

Avaliação das concentrações de metais-traço em sedimentos do sistema estuarino-lagunar de Itarema, litoral oeste do Ceará

Evaluation of concentrations of metal-trace in sediments of the estuarine-lacunar system of Itarema, west coast of Ceará

Evaluación de las concentraciones de metales-traza en sedimentos del sistema estuarino-laguna de Itarema, litoral oeste del Ceará

Franciane Pinto Calandrine
Universidade Estadual do Ceará
ane_calandrine91@hotmail.com

Lidriana de Souza Pinheiro
Universidade Federal do Ceará
lidriana.lgco@gmail.com

Resumo

Os estuários são áreas de transição, onde a água do mar mistura-se a água do rio ou lagoa. A sedimentação nos ambientes estuarinos é formada por sedimentos fluviais e marinhos e sua dinâmica modifica ao longo do tempo dependendo de fatores geológicos, fluviais, climáticos e antropogênicos, cedendo informações sobre gênese, transporte e características do ambiente deposicional. Os metais-traço unem-se aos sedimentos mais finos e o processo de contaminação nesses ambientes está relacionado ao aumento da urbanização em seu entorno, no caso da área de estudo, os condicionantes antrópicos predominantes são carnicultura e Porto dos Barcos. O objetivo do presente trabalho é avaliar as concentrações de metais-traço nos sedimentos do sistema estuarino-lagunar de Itarema e correlacioná-las com a granulometria, os teores de carbonato de cálcio (CaCO_3) e de matéria orgânica (MO) dos sedimentos. A metodologia deu-se em quatro estágios: gabinete, campo, laboratório e escritório. Os resultados principais foram: os sedimentos que predominam no ambiente estuarino são lamas, lamas-arenosas e areia-lamosa; no testemunho A1, CaCO_3 apresenta boa correlação com MO e correlação baixa com Cd, Al, Fe e Pb e com Cu e Zn correlação negativa. MO apresenta correlação negativa com todos os metais. No A2, CaCO_3 apresenta correlação positiva com MO e negativa com todos os metais. MO apresenta correlação baixa com Pb e Al e negativa com demais metais. No A3, CaCO_3 apresenta boa correlação com MO e Cd, Cu e Zn e negativa com Al, Fe e Pb. MO segue CaCO_3 , porém com Zn a correlação é negativa.

Palavras-chave: Estuários, Sedimentos, Condicionantes Antrópicos.

Abstract

The estuaries are transition areas, where sea water mixes up with river or pond water. Sedimentation in estuarine environments is formed by fluvial and marine sediments and their dynamics changes over time depending on geological, fluvial, climatic and anthropogenic factors, yielding information on genesis, transport and characteristics of the depositional environment. Trace metals bind to the finer sediments and the process of contamination in these environments is related to the increase of urbanization in their surroundings, in the case of the study area, the

predominant anthropic conditions are shrimp farming and Port of Boats. The objective of the present work is to evaluate the concentrations of trace metals in the sediments of the estuarine-lagoon system of Itarema and to correlate them with the grain size, calcium carbonate (CaCO₃) and organic matter (OM) contents of the sediments. The methodology was given in four stages: office, field, laboratory and office. The main results were: sediments that predominate in the estuarine environment are sludge, sand sludge and sand-lamosa; in the A1 report, CaCO₃ shows good correlation with OM and low correlation with Cd, Al, Fe and Pb and with Cu and Zn negative correlation. MO shows negative correlation with all metals. In A2, CaCO₃ presents positive correlation with OM and negative correlation with all metals. MO shows low correlation with Pb and Al and negative with other metals. In A3, CaCO₃ shows good correlation with MO and Cd, Cu and Zn and negative with Al, Fe and Pb. Mo follows CaCO₃, but with Zn the correlation is negative.

Keywords: Estuaries, Sediments, Anthropogenic Conditioners.

Resumen

Los estuarios son áreas de transición, donde el agua del mar se mezcla el agua del río o laguna. La sedimentación en los ambientes estuarinos está formada por sedimentos fluviales y marinos y su dinámica modifica a lo largo del tiempo dependiendo de factores geológicos, fluviales, climáticos y antropogénicos, cediendo informaciones sobre génesis, transporte y características del ambiente deposicional. Los metales-traza se unen a los sedimentos más finos y el proceso de contaminación en esos ambientes está relacionado al aumento de la urbanización en su entorno, en el caso del área de estudio, los condicionantes antrópicos predominantes son carcinicultura y Puerto de los Barcos. El objetivo del presente trabajo es evaluar las concentraciones de metales-traza en los sedimentos del sistema estuarino-lagunar de Itarema y correlacionarlas con la granulometría, los niveles de carbonato de calcio (CaCO₃) y de materia orgánica (MO) de los sedimentos. La metodología se dio en cuatro etapas: gabinete, campo, laboratorio y oficina. Los resultados principales fueron: los sedimentos que predominan en el ambiente estuarino son lodos, lodos-arenosas y arena-lamosa; en el testigo A1, CaCO₃ presenta buena correlación con MO y correlación baja con Cd, Al, Fe y Pb y con Cu y Zn correlación negativa. MO presenta correlación negativa con todos los metales. En el A2, CaCO₃ presenta correlación positiva con MO y negativa con todos los metales. MO presenta correlación baja con Pb y Al y negativa con demasiados metales. En el A3, CaCO₃ presenta una buena correlación con MO y Cd, Cu y Zn y negativa con Al, Fe y Pb. MO sigue CaCO₃, pero con Zn la correlación es negativa.

Palabras clave: Estuarios, Sedimentos, Condicionantes Antrópicos.

Introdução

Os estuários são ambientes costeiros efêmeros, se considerado o tempo geológico, formados durante a elevação relativa do nível do mar. De acordo com Guimarães, *et al.* (2011), os registros sedimentares nos estuários exibem elevadas taxas de sedimentação ocorridas durante a mais recente subida do nível do mar, dessa forma apresentam possibilidades de estudos sobre a transgressão marinha.

São áreas de importância econômica, pois proporcionam ao longo dos anos o desenvolvimento de cidades inteiras ao seu redor, por desembocar no mar abrindo vias de acesso à navegação marítima e fluvial e também pela produção alimentar (SILVA, 1973).

Nos estuários ocorrem inúmeros processos físico-químicos durante a mistura da água salina à doce que interagem com os sedimentos particulados em suspensão ou depositados, por isso apresentam alta complexidade biogeoquímica, onde ocorrem diversos processos como a reciclagem de matéria orgânica que disponibiliza minerais no meio (BIANCH, 2006).

Segundo Macêdo *et al.* (2000), os estuários encontram-se entre as áreas mais afetadas ambientalmente devido às ações antrópicas, como a pesca, o desmatamento do mangue, deposição de esgotos domésticos e industriais, entre outros.

Os metais pesados destacam-se como contaminantes das áreas alagadas, ainda que sejam disponibilizados no ambiente a partir de fontes geogênicas. Dá-se o aumento de suas concentrações quando das ações antropogênicas, causando desequilíbrio no meio e provocando danos aos ecossistemas presentes.

Segundo Solomns & Forstner (1984), os metais incorporam-se nos sedimentos e são transportadas tanto por suspensão quanto por dissolução. E por meio da contaminação por metais pesados são geradas concentrações tóxicas às quais a população é exposta (AZEVEDO & CHASIN, 2003).

O objetivo do presente trabalho é avaliar as concentrações de metais-traço (Al, Fe, Pb, Cd, Cu, Zn) nos sedimentos do Sistema Estuarino-Lagunar de Itarema, litoral oeste do Ceará, e correlacioná-las com a Granulometria, os teores de Carbonato de Cálcio e a Matéria Orgânica dos sedimentos.

Torna-se importante o estudo desse ambiente pelas interações químicas, biológicas e geológicas que ocorrem, pela maior permanência de metais pesados em seus sedimentos, necessários para entender a contaminação no meio e por sua relevância para a vida do homem.

Área de estudo

A área de estudo está localizada no município de Itarema (FIGURA 1). Foi criado no ano de 1985, anteriormente fazia parte do município de Acaraú. Encontra-se entre as coordenadas geográficas 02° 55' 13'' (latitude) e 39° 54' 54'' (longitude), altitude de 20 m. Limita-se ao norte com Oceano Atlântico e o município de Acaraú, ao sul com os municípios de Acaraú e Amontada, à leste com os municípios de Amontada, além do Oceano Atlântico, e à oeste com o município de Acaraú. Possui uma área de 720,7 km² e altitude de 20 m. Sua distância em linha reta da capital é de aproximadamente 185 km e o acesso dá-se pelas rodovias CE 453, CE 085, BR 402 e BR 222 (IBGE; IPECE; 2017). Está inserida na mesorregião Noroeste Cearense e Microrregião de Camocim e Acaraú.

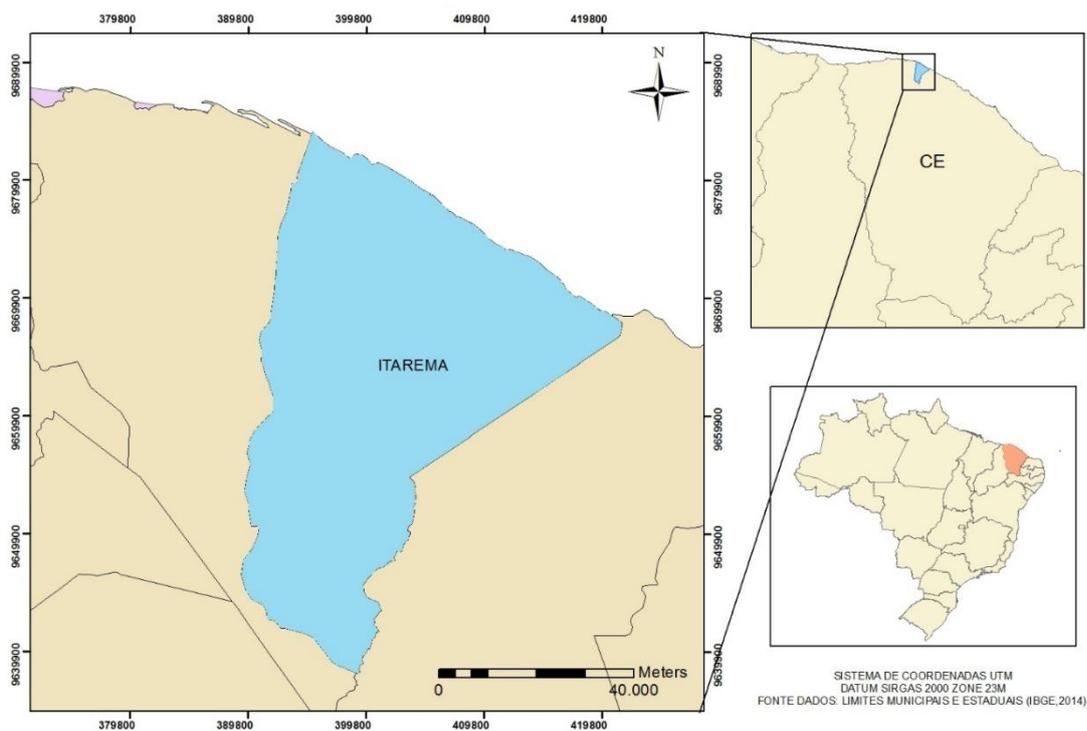


Figura 1. Mapa de localização do município de Itarema-CE. Fonte: Próprio Autor (2019).

Itarema pertence à Bacia do Litoral que possui uma área de 8.865 km², tem como principais cursos d'água os rios Aracatimirim e Aracatiaçu, que apresentam 3.415 km² e 1.565 km², respectivamente. Em toda a Bacia os rios são exorréicos com regime intermitente sazonal, isso ocorre pelo fato do médio e alto curso desses rios estar inseridos no núcleo de semiaridez, além da grande quantidade de barragens ao longo do curso do rio. De acordo com Moraes *et al.* (2006), os efeitos causados na zona costeira são: aceleração dos processos morfodinâmicos na foz, hipersalinização sazonal, diminuição do aporte de sedimentos argilo-siltosos na planície flúvio-marinha, entre outros.

O substrato geológico da área de estudo é composto por migmatitos, gnaisses (orto e para), metabásicas e metacalcários de idade Pré-Cambriana, possui sedimentos areno-argilosos com níveis conglomeráticos de idade Tércio-Quaternária e sedimentos arenosos inconsolidados em dunas e aluviões pertencentes ao Quaternário (CPRM, 1998). Segundo Moraes (2000), na região, afloram os sedimentos da Formação Barreiras (Mioceno/Plio-Pleistoceno), por vezes sobrepostos por sedimentos do Holoceno.

O relevo do município de Itarema é relativamente aplainado alternado com interflúvios (IPECE, 2017). Próximo à linha de praia formam-se bancos de areia que são intercaladas com pequenas depressões com sedimentos de granulometria fina. Segundo Souza (2000), Itarema

apresenta uma superfície aplainada com presença de interflúvios típica dos ambientes de tabuleiro, com cota altimétrica de 20 metros em média.

Em Itarema, de acordo com a Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME, 2013), existem dois tipos climáticos: Tropical Quente Semiárido Brando ao norte e porção central; e Tropical Quente Semiárido ao sul. A temperatura apresenta pequena variação durante todo o ano, com mínimas de 26°C e máximas de 28°C, e seus totais pluviométricas anuais são em torno de 1.139,7 mm.

Os principais condicionantes antrópicos que ocorrem no entorno do Sistema Estuarino-Lagunar de Itarema são a Carcinicultura e as Atividades Portuárias:

A carcinicultura é realizada em áreas flúvio-marinhas (ecossistema manguezal). É uma atividade que se caracteriza por produzir camarões marinhos em cativeiro (ARANA, 1999). Segundo Bezerra Filho (2017), em Itarema a carcinicultura surgiu apenas no início do século XXI. A tabela 1 e as figuras 2 e 3, a seguir, mostram o processo de ocupação espacial dessa atividade no ambiente estuarino.

Tabela 1. Crescimento espacial da carcinicultura no município de Itarema entre 2004 e 2016. Fonte: Bezerra Filho (2017).

Ano	Km ²	Crescimento (%)
2004	0,85	
2012	0,1	10%
2016	0,22	22%

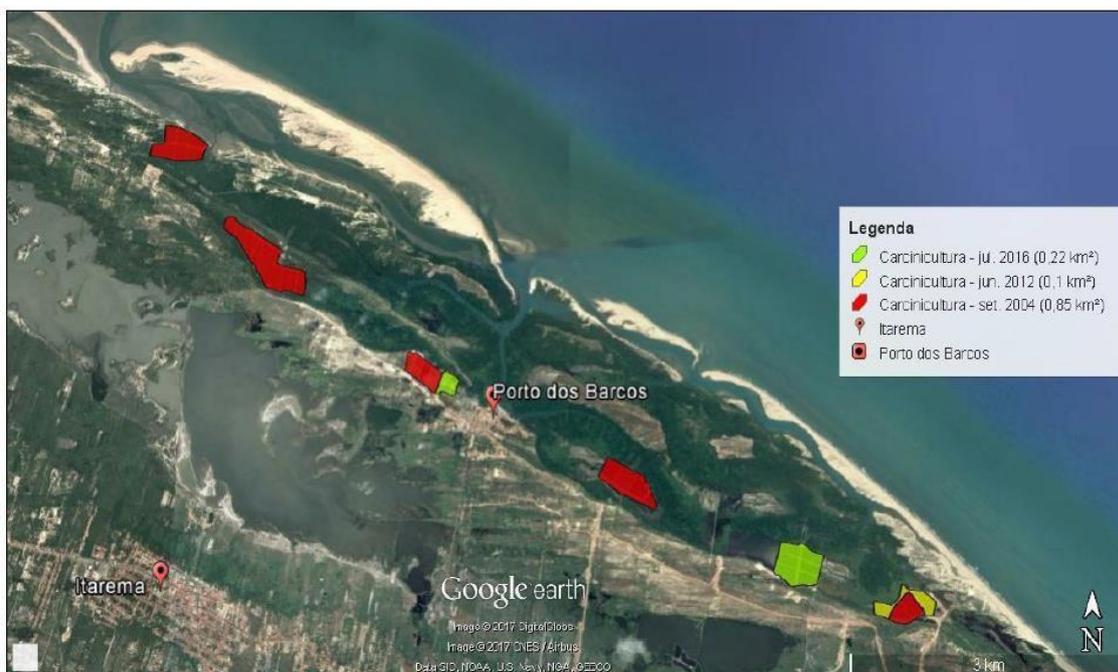


Figura 2. Análise multi-temporal (anos de 2004, 2012 e 2016) de fazendas de carcinicultura no ambiente estuarino do município de Itarema (CE). Fonte: Google Earth (BEZERRA FILHO, 2017).

Em comparação com o trabalho de Bezerra Filho (2017), nota-se que em 2018 não houve aumento das fazendas de carcinicultura no sistema estuarino-lagunar de Itarema.



Figura 3. Análise temporal (ano de 2018) de fazendas de carcinicultura no ambiente estuarino do município de Itarema. Fonte: Google Earth (Próprio Autor, 2019).

Durante a atividade carcinicultora, ocorre o descarte dos efluentes diretamente nas águas estuarinas com elevados teores de produtos químicos derivados de fertilizantes e rações (QUEIROZ *et al.*, 2013). Segundo Santos (2005), os metais pesados encontram-se como impurezas descartadas por produtos químicos utilizados na carcinicultura.

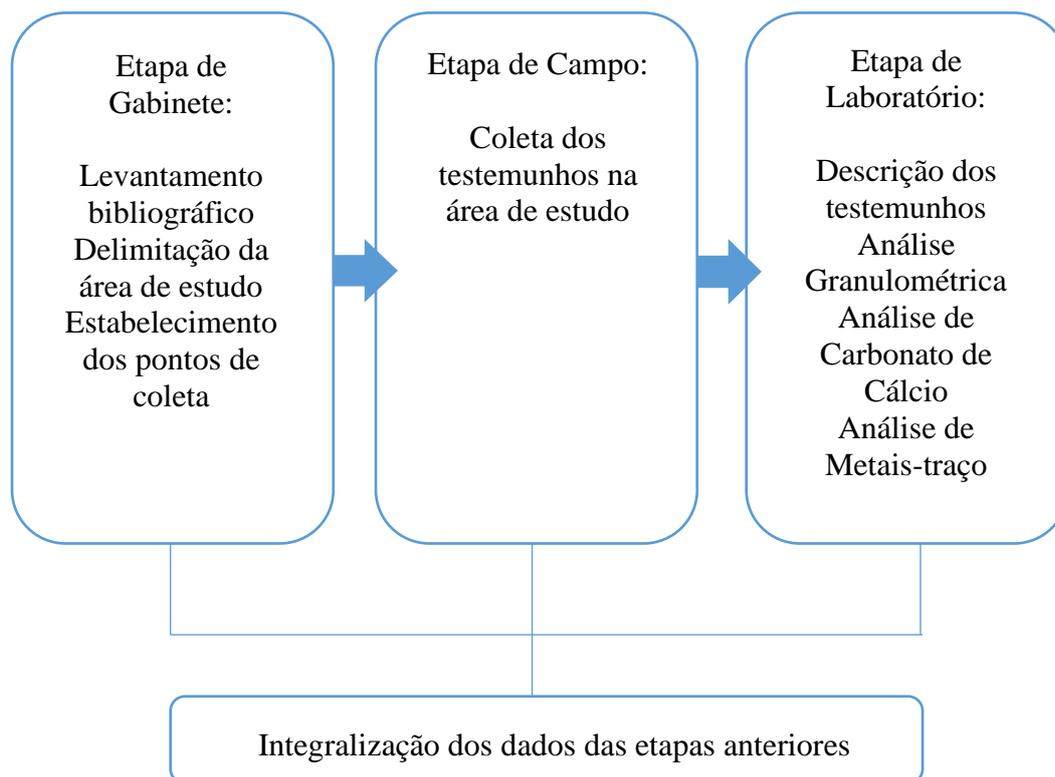
Porto é um conjunto de instalações que servem de abrigo e funcionam para atracação, armazenagem e que serve como acesso marítimo localizado em terra (PORTO & TEIXEIRA, 2002). O Porto dos Barcos localiza-se na porção norte do município de Itarema. Segundo Brasil (1981), as atividades desenvolvidas nos portos são intensas e constantes o que pode gerar perturbações no ambiente.



Figura 4. Barcos de pesca ancorados no Porto dos Barcos, na margem oposta ocorre o ecossistema manguezal. Fonte: Próprio Autor (2019).

Metodologia

A pesquisa avalia as concentrações de metais-traço nos sedimentos do sistema estuarino-lagunar do município de Itarema. Para chegar aos objetivos propostos foram realizadas quatro etapas que consistiram em levantamento bibliográfico, coleta de testemunhos no estuário, análise das amostras em laboratório e integralização dos dados, como mostra o fluxograma a seguir:



Na etapa de gabinete foi feito o levantamento bibliográfico sobre os temas-foco da pesquisa para embasar as etapas posteriores: sistema estuarino-lagunar, geologia e geomorfologia da área, ambientes de sedimentação, impactos antrópicos nos manguezais, fácies sedimentares, impactos antrópicos nos manguezais; e a delimitação da área de estudo com o estabelecimento dos pontos de coleta junto a órgãos públicos e trabalhos já publicados.

Na segunda etapa ocorreu o trabalho de campo, em janeiro de 2018. Foram coletados três testemunhos em pontos diferentes para uma melhor interpretação das características da dinâmica sedimentar e distribuição dos elementos químicos que ocorrem no estuário: próximo à uma fazenda de Carcinicultura (A1), parte interna da ilha barreira (A2), e na margem oposta ao Porto do Barco (A3) (FIGURA 5). Os testemunhos foram coletados com tubos de PVC de 50 cm de diâmetro e 60 cm de altura penetrados no sedimento manualmente. Quando preenchidos com sedimentos foram fechados nas duas extremidades, identificados e abertos somente no laboratório para iniciar as análises (FIGURA 6).

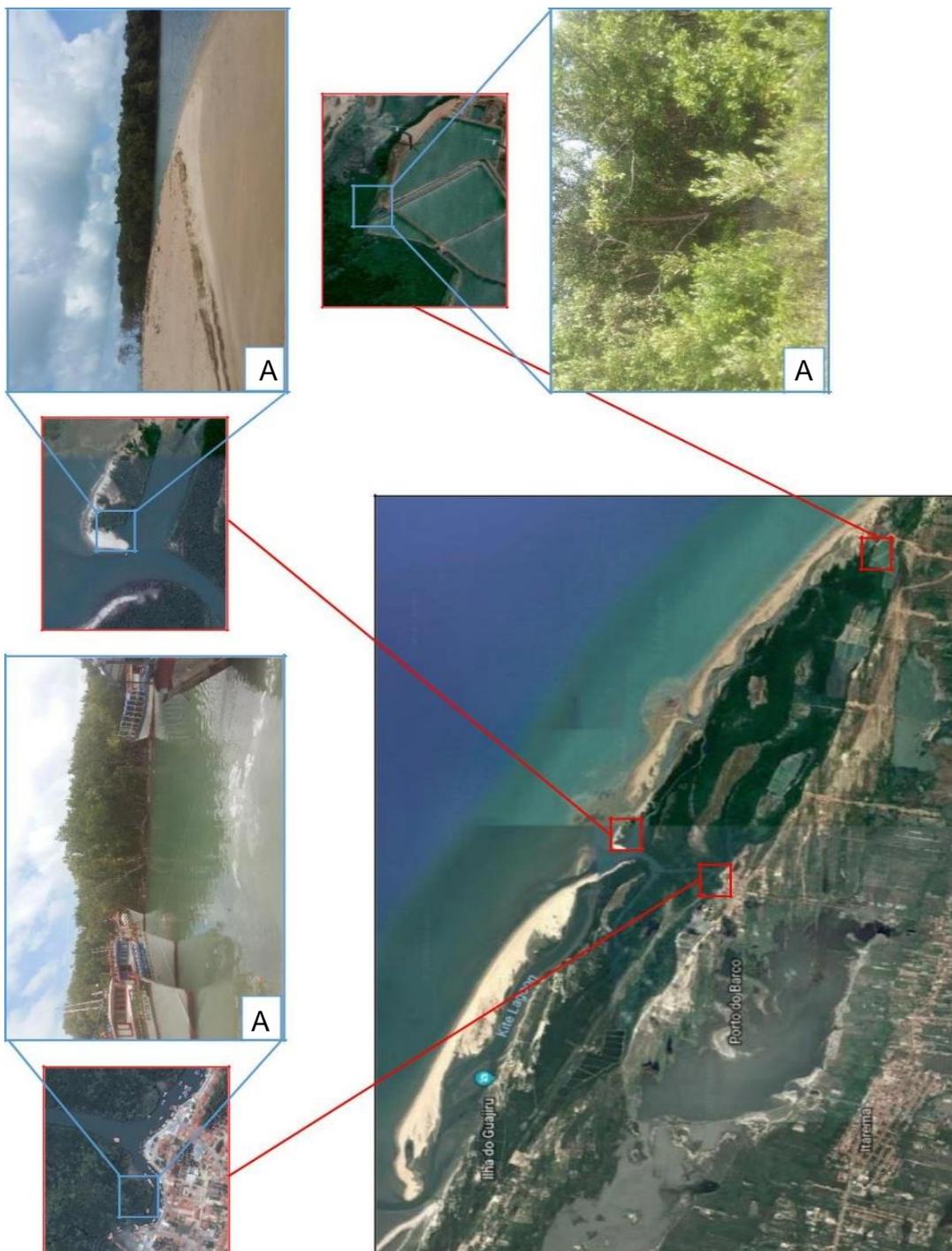


Figura 5. Localização dos pontos de coleta dos testemunhos A1, A2 e A3, respectivamente: (A) Ao lado de uma fazenda de Carcinicultura; (B) Parte interna da ilha barreira; (C) Margem oposta ao Porto dos Barcos. Fonte: Próprio Autor (2019).



Figura 6. Coleta dos testemunhos no sistema estuarino-lagunar de Itarema. Fonte: Próprio Autor (2019).

A etapa seguinte constitui-se em atividades de laboratório com descrição dos testemunhos, análise granulométrica e análise para quantificar os teores de Matéria Orgânica realizadas no Laboratório de Geologia e Geomorfologia Costeira e Oceânica (LGCO) na Universidade Estadual do Ceará, análise de Carbonato de Cálcio realizada no Instituto de Ciências do Mar da Universidade Federal do Ceará, além da análise de metais-traço realizada no Laboratório Eurofins/Anatech, no estado de São Paulo. A quarta e última etapa foi realizada em escritório para analisar e integralizar os dados gerados nas etapas anteriores.

Resultados e discussões

Granulometria

A granulometria do Testemunho A1 apresenta do topo até 10 cm maior quantidade das frações mais finas (silte/argila), com porcentagem de 70,7%. Nas camadas intermediárias, entre 10 e 50 cm, ocorre maior quantidade da fração areia, variando entre 15,99 e 29,14%. De 50 cm à base, as frações mais finas voltam a aumentar a quantidade, chegando a 81,518%. Segundo a Classificação de Shepard o testemunho A1 é denominado de Lama Arenosa no topo, Areia Lamosa, na porção intermediária, Lama Arenosa novamente e na base Lama.

A granulometria do Testemunho A2 apresenta em sua totalidade maior quantidade de frações finas (silte/argila), em que as porcentagens se mantêm acima de 90%, de 99,411% no topo diminuindo até 92,44% na base. Porém, a camada de 10 a 20 cm contém a menor quantidade de frações finas de todo testemunho, com porcentagem de 68,938%, logo após volta a aumentar para

97,25%. Segundo a Classificação de Shepard o testemunho A2 é denominado de Lama, apenas a camada de 10 a 20 cm é denominado de Lama Arenosa.

A granulometria do Testemunho A3 contém elevadas porcentagens de frações finas (silte/argila), mantendo-se acima de 80%. Com seu pico de 93,81% na camada de 30 a 40 cm e menor porcentagem na base, 80,42%. Apresenta duas diminuições nas porcentagens de frações finas, entre o topo (92,11%) e a camada de 20 a 30 cm (87,48%), e a camada de 30 a 40 cm (93,81%) até a base (80,42%). Segundo a Classificação de Shepard o testemunho A3 é denominado de Lama.

A partir dos resultados obtidos, observou-se que na porção mais próxima à carcinicultura (testemunho A1) há maior ocorrência de sedimentos arenosos, já nas porções mais próximas à desembocadura do estuário (testemunho A2) e próximo ao Porto dos Barcos (A3) os sedimentos silte-argilosos predominam. Como o testemunho A1 está localizado em um ambiente mais interno, portanto, mais distante das correntes de marés, indica que a fazenda de camarão ao lado do sistema estuarino pode ter influenciado na sua sedimentação.

Teores de carbonato de cálcio

Os teores de Carbonato de Cálcio associam-se a sedimentos com maiores concentrações de material biogênico de fontes marinhas. Os maiores valores foram encontrados no testemunho A2, coletado próximo à desembocadura do canal estuarino, e no testemunho A3, localizado na margem oposta ao Porto dos Barcos, com média de 13,995% e 18,246%, respectivamente, associado às maiores concentrações de frações de silte/argila, 92,44% a 98,411% (A2) e 80,42% a 93,81% (A3), e o testemunho A1 localizado próximo à uma fazenda de carcinicultura apresentou menores valores, com média de 3,983%, associado às maiores concentrações de fração areia, 18,481% a 84,01%, apresentou uma anomalia no topo, podendo ser indicativo de aporte externo (14,61%) (GRÁFICO 1).

Tais teores apresentaram correlação com a granulometria, quanto maior a quantidade de carbonato de cálcio menor a granulometria e vice-versa, mostrando apenas uma grande anomalia no testemunho A1, sendo possível uma fonte externa pontual.

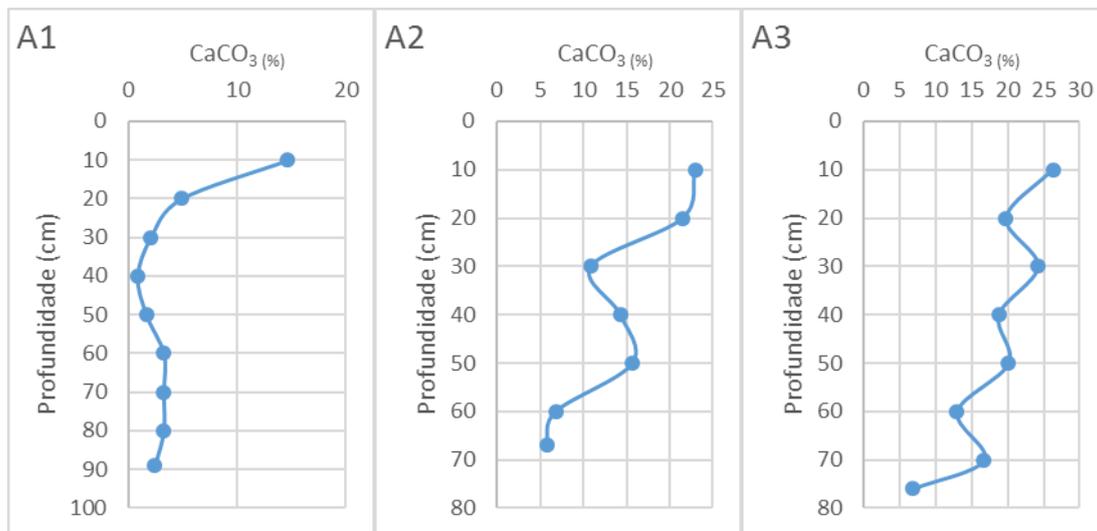


Gráfico 1. Concentração de CaCO₃ nos Testemunhos A1, A2 e A3, de acordo com a profundidade. Fonte: Próprio Autor (2019).

Teores de matéria orgânica

Os testemunhos A1, A2 e A3 apresentam conteúdo de Matéria Orgânica (MO) variando de 3,622% a 9,943%, com média de 7,394%; 3,199% a 11,829%, com média de 8,130%; e 3,978% a 6,367%, com média de 5,211%, respectivamente. A acumulação de matéria orgânica nos testemunhos apresenta-se de forma desordenada, com leves aumentos e diminuições ao longo do perfil, isso pode estar relacionado às diferentes texturas granulométricas (GRÁFICO 2).

Apresenta relação direta com os teores de CaCO₃ ao contrário do que acontece com a granulometria indicando que o acúmulo de MO pode estar relacionado à baixa profundidade do ambiente estuarino ou à possível influência antrópica que possivelmente ocorre pela proximidade das fazendas de carcinicultura em seu entorno, já que as concentrações de matéria orgânica ocorrem em todos os tipos de sedimentos, tanto em frações grosseiras (areia) quanto em frações finas (silte/argila).

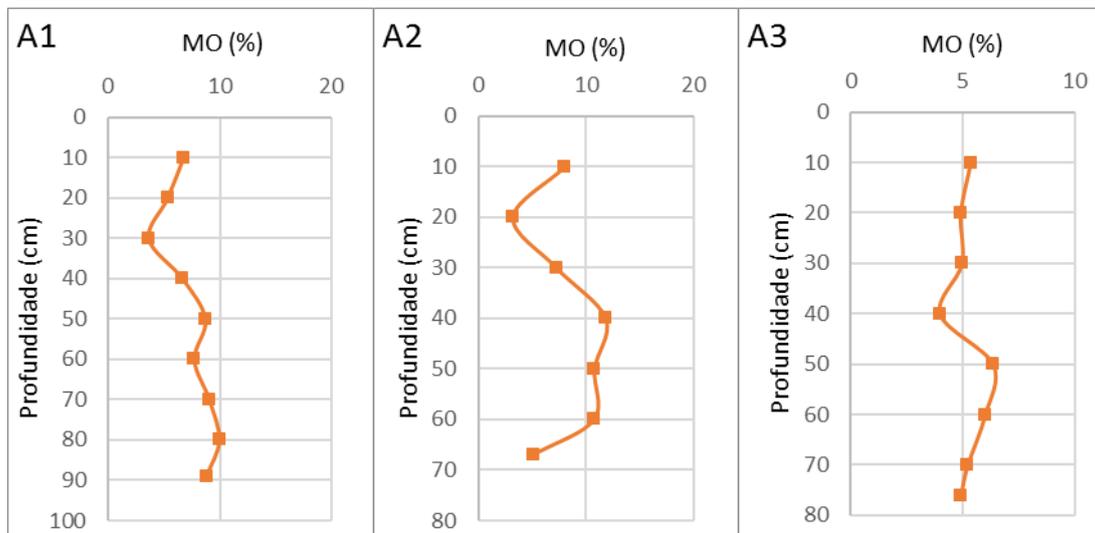


Gráfico 2. Distribuição de Matéria Orgânica de acordo com a profundidade (cm) dos Testemunhos A1, A2 e A3. Fonte: Próprio Autor (2019).

Teores de metais-traço

Alumínio (al)

Os valores de Al variam ao longo do testemunho A1 entre 1625 mg/kg e 10044,2 mg/kg, A2 entre 8714,4 mg/kg e 17770,4 mg/kg, e A3 entre 12190,9 mg/kg e 17542,8 mg/kg. A ocorrência do Al nos testemunhos dá-se de forma irregular, com redução nas concentrações da base e aumento no topo. Os menores teores de Al encontram-se no testemunho A1, já os testemunhos A2 e A3 demonstram comportamentos parecidos e maiores valores (GRÁFICO 3).

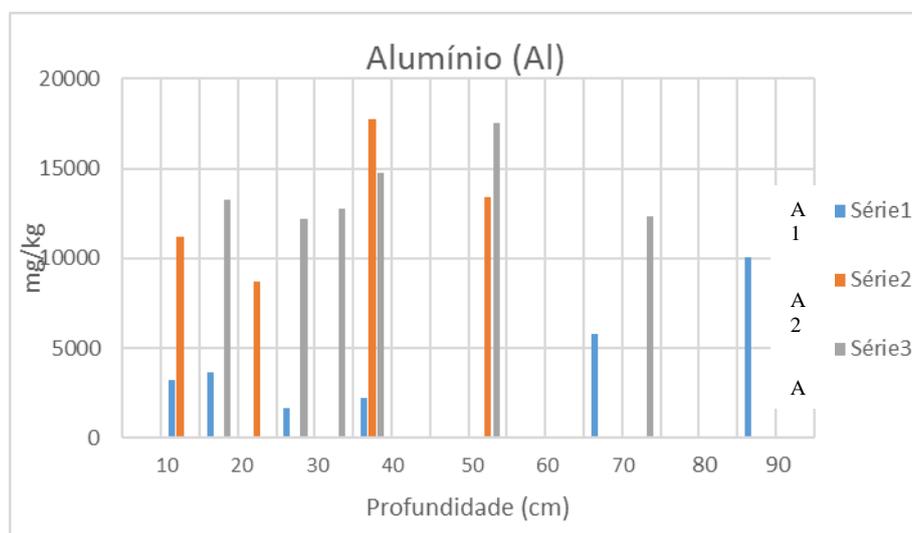


Gráfico 3. Concentração de Alumínio (mg/kg) em sedimentos dos Testemunhos A1, A2 e A3 de acordo com a profundidade (cm). Fonte: Próprio Autor (2019).

Ferro (Fe)

Os valores de Fe variam ao longo do testemunho A1 entre 3218,3 mg/kg e 10735,6 mg/kg, A2 entre 9833,9 mg/kg e 116666,7 mg/kg e A3 entre 12064 mg/kg e 14421,8 mg/kg. Os valores mais elevados são observados nos testemunhos A2 e A3. A ocorrência de Fe em todos os testemunhos apresenta leves aumentos, apenas na porção basal do A2 ocorre uma elevação brusca (GRÁFICO 4).

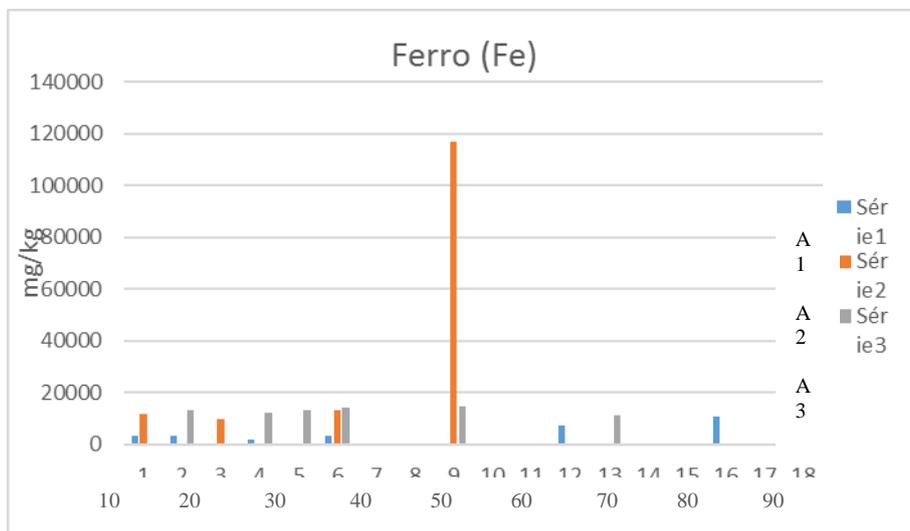


Gráfico 4. Concentração de Ferro (mg/kg) em sedimentos dos Testemunhos A1, A2 e A3 de acordo com a profundidade (cm). Fonte: Próprio Autor (2019).

Chumbo (Pb)

Os valores de Pb variam ao longo do testemunho A1 entre 2,06 mg/kg e 4,34 mg/kg, A2 entre 2,5mg/kg e A3 entre 3,25 mg/kg e 6,18 mg/kg. O testemunho A1 apresenta concentrações semelhantes de Pb em toda sua extensão, com leves decréscimos. O testemunho A2 mostra atenuação gradual da concentração da base para o topo, contudo, próximo ao topo ocorre acréscimo abrupto. O testemunho A3 mostra dois ciclos de acréscimo da base para o topo em suas concentrações (GRÁFICO 5).

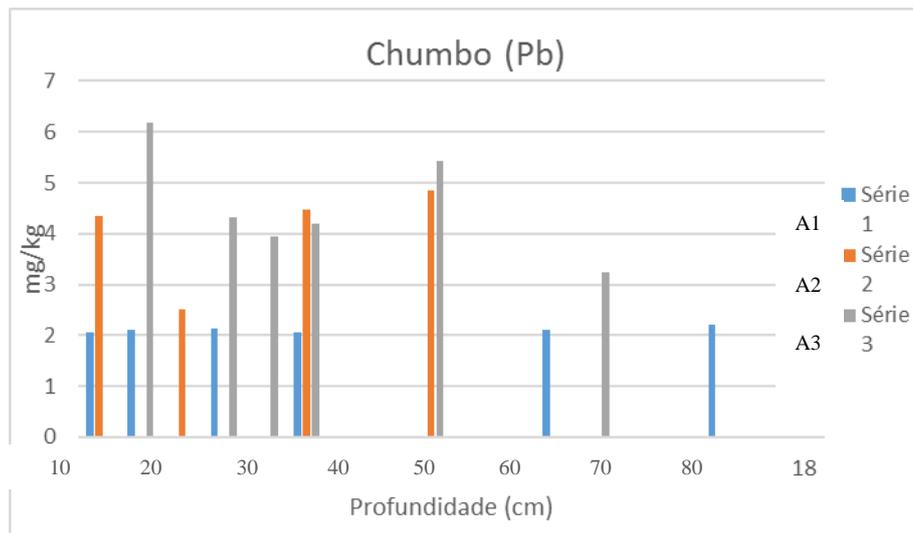


Gráfico 5. Concentração de Chumbo (mg/kg) em sedimentos dos Testemunhos A1, A2 e A3 de acordo com a profundidade (cm). Fonte: Próprio Autor (2019).

Cádmio (Cd)

Os valores de Cd variam ao longo do testemunho A1 entre 1,06 mg/kg e 1,1 mg/kg, A2 entre 1,07 mg/kg e 1,1 mg/kg e A3 entre 1,06 e 1,1. Os três testemunhos apresentam valores muito próximos. Todas as amostras dos sedimentos analisados apresentam concentração total de Cd pouco significativas. Os três testemunhos contêm dois ciclos de maior para menor concentração (GRÁFICO 6).

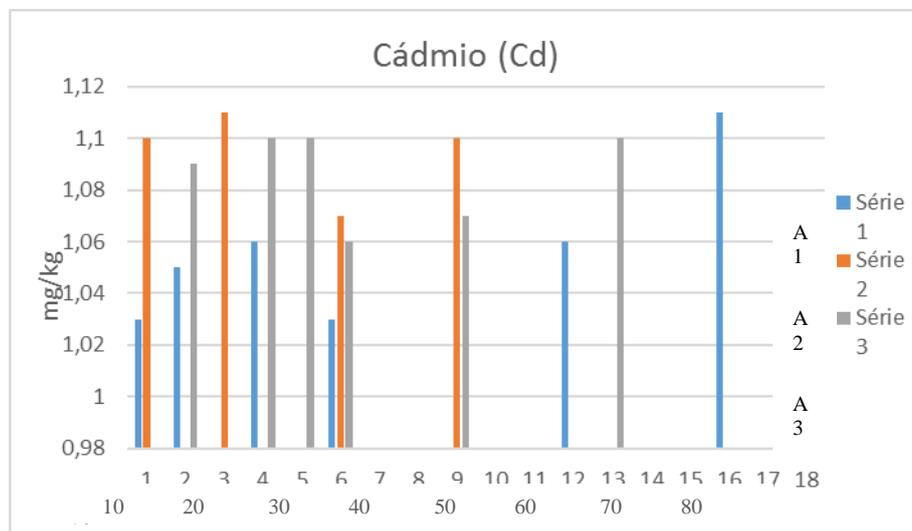


Gráfico 6. Concentração de Cádmio (mg/kg) em sedimentos dos Testemunhos A1, A2 e A3 de acordo com a profundidade (cm). Fonte: Próprio Autor (2019).

Cobre (Cu)

Os valores de Cu variam ao longo do testemunho A1 entre 5,61 mg/kg e 15,5 mg/kg, A2 entre 15,4 mg/kg e 20,6 mg/kg e A3 entre 2,12 mg/kg e 17,6 mg/kg. Os maiores valores ocorrem

nos testemunhos A2 e A3. As camadas do topo do A1 e A3 mostram valores que indicam que está havendo crescimento das concentrações de metal, já o A3 continua diminuindo sua concentração. Na porção intermediária do testemunho A3 ocorre uma redução brusca (GRÁFICO 7).

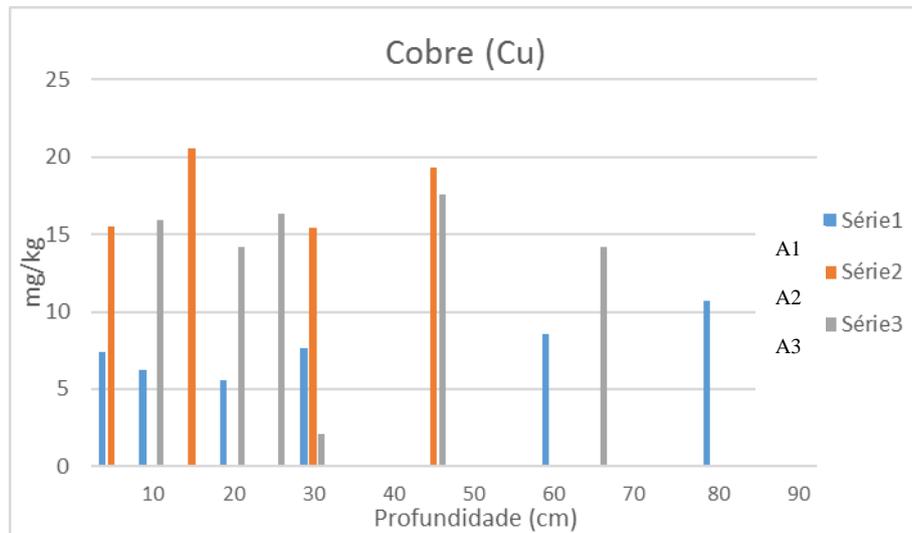


Gráfico 7. Concentração de Cobre (mg/kg) em sedimentos dos Testemunhos A1, A2 e A3 de acordo com a profundidade (cm). Fonte: Próprio Autor (2019).

Zinco (Zn)

Os valores de Zn variam ao longo do testemunho entre 5,32 mg/kg e 54,3 mg/kg, A2 entre 51,1 mg/kg e 54,3 mg/kg e A3 entre 5,29 mg/kg e 64,9 mg/kg. As concentrações de Zn no testemunho A1 são elevadas na base e diminuem até as camadas próximas ao topo, onde aumenta novamente. No A2 as concentrações do metal apresentam-se estáveis em todo o testemunho. No A3 as concentrações apresentam padrão de alternância entre teores mais elevados e mais baixos, é bem perceptível essa alternância pelo fato da diferença entre os valores dos teores ser grande (GRÁFICO 8).

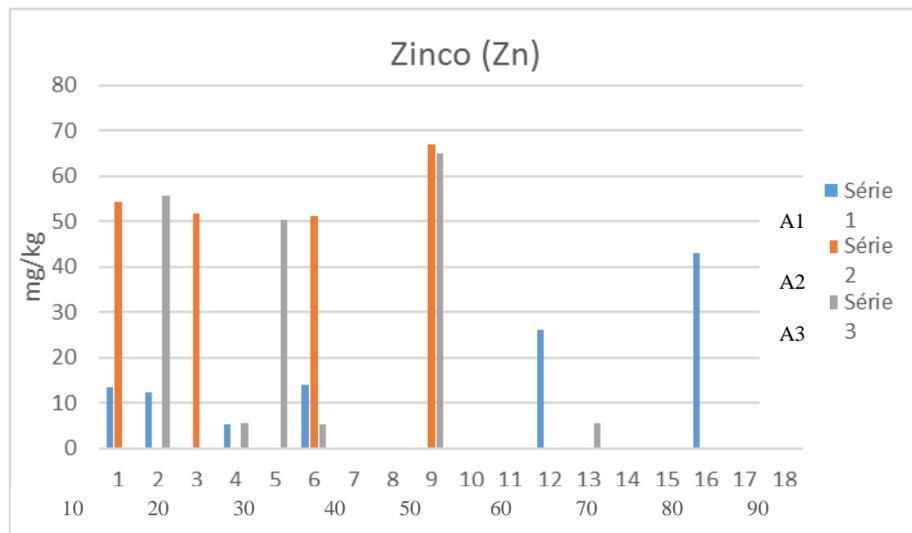


Gráfico 8. Concentração de Zinco (mg/kg) em sedimentos dos Testemunhos A1, A2 e A3 de acordo com a profundidade (cm). Fonte: Próprio Autor (2019).

Correlações entre metais-traço e granulometria, carbonato de cálcio e matéria orgânica

Foram estabelecidas as relações entre as concentrações de metais e a Matéria Orgânica (MO) e o Carbonato de Cálcio (CaCO_3) dispostas nas tabelas a seguir.

No testemunho A1, o CaCO_3 apresenta boa correlação apenas com o MO, entre os metais, apenas com Cd, Al, Fe e Pb ocorre correlação, porém muito baixa, com Cu e Zn a correlação é negativo. A MO apresenta correlação negativa com todos os metais.

O Al apresenta boa correlação com todos os metais, principalmente com o Fe. O Fe também apresenta boa correlação com todos os metais, principalmente com Al e Zn. O Pb apresenta boa correlação com todos os metais, principalmente o Cu. O Cd também apresenta boa correlação com todos os metais. O Zn apresenta boa correlação com todos os metais.

Todos os metais apresentam forte correlação positiva. A correlação do Fe com os metais analisados pode ser atribuída à co-precipitação destes metais com óxidos de Fe. A correlação positiva entre CaCO_3 com Al, Fe, Pb e Cd deve ocorrer por ser um suporte geoquímico na retenção de metais-traço (TABELA 2).

Tabela 2. Correlação entre Metais-traço determinados e quantidade de MO e CaCO₃ do testemunho A1. Fonte: Próprio Autor (2019).

	<i>Al</i>	<i>Fe</i>	<i>Pb</i>	<i>Cd</i>	<i>Cu</i>	<i>Zn</i>	<i>Granulometria</i>	<i>CaCO3</i>	<i>MO</i>
Al	1								
Fe	0,986	1							
Pb	0,886	0,850	1						
Cd	0,833	0,807	0,865	1					
Cu	0,940	0,939	0,951	0,777	1				
Zn	0,980	0,982	0,923	0,808	0,986	1			
Granulometria	0,776	0,835	0,467	0,634	0,622	0,724	1		
CaCO3	0,151	0,072	0,009	0,366	-	-	0,181	1	
					0,133	0,016			
MO	-	-	-	-	-	-	-0,263	0,765	1
	0,111	0,203	0,189	0,088	0,305	0,233			

No testemunho A2, o CaCO₃ apresenta correlação apenas com o MO. Ocorre correlação negativa com todos os metais. A MO apresenta correlação positiva, porém muito baixa, apenas com Pb e Al, e negativa com os demais metais.

O Al apresenta boa correlação com o Fe, Pb e Zn e correlação negativa com Cd e Cu. O Fe apresenta boa correlação apenas com Al e ZN, com os demais metais ocorre correlação baixa. O Pb apresenta moderada correlação com Fe e Zn e negativa com Cd e Cu. O Cd apresenta boa correlação com o Cu, baixa correlação com Fe e Zn, e negativa com demais metais. O Zn apresenta boa correlação com Al e Fe e baixa correlação com os demais (TABELA 3).

Tabela 3. Correlação entre Metais-traço determinados e quantidade de MO e CaCO₃ do testemunho A2. Fonte: Próprio Autor (2019).

	<i>Al</i>	<i>Fe</i>	<i>Pb</i>	<i>Cd</i>	<i>Cu</i>	<i>Zn</i>	<i>Granulometria</i>	<i>CaCO3</i>	<i>MO</i>
Al	1								
Fe	0,878	1							
Pb	0,837	0,537	1						
Cd	-	0,169	-	1					
	0,299		0,516						
Cu	-	0,381	-	0,711	1				
	0,059		0,573						
Zn	0,835	0,981	0,549	0,275	0,345	1			
Granulometria	0,480	0,192	0,339	-	-	0,018	1		
				0,800	0,156				
CaCO3	-	-	-	-	-	-	0,614	1	
	0,396	0,591	0,393	0,573	0,118	0,734			
MO	0,235	-	0,308	-	-	-	0,916	0,749	1
		0,163		0,948	0,470	0,312			

No testemunho A3, o CaCO₃ apresenta boa correlação com MO e os metais Cd, Cu e Zn, com Al, Fe e Pb ocorre correlação negativa. A MO segue as correlações do CaCO₃, porém com o Zn a correlação é negativa.

O Al apresenta boa correlação apenas com Fe e correlação moderada com Pb e Zn, com Cd e Cu a correlação é negativa. O Fe segue as correlações do Al. O Pb apresenta correlação negativa com o Cd, baixa com Cu e intermediária com Zn. O Cu tem correlação intermediária com Zn (TABELA 4).

Tabela 4. Correlação entre Metais-traço determinados e quantidade de MO e CaCO₃ do testemunho A3. Fonte: Próprio Autor (2019).

	<i>Al</i>	<i>Fe</i>	<i>Pb</i>	<i>Cd</i>	<i>Cu</i>	<i>Zn</i>	<i>Granulometria</i>	<i>CaCO3</i>	<i>MO</i>
Al	1								
Fe	0,851	1							
Pb	0,449	0,622	1						
Cd	-	-	-	1					
Cu	0,030	0,191	0,293	0,602	1				
Zn	0,499	0,579	0,701	0,087	0,627	1			
Granulometria	0,163	0,630	0,320	0,375	0,329	0,312	1		
CaCO3	0,275	0,634	0,105	0,707	0,780	0,065	0,821	1	
MO	0,004	0,502	0,245	0,255	0,334	0,244	0,986	0,795	1

Considerações finais

Os sedimentos do sistema estuarino-lagunar de Itarema heterogêneos, com predomínio de lamas, lamas-arenosas e areia-lamosa. Classificados como siliciclásticos, com moderados teores de carbonato de cálcio e matéria orgânica.

Notou-se o predomínio da fração lama (silte/argila).

A maior evidência de CaCO₃ deu-se no testemunho A3, na margem oposta ao Porto dos Barcos, provenientes dos aportes marinhos nas áreas. Porém, no testemunho A1, próximo à carcinicultura, ocorre um pico no teor de CaCO₃ ocorrido pelas atividades carcinicultoras.

A distribuição de acordo com a profundidade dos teores de CaCO₃ e MO apresentaram correlação positiva.

Nos três testemunhos nota-se a associação de metais-traço com Al e Fe em sedimento estuarino indicando presença de minerais silicatados de origem continental carregados por

lixiviação e/ou erosão dos solos. Porém, ocorre associação desses metais com Cu, o qual pode ser resultado de atividades em fazendas de camarão

Referências

ARANA, L.V. Aquicultura e desenvolvimento sustentável: subsídios para a formulação de políticas de desenvolvimento da aquicultura brasileira. *Editora da Universidade Federal de Santa Catarina*, Florianópolis, 1999.

AZEVEDO, F.A.; CHASIN, A.A.M. Metais: gerenciamento da toxicidade. *Atheneu*, São Paulo. p. 263-298, 2003.

BEZERRA FILHO, F. A. A. *Sistemas Estuarinos de Torrões e Porto dos Barcos, Itarema (Ceará, Brasil): um olhar a partir da percepção ambiental*. Dissertação/Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciências e Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Fortaleza, 2017.

BRASIL – MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. SECRETARIA GERAL. *Projeto RADAMBRASIL*. Folhas SB 24/25 Jaguaribe/Natal; Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação. 1981.

CPRM - COMPANHIA DE PESQUISAS DE RECURSOS MINERAIS. *Atlas Digital de Geologia e Recursos Minerais do Ceará*. CD-ROM. Fortaleza, 2005.

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS. 2003. www.funceme.br.

GUIMARÃES, M. H.; SOUSA, C.; GARCIA, T.; DENTINHO, T.; BOSKI, T. The value of improved water quality in Guadiana estuary—a transborder application of contingent valuation methodology. *Centro de Investigação Marinha e Ambiental*. Faculdade de Ciência do Mar e Ambiente, Universidade do Algarve, 8005-139 Faro, Portugal. 2011.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ. Perfil Básico Municipal 2015 Itarema. Fortaleza: Seplag, 2015, 18p.

MACEDO, S.J.; MONTES, M.J.F.; LINS, I.C. Características abióticas da área. In: BARROS, H.M.; ESKINAZI-LEÇA, E.; MACÊDO, S.J., LIMA, T. Gerenciamento participativo de estuários e manguezais. Recife: *Ed. Universitária da UFPE*. Recife, p. 7-25, 2000.

MORAIS, J. O. Compartimentação Territorial Evolutiva da Zona Costeira. In: *Compartimentação Territorial e Gestão Regional do Ceará*. Fortaleza: Editora FUNECE. 106 a 180p. 2000.

PORTO, M. M.; TEIXEIRA, S. G. *Portos e o desenvolvimento*. São Paulo: Lex Editora, 2002.

QUEIROZ, L.; ROSSI, Z.; MEIRELES, J.; COELHO, C. Shrimp aquaculture in the federal state of Ceará, 1970-2012: Trends after mangrove forest privatization in Brazil. *Ocean Coast. Manage*, v.73, p.54-62, 2013.

SALOMONS, W.; FÖRSTNER, U. *Metals in Hydrocycle*, Springer-Verlag: Berlin. 1984.

SANTOS, J.A. *Determinação de Cu e Zn em fazendas produtoras de camarão do litoral leste do estado do Ceará. Ceará*. Dissertação (Mestrado em Ciências Marinhas Tropicais) Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, 73p. Fortaleza, 2005.

SILVA, J. X. da. *Processes and landforms in the South American Coast*. Tese de Doutorado (PhD). Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College. 103 p, 1973.

SOUZA, M. J. Bases naturais e esboço do zoneamento geoambiental do Estado do Ceará. In: *Compartimentação Territorial e Gestão Regional do Ceará*. Lima, L.C (et al.) organizadores. Editora: FUNECE: Fortaleza, p: 6-98, 2000.