nos viveiros jovens e 1,75 nos velhos. Estes valores também evidenciam que a contribuição antrópica de cobre já começa a se tornar importante para a região estudada.

5.7 – Concentração de metais em camarões cultivados na Fazenda 1

Nas amostras de camarão coletadas ao fim dos ciclos de cultivo nos viveiros da Fazenda 1, foram determinadas as concentrações de cobre e zinco, em músculo e carapaça. Os valores encontrados são apresentados na Tabela IX.

Tabela IX – Concentração de cobre e zinco em músculo e carapaça de camarões coletados ao fim do ciclo produtivo nos viveiros estudados na Fazenda 1. Os valores representam mínimo, máximo e média com desvio padrão ($\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco).

Viveiro	Metal	músculo	carapaça
Jovens	Cobre	16,5 - 22,5 (20,0 \pm 4,9)	33,5 - 38,9 (36,2 \pm 3,8)
	Zinco	37,6 - 58,6 (48,1 \pm 14,8)	41,1 - 48,8 (44,9 \pm 5,4)
Velhos	Cobre	15,7 - 39,9 (26,2 \pm 9,5)	29,5 - 63,1 (42,8 \pm 13,4)
	Zinco	48,4 - 92,1 (63,3 \pm 16,77)	40,4 - 49,6 (44,7 \pm 3,7)

Nos viveiros jovens, as concentrações de cobre na musculatura abdominal variaram 1,3 vezes, de 16,5 a 22,5 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ (peso seco) e 1,1 vezes na carapaça, com concentrações de 33,5 a 38,9 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ (peso seco). Para zinco a variação no músculo foi de 1,5 vezes, de 37,6 a 58,6 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ (peso seco). Na carapaça a variação foi um pouco menor, 1,1 vezes, de 41,1 a 48,8 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ (peso seco).

Nos viveiros velhos, a variação de cobre na musculatura foi de 2,5 vezes, de 15,7 a 39,9 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ (peso seco) e de 2,13 vezes na carapaça, com concentrações de 29,5 a 63,1 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ (peso seco). Para zinco na musculatura, a variação foi de 1,9 vezes, de 48,4 a 92,1 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ (peso seco) e na carapaça, 1,2 vezes, de 40,4 a 49,6 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ (peso seco). As médias de cobre e zinco em camarões cultivados nas duas categorias de viveiros foram consideradas estatisticamente iguais. Fato que corrobora os cálculos das concentrações de cobre e zinco total, biodisponível e não disponível em sedimentos discutidos anteriormente.

As concentrações de cobre e zinco em camarão calculadas por Santos (2005) estão na mesma ordem de grandeza que os encontrados neste trabalho. Porém as concentrações de cobre no músculo e carapaça são ligeiramente maiores, 33,4-42,2 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ (peso seco) e 74,0-87,2 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ (peso seco), respectivamente. Os teores de zinco são semelhantes, 41,8-43,1 no músculo e 52,7-55,5 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ (peso seco) no exoesqueleto. Guhathakurta & Kaviraj (2000) relatam concentrações bem variáveis

de zinco em *Penaeus monodon*, de 7,3 a 4.809,5 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ (peso seco). As concentrações elevadas encontradas por estes últimos autores, são maiores que as relatadas por Lacerda *et al* (2004 b) em *Penaeus schmitt* coletados na Baía de Sepetiba, um local altamente contaminado, onde as concentrações médias de zinco foram 190 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ (peso seco), com picos de 1.440 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ (peso seco).

As concentrações encontradas na Fazenda 1 são muito semelhantes às calculadas por Paez-Osuna & Ruiz-Fernández (1995) em estudo realizado no México onde as concentrações de cobre no tecido muscular variaram de 22,7 a 27,5 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$.

5.8 – Concentração de metais em sedimentos e insumos da Fazenda 2

Foram analisadas amostras de sedimento coletados no entorno da Fazenda 2 e no viveiro de cultivo durante um ciclo de engorda. Os valores encontrados estão listados na tabela X e XI respectivamente. Também foram analisadas amostras de alguns insumos comumente empregados na carcinicultura. As concentrações de cobre e zinco encontradas nestas amostras são apresentadas na tabela XII.

Tabela X – Concentração de cobre e zinco em sedimentos coletados na Fazenda 2 e entorno. bd expressa biodisponível e nd não disponível. As concentrações estão em $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ peso seco.

Amostra	[Cu] bd	[Cu] nd	[Cu] total	[Zn] bd	[Zn] nd	[Zn] total
Solo da região	< ld	< ld	< ld	19,07	54,69	73,76
Montante captação	4,67	5,68	10,35	54,72	55,79	110,51
Jusante captação	3,62	5,54	9,16	53,12	55,46	108,58
Efluente	5,02	5,78	10,80	55,33	55,79	111,12
Canal de Adução	11,22	< ld	11,22	43,61	36,83	80,44
Viveiro 3	10,75	< ld	10,75	46,32	37,67	83,99
Bacia de Decantação	10,16	< ld	10,16	41,45	40,70	82,15

Analisando os valores da tabela X pode-se observar que as concentrações de cobre total não sofrem muita alteração nos diferentes pontos amostrados. A qualidade do sedimento em relação à concentração deste metal entre o ponto de captação e o ambiente receptor de efluentes permanece praticamente inalterada. O emprego de bacia de decantação para a redução dos efeitos deletérios resultantes da carcinicultura mostra sinais de eficiência em relação ao cobre. Entretanto, já se pode notar alterações na concentração deste metal entre o solo da região (que representaria o teor original de cobre para a área da Fazenda 2) e os sedimentos mais expostos às ações antrópicas, englobando não apenas a carcinicultura mas outras atividades realizadas na região. Para zinco também se verifica que os teores não se alteram significativamente entre os diferentes pontos amostrados, e que a concentração no efluente é ligeiramente maior que à montante da captação. No entanto, as concentrações de zinco no solo referência da região e os demais pontos são distintas, evidenciando uma contribuição significativa da fração biodisponível para o aumento da concentração de zinco total. Isto é preocupante porque apesar de ser essencial para os camarões e ser requerido como cofator para diversas atividades enzimáticas, concentrações elevadas podem ser potencialmente tóxicas para estes organismos.

Tabela XI– Concentração de cobre e zinco em sedimentos coletados na Fazenda 2 ao longo de um ciclo produtivo. bd expressa biodisponível e nd não disponível. As concentrações estão em $\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco.

Amostra	[Cu] bd	[Cu] nd	[Cu] total	[Zn] bd	[Zn] nd	[Zn] total
47 dias de cultivo	< ld	< ld	< ld	46,90	26,24	73,14
60 dias de cultivo	< ld	< ld	< ld	51,42	33,43	84,85
100 dias de cultivo	< ld	< ld	< ld	51,89	31,59	83,48

As concentrações de cobre ao longo de todo o ciclo produtivo estiveram sistematicamente abaixo do limite de detecção. Certamente o cobre que atinge o sistema de cultivo estava seguindo outras rotas, permanecendo em solução e contribuindo pouquíssimo para a alteração dos teores deste metal no sedimento. Esta condição deve ter sido alcançada por controles físico-químicos locais, já que é

sabido que a carcinicultura é uma fonte potencial de cobre para o sistema no qual se insere (Chen & Lin, 2001; Bairy, 2000; Boyd & Massaut,1999) e portanto, geraria incrementos na concentração deste metal.

Para zinco as concentrações sofreram aumento de 10,34 % entre a primeira e a última amostragem. Esse aumento na concentração pode ser resultante da utilização de alguns insumos que apresentaram teores muito elevados de zinco (tabela XII). Entretanto também para este metal, considerando-se as potenciais fontes para o viveiro, controles físico-químicos favoreceram que o metal não ficasse retido no compartimento sedimentar.

Tabela XII– Concentração de cobre e zinco em insumos utilizados na Fazenda 2 . bd expressa biodisponível e nd não disponível. As concentrações estão em $\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco.

Amostra	[Cu] bd	[Cu] nd	[Cu] total	[Zn] bd	[Zn] nd	[Zn] total
Uréia	42,84	< ld	42,84	388,26	< ld	388,26
Silicato	5,87	< ld	5,87	43,27	< ld	43,27
Ração	5,98	29,89	35,87	388,65	549,20	937,85
Super fosfato	6,19	30,43	36,62	1562,05	556,69	2118,74
Melaço	5,81	< ld	5,81	52,41	< ld	52,41

A análise de cobre e zinco nos insumos utilizados na carcinicultura foi bastante surpreendente, especialmente para zinco, visto que alguns destes produtos continham teores elevados deste metal. Além disso, grande parte do teor de zinco se encontrava sob a forma biodisponível, representando assim, maior potencial de impacto sobre os organismos cultivados.

Os metais em insumos como os fertilizantes ocorrem principalmente como impurezas e seus teores são consequência direta da qualidade da matéria-prima empregada no processo de fabricação destes produtos (Mortvedt, 1996). Assim, fica notória a necessidade de utilização de produtos melhor elaborados, para evitar a exposição a concentrações como as detectadas no superfosfato.

Os teores de cobre em ração são semelhantes aos dados disponíveis na literatura, estando na mesma ordem de grandeza das concentrações reportadas por Santos (2005) onde variavam de 13,1 a 79 $\mu\text{g. g}^{-1}$. A concentração média de cobre

obtida na ração utilizada na Bahia está acima do nível considerado ótimo para o crescimento de camarões segundo Cuzon *et al.*(2004) e Lee & Shiau (2002), que sugerem o ótimo de 30 e de 10-20 $\mu\text{g g}^{-1}$ de cobre. g^{-1} de ração, respectivamente. Os teores de zinco na ração também se encontra acima dos níveis encontrados na literatura. A média de 937,85 $\mu\text{g. g}^{-1}$ está bem acima da maior concentração de zinco reportada por Davis *et al.* (1992) que é de 218 $\mu\text{g. g}^{-1}$.

Assim, fica evidenciada a necessidade de reformulações nas rações utilizadas durante o processo de cultivo de camarão, começando por melhor seleção da matéria-prima empregada e maior cuidado durante o processo de manufatura para evitar contaminações.

5.9 – Concentração de metais nos camarões da Fazenda 2

As concentrações de cobre e zinco foram medidas em tecido muscular e exoesqueleto nos camarões cultivados na Fazenda 2, localizada na Bahia. Foram coletadas 5 amostras durante um ciclo de engorda. Os resultados são apresentados na tabela XIII.

Tabela XIII– Concentração de cobre e zinco em músculo e carapaça de camarões coletados ao longo de um ciclo produtivo na Fazenda 2. Os valores representam mínimo, máximo e média com desvio padrão. As concentrações estão em $\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco.

Amostra	[Cu] músculo	[Cu] carapaça	[Zn] músculo[[Zn] carapaça
1	12,3-16,8 (14,7±1,9)	39,8-47,6 (43,7±3,4)	64,2-72,9 (68,4±3,5)	46,9-52,9 (50,6±2,7)
2	27,0-30,2 (28,5±1,3)	42,4-48,3 (45,4±2,5)	56,8-67,2 (63,3±4,5)	23,2-37,6 (29,5±6,2)
3	25,7-30,4 (27,9±2,0)	49,4-55,4 (52,3±2,7)	58,4-68,4 (65,4±4,7)	36,3-46,8 (41,1±4,5)
4	27,5-35,3 (31,0±3,4)	52,8-63,1 (58,0±4,6)	61,1-68,8 (64,1±3,3)	33,2-36,7 (35,1±1,5)
5	33,2-40,2 (36,6±2,9)	31,9-36,7 (34,2±2,0)	52,4-64,2 (59,3±5,2)	56,8-85,7 (69,8±12,1)

É possível observar que ocorre uma variação temporal nas concentrações de cobre e zinco tanto no músculo, quanto na carapaça (Figuras 20 e 21).

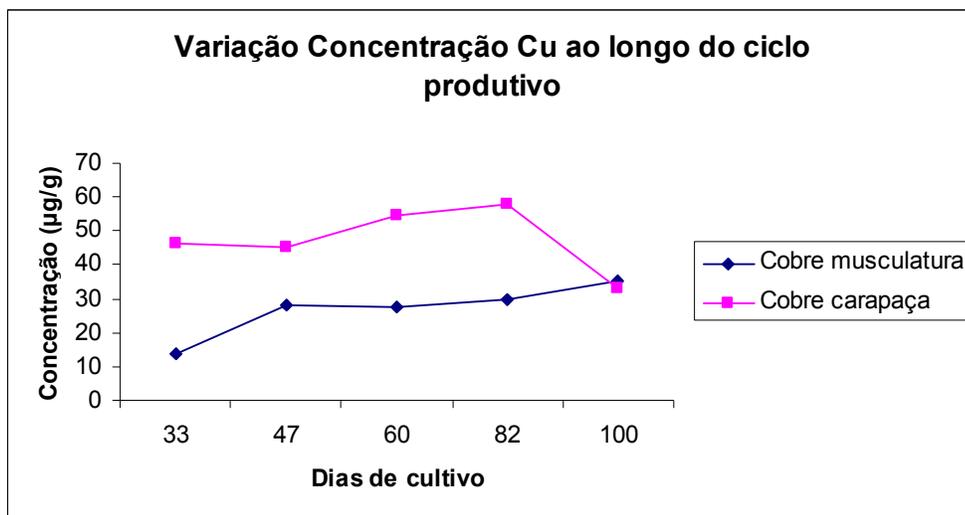


Figura 20 – Variação na concentração de cobre em músculo e carapaça de camarões cultivados no estado da Bahia, ao longo de um ciclo de engorda.

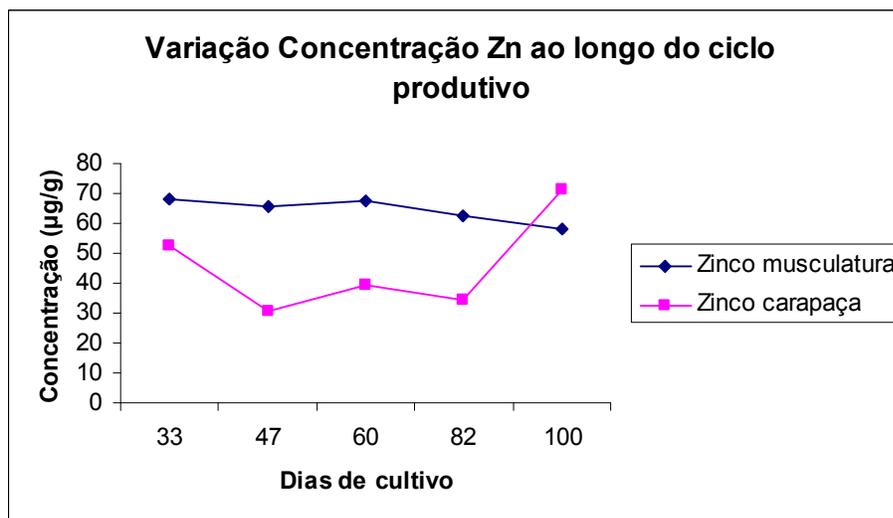


Figura 21 – Variação na concentração de zinco em músculo e carapaça de camarões cultivados no estado da Bahia, ao longo de um ciclo de engorda.

A menor concentração de cobre em tecido muscular ocorreu no início do ciclo, 33 dias após o povoamento. Com o decorrer dos dias a concentração de cobre em músculo mostrou uma tendência sempre crescente, apresentando um incremento de 154,8% entre a primeira amostragem e o fim do ciclo. Já na carapaça, o comportamento das concentrações de cobre foi distinto, com um aumento das

concentrações até o 82º dia de cultivo e depois uma queda no fim do ciclo. Entre a primeira e a última amostragem houve uma redução de 28,4% nas concentrações de cobre na carapaça.

Quando se compara as concentrações de cobre na Fazenda 2 com os valores obtidos por Santos(2005) para a bacia inferior do Jaguaribe, observa-se que na Bahia as concentrações médias tanto no músculo ($26,94 \pm 7,93$), quanto na carapaça ($47,51 \pm 9,57$) são menores. Isto sugere que o camarão está exposto a concentrações menores deste metal. Entretanto, não se pode afirmar que os níveis de cobre encontrados não afetem o pleno desempenho zootécnico dos camarões, já que fica evidente que a carapaça está funcionando como uma forma de eliminação do cobre. E este transporte entre músculo e carapaça ocorre via mecanismos de transporte ativo, que consomem energia, implicando em potencial menor crescimento dos organismos cultivados.

As concentrações obtidas neste estudo ficam bem abaixo dos níveis reportados por alguns autores que sugerem requerimentos mínimos de cobre para crustáceos entre 70 e $122,5 \mu\text{g g}^{-1}$ (Eisler, 1981 *apud* Santos 2005; Rainbow, 1988; Depledge, 1989). Ou seja, mesmo apresentando concentrações menores que as necessidades metabólicas, ainda assim foi possível verificar que os mecanismos de detoxificação estão em ação. Isto sugere que estudos sobre os requerimentos metabólicos devem ser intensificados a fim de evitar que novas fontes de metais sejam adicionadas aos insumos. Esta prática já é verificada nas rações que são enriquecidas em cobre e zinco durante o processo de manufatura. É importante ressaltar que o ambiente em que se instalam os viveiros de carcinicultura pode suprir os requerimentos metabólicos, sem a necessidade de adições destes metais.

Para zinco na musculatura dos camarões, as concentrações foram bastante estáveis ao longo de todo o ciclo de cultivo. Apenas no final do ciclo houve uma queda nos valores, representando uma variação de 14,8% entre o início e o fim da produção. Na carapaça as concentrações de zinco foram bastante oscilantes, ora com aumento, ora com queda nos valores, sugerindo que possa estar havendo um controle dos níveis deste metal pelo organismo cultivado através da ecdise, como sugerido por alguns autores (Keteles & Fleeger, 2001). Os níveis de zinco detectados são semelhantes aos reportados para *L. vannamei* coletados em ambiente natural, onde a concentração média de zinco foi de $59 \mu\text{g .g}^{-1}$ (peso seco)

para camarões entre 3 e 18,2 cm de comprimento (Paez-Osuna & Ruiz-Fernández, 1995).

Comparando-se as concentrações de zinco na Fazenda 2 com os valores calculados por Santos (2005), verifica-se que o teor no músculo foi superior, com incremento de 50% nestes valores. Observa-se que o organismo não apresentou uma resposta imediata de transferência de zinco do músculo para carapaça. A utilização deste mecanismo só foi observada já no fim do cultivo quando ocorreu um aumento abrupto na concentração de zinco na carapaça.

6 – Conclusões

Houve incremento nas concentrações de cobre e zinco em viveiros velhos e jovens ao longo de vários ciclos produtivos. Foi possível observar que a fração biodisponível para os dois metais estudados apresentou comportamento semelhante, com aumento significativo do fundo até a superfície dos perfis sedimentares. O cálculo dos fatores de enriquecimento para zinco indica que as fontes antrópicas já superam as fontes naturais. Para cobre as fontes naturais ainda são as mais significativas, entretanto já se observa indícios de que as fontes antrópicas começam a se tornar relevantes na contribuição deste metal para o meio. Apesar de não haver diferenças estatisticamente significativas na acumulação entre viveiros jovens e velhos, devido à grande variabilidade dos dados, houve alguns viveiros com 22 anos de cultivo que apresentaram concentrações distintas, indicando que foram submetidos a manejos diferenciados. Nos viveiros jovens as concentrações de cobre e zinco são controladas principalmente pela matéria orgânica. Nos viveiros velhos estes dois metais estão associados principalmente a fontes litogênicas.

A determinação das concentrações de cobre e zinco em camarões e sedimentos coletados na Bahia permitiu verificar que há um caráter regional nos dados. Os valores são diferentes dos encontrados por Santos (2005) para a bacia inferior do Jaguaribe e refletem a concentração destes metais no meio de cultivo.

7- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCC. Site institucional. Disponível em: < <http://www.abccam.com.br>> Acesso em: 05 maio 2006.

AQUINO ,L.C.S.; PRIMO,P.B.S., LACORTE, A.C.; VIEIRA,H.M., MENEZES,P.C.P. Sinopse das Bacias do Atlântico Sul, Vol. I – Trecho Leste. Agência Nacional de Águas, Diretoria das Bacias Hidrográficas do Leste. 2001.

BAINY,C.D.Biochemical responses in penaeids caused by contaminants. **Aquaculture** 191: 163-168. 2000.

BOYD,C.E. & MASSAUT,L. Risks associated with the use of chemicals in pond aquaculture. **Aquacultural Engineering**, v.20:113-132. 1999.

BURGER,J. DIAZ-BARRIGA,F.; MARAFANTE,E.; POUNDS,J.; ROBSON,M. Methodologies to examine the importance of hosts factors in bioavailability of metals. **Ecotoxicology and Environmental Safety** 56 : 20-31.2003.

CARVALHO,C.E.V; LACERDA, L.D. & GOMES, M.P. Heavy metal contamination of the marine biota along the Rio de Janeiro coast, SE-Brazil. **Water, Air and Soil Pollution** 57/58:645-653. 1991.

CENTRO DE RECURSOS AMBIENTAIS. Bacia Hidrográfica do Rio Pardo. Sistema Estadual de Informações Ambientais. 2001. Disponível em: <<http://seia.ba.gov.br>>. Acesso em: 10 maio 2006.

CHEN, J-C. & LIN,C-H.Toxicity of copper sulfate for survival, growth, molting and feeding of juveniles of the tiger shrimp, *Penaeus monodon*. **Aquaculture**, v. 192:55-65. 2001.

CUZON,G.; LAWRENCE,A.; GRAXIOLA,,G.; ROSAS,C.& GUILLAUME,J. Nutrition of *Litopenaeus vannamei* reared in tanks or in ponds. **Aquaculture**,v.235 :513-551.2004.

DAVIS,D.A.; LAWRENCE, A.L. & GATLIN III,D.M. Mineral requirements of *Penaeus vannamei* a preliminary examination of the dietary essentiality for thirteen minerals. **Journal World Aquaculture Society**, v.23, n.1:8-14.1992.

DEPLEDGE, M.H. Re-evaluation of metabolic requirements for copper and zinc in decapod crustaceans. **Marine Environmental Research**, v.27, issue 2:115-126. 1989.

ESTEVEES,F.A.**Fundamentos de Limnologia**. Interciência/FINEP. 575 p. 1988.

FIZMAN,M. PFEIFFER,W.C & LACERDA, L.D. Comparison of methods used for extraction and geochemical distribution of heavy metals in bottom sediments from Sepetiba Bay, RJ. **Science and Technology Letters**, v.5:567-575. 1984.

GOSAVI,K.; SAMMUT,J.; GIFFORD,S.; JANKOWSKI,J. Macroalgal biomonitors of trace metal contamination in acid sulfate soil aquaculture ponds. **Science of the Total Environment**, 324:25-39. 2004.

GUHATHAKURTA,H. & KAVIRAJ, A. Heavy metal concentration in water, sediment, shrimp (*Penaeus monodon*), and mullet (*Liza parsia*) in some brackish water ponds of Sunderban, India. **Marine Pollution Bulletin**, v. 40, issue 11:914-920. 2000.

HOSSAIN, S. & KHAN, Y.S.A. Trace metals in Penaeid shrimp and Spiny lobster from the Bay of Bengal. **Science Asia**, v.27: 165-168. 2001.

KETELES,K.A & FLEEGER,J.W.The contribution of ecdysis to the fate of copper, zinc and cadmium in grass shrimp *Palaemonetes pugio* Holthius. **Marine Pollution Bulletin**, v.42, n.12: 1397-1402. 2001.

LACERDA,L.D. Trace Metals Biogeochemistry and Diffuse Pollution in Mangrove Ecosystems. **ISME Mangrove Ecosystems Occasional Papers** N° 2. 1998. International society for Mangrove Ecosystems.

LACERDA,L.D; MARINS,R.V.; VAISMAN,A.G.; AGUIAR, J.E.; DIAS, F.J.S. Contaminação por metais pesados nas bacias inferiores dos Rios Curimataú e Açú (RN) e Rio Jaguaribe (CE). Sociedade Internacional para Ecossistemas de Manguezal do Brazil (ISME/BR); Instituto de Ciências do Mar (LABOMAR-UFC); Associação Brasileira dos Criadores de Camarão (ABCC). Fortaleza, 63 p.2004 (a)

LACERDA, L.D.; MARINS, R.V.; BARCELLOS,C. & MOLISANI,M.M. Sepetiba Bay: A case study of the Environmental Geochemistry of Heavy Metal in a Subtropical Coastal Lagoon. p. 293-318 In: Lacerda,L.D.; Santelli, R.E.; Duursma, E.K. & Abrão, J.J. **Environmental Geochemistry in Tropical and Subtropical Environments**. Springer-Verlag, v.1, 397 p., Berlin, 2004 (b)

LEE,M. & SHIAU,S.Dietary copper requirement of juvenile grass shrimp *Penaeus monodon* and effects on non-specific immune responses. **Fish & Shellfish Immunology**, v. 13:259-270.2002.

LORING,D.H; RANTALA, R.T.T. Manual for the geochemical analyses of marine sediments and suspended particulate matter. **Earth-Science Reviews**, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam:32, p235-283, 1992.

LUCAS,M.F.; CALDEIRA, M.T.; HALL,A.; DUARTE,A.C. & LIMA, C. Distribution of mercury in the sediments and fishes of the Lagoon Aveiro, Portugal. **Water Science & Technology**, v.18:141-148. 1986.

MARINS,R.V.; LACERDA,L.D.; ABREU,I.M. & DIAS, F.J.S. Efeitos da açudagem no Rio Jaguaribe. **Ciência Hoje** v.33,n. 197: 66-70. 2003.

MELLO,N.C.Carcinicultura: solução ou problema? **Meio ambiente UERJ**. Dez/2003. Disponível em: <http://www2.uerj.br/ambiente/emrevista/artigos/carcinicultura_2.htm> Acesso em: 06 junho 2006.

MENDIGUCHIA,C.;MORENO,C;MANUEL-VEZ,M.P;GARCIA-VARGAS,M. Preliminary investigation on the enrichment of heavy metals in marine sediments originated from intensive aquaculture effluents. **Aquaculture** , v. 254, issue 1-4: 317-325,2006.

MORTVEDT,J.J. Heavy metal contaminants in inorganic and organic fertilizers. **Fertilizer Research**, v.43: 55-61. 1996.

PÁEZ-OSUNA,F. & RUIZ-FERNÁNDEZ, C. Trace metals in the mexican shrimp *Penaeus vannamei* from estuarine and marine environments. **Environmental Pollution**, v. 87: 243-247.1995

PAULA FILHO,F.J. **Distribuição e partição geoquímica do fósforo em sedimentos estuarinos do Rio Jaguaribe-Ce**. Dissertação de mestrado, Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, 100p.

PURINA. **Fundamentos da engorda de camarões marinhos**. 2ª edição. 2004

RAINBOW,P.S. The significance of trace metal concentrations in decapods. **Symp. Zool. Soc. Lond.**, v. 59: 291-313, 1988.

RAINBOW,P.S.; AMIARD-TRIQUET,C.;AMIARD,J.C.; SMITH,B.D.; BEST,S.L.; NASSIRI,Y. & LANGSTON,W.J.Trace metal uptake rates in crustaceans (amphipods and crabs) from coastal sites in NW Europe differentially enriched with trace metals. **Marine Ecology Progress Series**, v.183:189-203. 1999.

RAMALHO,J.F.G.P.;SOBRINHO,N.M.B.;VELLOSO,A.O.X.Contaminação da Microbacia de Caetés com metais pesados pelo uso de agroquímicos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n. 07: 1289-1303.2000.

RIVAS, M.P.; FORTUNATO, F.F.; SANTIAGO FILHO,A.L.; OLIVEIRA, F.C.; GATTO,L.C.S.;CUNHA,R.C.M.B.;BOAS,J.H.V.; PINTO,G.C.V.C.;SOKOLONSKI,H.H. **Diagnóstico ambiental da Bacia do Rio Jaguaribe – Diretrizes gerais para a ordenação territorial**. IBGE, Salvador, 1999.

SALOMONS,W.; FORSTNER,U. **Metals in the hydrocycle**. Springer-Verlag. Berlin, 1984, 349p.

SAMPAIO,Y.& COSTA,E.F.**Geração de Empregos Diretos e Indiretos na Cadeia Produtiva do Camarão Marinho Cultivado no Brasil**. Universidade Federal rural de Pernambuco, Departamento de Economia. 2004. Disponível em:<<http://www.abccam.com.br/download/GERA%C7%C3O%20DE%20EMPREGOS.pdf>> .Acesso em: 06 junho 2006.

SAMPAIO,Y.& COSTA,E.F., ALBUQUERQUE,E., SAMPAIO,B.R. **Impactos Sócio-econômicos do cultivo de camarão cultivado marinho em municípios selecionados do nordeste brasileiro**. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Economia. 2003.

SANTOS,J.A. **Determinação de cobre e zinco em fazendas produtoras de camarão do litoral leste do estado do Ceará**. Dissertação de mestrado. Instituto de Ciências do Mar- Universidade Federal do Ceará. 73p.2005.

SMITH, P.T. Physical and chemical characteristics of sediments from prawn farms and mangrove habitats on the Clarence River, Australia. **Aquaculture**, v. 146: 47-83. 1996.

TESSIER,A.; CAMPBELL, P.G.C.; BISSON,M. Sequential Extraction Procedure for the speciation of particulate trace metals. **Analytical Chemistry**, vol. 51, nº7.1979.

TUPINAMBÁ,S.V.Criação de camarões degrada manguezais no Nordeste. **Oitava Conferência das Partes da Convenção sobre Diversidade.2006**. Disponível em : <<http://www.cdb.gov.br/Members/carlost/criacao-de-camaroes-degrada-manguezais-no-nordeste>>.Acesso em: 06 junho 2006.

WU, J-P& CHEN, H-C. Effects of Cadmium and Zinc on the Growth, Food Consumption, and Nutritional Conditions of the White Shrimp, *Litopenaeus vannamei* (Boone). **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology** 74:234-241.2005.

YEH,S-T, LIU,C-H, CHEN, J-C. Effect of copper sulfate on the immune response and susceptibility to *Vibrio alginolyticus* in the white shrimp *Litopenaeus vannamei*. **Fish and Shellfish Immunology**17: 437-446. 2004.

YUVANATEMIYA, V.& BOYD,C.E. Physical and chemical changes in aquaculture pond bottom soil resulting from sediment removal. **Aquacultural Engineering** v.35, issue 2: 199-205.2006.

APÊNDICE I

1 – LISTA DE AMOSTRAS COLETADAS

1.1 – Amostragem no estado do Ceará

Amostra	Descrição
Perfil sedimentar viveiro 11	Amostra coletada com tubo PVC em viveiro jovem
Perfil sedimentar viveiro 12	Amostra coletada com tubo PVC em viveiro jovem
Perfil sedimentar viveiro A3	Amostra coletada com tubo PVC em viveiro velho
Perfil sedimentar viveiro A4	Amostra coletada com tubo PVC em viveiro velho
Perfil sedimentar viveiro A5	Amostra coletada com tubo PVC em viveiro velho
Perfil sedimentar viveiro 6A	Amostra coletada com tubo PVC em viveiro velho
Perfil sedimentar viveiro 6AB	Amostra coletada com tubo PVC em viveiro velho
Camarão viveiro 11	Amostra coletada por tarrafeamento ao fim do ciclo produtivo em viveiro jovem
Camarão viveiro 12	Amostra coletada por tarrafeamento ao fim do ciclo produtivo em viveiro jovem
Camarão viveiro A4	Amostra coletada por tarrafeamento ao fim do ciclo produtivo em viveiro velho
Camarão viveiro A5	Amostra coletada por tarrafeamento ao fim do ciclo produtivo em viveiro velho
Camarão viveiro 6A	Amostra coletada por tarrafeamento ao fim do ciclo produtivo em viveiro velho

1.2 – Amostragem no estado da Bahia

Amostra	Descrição
Amostra camarão viveiro 3	Amostra utilizada para varredura da concentração de metais na Fazenda 2
Amostra camarão viveiro 8	Amostra utilizada para varredura da concentração de metais na Fazenda 2
Amostra camarão viveiro 3 a	Primeira amostra de camarão para acompanhamento do ciclo de engorda. Coletada após 33 dias do povoamento.
Amostra camarão viveiro 3 b	Amostra de camarão para acompanhamento do ciclo de engorda. Coletada após 47 dias do povoamento.
Amostra camarão viveiro 3 c	Amostra de camarão para acompanhamento do ciclo de engorda. Coletada após 60 dias do povoamento.
Amostra camarão viveiro 3 d	Amostra de camarão para acompanhamento do ciclo de engorda. Coletada após 82 dias do povoamento.
Amostra de camarão viveiro 3 e	Amostra de camarão para acompanhamento do ciclo de engorda. Coletada no momento da despesca.
Amostra de solo P0	Amostra de solo da região produtora
Amostra de solo P1	Amostra coletada a montante da captação da Fazenda 2
Amostra de solo P2	Amostra coletada a jusante da captação da Fazenda 2
Amostra de solo P3	Coletada no efluente da Fazenda 2

Amostra de solo P4	Amostra coletada no canal de adução
Amostra de solo P5	Amostra coletada no viveiro 3
Amostra de solo P6	Amostra de solo coletada na bacia de decantação da Fazenda 2
Amostra de solo P7	Amostra de solo coletada no estuário do Rio Maruim
Amostra de sedimento V3 01/12	Amostra de sedimento coletada no viveiro 3 durante o ciclo de engorda
Amostra de sedimento V3 14/12	Amostra de sedimento coletada no viveiro 3 durante o ciclo de engorda
Amostra de sedimento V3 23/01	Amostra de sedimento coletada no viveiro 3 durante o ciclo de engorda
Uréia	Amostras dos insumos utilizados durante o ciclo produtivo.
Silicato	
Ração	
Superfosfato	
Melaço	

APÊNDICE II

1- DESCRIÇÃO DOS PERFIS SEDIMENTARES

1.1 - Viveiros Jovens

Perfil Viveiro 11

Comprimento total: 88 cm.

Dividido em 14 subamostras.

Subamostra	Descrição
0-10 cm	Camada de lama fluida, sulfetos, totalmente anóxica.
10-20 cm	
20-29 cm	
29-37 cm	Camada arenosa com presença de pequenos pontos de óxido de ferro. Na porção mais externa presença de lama
37-45 cm	Areia marrom claro, com presença de óxido de ferro e pouca lama.
45-51cm	Camadas bastante arenosas, pouquíssima lama, sem características anóxicas.
51-56 cm	
56-61 cm	Camada arenosa, coloração um pouco mais escura que a camada superior, presença de óxido de ferro.
61-66 cm	
66-72 cm	
72-76 cm	
76-80 cm	Camada arenosa bastante óxica com presença marcante de óxido de ferro
80-84 cm	
84-88 cm	

Perfil Viveiro 12

O testemunho do viveiro 12 foi aberto sem o auxílio da serra. Assim não foi possível estimar o comprimento total e nem realizar uma descrição adequada das camadas. Foram coletadas cinco subamostras: superior, mediana (10 cm superiores, 10 cm medianos, 10 cm inferiores) e fundo.

1.2- Viveiros Velhos

Perfil Viveiro A3

Comprimento total: 60 cm.

Dividido em 7 subamostras.

Subamostra	Descrição
0-6 cm	Camada de lama fluida
6-12 cm	
12- 20 cm	Camada com sedimento lamoso. Aspecto levemente anóxico. Coloração cinza-esverdeado.
20-28 cm	
28- 36 cm	
36-48 cm	Camada marrom claro, mistura de lama com areia, presença de óxido de ferro.
48-60 cm	

Perfil Viveiro A4

Comprimento total: 66 cm. O primeiro centímetro foi descartado.

Dividido em 11 subamostras.

Subamostra	Descrição
0-8 cm	Camada de lama fluida

8-16 cm	
16-23 cm	Camada lamosa com características anóxicas, altamente aderidas às paredes do tubo de PVC.
23-30 cm	
30-35 cm	
35-40 cm	Camada lamosa, presença de óxido de ferro, com coloração marrom clara na camada 7 e cinza- esverdeada na camada 5.
40-45 cm	
45-50 cm	
50-55 cm	Camada lamosa anóxica, com baixa compactação permitindo cortar facilmente o perfil em subamostras.
55-60 cm	
60-65 cm	
60-65 cm	

Perfil Viveiro A5

Comprimento total: 81 cm.

Dividido em 12 subamostras

Subamostra	Descrição
0-10 cm	Camada de lama fluida com forte odor de sulfetos
10-16 cm	Camada com maior percentual de areia e características anóxicas
16-22 cm	
22-28 cm	
28-34 cm	Camada lamosa com características anóxicas
34-40 cm	
40-46 cm	Camada arenosa com pequeno percentual de lama
46-52 cm	
52-60 cm	Camada lamosa com presença de óxido de ferro
60-68 cm	
68-76 cm	
76-81 cm	Camada lamosa

Perfil Viveiro 6A

Comprimento total: 60 cm. Os dois primeiros centímetros foram descartados.

Dividido em 9 subamostras

Subamostra	Descrição
0-5 cm	Camada de lama fluida
5-12 cm	Camada de lama com características anóxicas.
12-19 cm	Lama com presença de sulfetos
19-26 cm	
26-33 cm	Camada com lama anóxica e pouquíssima areia.
33-40 cm	
40-47 cm	
47-52 cm	Lama e areia, presença de óxido de ferro, coloração marrom.
52-58 cm	

Perfil Viveiro 6AB

Comprimento total: 64 cm.

Dividido em 9 subamostras

Subamostra	Descrição
0-6 cm	Camada de lama fluida
6-13 cm	Camada única com características semelhantes. Sedimento lamoso, aspecto anóxico.
13-21 cm	
21-28 cm	
28-35 cm	
35-42 cm	
42-49 cm	Camada com sedimento bem escuro compacto e seco. Parece ser o sedimento original.
49-57 cm	
57-64 cm	Camada lamosa.

APÊNDICE III

1- ESTATÍSTICA

1.1 – Teste t de Student

1.1.1 – Comparação das concentrações de cobre e zinco entre os viveiros jovens (V11 e V12).

Variável	n	t _{calculado} tipo 2	t _{calculado} tipo 3	t _{tabelado}	Conclusão
Cobre bd 0- 20 cm	8	0,59	0,61	2,4469	$\mu_1 = \mu_2$
Cobre bd > 20 cm	14	0,47	0,42	2,1788	$\mu_1 = \mu_2$
Cobre nd 0-20 cm	8	0,42	0,45	2,4469	$\mu_1 = \mu_2$
Cobre nd >20 cm	14	0,28	0,34	2,1788	$\mu_1 = \mu_2$
Zinco bd 0-20 cm	8	0,05	0,01	2,4469	$\mu_1 = \mu_2$
Zinco bd >20 cm	14	0,04	0,03	2,1788	$\mu_1 = \mu_2$
Zinco nd 0-20 cm	8	$1,36 \cdot 10^{-5}$	0,0001	2,4469	$\mu_1 = \mu_2$
Zinco nd >20 cm	14	0,0003	0,0002	2,1788	$\mu_1 = \mu_2$

1.1.2 – Comparação das concentrações de cobre e zinco entre os viveiros jovens (V11 e V12) e velhos (A3, A4, A5, 6A, 6AB).

Variável	n	t _{calculado} tipo 2	t _{calculado} tipo 3	t _{tabelado}	Conclusão
Cobre bd 0- 20 cm	38	0,20	0,00036	2,0281	$\mu_1 = \mu_2$
Cobre bd > 20 cm	58	0,07	$7,38 \cdot 10^{-5}$	1,96	$\mu_1 = \mu_2$
Cobre nd 0-20 cm	38	0,76	0,98	2,0281	$\mu_1 = \mu_2$
Cobre nd >20 cm	58	0,98	0,98	1,96	$\mu_1 = \mu_2$
Zinco bd 0-20 cm	38	0,72	0,68	2,0281	$\mu_1 = \mu_2$
Zinco bd >20 cm	58	0,006	0,015	1,96	$\mu_1 = \mu_2$
Zinco nd 0-20 cm	38	0,05	0,03	2,0281	$\mu_1 = \mu_2$
Zinco nd >20 cm	58	0,0048	0,0048	1,96	$\mu_1 = \mu_2$

1.1.3 – Comparação das concentrações de cobre e zinco em amostras de camarão cultivadas em viveiros jovens (V11 e V12) e velhos (A4, A5, 6A).

Variável	n	t _{calculado} tipo 2	t _{calculado} tipo 3	t _{tabelado}	Conclusão
Cobre Carapaça	7	0,54	0,36	2,57	$\mu_1 = \mu_2$
Cobre Músculo	7	0,44	0,32	2,57	$\mu_1 = \mu_2$
Zinco	7	0,95	0,96	2,57	$\mu_1 = \mu_2$

Carapaça					
Zinco músculo	7	0,31	0,35	2,57	$\mu_1 = \mu_2$

1.1.4 – Comparação dos Fatores de enriquecimento (FE) para cobre e zinco em perfis sedimentares coletados em viveiros jovens (V11 e V12) e velhos (A3 A4, A5, 6A, 6AB).

Variável	n	t_{calculado} tipo 2	t_{calculado} tipo 3	t_{tabelado}	Conclusão
FE Cu	48	0,72	0,83	1,96	$\mu_1 = \mu_2$
FE Zn	48	0,40	0,52	1,96	$\mu_1 = \mu_2$

1.1.5 – Comparação dos teores de matéria orgânica para cobre e zinco em perfis sedimentares coletados em viveiros jovens (V11 e V12) e velhos (A3 A4, A5, 6A, 6AB).

Variável	n	t_{calculado} tipo 2	t_{calculado} tipo 3	t_{tabelado}	Conclusão
% MO	48	0,21	0,20	1,96	$\mu_1 = \mu_2$

1.2 – Análise de Variância

1.2.1 – Comparação das concentrações de cobre e zinco entre os viveiros velhos (A3, A4, A5, 6A, 6AB).

Variável	n	F _{calculado}	F _{tabelado}	Conclusão
Cobre bd 0- 20 cm	30	6,54	2,76	$\mu_1 \neq \mu_2$
Cobre bd > 20 cm	44	8,08	2,61	$\mu_1 \neq \mu_2$
Cobre nd 0-20 cm	30	40,76	2,76	$\mu_1 \neq \mu_2$
Cobre nd >20 cm	44	7,55	2,61	$\mu_1 \neq \mu_2$
Zinco bd 0-20 cm	30	9,02	2,76	$\mu_1 \neq \mu_2$
Zinco bd >20 cm	44	11,10	2,61	$\mu_1 \neq \mu_2$
Zinco nd 0-20 cm	30	152,57	2,76	$\mu_1 \neq \mu_2$
Zinco nd >20 cm	44	442,44	2,61	$\mu_1 \neq \mu_2$

APÊNDICE IV

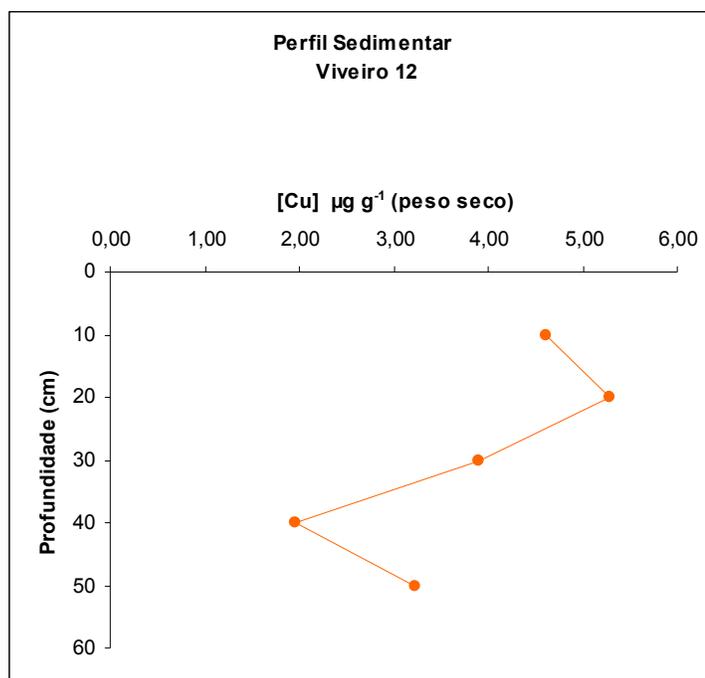
1 – DISTRIBUIÇÃO DE COBRE E ZINCO NOS VIVEIROS ESTUDADOS

Abaixo são apresentadas as concentrações de cobre e zinco, expressos em $\mu\text{g.g}^{-1}$ (peso seco) para os demais viveiros estudados, cujos gráficos não constam da discussão do trabalho.

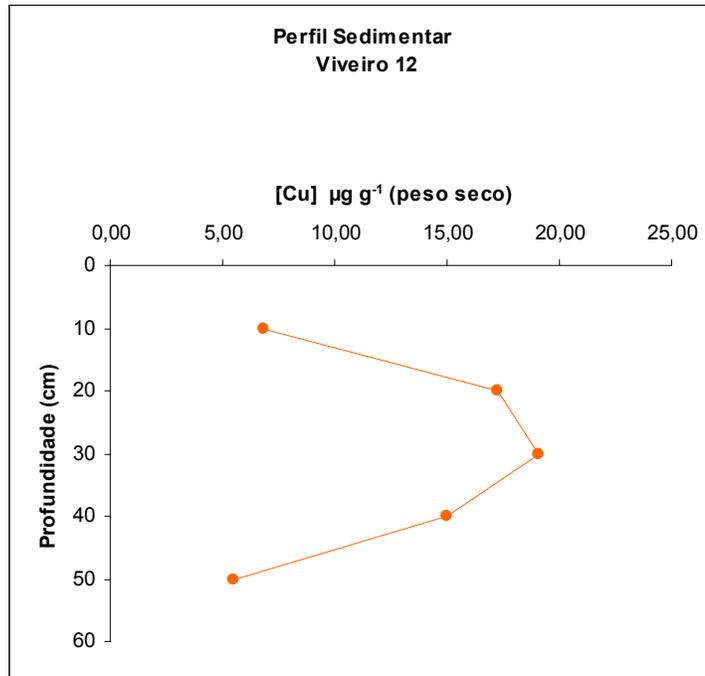
1.1 – Viveiros Jovens

▪ Viveiro 12

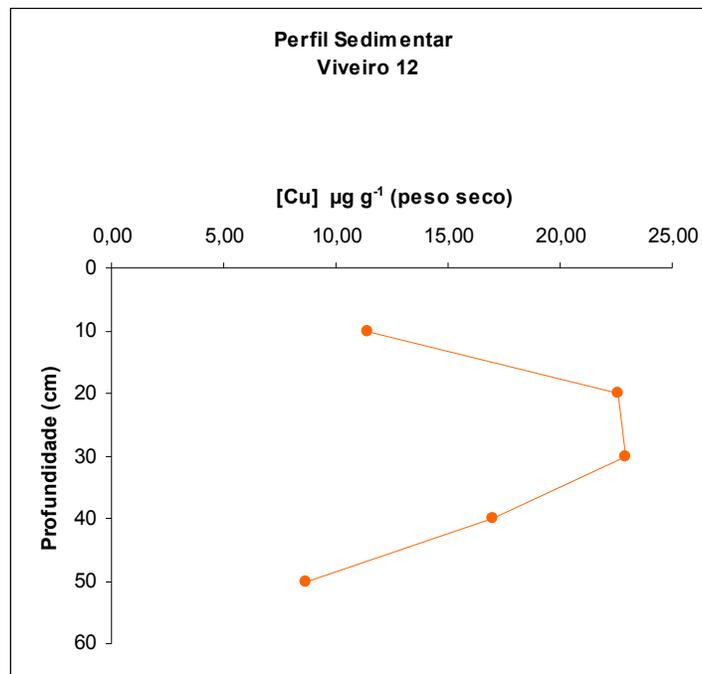
Prof. (cm)	Cobre bd	Cobre nd	Cobre total	Zinco bd	Zinco nd	Zinco total
0-10	4,61	6,80	11,41	5,17	24,53	29,70
10-20	5,30	17,27	22,57	< ld	24,49	24,49
20-30	3,89	19,05	22,94	< ld	25,86	25,86
30-40	1,95	15,02	16,97	< ld	17,56	17,56
40-50	3,23	5,47	8,70	<ld	10,34	10,34



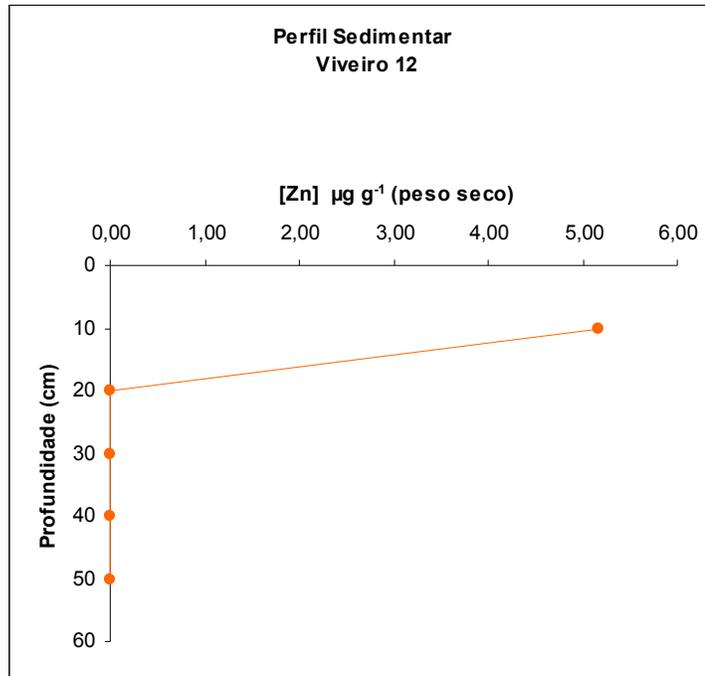
Concentração de Cu biodisponível em perfil sedimentar do Viveiro 12.



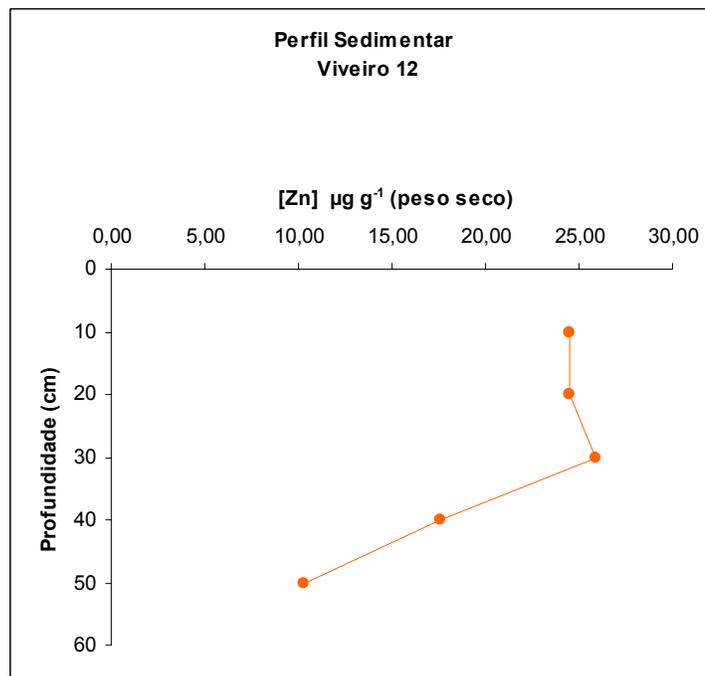
Concentração de Cu não disponível em perfil sedimentar do Viveiro 12.



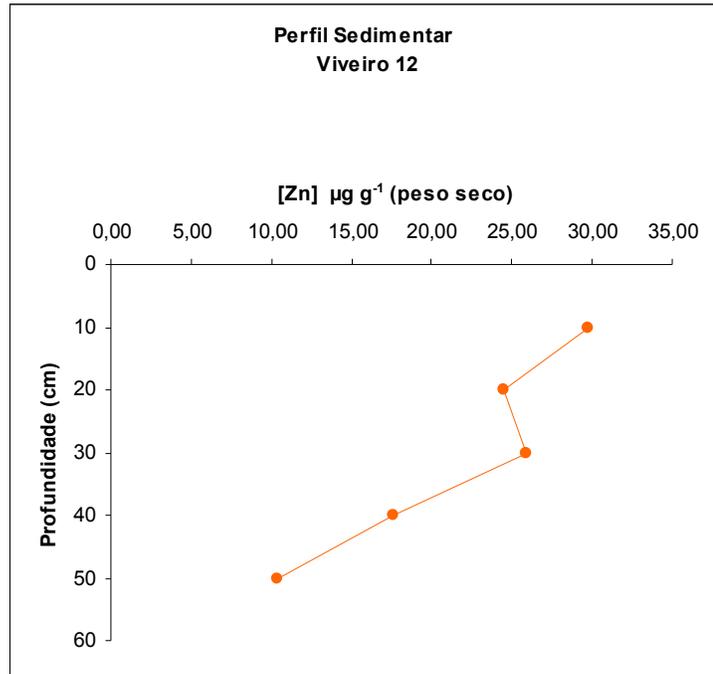
Concentração de Cu total em perfil sedimentar do Viveiro 12.



Concentração de Zn biodisponível em perfil sedimentar do Viveiro 12.



Concentração de Zn não disponível em perfil sedimentar do Viveiro 12.

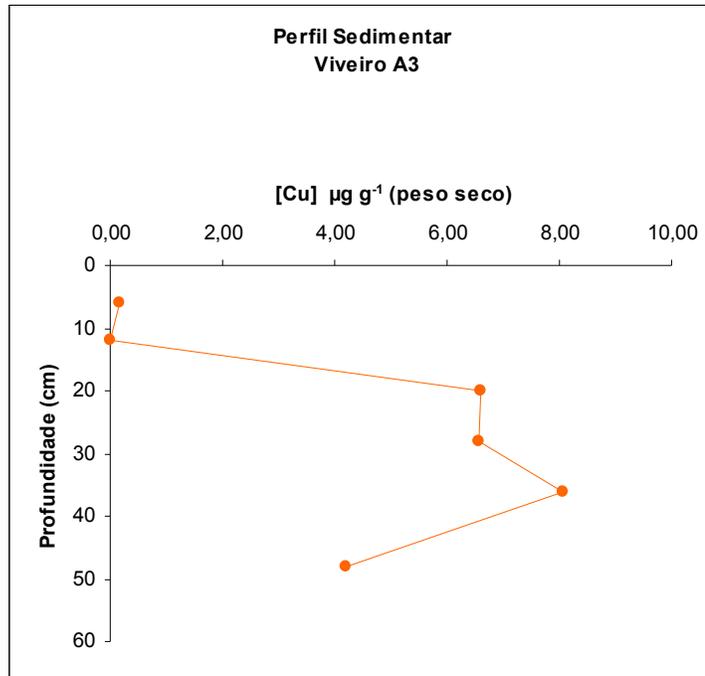


Concentração de Zn total em perfil sedimentar do Viveiro 12.

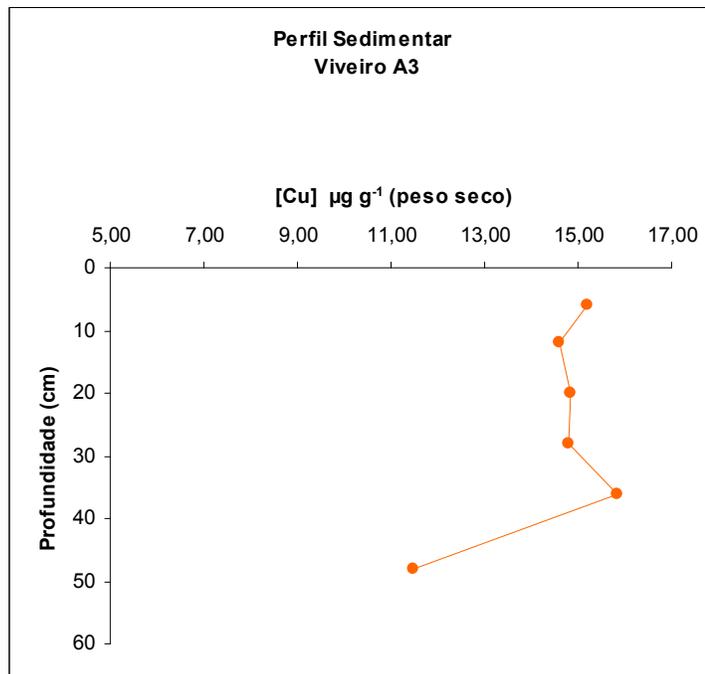
1.2 – Viveiros Velhos

- Viveiro A3

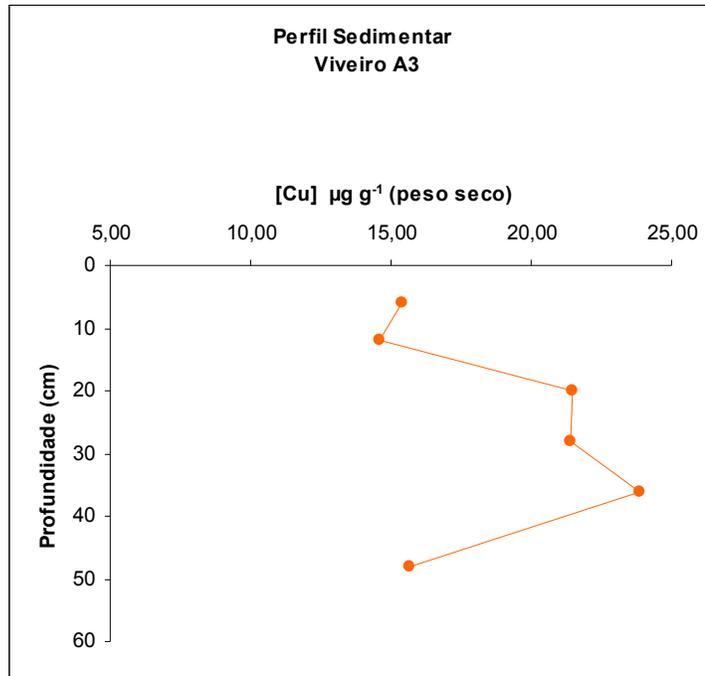
Prof. (cm)	Cobre bd	Cobre nd	Cobre total	Zinco bd	Zinco nd	Zinco total
0-6	0,18	15,19	15,37	8,71	82,04	90,75
6-12	< ld	14,59	14,59	< ld	69,18	69,18
12-20	6,60	14,86	21,46	4,96	53,43	58,39
20-28	6,58	14,82	21,40	5,50	56,48	61,98
28-36	8,06	15,84	23,90	6,34	56,81	63,15
36-48	4,20	11,49	15,69	1,00	35,49	36,49



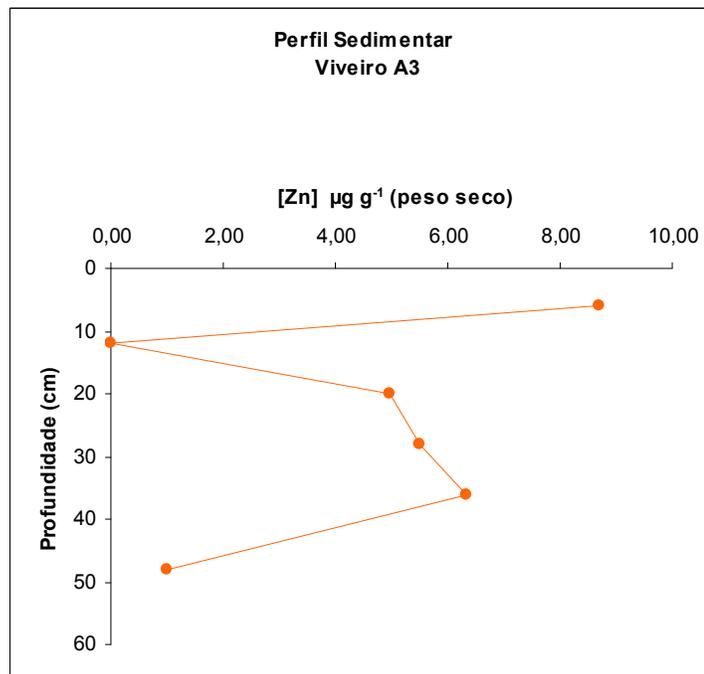
Concentração de Cu biodisponível em perfil sedimentar do Viveiro A3.



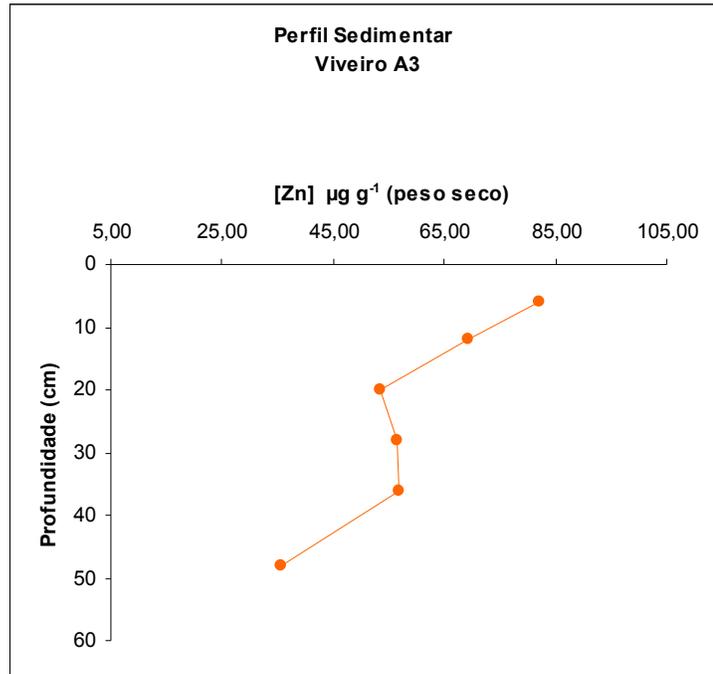
Concentração de Cu não disponível em perfil sedimentar do Viveiro A3.



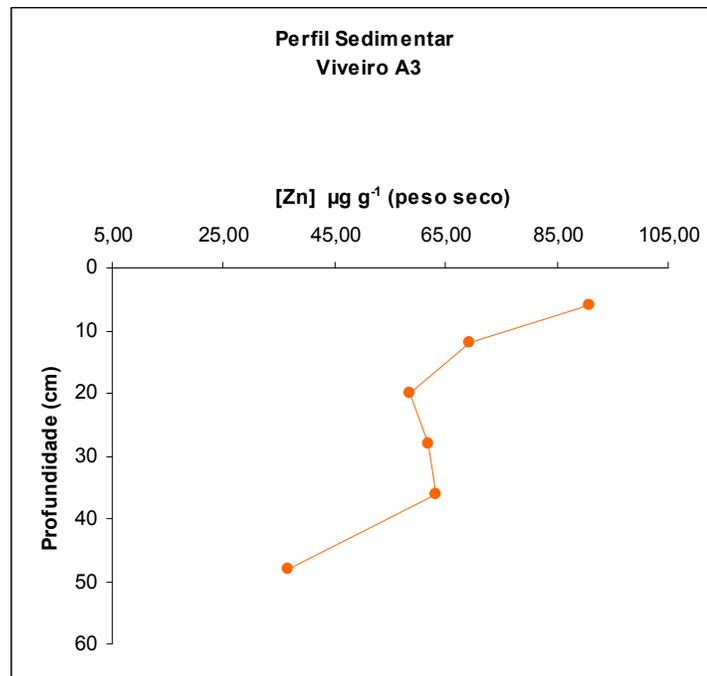
Concentração de Cu total em perfil sedimentar do Viveiro A3.



Concentração de Zn biodisponível em perfil sedimentar do Viveiro A3.



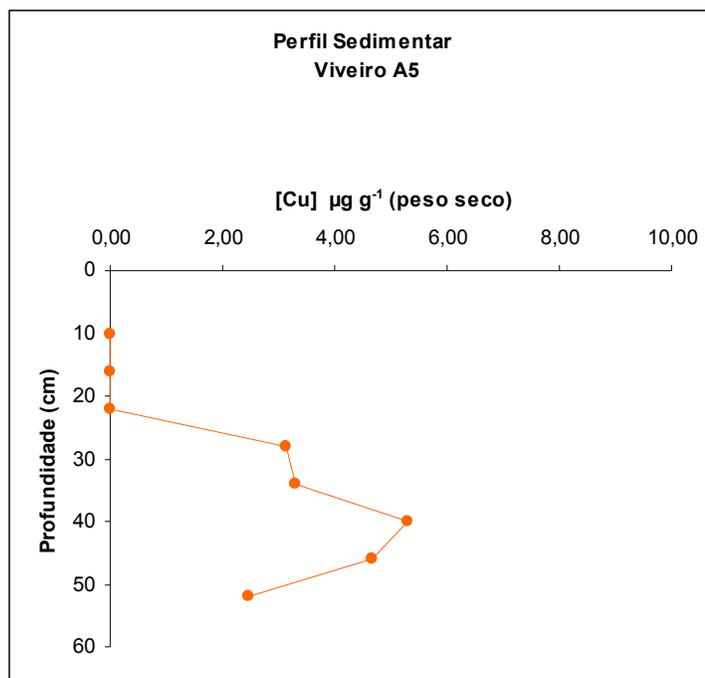
Concentração de Zn não disponível em perfil sedimentar do Viveiro A3.



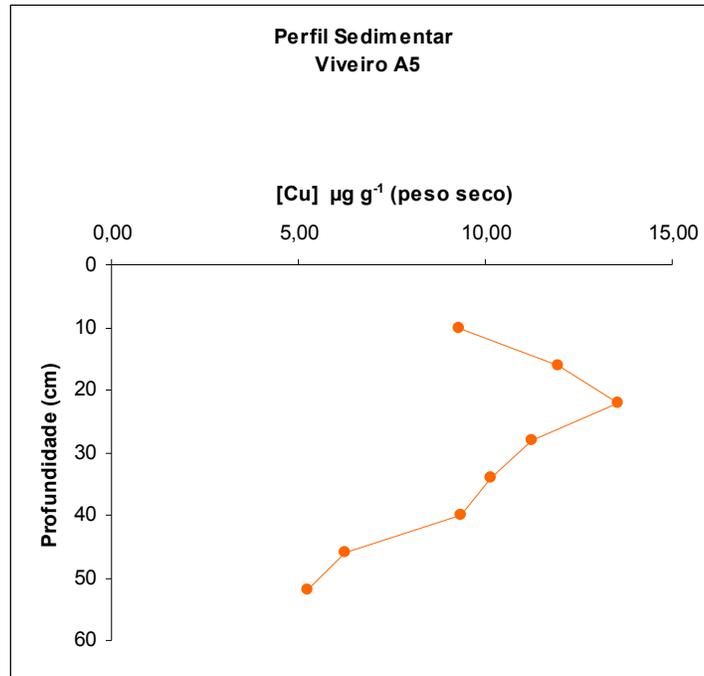
Concentração de Zn total em perfil sedimentar do Viveiro A3.

▪ Viveiro A5

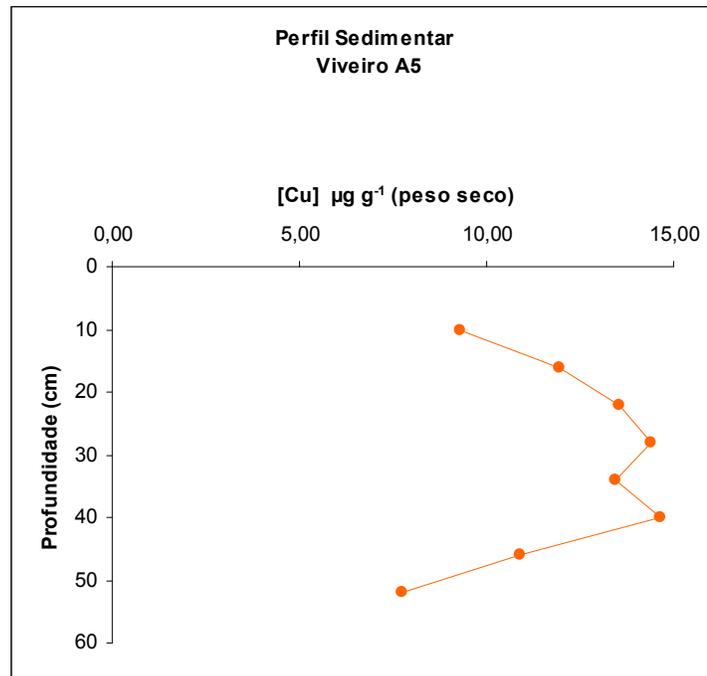
Prof. (cm)	Cobre bd	Cobre nd	Cobre total	Zinco bd	Zinco nd	Zinco total
0-10	< ld	9,30	9,30	< ld	34,14	34,14
10-16	< ld	11,97	11,97	4,92	39,23	44,15
16-22	< ld	13,54	13,54	2,51	42,52	45,03
22-28	3,14	11,25	14,39	7,41	37,28	44,69
28-34	3,30	10,17	13,47	6,95	40,72	47,67
34-40	5,31	9,33	14,64	5,98	38,19	44,17
40-46	4,68	6,24	10,92	4,72	37,75	42,47
46-52	2,48	5,26	7,74	2,59	30,95	33,54



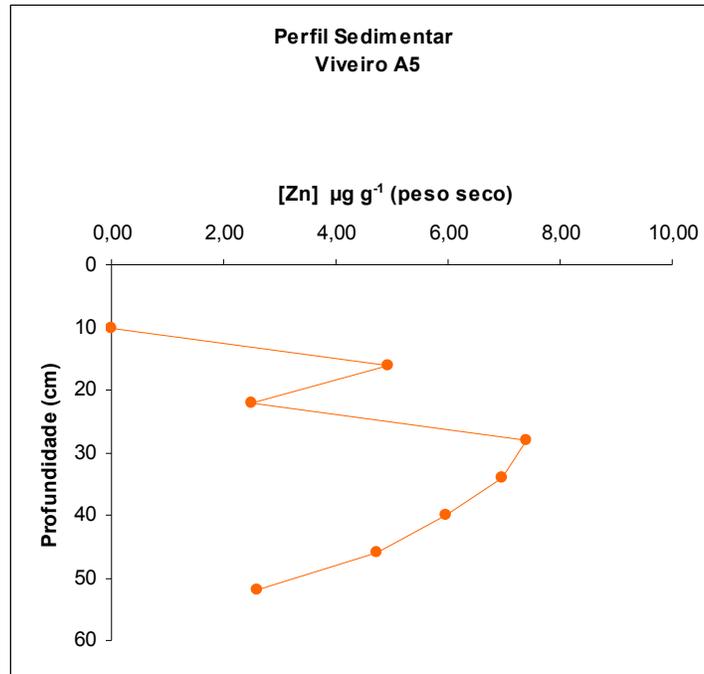
Concentração de Cu biodisponível em perfil sedimentar do Viveiro A5.



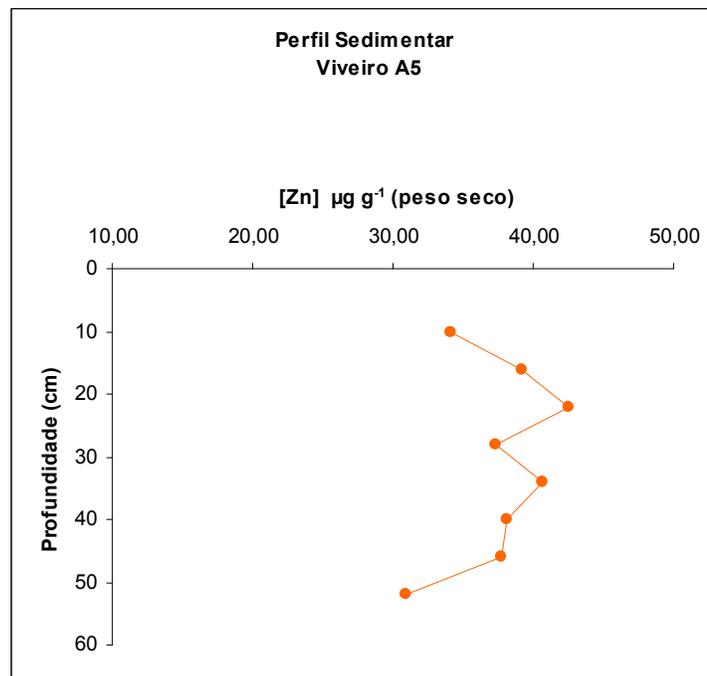
Concentração de Cu não disponível em perfil sedimentar do Viveiro A5.



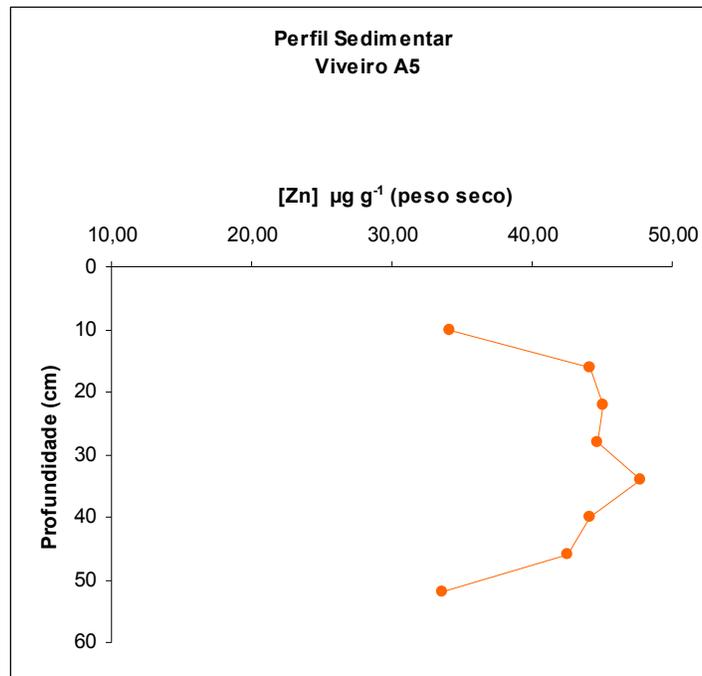
Concentração de Cu total em perfil sedimentar do Viveiro A5.



Concentração de Zn biodisponível em perfil sedimentar do Viveiro A5.



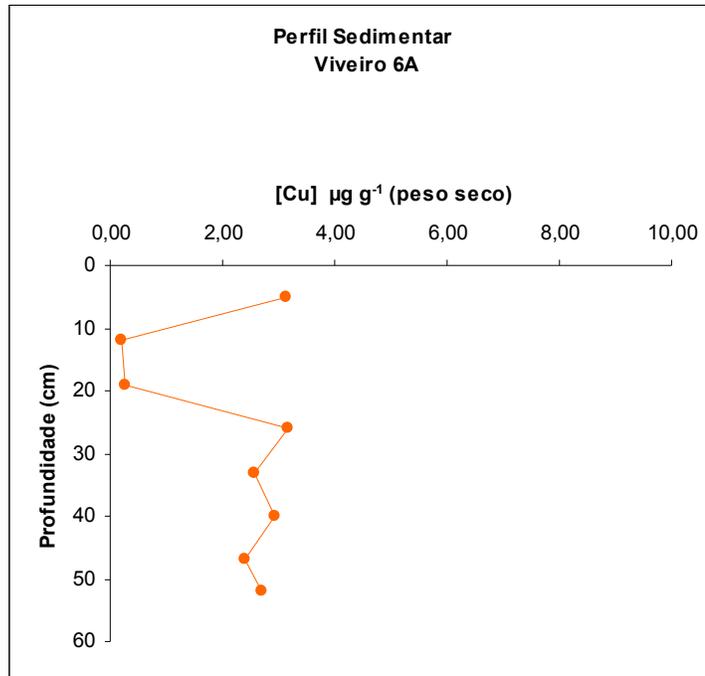
Concentração de Zn não disponível em perfil sedimentar do Viveiro A5.



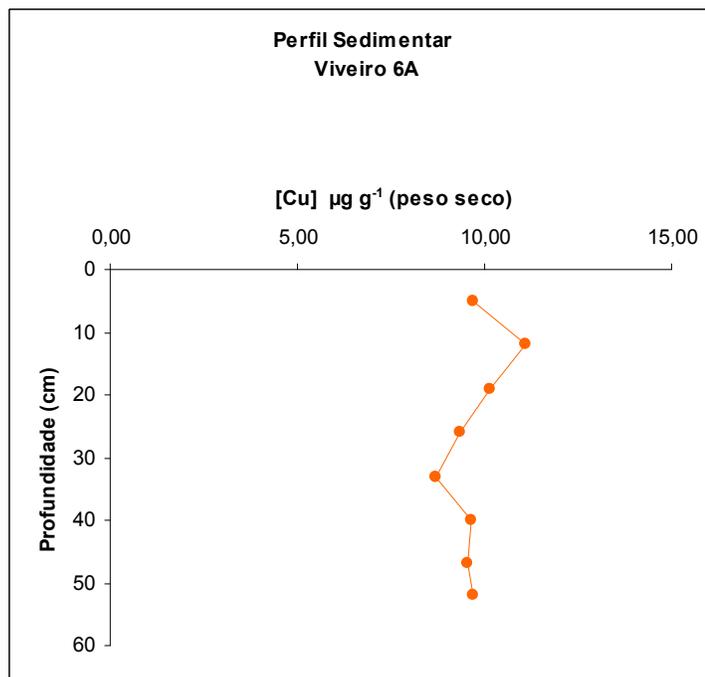
Concentração de Zn total em perfil sedimentar do Viveiro A5.

▪ Viveiro 6A

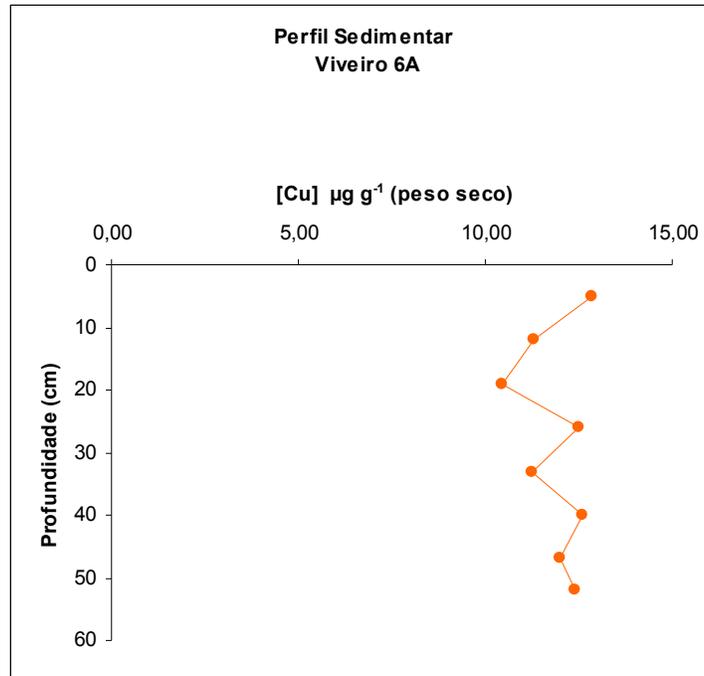
Prof. (cm)	Cobre bd	Cobre nd	Cobre total	Zinco bd	Zinco nd	Zinco total
0-5	3,15	9,70	12,85	51,04	19,08	70,12
5-12	< Id	11,10	11,10	53,70	< Id	53,97
12-19	< Id	10,17	10,17	< Id	< Id	< Id
19-26	3,16	9,36	12,52	44,47	3,38	47,85
26-33	2,56	8,70	11,26	49,61	3,17	52,78
33-40	2,92	9,66	12,58	48,44	2,66	51,10
40-47	2,41	9,57	11,98	47,40	1,73	49,13
47-52	2,69	9,72	12,41	45,63	1,56	47,19



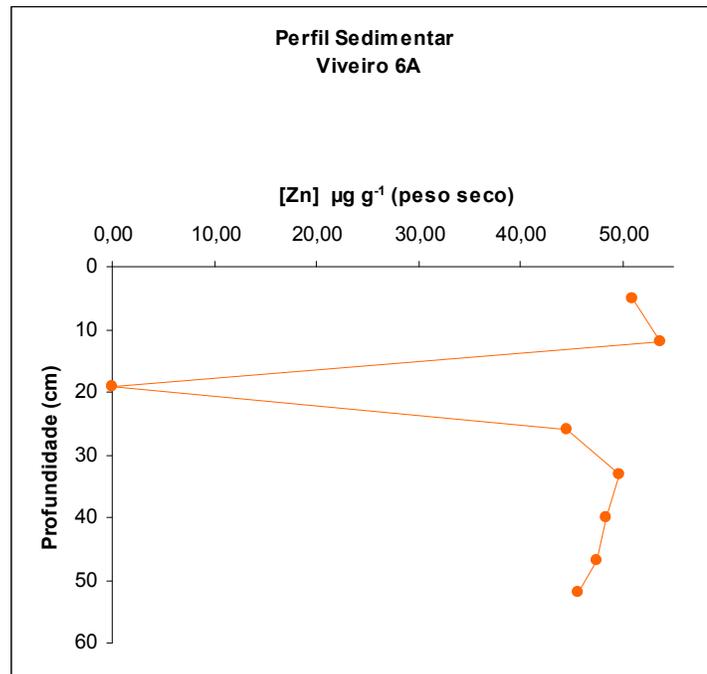
Concentração de Cu biodisponível em perfil sedimentar do Viveiro 6A.



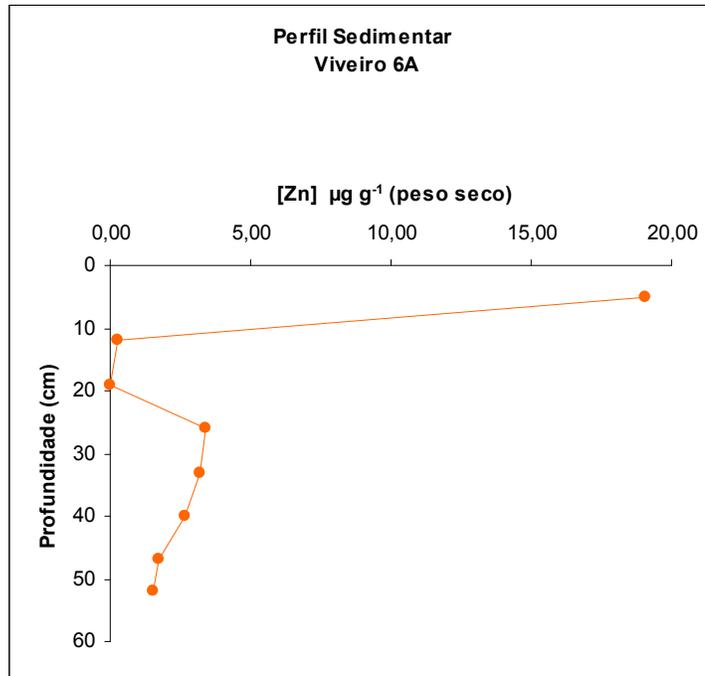
Concentração de Cu não disponível em perfil sedimentar do Viveiro 6A.



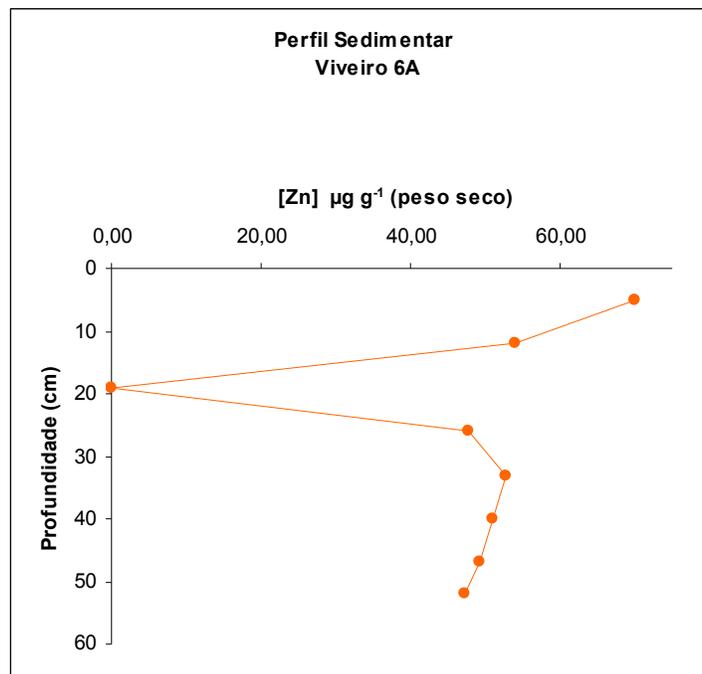
Concentração de Cu total em perfil sedimentar do Viveiro 6A.



Concentração de Zn biodisponível em perfil sedimentar do Viveiro 6A.



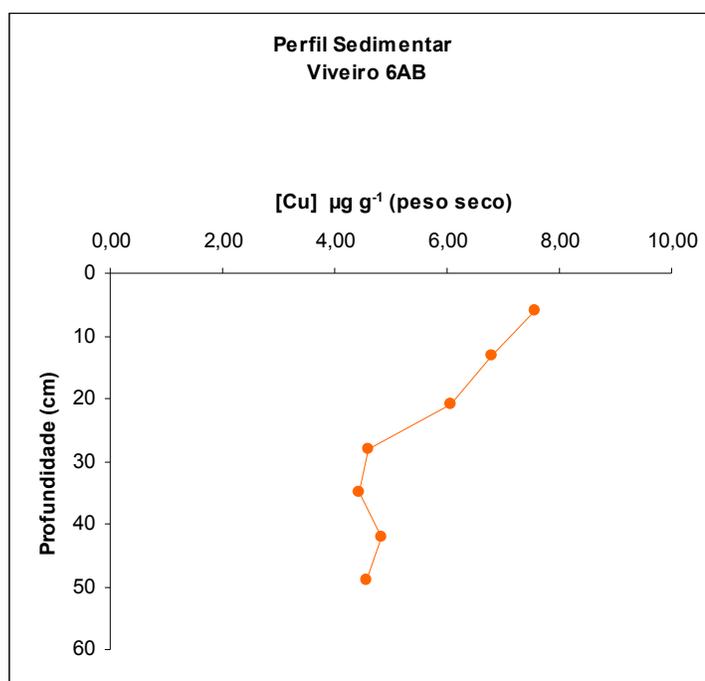
Concentração de Zn não disponível em perfil sedimentar do Viveiro 6A.



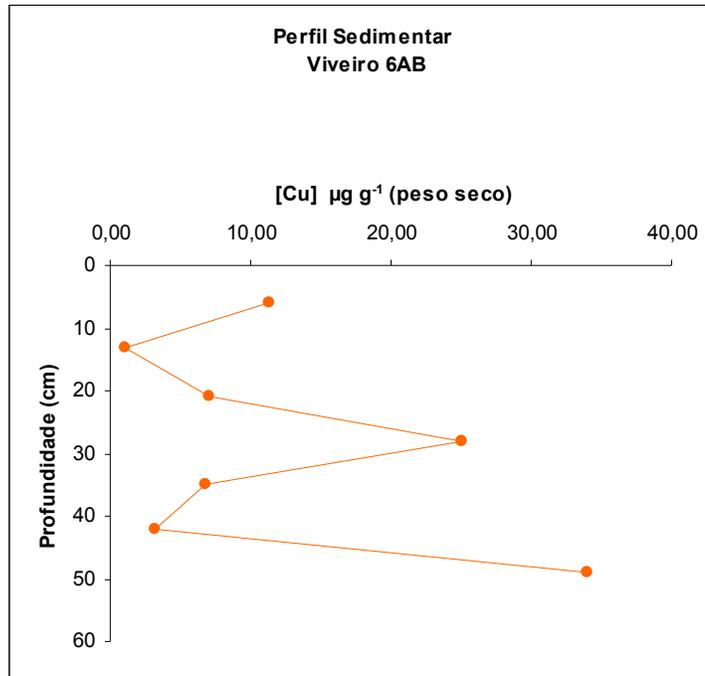
Concentração de Zn total em perfil sedimentar do Viveiro 6A.

▪ Viveiro 6AB

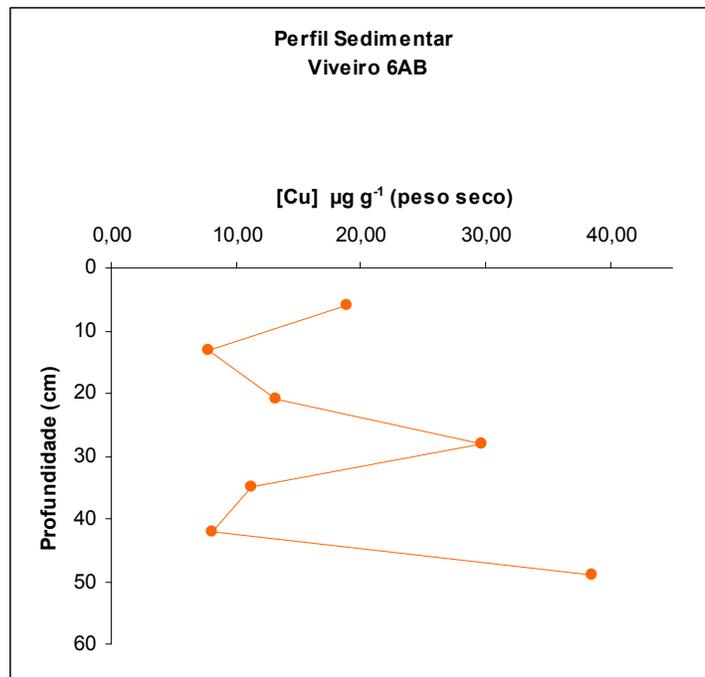
Prof. (cm)	Cobre bd	Cobre nd	Cobre total	Zinco bd	Zinco nd	Zinco total
0-6	7,56	11,38	18,94	52,79	17,19	69,98
6-13	6,79	1,02	7,81	43,49	13,39	56,88
13-21	6,06	7,07	13,13	32,89	5,90	38,79
21-28	4,61	25,07	29,68	5,35	43,01	48,36
28-35	4,44	6,77	11,21	44,51	5,67	50,18
35-42	4,83	3,26	8,09	46,83	5,21	52,04
42-49	4,57	33,95	38,52	68,50	6,64	75,14



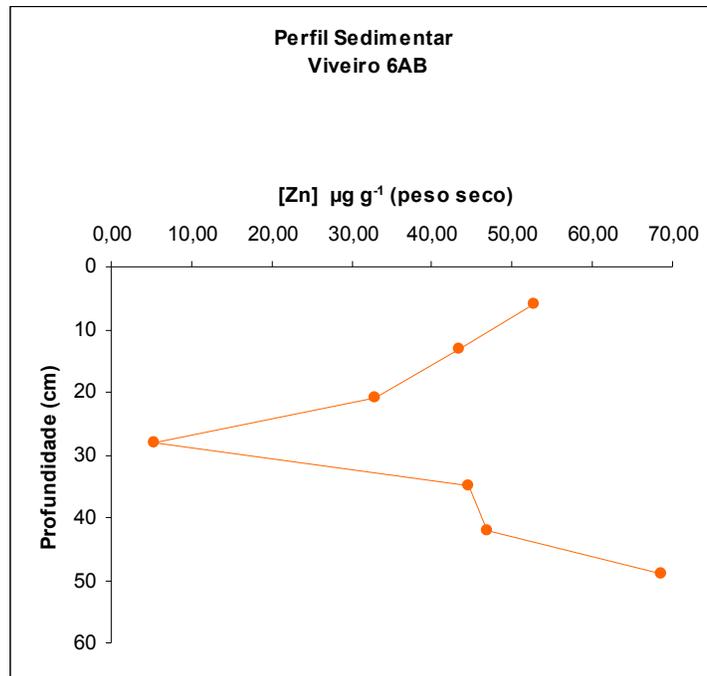
Concentração de Cu biodisponível em perfil sedimentar do Viveiro 6AB.



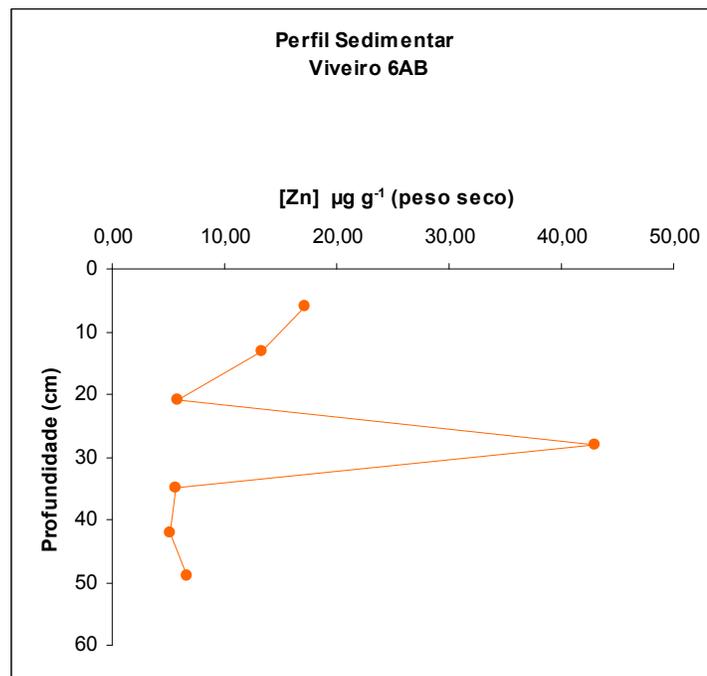
Concentração de Cu não disponível em perfil sedimentar do Viveiro 6AB.



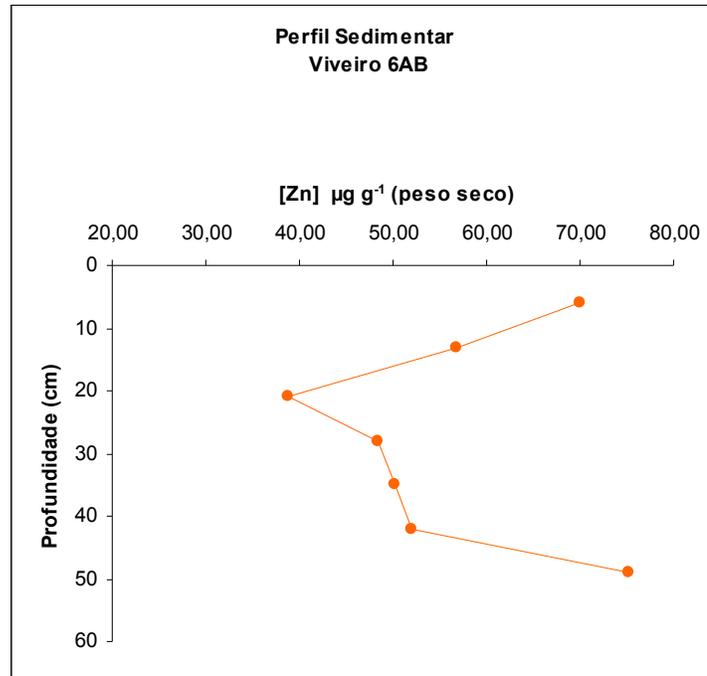
Concentração de Cu total em perfil sedimentar do Viveiro 6AB.



Concentração de Zn biodisponível em perfil sedimentar do Viveiro 6AB.



Concentração de Zn não disponível em perfil sedimentar do Viveiro 6AB.



Concentração de Zn total em perfil sedimentar do Viveiro 6AB.