

RESSALVA

Atendendo solicitação do autor,
o texto completo desta dissertação
será disponibilizado somente a partir
de 10/01/2021.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“Júlio de Mesquita Filho”
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Câmpus de Rio Claro

Everton Tiago Sulato

ELEMENTOS TRAÇO EM TECIDO HEPÁTICO DE TARTARUGA-
VERDE (CHELONIA MYDAS) COLETADAS NA BACIA DE
SANTOS, BRASIL

Orientador: Prof. Dr. Amauri Antonio Menegário

Rio Claro - SP

2020

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“Júlio de Mesquita Filho”
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Câmpus de Rio Claro

EVERTON TIAGO SULATO

ELEMENTOS TRAÇO EM TECIDO HEPÁTICO DE TARTARUGA-
VERDE (CHELONIA MYDAS) COLETADAS NA BACIA DE
SANTOS, BRASIL

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geociências e Meio Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Amauri Antonio Menegário

Rio Claro - SP

2020

S949e Sulato, Everton Tiago
Elementos traço em tecido hepático de tartaruga-verde
(Chelonia mydas) coletadas na Bacia de Santos, Brasil /
Everton Tiago Sulato. -- Rio Claro, 2020
79 p. : tabs., fotos, mapas

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista
(Unesp), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro
Orientador: Amauri Antonio Menegário

1. Elementos traços. 2. Fígado. 3. Tartaruga-marinha. 4.
Poluição marinha. 5. Poluição marinha por óleo. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do
Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

Folha de aprovação

EVERTON TIAGO SULATO

ELEMENTOS TRAÇO EM TECIDO HEPÁTICO DE TARTARUGA-
VERDE (CHELONIA MYDAS) COLETADAS NA BACIA DE
SANTOS, BRASIL

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geociências e Meio Ambiente.

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Amauri Antonio Menegário

Dr. Eduardo de Almeida

Dr. José Roberto Ferreira

Resultado: Aprovado.

Rio Claro/SP, 10 de julho de 2020

Agradecimentos

Agradeço ao prof. Amauri, CEA e grupo GEMB pelo apoio e estrutura disponibilizada, ao Programa de Pós-graduação pelo suporte fornecido ao longo deste projeto e a Petrobras pela oportunidade e por ceder os dados para a realização desta pesquisa. Por fim, agradeço o apoio dos meus amigos e familiares.

ELEMENTOS TRAÇO EM TECIDO HEPÁTICO DE TARTARUGA-VERDE (CHELONIA MYDAS) COLETADAS NA BACIA DE SANTOS, BRASIL

Resumo

As concentrações de As, Cd, Cr, Cu, Pb, Mn, Mo, Zn, Ni, Ba V e Hg em tecido hepático de tartarugas verdes (*Chelonia mydas*) encalhadas na costa brasileira (n = 506) foram determinadas. Os dados foram comparados em função das variáveis do registro de ocorrência (data, local) e do registro das características biológicas (sexo, idade, estágio de desenvolvimento e comprimento curvilíneo da carapaça). A possível influência temporal das atividades de exploração e produção de petróleo foi avaliada. As concentrações médias de Cd, Cu, Mn, Zn e Hg foram as maiores encontradas em tecido hepático de *C. mydas* coletadas na costa do Brasil. A concentração média dos elementos em ordem decrescente foi Cu > Zn > Cd > Mn > As > Hg > Mo > Pb > V > Ni > Ba > Cr. Foi observada diferença significativa nas concentrações de Hg em função do sexo (machos > fêmeas). Diferenças significativas para sexo não haviam sido observadas anteriormente no Brasil. Foram observadas diferenças significativas ($p < 0,05$) entre as concentrações médias de As, Cu, Pb, Mo e V entre os indivíduos nos primeiros anos de vida e com idade ≥ 11 anos, sugerindo relação com a dieta dos indivíduos durante as fases de vida. Estes resultados foram corroborados pelos dados obtidos a partir do comprimento curvilíneo da carapaça (CCC), em que indivíduos com comportamento costeiro (CCC > 50 cm) apresentaram maiores concentrações médias para Cu, Pb, Mo, Zn, Ba e V quando comparados com indivíduos com comportamento oceânico (CCC < 30 cm). O oposto foi observado para as concentrações médias de As e Hg. Não foi observada autocorrelação espacial para as concentrações dos elementos. No presente estudo, a linha de base da concentração de 12 elementos traço em tecido hepático de indivíduos juvenis de *C. mydas* na Bacia de Santos, Brasil foi estabelecida (Nível de 95% de confiança), sendo As = 9 ± 10 ; Cd = 25 ± 18 ; Cr = $0,12 \pm 0,10$; Cu = 207 ± 125 ; Pb = $0,7 \pm 1,0$; Mn = 12 ± 4 ; Mo = $1,0 \pm 0,6$; Zn = 147 ± 50 ; Ni = $0,3 \pm 0,4$; Ba = $0,2 \pm 0,3$; V = $0,7 \pm 0,9$; Hg = $2 \pm 22 \text{ mg kg}^{-1}$. Não foi possível estabelecer relação entre as concentrações dos elementos e fontes de contaminação provindas das atividades de exploração e produção de petróleo e gás natural. No entanto, foi observada expressiva influência da fase de desenvolvimento, fortemente relacionada aos hábitos alimentares, na concentração de elementos analisados.

Palavras-chave: Tartaruga marinha; fígado; comprimento curvilíneo da carapaça; concentração de linha de base; metais.

TRACE ELEMENTS IN GREEN TURTLE HEPATIC TISSUE (CHELONIA MYDAS) COLLECTED IN THE SANTOS BASIN, BRAZIL

Abstract

As, Cd, Cr, Cu, Pb, Mn, Mo, Zn, Ni, Ba V and Hg concentrations in liver tissue of green turtles (*Chelonia mydas*) stranded on the Brazilian coast (n=506) were determined. The data was compared to occurrence registers (date, location) and biological characteristics (sex, age, stage of development and curved carapace length). Possible temporal influence of oil exploration and production activities was assessed. The mean concentration of Cd, Cu, Mn, Zn and Hg were the highest reported in liver for *C. mydas* in Brazilian coast. The mean concentration of the elements in decreasing order was Cu > Zn > Cd > Mn > As > Hg > Mo > Pb > V > Ni > Ba > Cr. Significant difference between the sexes was observed for Hg (males > females). This difference had not been previously observed in Brazil. Significant differences ($p < 0.05$) were observed in the mean concentrations of As, Cu, Pb, Mo and V between specimens in their first years of life and aged ≥ 11 years, which suggests relation with dietary shift during development. These results were corroborated by curved carapace length (CCL) data, wherein individuals residing in coastal areas (CCL > 50 cm) presented higher concentrations for Cu, Pb, Mo, Zn, Ba and V when compared to the ones at the oceanic stage (CCL < 30 cm). The opposite pattern was observed for As and Hg. Spatial autocorrelation was not observed for element concentrations. In the present study, a baseline concentration of 12 trace elements was established for liver tissue of *C. mydas* juveniles in Santos Basin, Brazil, at 95% confidence level (As = 9 ± 10 ; Cd = 25 ± 18 ; Cr = 0.12 ± 0.10 ; Cu = 207 ± 125 ; Pb = 0.7 ± 1.0 ; Mn = 12 ± 4 ; Mo = 1.0 ± 0.6 ; Zn = 147 ± 50 ; Ni = 0.3 ± 0.4 ; Ba = 0.2 ± 0.3 ; V = 0.7 ± 0.9 ; Hg = 2 ± 22 mg kg⁻¹). Influence of oil and natural gas production activities on the concentration of the elements could not be established. However, it was observed an expressive influence of the individual's development stage, highly related to feeding habits, in the concentration of analyzed elements.

Key words: sea turtle; liver; curved carapace length; baseline concentrations, metals.

Lista de Ilustrações

Figura 1 - Área de abrangência e divisão geográfica dos trechos de coleta.

Figura 2 - Pontos de coleta dos indivíduos de C. mydas (n = 506).

Figura 3 - Box plot das concentrações As, Cd, Cr, Cu, Pb, Mn, Mo, Zn, Ni, Ba, V e Hg em C. mydas (n = 506).

Figura 4 - Correlação de Spearman, entre as concentrações dos elementos traço em indivíduos de C. mydas com o comprimento curvilíneo da carapaça (cm).

Figura 5 - Correlação de Spearman, considerando a concentração de As, Cd, Cr, Cu, Pb, Mn, Mo, Zn, Ni, Ba, V e Hg em indivíduos de C. mydas, com a taxa de produção de barril de óleo equivalente/dia (boe/d) nos meses de coleta das amostras no período de agosto/2015 (1) a junho/2019 (40).

Figura 6 - Valor real, média móvel (25 amostras por período) e linha de tendência da concentração de As em amostras de C. mydas (n = 506) coletadas no período de agosto/2015 a junho/2019.

Figura 7 - Valor real, média móvel (25 amostras por período) e linha de tendência da concentração de Cd em amostras de C. mydas (n = 506) coletadas no período de agosto/2015 a junho/2019.

Figura 8 - Valor real, média móvel (25 amostras por período) e linha de tendência da concentração Cr em amostras de C. mydas (n = 506) coletadas no período de agosto/2015 a junho/2019.

Figura 9 - Valor real, média móvel (25 amostras por período) e linha de tendência da concentração de Cu em amostras de C. mydas (n = 506) coletadas no período de agosto/2015 a junho/2019.

Figura 10 - Valor real, média móvel (25 amostras por período) e linha de tendência da concentração Pb em amostras de C. mydas (n = 506) coletadas no período de agosto/2015 a junho/2019.

Figura 11 - Valor real, média móvel (25 amostras por período) e linha de tendência da concentração de Mn em amostras de C. mydas (n = 506) coletadas no período de agosto/2015 a junho/2019.

Figura 12 - Valor real, média móvel (25 amostras por período) e linha de tendência da concentração de Mo em amostras de C. mydas (n = 506) coletadas no período de agosto/2015 a junho/2019.

Figura 13 - Valor real, média móvel (25 amostras por período) e linha de tendência da concentração de Zn em amostras de C. mydas (n = 506) coletadas no período de agosto/2015 a junho/2019.

Figura 14 - Valor real, média móvel (25 amostras por período) e linha de tendência da concentração de Ni em amostras de C. mydas (n = 506) coletadas no período de agosto/2015 a junho/2019.

Figura 15 - Valor real, média móvel (25 amostras por período) e linha de tendência da concentração de Ba em amostras de C. mydas (n = 506) coletadas no período de agosto/2015 a junho/2019.

Figura 16 - Valor real, média móvel (25 amostras por período) e linha de tendência da concentração de V em amostras de C. mydas (n = 506) coletadas no período de agosto/2015 a junho/2019.

Figura 17 - Valor real, média móvel (25 amostras por período) e linha de tendência da concentração de Hg em amostras de C. mydas (n = 506) coletadas no período de agosto/2015 a junho/2019.

Lista de Quadros e Tabelas

Quadro 1 - Variáveis e resultados das concentrações dos elementos traço (mg kg^{-1} - peso seco) em tecido hepático de C. mydas ($n = 506$).

Quadro 2 - Concentrações de elementos traço (média $\pm$ desvio-padrão em peso seco - mg kg^{-1}), reportados em estudos anteriores e no presente estudo, em tecido hepático de juvenis de C. mydas encontradas no Brasil.

Tabela 1 - Limite de Detecção (LD) e Limite de Quantificação (LQ) para a determinação dos elementos traço (Peso seco - mg kg^{-1}).

Tabela 2 - Estatística descritiva dos resultados de elementos traço para C. mydas ($n = 506$).

Tabela 3 - Matriz de correlação de Spearman entre as concentrações dos elementos para C. mydas ($n=506$).

Tabela 4 - P-valor do teste Kruskal-Wallis, comparando a concentração dos elementos traço com a variável sexo para C. mydas.

Tabela 5 - P-valor dos testes Kruskal-Wallis e Student-Newman-Keuls (desdobramento para As, Cu, Pb, Mo e Vi), comparando a concentração dos elementos traço com a variável idade, para indivíduos de C. mydas.

Tabela 6 - P-valor do teste Kruskal-Wallis, comparando a concentração dos elementos traço com a variável estágio de desenvolvimento para C. mydas.

Tabela 7 - Índice de Moran e p-valor da análise estatística de correlação espacial, considerando as concentrações dos elementos traço (As, Cd, Cr, Cu, Pb, Mn, Mo, Zn, Ni, Ba, V e Hg), com a variável local (coordenadas geográficas) em C. mydas.

Tabela 8 - Intervalo de confiança (Nível de 95% de confiança) das concentrações dos elementos traço (mg kg^{-1}) em tecido hepático de indivíduos juvenis de C. mydas ($n = 506$), coletados na Baía de Santos, Brasil.

Sumário

1 INTRODUÇÃO	10
1. 2 Objetivo	13
2 MATERIAIS E MÉTODOS	14
2.1 Área de Estudo	14
2.2 Materiais e descontaminação	15
2.2.1 Materiais e equipamentos	15
2.2.2 Reagentes	16
2.2.3 Descontaminação	16
2.3 Coleta, Recebimento, Preparo e Preservação das Amostras	17
2.3.1 Coleta e Recebimento	17
2.3.2 Pré-tratamento, Fracionamento e Preservação das Amostras	18
2.4 Método Instrumental de Análise	19
2.4.1 Liofilização	19
2.4.2 Digestão das Amostras para Determinação de As, Cd, Cr, Cu, Pb, Mn, Mo, Zn, Ni, Ba e V	19
2.4.2.1 Diluição do extrato	20
2.4.3 Digestão das Amostras para Determinação de Hg	20
2.4.3.1 Diluição do extrato	21
2.4.4 Determinações de As, Cd, Cr, Cu, Pb, Mn, Mo, Zn, Ni, Ba e V	22
2.4.4.1 Parâmetros de Qualidade	22
2.4.5 Determinação de Hg	23
2.4.5.1 Parâmetros de Qualidade	23
2.4.6 Limite de Detecção e Limite de Quantificação	24
2.4.7 Tratamento Estatístico dos Resultados	25
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES	26
3.1 Concentração dos Elementos Traço e Suas Variáveis	26
3.2 Estatística Descritiva	26
3.3 Análise Estatística	30
3.3.1 Sexo	31
3.3.2 Idade	33
3.3.3 Estágio de desenvolvimento	37
3.4 Autocorrelação Espacial	42
3.5 Produção total de óleo na Bacia de Santos	43
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	52
REFERÊNCIAS	54
ANEXOS	59

1 INTRODUÇÃO

Uma vez que ambientes marinhos recebem o aporte de água, material dissolvido e particulado provenientes dos continentes através de rios, deposição atmosférica e precipitação meteorológica, estão sujeitos a serem o destino final de poluentes lixiviados. Estes poluentes são diversificados quanto a natureza química e concentração, sendo que o impacto na biota pode apresentar alta magnitude mesmo para aqueles encontrados em baixas concentrações (AZAROFF et al., 2020). Os elementos traço são encontrados naturalmente em todos os compartimentos terrestres, porém quando provenientes de razões alheias ao equilíbrio geoquímico do sistema, são considerados contaminantes, que podem causar impactos ambientais (KABATA-PENDIAS, 2001, 25). Mesmo em baixas concentrações, podem ser encontrados em grandes quantidades em animais que ocupam níveis tróficos mais elevados, como tetrápodes marinhos (KUNITO et al., 2004), em decorrência da bioacumulação (BARD, 1999).

As tartarugas marinhas compreendem sete espécies distintas, que habitam todos os oceanos. São carnívoras em sua maioria, com a exceção apenas da tartaruga verde, *Chelonia mydas* (Linnaeus, 1758), visto que os hábitos alimentares desta espécie variam segundo sua fase de desenvolvimento (BJORNAL, 1985, 1997). Nas fases iniciais de desenvolvimento, as tartarugas verdes apresentam hábito oceânico e dieta onívora. Em fases posteriores, quando os indivíduos da espécie apresentam comprimento curvilíneo da carapaça (CCC) entre 25 e 44 cm, tendem a migrar para próximo à costa e passam a adotar dieta herbívora (BJORNAL, 1980; BOYLE e LIMPUS, 2008), sendo fiéis aos seus locais de forrageamento (MEYLAN et al., 2011).

Na costa brasileira, Atol das Rocas (RN), Fernando de Noronha (PE) e a Ilha de Trindade (ES) são os principais locais de desova da tartaruga verde (BELLINI et al. 1996, GROSSMAN et al 2002, BELLINI & SANCHES 1996, MOREIRA et al. 1995), sendo que registros esporádicos também foram realizados para Bahia, Espírito Santo, Sergipe e Rio Grande do Norte (ALMEIDA et al 2011). Por sua vez Ubatuba (SP), Fernando de Noronha, Atol das Rocas, Praia do Forte (BA) e Almofala (CE) são identificadas como áreas de alimentação para esta espécie (MARCOVALDI e MARCOVALDI, 1999).

Tanto nas fases juvenil quanto adulta, quelônios marinhos habitam dentro dos limites da zona nerítica (BUGONI et al., 2003). Sendo assim, as concentrações de elementos traço nestes animais refletem as concentrações destes elementos na região costeira, diferentemente de animais que, ao longo de seu ciclo de vida, extrapolam os limites para a zona oceânica, como no caso de cetáceos marinhos (WISE et al., 2009). No caso de tartarugas marinhas, os contaminantes encontrados em seus tecidos tem maior probabilidade de serem provenientes de contaminações em seus locais de alimentação ou reprodução (LAM et al., 2004).

Considerando a complexa dinâmica de mudança comportamental em diferentes fases de desenvolvimento de tartarugas verdes, estudos que visem avaliar a influência dos hábitos alimentares e tamanho corporal dos indivíduos nos padrões de acumulação de contaminantes devem ser capazes de avaliar estes parâmetros em espécimes em diferentes estágios de vida (ANAN et al. 2001)

Atividades ligadas a exploração e produção de petróleo e gás natural podem ser fontes importantes de contaminação, que pode impactar negativamente os organismos marinhos da área de influência destas atividades. São exemplos destas atividades as perfurações *offshore*, emissões e deposição de material particulado, refinarias, terminais de carga, atividades de transporte, produção de resíduos, filtrações naturais e acidentes. A ocorrência de contaminação marinha por petróleo é apontada como uma das causas mais importantes na diminuição de populações de grande parte das espécies marinhas em perigo de extinção (FARRÉ e FERNANDEZ, 2002).

Apesar dos avanços tecnológicos, que reduzem os riscos de contaminação oriunda destas atividades, o monitoramento da qualidade ambiental em áreas de exploração e produção de petróleo é essencial para promover a segurança de ecossistemas marinhos. Desta forma, a implementação de planos de fiscalização e de pesquisas relacionadas a estas atividades é essencial para se evitar impactos ambientais e até mesmo situações mais extremas, como o derramamento de 4,9 milhões de barris de óleo após explosão da plataforma *Deepwater Horizon*, ocorrido em 2010 no Golfo do México (BJORNDAL et. al, 2011; LIU et. al, 2012).

Recentemente, o derramamento de petróleo de origem ainda controversa tem afetado os estados do nordeste brasileiro. Estuários, mangues e prados marinhos foram apontados como as áreas com contaminação mais elevada. Um total de 27 espécies marinhas foram impactadas pelos resíduos de óleo. Os efeitos da

contaminação nas atividades de turismo e pesca impactou cerca de 870,000 pessoas (MAGRIS & GIARRIZZO, 2020).

Em escala global, pesquisas são realizadas visando estabelecer os níveis basais destes elementos em tetrápodes marinhos e a relação da acumulação destes elementos em função de características dos animais, tais como idade e sexo (BARBIERI, 2009, D'LLIO et al., 2011, DA SILVA et al., 2014). Entretanto, muito esforço deverá ser realizado com a finalidade de atingir este objetivo, sendo necessários estudos que visem o levantamento de concentrações de elementos traço em escala espacial e temporal.

Quanto ao tempo de exposição de tetrápodes marinhos a elementos traço, a abordagem da análise em diferentes tecidos é comumente adotada (FRODELLO e MARCHAND, 2001 ; DA SILVA et al., 2014), sendo tecidos ósseos ou dentes selecionados quando visa-se a acumulação na escala de tempo mais abrangente (ciclo de vida do animal) e tecidos moles (fígado, rim, músculos), quando se objetiva obter as concentrações para um período de tempo mais estreito (até poucos anos). O fígado é o principal órgão de armazenamento e desintoxicação em um organismo, tendo papel fundamental na regulação homeostática de elementos traço, o que o torna um tecido ideal para a determinação da concentração recente de elementos em tartarugas marinhas (DA SILVA et al., 2014). A atividade de proteínas em associação com elementos essenciais, relacionadas à metabolização de metais tóxicos, é conhecida neste órgão, como o caso das metalotioneínas. Para tartarugas verdes, a atividade de metalotioneínas associada com Zn foi relatada para a desintoxicação dos elementos Cu, Cd e Pb (DA SILVA et al., 2014; ANDREANI et al., 2008).

No Brasil, alguns estudos foram realizados ao longo dos últimos anos visando a determinação de elementos traço em tecido hepático de tartaruga verde (BARBIERI, 2009, DA SILVA et al., 2014, MACÊDO et al., 2015, DI BENEDITTO et al., 2019). Desta forma, os dados obtidos no presente estudo complementam as pesquisas de monitoramento dos tecidos de tartaruga verde anteriormente realizados na costa brasileira. O presente estudo apresenta a concentração de 12 elementos traço de interesse na avaliação de impacto de contaminantes para a espécie estudada, em uma extensa área de estudo e ao longo de 40 meses, apresentando consequentemente um número elevado de indivíduos analisados, fator de grande relevância quando consideradas espécies com alta complexidade de comportamento reprodutivo e alimentar, como é o caso das tartarugas verdes.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As concentrações de As, Cr, Pb, Mo, Ni, Ba e V no presente estudo foram encontradas dentro ou próximas da variação reportada anteriormente na literatura. Por sua vez, as concentrações médias de Cd, Cu, Mn, Zn e Hg neste estudo foram as maiores encontradas em tecido hepático de *C. mydas* coletadas na costa do Brasil.

A maior parte das correlações acentuadas obtidas envolveram o Zn, o que pode estar relacionado ao papel desempenhado por este elemento no mecanismo de desintoxicação do organismo envolvendo proteínas. Correlações negativas expressivas foram observadas para As com os elementos Pb, Cr e V, sugerindo uma possível relação de antagonismo.

Foi observada diferença significativa nas concentrações de Hg em função do sexo. Machos apresentaram concentrações superiores que fêmeas. Apesar da comparação entre sexo ser recorrente na literatura, diferenças significativas não haviam sido observadas anteriormente no Brasil. Adicionalmente, machos e fêmeas apresentaram CCC semelhantes, sendo que possíveis diferenças em fases de desenvolvimento não influenciaram as diferenças entre sexo encontradas neste estudo.

Foram observadas diferenças significativas entre as concentrações médias de As, Cu, Pb, Mo e V entre os indivíduos nos primeiros anos de vida e indivíduos com idade ≥ 11 anos, sugerindo que as concentrações estão relacionadas a dieta dos indivíduos durante as fases de vida. Adicionalmente, os resultados do coeficiente de *Spearman* para os diferentes estágios de desenvolvimento, obtidos a partir do CCC, corroboram em sua grande maioria os resultados apresentados para as idades no presente estudo. Assim, indivíduos com comportamento costeiro apresentaram maiores concentrações médias para Cu, Pb, Mo, Zn, Ba e V quando comparados com indivíduos com comportamento oceânico. O oposto foi observado para as concentrações médias de As e Hg. Estas relações sugerem que hábito alimentar durante os estágios de desenvolvimento, associado a mudança de onívoro para herbívoro, apresenta forte influência na concentração destes elementos.

A análise de autocorrelação espacial indicou padrão de aleatoriedade entre os resultados, sugerindo que a dimensão espacial não apresenta um papel expressivo na variação da concentração dos elementos traço entre os pontos de coleta.

Correlações moderadas foram obtidas entre as concentrações de Hg, Ni, Pb, Cd, Cu e V em tecido hepático de *C. mydas* com a produção de óleo no período de coleta dos indivíduos. No entanto, estas correlações não refletem os elementos encontrados em sedimento e água de produção, previamente reportadas para a área de estudo. Ressalta-se que a contaminação dos oceanos pode advir de outras fontes que estão presentes na região, provenientes de atividades marítimas e principalmente, do aporte continental. Desta forma, não é possível afirmar que as atividades envolvidas na produção e exploração de petróleo estejam diretamente relacionadas à concentração dos elementos nos tecidos hepáticos de *C. mydas*.

Considerando a tendência estacionária das concentrações dos elementos analisados em função do tempo e o número de indivíduos amostrados no presente estudo, foi possível estabelecer uma linha de base da concentração de 12 elementos traço em tecido hepático de indivíduos juvenis de *C. mydas* da Baía de Santos, Brasil.

A concentração de elementos traço no tecido hepático de *C. mydas* na Baía de Santos apresentou expressiva influência da fase de desenvolvimento, fortemente relacionada aos hábitos alimentares e habitat para a espécie.

REFERÊNCIAS

- Almeida, A.P.; Santos, A.J.B.; Thomé, J.C.A.; Belini, C.; Baptistotte, C.; Marcovaldi, M.A.; Santos, A.S.S.; Lopez, M. Avaliação do estado de conservação da tartaruga marinha *Chelonia mydas* (Linnaeus, 1758) no Brasil. **Biodiversidade Brasileira**, v. 1, n.1, p. 12-19, 2011.
- Agusa, T.; Takagi, K.; Iwata, H.; Tanbe, S. Arsenic species and their accumulation features in green turtles (*Chelonia mydas*). **Marine Pollution Bulletin**, v. 27, p. 782-789, 2008.
- Anan, Y.; Kunito, T.; Watanabe, I.; Sakai, H.; Tanabe, S. Trace element accumulation in hawksbill turtles (*Eretmochelys imbricata*) and green turtles (*Chelonia mydas*) from Yaeyama Islands, Japan. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 20, n. 12, p. 2802-2814, 2001.
- Andreani, G.; Santoro, M.; Cottignoli, S.; Fabbri, E. C.; Isani, G. Metal distribution and metallothionein in loggerhead (*Caretta caretta*) and green (*Chelonia mydas*) sea turtles. **Science of The Total Environment**, v. 390, p. 287-294, 2008.
- ANP (2020) - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Boletim Mensal da Produção de Petróleo e Gás Natural**. Acesso em: junho/2020.
- Azaroff, A.; Miossec, C.; Lanceleur, L.; Guyoneaud, R.; Monperrus, M. Priority and emerging micropollutants distribution from coastal to continental slope sediments: A case study of Capbreton Submarine Canyon (North Atlantic Ocean). **Science of the Total Environment**, v. 703, p. 135057, 2020.
- Barbieri, E. Concentration of Heavy Metals in Tissues of green turtles (*Chelonia mydas*) sampled in the Cananéia Estuary, Brazil. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 57, n. 3, p. 243-248, 2009.
- Bard, S. M. Global transport of anthropogenic contaminants and the consequences for the Arctic marine ecosystem. **Marine Pollution Bulletin**, v. 38, n. 5, p. 356-379, 1999.
- Barreto, J. da S. **Idade e Crescimento da Tartaruga Verde, *Chelonia mydas*, no Atlântico Sul Ocidental**. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Ambiental) - Universidade Federal do Espírito Santo, Aracruz, 2017.
- Bellini, C.; Sanches, T.M. Reproduction and feeding of marine turtles in the Fernando de Noronha Archipelago, Brazil. **Marine Turtle Newsletter**, v. 74, p. 12-13, 1996.
- Bellini, C.; Marcovaldi, M.A.; Sanches, T. M.; Grossman, A.; Sales, G. Atol das Rocas Biological Reserve: Second largest *Chelonia* rookery in Brazil. **Marine Turtle Newsletter**, v. 72, p. 1-2, 1996.
- Bezerra, M.F.; Lacerda, L.D.; Rezende, C.E.; Franco, M.A.L.; Almeida, M.G.; Macêdo, G.R.; Pires, T.T.; Rostán, G.; Lopez, G.G. Food preferences and Hg

distribution in *Chelonia mydas* assessed by stable isotopes. **Environmental Pollution**, v. 206, p. 236-246, 2015.

Bjornal, K.A. Nutrition and Grazing Behavior of the Green Turtle *Chelonia mydas*. *Marine Biology*, v. 56, p.147-154, 1980.

Bjornal, K.A. Nutritional ecology of sea turtles. **Copeia**, v. 3, p. 736-751, 1985.

Bjornal, K.A. Foraging ecology and nutrition of sea turtles. In: Lutz, P.L., Musick, J.A. (editores), **The Biology of Sea Turtles**, p. 199-231, 1997 Boca Raton: CRC Press.

Bjorndal, K.A.; Bowen, B.W.; Chaloupka, M.; Crowder, L.B.; Heppell, S.S.; Jones, C.M.; Lutcavage, M.E.; Policansky, D.; Solow, A.R.; Witherington, B.E. Better Science Needed for Restoration in the Gulf of Mexico. **Science**, v. 331, p. 537-538, 2011.

Boyle, M. C.; Limpus, C. J. The stomach contents of post-hatchling green and loggerhead sea turtles in the southwest Pacific: an insight into habitat association. **Mar Biol**, v. 155, p. 233-241, 2008.

Bugoni, L.; Krause, L.; Petry, M. Diet of sea turtles in southern Brazil. **Chelonian Conservation and Biology**, v. 4, n. 3, p. 685-688, 2003.

Crossland, C.J., Kremer, H.H., Lindeboom, H.J., Marshall-Crossland, J.I., Lê Tessier, M. D. A. **Coastal Fluxes in the Anthropocene**. Berlin: Springer Verlag, 231 p., 2005.

Da Silva, C. C; Jr Varela, A. S.; Barcarolli, I. F.; Bianchini, A. Concentration and distributions of metals in tissues of stranded green sea turtles (*Chelonia mydas*) from the southern Atlantic coast of Brazil. **Science of the Total Environment** v 466-467, p. 109-118, 2014.

Di Benedetto, A. P. M. D; Araújo, B. F.; Carvalho, C. E. V. Hg and $\delta^{15}\text{N}$ in juvenile green turtles from southeastern Brazil ($\sim 23^\circ\text{S}$): Interferences about contamination levels and recruitment to coastal waters. **Marine Pollution Bulletin**, v. 142, p. 64-68, 2019.

D'Ilio, S.; Mattei, D.; Blasi, M.F.; Alimonti, A.; Bogialli, S. The occurrence of chemical elements and POPs in loggerhead turtles (*Caretta caretta*): An overview. **Marine Pollution Bulletin**, v. 62, p. 1606-1615, 2011.

Farré, J. M. A.; Fernández, A. L. Informe preliminar del impacto del vertido del petrolero "Prestige" en tortugas y mamíferos marinos de las aguas gallegas. Impreso en Vigo, Diciembre 2002.

Frodello, J. P.; Marchand, B. Cadmium, copper, lead, and zinc in five toothed whale species of the Mediterranean Sea. **International Journal of Toxicology**, v. 20, p. 339-343, 2001.

Gotelli, N.J; Ellison, A. M. **Princípios de Estatística em Ecologia**. Tradução Baccaro, F. B. Porto Alegre: Artmed, 527 p., 2011.

Grossman A.; Bellini, C.; Marcovaldi, M. A. Reproductive biology of the green turtle at the Biological Reserve of Atol das Rocas off northeast Brazil. In: ANNUAL SYMPOSIUM ON SEA TURTLE BIOLOGY AND CONSERVATION, 22., 2002, Miami. Proceedings. Miami: U.S. Department of Commerce, 2003. NOAA Technical Memorandum NMFS-SEFSC-503.

Harris, D. C. **Análise Química Quantitativa**. Tradução Da Silva Riehl, C. A.; Guarino, A. W. S. Edição 5. Rio de Janeiro: LTC, 862 p., 2001.

Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. 2010. **Orientação Sobre validação de métodos de analíticos** -DOQ-CGCRE-008. *Revisão: 03*.

Jakimska A.; Konieczka P.; Skóra K.; Namieśnik J. Bioaccumulation of metals in tissues of marine animals. Part I: The role and impact of heavy metals on organisms, **Pol. J. Environ. Stud.**, v. 20, n. 5, p. 1117-1125, 2011.

Kabata-Pendias, A.; Pendias, H. The Anthropocene - Water Pollution. **Trace Elements in Soils and Plants Trace Elements in Soils and Plants**. 3rd ed., p.25, 2001. Boca Raton: CRC Press.

Kunito, T.; Nakamura, S.; Ikemoto, T.; Anan, Y.; Reiji, K.; Shinsuke, T.; Rosas, F. C. W.; Fillmann, G.; Readman, J. W. Concentration and subcellular distribution of trace elements in liver of small cetaceans incidentally caught along the Brazilian coast. **Marine Pollution Bulletin**, v. 49, p. 574-587, 2004.

Lacerda, L. D.; Marins, R. V. Geoquímica de Sedimentos e o Monitoramento de Metais na Plataforma Continental Nordeste Oriental do Brasil. **Geochemica Brasiliensis**, v. 20, n. 1, p.123-135, 2006.

Lam, J.C.W.; Tanabe, S.; Chan, S.K.F.; Yuen, E.K.W.; Lam, M.H.W.; Lam, P.K.S. Trace element residues in tissues of green turtles (*Chelonia mydas*) from South China waters. **Marine Pollution Bulletin**, v. 48, p. 164-192, 2004.

Liu, Z.; Li, J.; Zhu, Q.; Wu, W. The weathering of oil after the Deepwater Horizon oil spill: insights from the chemical composition of the oil from the sea surface, salt marshes and sediments. **Environmental Research Letters**. v. 7, p. 1-14, 2012.

Macêdo, G.R.; Tarantino, T.B.; Barbosa, I.S.; Pires, T.T.; Rostan, G.; Goldberg, D.W.; Pinto, L.F.B.; Korn, M.G.; Franke, C.R. Trace elements distribution in hawksbill turtle (*Eretmochelys imbricata*) and green turtle (*Chelonia mydas*) tissues on the northern coast of Bahia, Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 94, p. 284-289, 2015.

Maffucci F, Caurant F, Bustamante P, Bentivegna F. Trace element (Cd, Cu, Hg, Se, Zn) accumulation and tissue distribution in loggerhead turtles (*Caretta caretta*) from the Western Mediterranean Sea (southern Italy). **Chemosphere**, v. 58, p. 535-542, 2005.

Magris, R. A.; Giarrizzo, T. Mysterious oil spill in the Atlantic Ocean threatens marine biodiversity and local people in Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 153, p. 110961, 2020.

Marcovaldi, M. Â.; Dei Marcovaldi, G. G. Marine Turtles of Brazil: the history and structure of Projeto TAMAR-IBAMA. **Biological Conservation**, v. 91, p. 35-41, 1999.

Meylan, P. A.; Meylan, A. B.; Gray, J. A. The Ecology and Migrations of Sea Turtles 8. Tests of the Developmental Habitat Hypothesis. **Bulletin of the American Museum of Natural History**, n. 357, p. 1-70, 2011.

Moreira, L.; Baptistotte, C.; Scalfoni, J.; Thomé, J.C.; Almeida, A.P.L.S. Occurrence of *Chelonia mydas* on the island of Trindade, Brazil. **Marine Turtle Newsletter**, v. 70, p. 2, 1995.

Orvik, L. M. **Trace metal concentration in blood of the Kemp's ridley sea turtle (*Lepidochelys kempii*)**. Dissertação de Mestrado. Killeen: Texas A&M University, 1997.

PETROBRAS (2018) - Relatório Técnico Anual (agosto/2016 a agosto/2017). **Gerenciamento e Execução do Projeto de Monitoramento de Praias da Bacia de Santos - Fase 1**. UNIVALI/PETROBRAS.

PETROBRAS (2019a) - Projeto Executivo Integrado do PMP-BS (março/2019). **Projeto de Monitoramento de Praias da Bacia de Santos - PMP-BS**. PETROBRAS/UNIVALI/CENPES/PDISO/MA.

PETROBRAS (2019b) - Relatório Técnico da Avaliação Ambiental, 9ª Campanha da Fase de Operação. **Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Gás Natural e Condensado no Campo de Mexilhão, Bacia de Santos**. Bourscheid Engenharia e Meio Ambiente.

Sounis, E. **Bioestatística: princípios fundamentais, metodologia estatística, aplicação às ciências biológicas**. Emílio. Segunda edição, São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 230 p., 1975.

Taufer, R. M. **Avaliação do Efeito das Atividades de Exploração de Óleo e Gás na Incidência de Encalhes de Tetrápodes Marinhos na Bacia de Santos**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) - Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí, SC, 2019.

Tostes, E. C. L. **Bioacumulação de Elementos Traço em *Chelonia Mydas* (Linnaeus, 1758) Encalhadas No Litoral Sudeste Do Brasil**. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Uenf Campos Dos Goytacazes, RJ, 2019.

US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. 1995. **Method 3052: Microwave Assisted Acid Digestion of Siliceous and Organically Based Matrices**. Washington DC.

US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. 1998. **EPA 6020a: Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry**. Washington DC.

US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. 2005. **EPA 245.7: Mercury in Water by Cold Vapor Atomic Fluorescence Spectrometry**. Washington DC.

US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. 2007. **EPA 7474: Mercury in Sediment and Tissue Sample by Atomic Fluorescence Spectrometry**. Washington DC.

Wise Sr, J. P.; Payne, R.; Wise, S. S.; LaCerte, C.; Wise, J.; Gianios Jr, C.; Thompson, W. D.; Perkins, C.; Zheng, T.; Zhu, C.; Benedict, L.; Kerr, Iain. A global assessment of chromium pollution using sperm whales (*Physeter macrocephalus*) as an indicator species. **Chemosphere**, v. 75, p. 1461-1467, 2009.