

BIOACUMULAÇÃO DE ELEMENTOS TRAÇO EM *Chelonia
mydas* (LINNAEUS, 1758) ENCALHADAS NO LITORAL
SUDESTE DO BRASIL

ELOÁ CORRÊA LESSA TOSTES

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY
RIBEIRO – UENF
CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ
JULHO – 2019

BIOACUMULAÇÃO DE ELEMENTOS TRAÇO EM *Chelonia
mydas* (LINNAEUS, 1758) ENCALHADAS NO LITORAL
SUDESTE DO BRASIL

ELOÁ CORRÊA LESSA TOSTES

Dissertação apresentada ao Centro de Biociências e Biotecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF, como parte das exigências necessárias para a obtenção do título de Mestra em Ecologia e Recursos Naturais.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Veiga de Carvalho

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY
RIBEIRO – UENF
CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ
JULHO - 2019

FICHA CATALOGRÁFICA

UENF – Bibliotecas

Elaboradas com dados fornecidos pela autora

T 716 Tostes, Eloá Corrêa Lessa

BIOACUMULAÇÃO DE ELEMENTOS TRAÇO EM *Chelonia mydas* (LINNAEUS, 1758) ENCALHADAS NO LITORAL SUDESTE DO BRASIL / Eloá Corrêa Lessa Tostes - Campos dos Goytacazes, RJ, 2019

48 f. : il.

Bibliografia: 44 – 49

Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Biociências e Biotecnologia, 2019. Orientador: Carlos Eduardo Veiga de Carvalho

1. Ecotoxicologia. 2. Poluição Marinha. 3. Tartarugas Marinhas. I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. II. Título.

BIOACUMULAÇÃO DE ELEMENTOS TRAÇO EM *Chelonia mydas* (LINNAEUS,
1758) ENCALHADAS NO LITORAL SUDESTE DO BRASIL

ELOÁ CORRÊA LESSA TOSTES

Dissertação apresentada à banca examinadora
do Laboratório de Ciências Ambientais da
Universidade Estadual do Norte Fluminense
como parte dos requisitos para obtenção do
título de mestra em Ecologia e Recursos
Naturais.

Aprovada em: 31 de julho de 2019



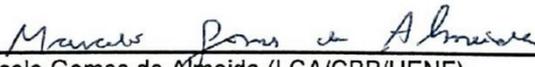
Dr. Carlos Eduardo Veiga de Carvalho (LCA/CBB/UENF)



Drª. Cristiane dos Santos Vergílio (DBIO/CCA/UFES)



Dr. Marcos Sarmet Moreira de Barros Salomão (LCA/CBB/UENF)



Dr. Marcelo Gomes de Almeida (LCA/CBB/UENF)

CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ
JULHO - 2019

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer ao meu orientador, Carlinhos, pela oportunidade de desenvolver este estudo com um dos organismos que mais admiro e sobretudo por confiar no meu trabalho.

À empresa CTA – SERVIÇOS EM MEIO AMBIENTE pelo fornecimento das amostras e financiamento desta pesquisa.

À CAPES pelo fomento da minha bolsa.

A minha família, pelo amor e incentivo incondicionais, sem os quais não teria sido possível chegar até aqui. Um agradecimento especial à minha mãe, que leu cautelosa e carinhosamente todo o meu trabalho, corrigindo cada vírgula mal posicionada.

A minha melhor amiga, Letícia, que esteve ao meu lado em cada momento do desenvolvimento deste trabalho. Acompanhando de perto o desespero e a felicidade a cada etapa concluída.

Aos demais amigos, Diego, Rodrigo, Raíssa e Thaynara, que mesmo distantes fisicamente nunca se fizeram ausentes e trilharam essa caminhada comigo.

A toda equipe de trabalho e colaboradores envolvidos nesse projeto, por tornarem os dias de experimento na sala 206 mais produtivos e descontraídos.

Aos técnicos do LCA por todo o suporte e assistência.

Por fim, a todos que de alguma forma contribuíram para a conclusão deste trabalho.

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Limite de detecção de todos os elementos traço analisados no ICP- AOS.	22
Tabela 2: Concentração mínima, máxima média e desvio padrão dados em ($\mu\text{g.g}^{-1}$) de cada elemento analisado.....	26
Tabela 3: Concentração de elementos traço nos indivíduos amostrados.....	30
Tabela 4: Concentração ($\mu\text{g.g}^{-1}$) de elementos traço em tecido hepático de tartarugas- verde em diferentes regiões do mundo.	32
Tabela 5: Valores de p da verificação dos testes de comparação de médias entre os sexos ($p < 0,05$).....	50
Tabela 6: Correlação entre os elementos traço e o CCC, com nível de significância (p < 0,05).	51
Tabela 7: Valores de p do da Matriz de Correlação (<i>Corrplot</i> – $p < 0,05$).....	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Distribuição geográfica da espécie <i>Chelonia mydas</i> destacada na cor verde. Fonte: PAN tartarugas marinhas.	14
Figura 2: O tracejado em vermelho compreende ao trecho de monitoramento realizado pela empresa CTA.	19
Figura 3: A – Fêmea adulta de tartaruga-verde encalhada na praia do Forno em Armação dos Búzios (RJ). B – Biometria, sexagem e marcação da localização. Fonte: SIMBA (Id. do indivíduo: 76505).....	19
Figura 4: Fragmento de tecido hepático amostrado.	20
Figura 5: Boxplots das variáveis do sexo para alguns elementos traço essenciais e não essenciais.....	29
Figura 6: Matriz de Correlação dos elementos traço, círculos azuis representam correlação positiva e vermelhos negativa.....	34
Figura 7: Elementos traço essenciais e não essenciais que apresentaram correlações negativas ($p < 0,05$).....	36
Figura 8: Elementos traço essenciais e não essenciais que apresentaram correlações positivas. ($p < 0,05$).....	40

A seleção natural é o maior guindaste de todos os tempos. Ela elevou a vida da simplicidade primeva a altitudes estonteantes de complexidade, beleza e aparente desígnio que hoje nos deslumbram.

Richard Dawkins

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIACÕES	9
RESUMO	10
ABSTRACT	11
1. INTRODUÇÃO	12
1.1. Tartarugas Marinhas	12
1.2. Caracterização da espécie <i>Chelonia mydas</i>	13
1.3. Elementos traço no ambiente marinho	15
2. OBJETIVO	17
2.1. Objetivos específicos	18
3. MATERIAL E MÉTODOS	18
3.1. Amostragem	18
3.2. Procedimento Analítico	21
3.2.1. Análise de elementos traço	21
3.2.2. Análise de Hg	22
3.3. Limite de Detecção do Espectrofotômetro	22
3.4. Análise estatística	23
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
4.1. Concentração de elementos traço em fêmeas e machos	23
4.2. Bioacumulação e relações biométricas	29
5. CONCLUSÕES	41

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	43
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44
ANEXO I.....	50
ANEXO II.....	51
ANEXO III.....	52

LISTA DE ABREVIações

Al – Alumínio

As – Arsênio

Ba – Bário

Cd – Cádmio

Cr – Cromo

Cu – Cobre

Fe – Ferro

Hg – Mercúrio

Mn – Manganês

Ni – Níquel

Pb – Chumbo

Se – Selênio

Ti – Titânio

V – Vanádio

Zn – Zinco

F – Fêmeas

M – Machos

CCC – Comprimento Curvilíneo da Carapaça

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais

ICMBio – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade

LCA – Laboratório de Ciências Ambientais

NA – Não analisado

ND – Não detectado

PMP – Projeto de Monitoramento de Praias

SIMBA – Sistema de Informação de Monitoramento da Biota Aquática

RESUMO

Com o advento e agravamento da poluição marinha, os estudos envolvendo a análise de elementos traço e sua biodisponibilidade no ambiente aquático, surgem com a finalidade de fornecer suporte ao enfrentamento das questões que envolvem a contaminação dos corpos d'água por compostos tóxicos. Estudar a dinâmica das interações entre essas substâncias e a fauna marinha é um importante instrumento para a preservação ambiental que pode auxiliar no desenvolvimento de estratégias de conservação de populações ameaçadas de extinção, como é o caso das tartarugas-verde, cujas populações possuem tendência ao declínio. No que tange à legislação brasileira, foi elaborado o Plano de Ação Nacional para Conservação das Tartarugas Marinhas (MMA/ICMBio nº 287), em que uma das diretrizes propostas é a redução dos impactos provocados a esses organismos pela poluição. Nesse sentido, o presente estudo tem como objetivo avaliar e determinar a concentração de quinze elementos químicos de importância toxicológica para organismos marinhos: Al, As, Ba, Cd, Cu, Cr, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Se, Ti, V e Zn em tecido hepático de tartarugas-verde (*Chelonia mydas*), oriundo de indivíduos encalhados, que foram coletados e necropsiados pela empresa CTA - SERVIÇOS EM MEIO AMBIENTE através do Projeto de Monitoramento de Praias (PMP – BC/ES) na faixa litorânea que compreende os municípios de Conceição da Barra (ES) e Saquarema (RJ). Foram coletados 123 exemplares, entre os meses de outubro 2017 e agosto de 2018. As amostras de fígado foram enviadas ao Laboratório de Ciências Ambientais – LCA/UENF, submetidas à extração ácida e analisadas por Espectrofotometria de Emissão Atômica por Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-AES, Varian Liberty Series II). As concentrações médias observadas nos fígados dos espécimes amostrados expressas em $\mu\text{g.g}^{-1}$ foram: 795,09 (Fe) > 28,60 (Cu) > 23,58 (Zn) > 5,12 (Al) > 4,66 (Cd) > 2,39 (Se) > 2,16 (As) > 1,95 (Mn) > 1,11 (Hg) > 0,54 (V) > 0,35 (Pb) > 0,28 (Ni) > 0,21 (Ba) > 0,20 (Cr). Não houve diferença estatística significativa entre machos e fêmeas, o que pode ser explicado pelo fato de os indivíduos amostrados pertencerem em maioria maciça ao mesmo estágio de desenvolvimento, o que não implicaria mudanças metabólicas e/ou fisiológicas expressivas. Ao avaliar a bioacumulação conforme o desenvolvimento das tartarugas-verde, foram observadas correlações positivas foram observadas entre o Comprimento Curvilíneo da Carapaça (CCC) e o Al, Ba, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb, V e Zn; e negativas no As, Cd, Cu, Hg e Se. A fonte de contaminação descrita como mais importante ocorre através da dieta, na qual as cargas metálicas têm potencial de bioacumular nos tecidos. Em contrapartida, existem poucos estudos envolvendo a concentração de elementos traço nos componentes alimentares das tartarugas-verde na região, o que poderia auxiliar na mais adequada interpretação dos resultados observados.

Palavras-chave: Poluição, elementos traço, metais, tartaruga-verde, fígado.

ABSTRACT

Nowadays the alarming increase of marine pollution strongly reinforces the need of scientific research dealing with the causes and effects of contaminants in marine organisms. Trace elements contamination is one of the biggest threats to marine long life top predators, therefore studies dealing with the accumulation and bioavailability of these elements emerge in order to support the struggle to answer question involving marine contamination. These studies are a strong and powerful instrument for environmental conservation of marine threatened species, and also can help in conservation strategies development of these species. The green turtle (*Chelonia mydas*) is one of these species where natural populations are declining all over the world. In Brazil the Environmental Ministry prepared a National Act Plan (MMA/ICMBio nº 287) in order to preserve all marine species turtles, and in one of the proposals is to decrease the impact of marine pollution to these animals. In this context the present study has the objective to determine fifteen chemical elements that had already proved to be toxic to marine organisms (Al, As, Ba, Cd, Cu, Cr, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Se, Ti, V e Zn) in hepatic tissues of the green turtle (*Chelonia mydas*) that appeared dead in the southeastern Brazilian coast. These organisms were submitted to necropsy, its biological parameters were measured and hepatic tissue were sampled by veterinaries from the CTA Environmental Service inside the Beach Monitoring Project (PMP – BC/ES). One hundred and twenty three specimens were sampled between October 2017 and August 2018. After sampling the hepatic tissue samples were placed in plastic bags to be transported to the Environmental Science Laboratory from the Universidade Estadual do Norte Fluminense in ice boxes. In the laboratory the samples were submitted to a strong acid digestion and trace metal were determined in the acid extracts with the help of an induced coupled plasma atomic emission spectrometer (ICP-AES, Varian Model Liberty Series II). The average trace elements concentrations observed were the following in order of abundance: 795,09 (Fe) > 28,60 (Cu) > 23,58 (Zn) > 5,12 (Al) > 4,66 (Cd) > 2,39 (Se) > 2,16 (As) > 1,95 (Mn) > 1,11 (Hg) > 0,54 (V) > 0,35 (Pb) > 0,28 (Ni) > 0,21 (Ba) > 0,20 (Cr) $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. No statistical significant correlation were observed between gender, probably due to the large portion (99%) of the analyzed specimens were juvenile where no distinct metabolism expected that could be able to promote expressive physiological changes capable to interfere in trace elements concentrations. Significant positive correlations were observed between CCL (Curved Carapace Length) and elements like Al, Ba, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb, V and Zn. According to the literature diet is the main trace metals bioaccumulation pathway for top food web trophic levels organisms. Therefore more studies dealing with trace metals distribution in the main food items from this animals diets are necessary, in order to support adequate interpretation of the observed results.

Key words: Pollution, trace elements, metals, green turtle, liver.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Tartarugas Marinhas

Os quelônios marinhos atravessaram eras geológicas com poucas modificações na sua morfologia e fazem parte da mais antiga linhagem de répteis encontrados vivos atualmente (Pritchard, 1997; Epperly e Frazier, 2000). Tendo surgido no período Jurássico, possuindo registro fóssil com datação de aproximadamente 110 milhões de anos (Hirayama, 1998).

Cinco espécies de tartaruga marinha ocorrem e desovam no litoral brasileiro, das sete já descritas, são elas: a tartaruga-verde (*Chelonia mydas*), a tartaruga-cabeçuda (*Caretta caretta*), a tartaruga-de-pente (*Eretmochelys imbricata*), a tartaruga-oliva (*Lepidochelys olivacea*) e a tartaruga-de-couro (*Dermochelys coriacea*), (Marcovaldi, *et al.*, 2011). Cujas populações são classificadas como ameaçadas, vulneráveis, criticamente ameaçadas, vulneráveis e vulneráveis respectivamente, conforme a IUCN (União Internacional para Conservação da Natureza) (IUCN, 2019).

Todas são protegidas pela Portaria do IBAMA n.º 1.522 de 19 de dezembro de 1989 (BRASIL, 1989), e apesar de o Brasil ser um país que possui uma legislação que dá aporte para proteção, além de contar com um grande projeto conservacionista (Tamar/IBAMA), as principais ameaças às populações de tartarugas marinhas têm sido atribuídas à atividade antrópica, tais como a destruição dos habitats, a ações humanas em áreas de nidificação e alimentação, pesca predatória, poluição, além de outras práticas não sustentáveis (Hamann *et al.*, 2010; Bandioli, 2005; Wyneken *et al.* 1988).

Esses grandes vertebrados marinhos caracterizam-se por possuírem vida longa e respiração aérea (Aguirre e Lutz, 2004), dispondo de uma notória capacidade de permanência embaixo d'água seja em repouso ou forrageando. O que é viável em função da distribuição eficiente de oxigênio pelo corpo, baixo metabolismo e auxílio de respiração acessória devido à troca de gasosa por órgãos como cloaca e faringe (Lutz e Lutcavage, 1997).

As tartarugas marinhas são espécies indicadas como sentinelas da saúde ambiental (Eckert *et al.*, 2000), pois quando acometidas à fibropapilomatose sinalizam

um desequilíbrio no ambiente marinho em suas áreas de ocorrência (Fonseca *et al.*, 2015). Nesse sentido, dentre as inúmeras recomendações para se compreender as ameaças a esses organismos, destacam-se: avaliar os efeitos de fatores antropogênicos nos habitats das tartarugas marinhas, bem como o impacto da poluição sobre as tartarugas marinhas e seus habitats (Hamann *et al.*, 2010).

1.2. Caracterização da espécie *Chelonia mydas*

Popularmente conhecida como tartaruga-verde ou tartaruga-aruanã em alguns locais do Brasil, esses répteis pertencentes à Ordem Testudines e à Família Cheloniidae (de Pádua Almeida, 2011), caracterizam-se pela presença de quatro placas laterais posicionadas justapostas, sua coloração é “verde-acinzentada”, os filhotes da espécie possuem o dorso negro e o ventre branco. A cabeça possui um par de placas pré-frontais e quatro pares de escudos pós-orbitais (TAMAR, 2013; Márquez, 1990).

Os recém-nascidos desse táxon pesam cerca de 20 g e medem aproximadamente 5 cm de comprimento. Quando adultas chegam a alcançar 230 kg de peso e até 150 cm de comprimento curvilíneo da carapaça (CCC), sendo conseqüentemente, a maior espécie dentre as tartarugas que possuem carapaça óssea (Pritchard e Mortimer, 2000). Estima-se que os indivíduos adultos que frequentam a zona costeira do Brasil possuam em média 116 cm de CCC (Grossman, 2001; Moreira, 2003).

Além disso, de acordo com o CCC, é possível fazer uma estimativa da faixa etária em que se encontram, sendo considerados adultos os indivíduos a partir de 90 cm (Moreira, 2003).

Em seus primeiros anos de vida – também conhecidos como “anos perdidos” – as tartarugas-verde habitam a zona pelágica e possuem uma dieta onívora com tendência à carnivoría (Hirth, 1997). Posteriormente, deslocam-se para a zona nerítica (águas próximas à costa) onde passam a maior parte de suas vidas, adotam dieta exclusivamente herbívora, alimentando-se principalmente de algas bentônicas e plantas marinhas, permanecendo nesses habitats até atingirem idade de maturação sexual (entre 26 e 40 anos) e partem em retorno para as áreas onde nasceram, e

apenas as fêmeas vão à praia para realizar a desova (Carr *et al.*, 1978; Balazs, 1980; Bjorndal, 1997; de Pádua Almeida *et al.*, 2011).

A distribuição geográfica dessa espécie é definida por alguns autores como circunglobal (Hirth, 1997), e por alguns outros como cosmopolita (Meylan e Meylan, 1999), ocorrendo desde os trópicos até as zonas temperadas (Figura 1). Apresenta hábitos de forrageamento mais costeiros em relação às demais espécies, podendo deslocar-se também para ambientes como estuários de rios e lagos (Hirth, 1997).

Luschi (1998) e colaboradores, descreveram que esses organismos viajam milhares de quilômetros em suas migrações, o que leva algumas populações de tartarugas-verde desde suas praias de desova em Ascension, pequena ilha no meio do Oceano Atlântico Sul, até locais de alimentação na costa do Brasil, a cerca de 2.000 Km de distância (Luschi *et al.*, 1998).

O evento migratório das áreas de reprodução/nidificação para as de alimentação e crescimento envolve praticamente todo o litoral brasileiro (Bowen *et al.*, 1992). Possuindo grandes colônias reprodutivas nas ilhas oceânicas do Atol das Rocas (RN) e Trindade (ES) e, em menor densidade, no arquipélago de Fernando de Noronha (PE) (de Pádua Almeida *et al.*, 2011; Marcovaldi e Marcovaldi, 1987).

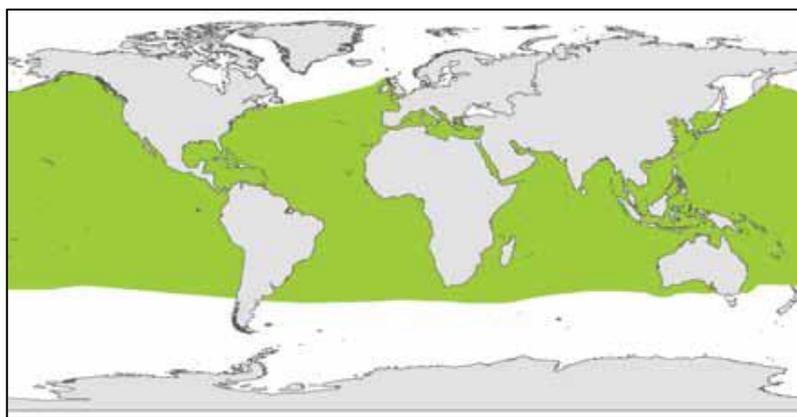


Figura 1: Distribuição geográfica da espécie *Chelonia mydas* destacada na cor verde. Fonte: PAN tartarugas marinhas.

As tartarugas-verde estão atualmente, como já citado anteriormente, classificadas como ameaçadas de extinção de acordo com a Lista Vermelha de Espécies Ameaçadas da IUCN, e pela Lista das Espécies da Fauna Brasileira Ameaçadas de Extinção, como "Vulnerável" (IUCN, 2019; MMA, 2014). Ameaças indiretas agravam ainda mais a situação destes animais, como a perda de habitats

costeiro e marinho, causada sobretudo pela poluição e degradação ambiental (Derraik, 2002).

Seu ciclo de vida longo e complexo somado às intensas migrações permitem a esses répteis ocuparem uma enorme variedade de ambientes, aumentando assim as possibilidades de terem contato com perturbações antropogênicas, em contrapartida os mesmos apresentam estruturas e comportamentos sensíveis às alterações ambientais que podem gerar graves consequências à manutenção de suas populações (Marcovaldi *et al.*, 2006; Formia, 2002). Nesse sentido, faz-se necessário compreender como esses animais interagem com determinados tipos de contaminantes presentes no ambiente marinho.

1.3. Elementos traço no ambiente marinho

Atividades naturais como o intemperismo e a lixiviação e atividades antropogênicas principalmente relacionadas à exploração de recursos minerais, agricultura e despejos industriais, são capazes de expor os ecossistemas marinhos a elevadas concentrações de contaminantes tóxicos (Storelli, 2005; Demirak *et al.*, 2006). Isso, sem mencionar o transporte via atmosfera e através de correntes marítimas, podendo alcançar longas distâncias (Baird, 2002).

Dito isso, Lacerda e colaboradores (2008) ponderam que as contaminações por elementos não ocorrem apenas a nível local e regional, sendo capaz de afetar os ecossistemas em uma escala global (Lacerda e Malm, 2008).

Os elementos traço, no que diz respeito aos organismos vivos, podem ser classificados como essenciais à vida atuando como micronutrientes, tais como: cobalto (Co), ferro (Fe), zinco (Zn), cobre (Cu), manganês (Mn), selênio (Se), estes quando ocorrem em elevadas concentrações podem acarretar efeitos fisiológicos prejudiciais. Já os não essenciais podem ser capazes de serem nocivos mesmo em baixas concentração, como é o caso do alumínio (Al), arsênio (As), bário (Ba), cádmio (Cd), chumbo (Pb) mercúrio (Hg) e titânio (Ti) (Kehrig, 2009).

Alguns trabalhos já têm demonstrado o efeito potencial dos poluentes marinhos sobre as tartarugas marinhas que frequentam a costa brasileira (Bugoni, 2001), em especial os resíduos sólidos (Mascarenhas, 2004), pesticidas organoclorados

(Sánchez-Sarmiento, 2017) e, por último e tema do presente estudo: os metais pesados (da Silva *et al.*, 2016).

Esses compostos apresentam-se em diferentes níveis de abundância e toxicidade no ambiente marinho, tendendo a se acumularem e dependendo de sua forma química se tornarem biodisponíveis e assimiláveis, dependendo de alguns fatores físico-químicos intrínsecos à espécie química do elemento em questão poderão bioacumular nos tecidos dos organismos marinhos (Francis, 1994; Kennish, 1997; Bernadi, 2008).

Levando em consideração que esses elementos não se decompõem e podem permanecer durante muito tempo no ecossistema marinho, de forma que acabam interagindo com os organismos vivos, podem bioacumular em seus tecidos e órgãos (Marques Jr *et al.*, 2002).

Os processos fisiológicos associados à bioacumulação (absorção, biotransformação, armazenamento e excreção – essenciais para a manutenção da homeostase), referem-se ao aumento na concentração de determinado elemento/composto químico em um organismo quando comparada à sua concentração no meio ambiente. Ocorre basicamente quando os processos de ingestão e/ou armazenamento do agente químico ocorre de forma mais rápida que os processos de biotransformação e/ou excreção pelo organismo (BERNARDI *et al.*, 2008; GUARATINI *et al.*, 2008).

Alguns metais, como Zn ou Cu, são constituintes de enzimas e hemocianinas, indispensáveis para o bom funcionamento de algumas funções metabólicas. Outros metais, como Cd, Ni, Hg ou Pb, provocam efeitos adversos, como distúrbios comportamentais e endócrinos, e altos níveis podem ser letais. O Se, por exemplo, tem função crucial no auxílio da remoção de metais como o Hg e Cd do sistema (Jakimska, 2011).

Alguns autores já citam os possíveis impactos da bioacumulação de alguns elementos traço em répteis, como é o caso das tartarugas-verde. O As pode aumentar o risco de câncer do pulmão, pele, fígado, rins e bexiga urinária; está relacionado também à redução dos níveis de Se. O Ni é capaz de causar mortalidade, retardo na taxa de crescimento do animal e, além disso sua toxicidade é aumentada na presença de Cu. O Cd pode afetar negativamente o DNA, RNA, a síntese de ribossomos e processos enzimáticos. O Hg pode comprometer os sistemas nervoso e endócrino. O

Pb, quando em concentrações elevadas, tem potencial de causar distúrbios comportamentais, afetando a sobrevivência dos organismos (Goodley *et al.*, 1999; Hughes, 2002; Hyland, 2006; Jakimska, 2011; Flora *et al.*, 2012).

Nesse sentido, estudar a dinâmica da interação entre esses compostos e as tartarugas marinhas, através de projetos de monitoramento, faz-se de suma importância pois pode auxiliar na elaboração de estratégias de conservação de populações ameaçadas de extinção, como é o caso da referida espécie.

De forma geral, o objetivo de qualquer do plano de conservação para as tartarugas marinhas é promover a sobrevivência das populações a longo prazo, incluindo a recuperação de populações em declínio e a proteção de habitats ameaçados, procurando integrar estes objetivos com o bem-estar e necessidades das comunidades com as quais esses animais interagem (Eckert *et al.*, 2000).

No que tange à legislação brasileira, foi elaborado o Plano de Ação Nacional para Conservação das Tartarugas Marinhas (MMA/ICMBio nº 288), no qual uma das diretrizes propostas são a identificação e redução dos impactos provocados a esses organismos pela poluição, o qual possui vigência até 2022 (Marcovaldi *et al.*, 2011; MMA, 2017).

Dito isso, torna-se evidente a necessidade de estudos envolvendo o ciclo biogeoquímico dos metais pesados, seus potenciais de bioacumulação, níveis de toxicidade e suas interações nos processos bioquímicos/fisiológicos para determinar os possíveis impactos sobre as tartarugas marinhas. Até o presente momento, poucos trabalhos com essa abordagem na referida espécie foram realizados na costa brasileira (Barbieri, 2009; Silva, 2011; Silva, 2014; Macêdo, 2015; Prioste, 2016), salientando que este é o primeiro executado nessa região.

2. OBJETIVO

Determinar a concentração de quinze elementos químicos de importância toxicológica para organismos marinhos: alumínio (Al), arsênio (As), bário (Ba), cádmio (Cd), cobre (Cu), cromo (Cr), ferro (Fe), mercúrio (Hg), manganês (Mn), níquel (Ni), chumbo (Pb), selênio (Se), titânio (Ti), vanádio (V) e zinco (Zn) em tecido hepático de tartarugas-verde (*Chelonia mydas*), oriundo de indivíduos encalhados na zona costeira entre os municípios de Conceição da Barra (ES) e Saquarema (RJ).

2.1. Objetivos específicos

- Verificar a existência de diferença estatísticas significativas na concentração de elementos químicos inorgânicos entre machos e fêmeas.
- Averiguar correlação entre as concentrações de elementos traço e o parâmetro biométrico (CCC) das tartarugas-verde.
- Comparar os resultados obtidos com outros trabalhos já realizados em outras partes do mundo, visando verificar os níveis de contaminação dos organismos do presente estudo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Amostragem

O presente trabalho foi realizado através do Projeto de Monitoramento de Praias Bacia de Campos – Espírito Santo (PMP – BC/ES), o qual é realizado desde 2010 e compreende os municípios de Conceição da Barra (ES) a Saquarema (RJ), onde fica localizada uma das bases de triagem animal, que recebe ocorrências de toda a Região do Lagos (RJ), totalizando 763 km de extensão (Figura 2). Atualmente, a instituição executora é a empresa de consultoria CTA - SERVIÇOS EM MEIO AMBIENTE (CTA).

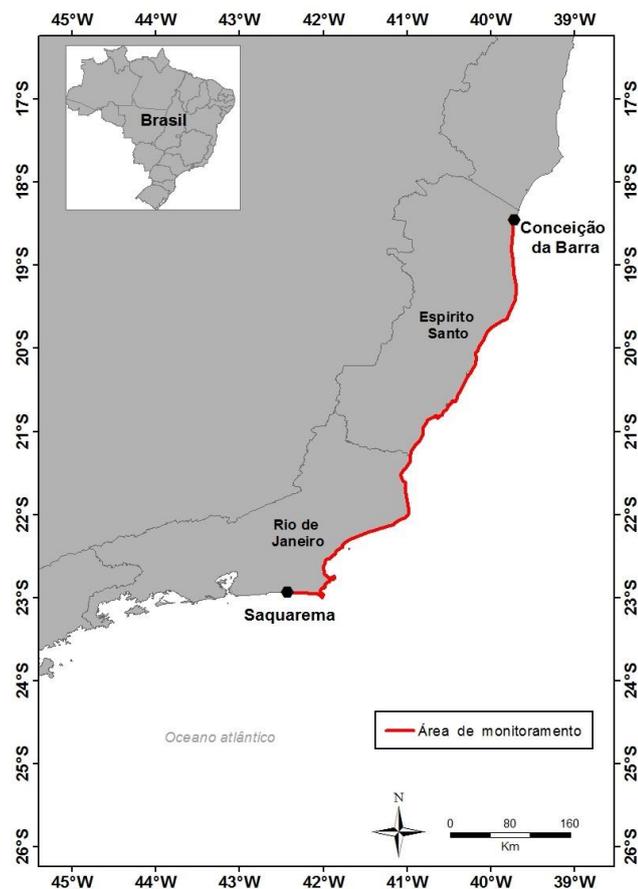


Figura 2: O tracejado em vermelho compreende ao trecho de monitoramento realizado pela empresa CTA.

Durante o monitoramento, os animais vivos encontrados pelas equipes de campo são avaliados para verificar se precisam de atendimento veterinário. Caso seja preciso, são então encaminhados a um dos centros de reabilitação. Nos animais mortos, é realizada necropsia para identificar a causa da morte e avaliar se houve interação com atividades humanas tais como pesca, embarcações e óleo.



Figura 3: A – Fêmea adulta de tartaruga-verde encalhada na praia do Forno em Armação dos Búzios (RJ). B – Biometria, sexagem e marcação da localização. Fonte: SIMBA (Id. do indivíduo: 76505)

Após o avistamento do indivíduo em situação de encalhe, são tomadas medidas biométricas, feitas a sexagem e marcação da localização, além de outros procedimentos padrões (Figura 3). Em seguida, são transportados até a base de triagem animal do CTA mais próxima onde são realizadas a necrópsia e seleção das amostras biológicas, as de tecido hepático foram encaminhadas ao Laboratório de Ciências Ambientais – LCA, da Universidade Estadual do Norte Fluminense para análise (Figura 4).

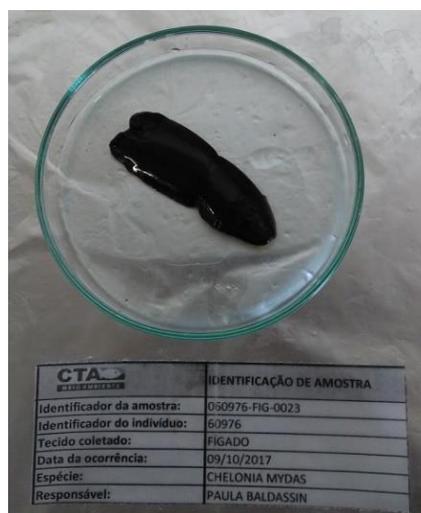


Figura 4: Fragmento de tecido hepático amostrado.

Foram coletadas amostras teciduais de 123 indivíduos de *C. mydas* encontrados encalhados ao longo da faixa litorânea monitorada, entre o período de outubro de 2017 a agosto de 2018.

3.1.1. Coleta dos dados

Os dados referentes à biometria, sexo, local de encalhe e estado de decomposição da carcaça foram obtidos através da plataforma SIMBA - Sistema de Informação e Monitoramento da Biota Aquática, cujo acesso é público, através de um código de identificação individual de cada amostra.

Dos 123 indivíduos amostrados e que tiveram a sua concentração de elementos traço determinadas, em apenas 81 foi possível definir o gênero; em outras ocasiões não foi possível fazer a identificação visual devido ao estado de

decomposição da carcaça, e em algumas vezes estes dados não estavam disponíveis no SIMBA. Desta forma, para calcular as correlações entre os parâmetros biológicos e o gênero com as concentrações de elementos traço, só as amostras com esta informações puderam ser utilizadas. Por esta razão o número amostral em algumas tabelas será diferente do “N” total analisado. O mesmo ocorreu com a determinação de mercúrio (Hg), pois nem sempre havia massa de amostra suficiente para fazer as duas extrações, então nestes casos foi dada a prioridade para a extração dos outros metais em detrimento das extrações de Hg.

3.2. Procedimento Analítico

3.2.1. Análise de elementos traço

Para determinação das concentrações de Al, As, Ba, Cd, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb, Se, V e Zn presentes no fígado de *C. mydas*, após a dissecação dos espécimes e a separação do tecido a ser analisado (Figura 3), alíquotas de 1,5 g de tecido hepático, em duplicata biológica, foram submetidas à extração ácida segundo a seguinte metodologia:

- i) 1,5 g de tecido úmido colocados em tubos de ensaio;
- ii) 1,5 mL de H₂O₂ concentrado;
- iii) 10 mL de HNO₃ concentrado;
- iv) Deixar solubilizando durante 24 horas;
- v) Transferir os tubos para bloco digestor a 60 °C até completa solubilização;
- vi) Filtrar das amostras;
- vii) Aferir do volume final para 25 mL em HNO₃ 0,5 %;
- viii) Foram analisados Brancos a fim de verificar possíveis contaminações;
- ix) Análisar em ICP-OES com acessório gerador vapor frio (modelo: Varian Liberty Series II);

3.2.2. Análise de Hg

Para determinação das concentrações de mercúrio total presente no fígado de *C. mydas* para o presente trabalho, as amostras foram secas em liofilizador e posteriormente maceradas em gral de porcelana. Alíquotas de 0,5 g foram submetidas à extração ácida segundo a metodologia descrita por Bastos *et al.* (1998), que seguiu o seguinte protocolo:

- i) 0,5g de tecido;
- ii) 1,0 mL de H₂O₂ concentrado;
- iii) 3,0 mL de H₂SO₄ : HNO₃ (1:1);
- iv) Solubilização em bloco digestor a 60 °C (por aproximadamente 4 horas);
- v) 5,0 mL de KMnO₄ 5%;
- vi) Solubilização em bloco digestor a 60 °C (por aproximadamente 30 minutos);
- vii) Adição de NH₄OCl 12 % até um volume final de 10 mL;
- viii) Filtração das amostras;
- ix) Aferição do volume final para 25 mL;
- x) Foram analisados brancos a fim de verificar possíveis contaminações;
- xi) Análise em ICP-AES com acessório gerador vapor frio (VGA);

Nessa etapa do experimento foram analisadas 91 amostras, e realizadas triplicata a cada dez, devido à escassez. Testes de precisão e de acuracidade foram realizados através da determinação de mercúrio em amostra padrão de referência de peixe – DORM 4 (tecido muscular de *Squalus acanthias*) fornecida pela Marine Analytical Chemistry Standarts Programs, Canadá.

3.3. Limite de Detecção do Espectrofotômetro

O valor mínimo de detecção para os elementos avaliados neste estudo é apresentado na tabela abaixo:

Tabela 1: Limite de detecção de todos os elementos traço analisados no ICP- AOS.

Elemento	Limite de detecção (µg.g ⁻¹)
Al	<0,007
As	<0,009

Ba	<0,003
Cd	<0,001
Cr	<0,004
Cu	<0,004
Fe	<0,007
Hg*	<0,02
Mn	<0,003
Ni	<0,004
Pb	<0,004
Se	<0,013
Ti	<0,003
V	<0,004
Zn	<0,003

*Determinado no ICP-AES.

3.4. Análise estatística

Foram feitas análises de estatística descritiva compreendendo a concentração mínima, máxima, média e desvio padrão para cada elemento.

Com intuito de verificar se existe diferença significativa entre as concentrações médias de machos e fêmeas, foi realizado primeiramente teste de Shapiro-Wilk para verificar a normalidade da distribuição amostral com nível de significância ($p < 0,05$). Em caso de uma distribuição normal procedeu-se com o Teste T de Student; para distribuição não normal, realizou-se Teste de Wilcoxon.

Para verificar a bioacumulação dos elementos químicos, foram utilizados o tamanho dos animais (CCC) e verificada a correlação com a concentração dos quatorze elementos químicos, através do coeficiente de correlação de Pearson.

Cabe ressaltar que todas as análises foram feitas com auxílio do *software* R-Studio (versão 1.2.1335).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Concentração de elementos traço em fêmeas e machos

Após dez meses de amostragem, foram coletados tecidos hepáticos de 69 fêmeas e 12 machos, totalizando 81 indivíduos. Dentre os quais foram encontrados em diferentes estados de decomposição de suas carcaças, sendo 58 Cod2, 7 Cod3,

2 Cod4; outros 17 indivíduos foram encontrados vivos durante o monitoramento e encaminhados para a reabilitação, mas morreram no centro de triagem.

As características do estado de conservação da carcaça são definidas por Geracy e Lounsbury (2005) como:

Cod1 – animal vivo;

Cod2 – carcaça em boas condições, aparência normal e fresca. Com pouca ou nenhuma laceração causada por outros animais, olhos claros, corpo não inflado e firme, sem alteração de cor, vísceras intactas e bem definidas;

Cod3 – decomposição moderada, mas órgãos basicamente intactos. Carcaça intacta podendo estar um pouco inchada e proeminente, podendo apresentar ausência de pele em algumas regiões. Pode apresentar sinais de predação por animais necrófagos interna e/ou externamente, porém os órgãos se mantêm;

Cod4 – decomposição avançada. A carcaça pode estar intacta ou não, a epiderme pode estar totalmente ausente, muitas lacerações causadas por animais necrófagos, forte odor, músculo sem consistência e frágil podendo ser facilmente despreendido de ossos, vísceras ausentes ou identificáveis, porém com coloração e aspecto de autólise intensa, cérebro negro avermelhado;

Cod5 – carcaça mumificada ou parte do esqueleto. Carcaça ou pele quando presentes poderiam estar cobrindo o esqueleto remanescente, embora alguns poucos tecidos estejam presentes estes não são identificáveis (Geracy e Lounsbury, 2005);

O CCC médio das fêmeas foi 39,1 cm e variou entre 28,2 cm e 122,1 cm – sendo essa última o único indivíduo adulto da amostragem. Já os machos apresentaram CCC médio 35,7 cm, variando entre 29,0 cm e 51,1 cm – todos em estágio juvenil de desenvolvimento.

Os elementos traço apresentaram-se, em ordem decrescente, de concentração média da seguinte forma: Fe > Cu > Zn > Al > Cd > As > Se > Mn > Hg > V > Pb > Ni > Ba > Cr nas fêmeas; Fe > Cu > Zn > Al > Cd > Se > Mn > As > Hg > V > Pb > Ba > Ni > Cr nos machos (Tabela 2). Nota-se que a ordem foi bastante parecida para ambos os sexos.

O Cu e Zn apresentaram, respectivamente, as segunda e terceira maiores concentrações no fígado das tartarugas. Alguns autores, como Jakimiska (2011),

sugerem que esses metais estejam associados à síntese de metaloproteínas visando a proteção contra os efeitos tóxicos dos elementos não essenciais, além disso, são considerados indispensáveis para o bom funcionamento das atividades metabólicas (Jakimiska *et al.*, 2011).

Tabela 2: Concentração mínima, máxima média e desvio padrão dados em ($\mu\text{g.g}^{-1}$) de cada elemento analisado.

<i>Chelonia mydas</i>						
Fêmeas				Machos		
Elementos	N	Mín. – Máx.	Média	N	Mín. – Máx.	Média
Al	69	0,99 – 16,66	5,45 ± 3,04	12	2,13 – 14,35	5,45 ± 3,50
As	56	0,38 – 16,19	2,46 ± 2,45	11	0,33 – 6,79	1,89 ± 1,86
Ba	39	0,05 – 0,67	0,21 ± 0,15	5	0,51 – 0,41	0,23 ± 0,11
Cd	69	4,14 – 5,40	4,66 ± 0,27	12	4,31 – 5,38	4,69 ± 0,25
Cr	14	0,08 – 0,82	0,204 ± 0,201	3	0,08 – 0,27	0,18 ± 0,10
Cu	69	1,31 – 78,59	28,14 ± 18,41	12	3,56 – 78,05	36,80 ± 20,32
Fe	69	55,56 – 2847,48	775,70 ± 556,63	12	58,69 – 2785,92	1139,19 ± 908,66
Hg	54	0,02 – 3,41	1,08 ± 0,91	7	0,06 – 2,74	1,10 ± 1,00
Mn	69	0,63 – 3,40	1,95 ± 0,65	12	1,11 – 3,52	1,95 ± 0,61
Ni	13	0,90 – 1,39	0,34 ± 0,40	2	0,16 – 0,25	0,20 ± 0,06
Pb	24	0,17 – 0,74	0,36 ± 0,15	5	0,16 – 0,74	0,46 ± 0,23
Se	56	0,69 – 4,98	2,25 ± 0,93	6	1,62 – 4,18	2,94 ± 0,94
V	48	0,08 – 3,88	0,62 ± 0,71	8	0,10 – 1,89	0,72 ± 0,64
Zn	69	0,09 – 74,17	24,92 ± 11,11	12	12,58 – 33,54	21,87 ± 6,22

Obs¹: N = número de indivíduos em que foram encontradas concentrações acima do limite de detecção.

Obs²: Ti foi encontrado abaixo do limite de detecção (Tabela1).

Estudos envolvendo o monitoramento de elementos traço em tecido hepático de tartarugas-verde são realizados em diversas partes do mundo como a costa do Japão (Sakai *et al.*, 2000; Anan *et al.*, 2001), no Mediterrâneo (Godley, 1999; Andreani *et al.*, 2008; Storelli *et al.*, 2008), no México (Gardner *et al.*, 2006; Talavera-Saenz *et al.*, 2007). Isso, sem mencionar a costa brasileira (Barbieri, 2009; da Silva *et al.*, 2014; Bezerra *et al.*, 2014; Macêdo *et al.*, 2015).

Anan (2001) verificou, para a mesma matriz analítica, concentrações mais elevadas de Ba, Cd, Cr, Cu, Mn, Se e Zn para ambos os sexos. O Hg (F = 0,58 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ e M = 0,51 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) apresentou concentrações 1,8 (F = 1,08 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) e 2,1 (M = 1,10 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) vezes menor em relação a este estudo; em Pb e V foram observadas concentrações equivalentes.

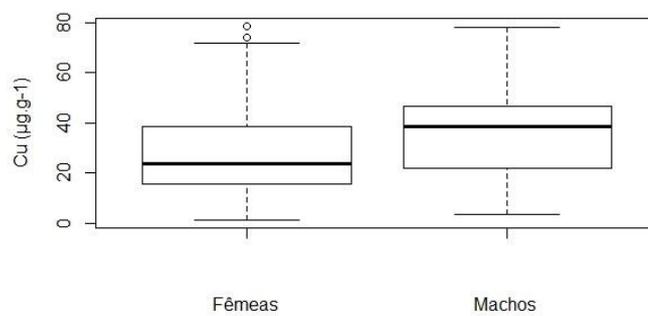
Um estudo recente, realizado na Bahia observou concentrações elevadas de As, Cd, Mn, Ni, Pb e Zn em macroalgas coletadas na Baía de Todos os Santos (Britto *et al.*, 2012). Noutro estudo, realizado no Ceará, as concentrações de Cd, Cr, Ni e V encontradas em 30 espécies de macroalgas foram consideradas elevadas quando comparadas aos limites de consumo humano permissível pela legislação brasileira (de Oliveira *et al.*, 2009). Elevados níveis de Fe foram relatados por Ferreira *et al.* (2012) em 11 espécies de macroalgas coletadas em Fernando de Noronha (Ferreira *et al.*, 2012). Podendo, dessa forma, contribuir para bioacumulação desses elementos em toda a biota que as consumir.

A partir dos 25 a 35 cm de CCC as tartarugas-verde passam a adotar uma alimentação herbívora – com preferências por algas e gramíneas marinhas (Bjorndal, 1997). A partir dessa informação, supõe-se que indivíduos dessa amostragem já possuíam os hábitos alimentares anteriormente citados ou estavam na transição para o mesmo, o que poderia explicar as concentrações relativamente elevadas encontradas no tecido hepático de *C. mydas*. Uma vez que, Anan *et al.* (2001) sugerem que a dieta seja a principal fonte de acumulação de elementos traço em tartarugas marinhas (Anan *et al.*, 2001).

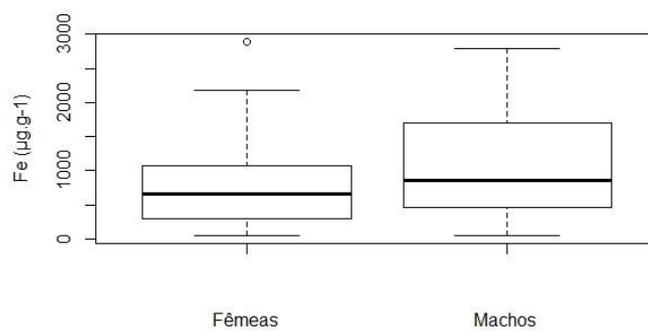
Após as análises estatísticas, através dos Testes T e Wilcoxon ($p < 0,05$), foi observado que não existe diferença significativa entre machos e fêmeas para nenhum dos elementos traço em questão, o que pode ser explicado pelo fato de os indivíduos estudados estarem no mesmo estágio de desenvolvimento e frequentando áreas de

alimentação relativamente próximas, que não implicaria diferenças metabólicas/fisiológicas muito grandes (Anexo I).

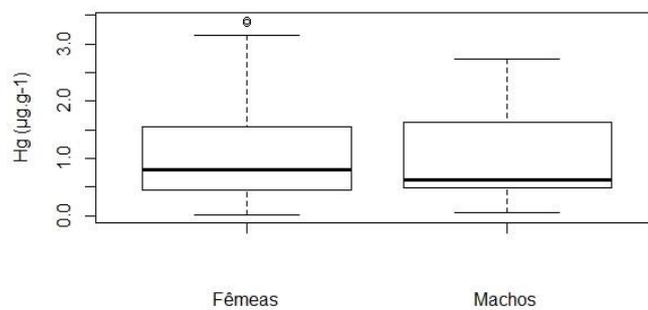
A



B



C



D

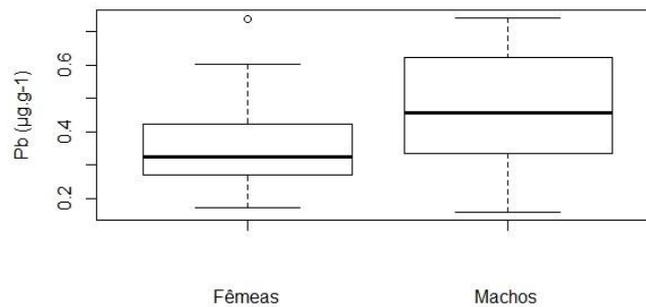


Figura 5: Boxplots das variáveis do sexo para alguns elementos traço essenciais e não essenciais.

Da Silva e colaboradores (2014), também verificaram que não havia diferença significativa entre machos e fêmeas de tartarugas-verde coletadas na costa sul do Brasil (RS) (da Silva *et al.*, 2014).

A ausência de diferença significativa entre os sexos observada no presente estudo já era esperada. Levando em consideração o fato de que alterações nas taxas de absorção, excreção e acumulação dos metais presentes no ambiente marinho são geralmente associadas à maturidade e reprodução (Storelli *et al.*, 1998; Godley *et al.*, 1999).

4.2. Bioacumulação e relações biométricas

Em totalidade, foram analisados 123 organismos – número discrepante em relação aos dados apresentados quando separados em machos e fêmeas em função de algumas vezes não ter sido possível realizar a sexagem devido ao estado de decomposição da carcaça ou indisponibilidades desses dados no SIMBA. Os indivíduos, todos na fase juvenil de desenvolvimento, apresentaram 37,9 cm de CCC médio – variando entre 28,2 cm e 75,0 cm.

Os elementos traço apresentaram-se, em ordem decrescente, de concentração média da seguinte forma: Fe > Cu > Zn > Al > Cd > Se > As > Mn > Hg > V > Pb > Ni > Ba > Cr (Tabela 3).

Tabela 3: Concentração de elementos traço nos indivíduos amostrados.

<i>Chelonia mydas</i>		
Elementos	N	Média
Al	123	5,12 ± 2,89
As	99	2,16 ± 2,03
Ba	69	0,21 ± 0,14
Cd	123	4,66 ± 0,28
Cr	21	0,20 ± 0,18
Cu	123	28,60 ± 18,23
Fe	123	795,09 ± 617,24
Hg	91	1,11 ± 0,79
Mn	123	1,95 ± 0,61
Ni	24	0,28 ± 0,29
Pb	34	0,35 ± 0,15
Se	89	2,39 ± 1,01
Ti	-	ND
V	88	0,54 ± 0,59
Zn	123	23,58 ± 9,51

N = número de indivíduos em que foram encontradas concentrações acima do limite de detecção.
ND = Não Detectado.

A variação observada na bioacumulação pode estar relacionada com o crescimento das tartarugas-verde, em resultado de sua mudança de hábitos alimentares. Como mencionado anteriormente, durante o estágio pelágico, é provável que as tartarugas-verdes juvenis se alimentem de zooplâncton gelatinoso – como por exemplo águas-vivas, tunicados e pólipos de coral, já durante a fase costeira, alimentam-se exclusivamente de gramíneas marinhas e algas (Sakai *et al.*, 2000^[2]; da Silva, 2016).

Além disso, é importante ressaltar que a exposição das tartarugas marinhas à poluição pode variar de acordo com o nível de contaminação encontrado nos locais de forrageamento e no tempo gasto por elas nessas áreas (de Macêdo *et al.*, 2015) (Tabela 4).

Os efeitos da poluição marinha sobre a sobrevivência e saúde das tartarugas marinhas ainda não estão bem fundamentados. Estudos que relacionam sua mortalidade com a poluição marinha são geralmente restritos à ingestão de resíduos sólidos (Bugoni *et al.*, 2001).

O Al apresentou-se em concentrações relativamente elevadas nos indivíduos amostrados. De acordo com de Macêdo *et al.* (2015), esses resultados podem ser explicados por características intrínsecas à própria espécie, baseadas em hábitos alimentares ou até mesmo em suas propriedades metabólicas. Sugerindo que dados mais específicos sobre a concentração de Al em algas e esponjas encontradas ao longo da costa brasileira, poderiam contribuir para a correta interpretação desses resultados (de Macêdo *et al.*, 2015).

Os níveis de As foram inferiores quando comparados aos estudos realizados na costa China (Lam *et al.*, 2004) e na brasileira (Macêdo *et al.*, 2015). Compostos arsenais são tóxicos, e ocorrem frequentemente em concentrações relativamente altas na biota aquática (Saeki *et al.*, 2000).

O Ba e Cr encontraram-se em concentrações equivalentes a esse estudo tanto na costa japonesa (Anan *et al.*, 2001), quanto na chinesa (Lam *et al.*, 2004).

Talavera-Saenz e colaboradores (2007) analisaram as concentrações de elementos traço em tecidos e nas algas encontradas no trato digestivo de tartarugas-verde encalhadas na costa do México, e sugerem que o fígado reflete de forma mais clara concentração de Cd nos alimentos e, dessa forma, podem fornecer uma indicação melhor de uma exposição ambiental recente (Talavera-Saenz *et al.*, 2007). Cabe ressaltar que o presente estudo encontrou concentração média 3,3 vezes menor em relação ao anteriormente citado.

Sakai e colaboradores (2000) observaram elevadas concentrações de Cu em fígado de tartarugas-verde amostrados de animais que frequentavam a costa de Japão ($8,73 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$), sendo considerada aparentemente maior do que as já relatadas outros organismos marinhos, como cetáceos e aves, indicando que as tartarugas têm características específicas para acumular Cu no fígado (Sakai *et al.*, 2000). No presente estudo foi verificada uma concentração média 3,3 vezes maior, sendo a segunda maior observada.

Tabela 4: Concentração ($\mu\text{g.g}^{-1}$) de elementos traço em tecido hepático de tartarugas-verde em diferentes regiões do mundo.

Referência	Local	Al	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	Se	Ti	V	Zn
Presente estudo	Brasil	5,99	2,16	0,21	4,66	0,23	28,44	872,8	1,10	1,94	0,27	0,41	2,39	ND	0,71	23,55
Sakai <i>et al.</i> , 2000	Japão	NA	NA	NA	3,90	NA	8,73	126	0,30	1,86	0,05	0,12	NA	NA	NA	59,5
Sakai <i>et al.</i> , 2000 ^[2]	Japão	NA	NA	NA	5,58	NA	50,2	461	NA	1,86	0,06	ND	NA	NA	NA	30,3
Anan <i>et al.</i> , 2001	Japão	NA	NA	0,7	18	2,2	139	NA	0,4	4,7	NA	0,5	5,2	NA	0,9	87
Lam <i>et al.</i> , 2004	China	NA	4,65	0,09	1,09	ND	133,0	NA	0,78	16,27	0,27	0,15	25,65	NA	0,57	128,9
Gardner <i>et al.</i> , 2006	México	NA	NA	NA	3,30	NA	60,04	14,4	NA	NA	0,01	ND	NA	NA	NA	62,91
Al-Rawahy <i>et al.</i> , 2007	Omã	NA	NA	NA	0,21	0,25	2,21	NA	0,22	1,54	0,09	0,27	0,22	NA	0,36	23,15
Talavera-Saenz <i>et al.</i> , 2007	México	NA	NA	NA	16,92	NA	76,52	350	NA	0,24	ND	ND	NA	NA	NA	90,95
Andreani <i>et al.</i> , 2008	Costa Rica	NA	NA	NA	10,6	NA	100	2482	NA	8,92	NA	0,07	NA	NA	NA	82,5
Storelli <i>et al.</i> , 2008	Itália	NA	NA	NA	4,26	NA	32,7	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	34,5
Barbieri, 2009	Brasil	NA	NA	NA	2,50	NA	70	NA	NA	18,4	1,20	0,31	NA	NA	NA	NA
da Silva <i>et al.</i> , 2014	Brasil	NA	NA	NA	5,9	NA	100,9	NA	NA	NA	NA	4,5	NA	NA	NA	45,0
Macêdo <i>et al.</i> , 2015	Brasil	20,2	29,8	ND	18,8	0,60	36,7	4542	1,34	8,73	0,79	0,53	16,8	NA	3,22	132

NA = Não analisado; ND = Não detectado

Como já mencionado anteriormente, as tartarugas-verde deste trabalho já se encontram em fase herbívora. Alguns autores sugerem que algas marinhas possuem capacidade de acumular elementos traço em concentrações milhares de vezes maiores que a água do mar (Andreani *et al.*, 2008; Carpenè *et al.*, 1995). Uma das espécies de algas consumidas é *Thalassia testudinum* (Andreani *et al.*, 2008). Em seu trabalho, Wehlan (2004), observou concentrações relativamente elevadas de Fe, Mn e Zn; As ($1,62 \mu\text{g.g}^{-1}$) e Pb ($1,17 \mu\text{g.g}^{-1}$) na espécie de macroalga citada acima (Wehlan *et al.*, 2004) apresentaram níveis comparáveis aos observados em *Chelonia mydas* neste trabalho.

Os elementos Hg, Pb e Ni apresentaram níveis equivalentes aos já reportados em outros estudos (Tabela 4). Considerando que o Hg sofre biomagnificação, alguns autores sugerem que as tartarugas-verde estejam menos suscetíveis à contaminação por esse elemento, já que são herbívoras; valores mais elevados foram reportados para outras espécies, como a tartaruga-cabeçuda, cujos hábitos alimentares são carnívoros, sua dieta inclui moluscos e crustáceos (Storelli *et al.*, 1998; Maffucci *et al.*, 2005). Conforme Lam *et al.* (2004) o mercúrio é potencialmente tóxico para os sistemas nervoso e imunológico, portanto, seu monitorando é importante tanto para o meio ambiente quanto para a saúde animal (Lam *et al.*, 2004).

Para verificar a existência de relação entre os elementos analisados foi plotada uma Matriz de Correlação (Figura 6), onde através da diferença entre as cores é possível identificar a presença de correlação positiva (círculos azuis) ou negativa (círculos vermelhos), a intensidade da relação é representada pelo tamanho das circunferências.

Correlacionaram-se positivamente, de forma mais forte, com o alumínio: o cromo, o ferro, chumbo e vanádio; com o bário: o mercúrio; com o cromo: ferro, chumbo e vanádio. com o níquel: o zinco. Não foram observadas correlações negativas fortes (Figura 6).

Os elementos Zn e Cu correlacionaram-se positivamente, ainda que fracamente. Maffucci *et al.*, (2005) sugerem que ambos sejam regulados por processos homeostáticos, com funções essenciais em diversas vias metabólicas em pequenas concentrações. Os valores relatados no presente trabalho não parecem ser elevados o suficiente para provocar efeitos tóxicos, quando comparado a outras espécies de tartarugas marinhas (Maffucci *et al.*, 2005).

O mesmo padrão é observado entre Se (essencial) e Hg (não essencial), indicando que a concentração de ambos aumentou proporcionalmente. Alguns elementos, como o Se, aparecem em resposta à presença de metais tóxicos, formando metaloproteínas que desempenham papel importante na regulação e disponibilidade intracelular de metais. Oferecendo proteção contra o efeito tóxico de metais como o Hg (Jakimska *et al.*, 2011).

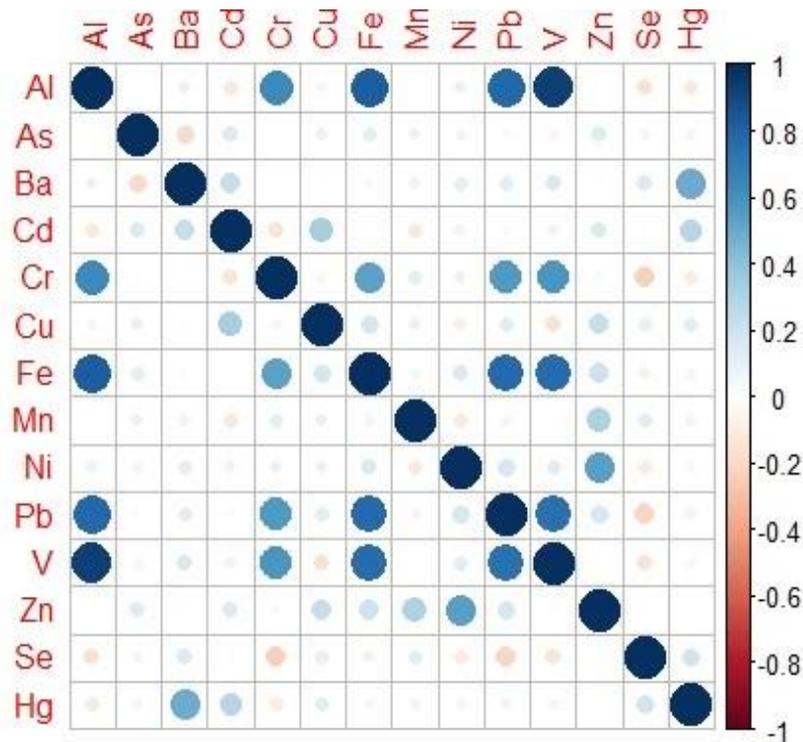


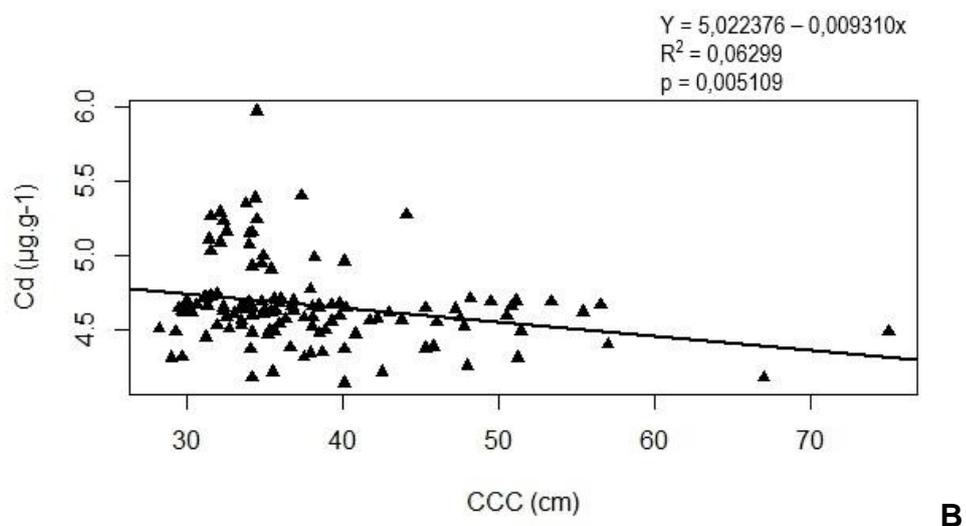
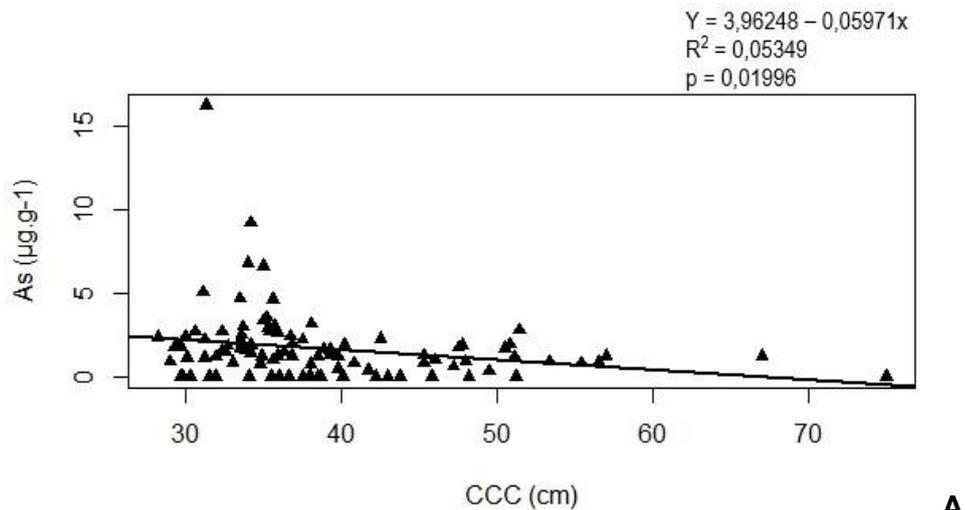
Figura 6: Matriz de Correlação dos elementos traço, círculos azuis representam correlação positiva e vermelhos negativa.

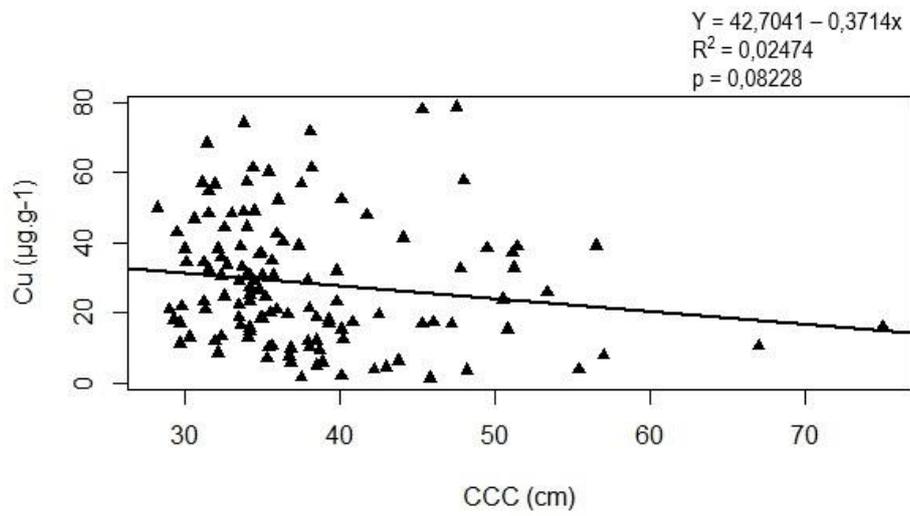
O Zn correlacionou-se positivamente com alguns elementos considerados tóxicos, mais fracamente com o As e Cd e fortemente com o Ni. A produção de metaloproteínas induzida por outros metais causa aumento da concentração de zinco intracelular ((Jakimska *et al.*, 2011).

Tendo em vista que nenhuma metodologia para determinação da idade em tartarugas marinhas é academicamente aceita (Bjorndal *et al.*, 1998), a medição do CCC para avaliar a variação das concentrações de elementos traço nos tecidos de tartarugas marinhas associadas ao crescimento e desenvolvimento é amplamente utilizada (Anexo II).

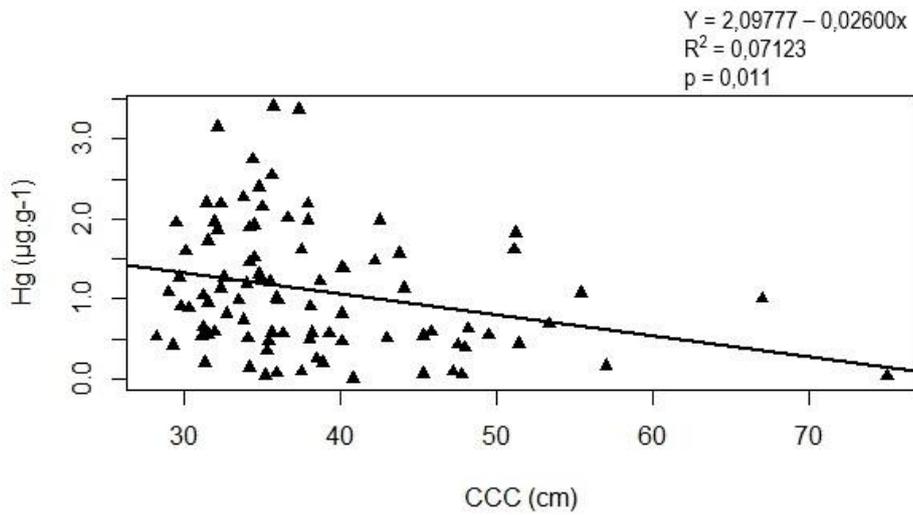
A partir do coeficiente de correlação de Pearson, foram verificadas correlações negativas com o CCC os elementos: As, Cd, Cu, Hg e Se; e positiva com o Al, Ba, Cr, Fe, Mn e Ni; salientando que os elementos Ba, Fe, Mn, Ni e Zn, sobretudo o Ba, apesar de apresentarem valores positivos, eles são muito próximos a zero, o que pode indicar ausência de correlação.

Estudos anteriores já haviam relatado correlações negativas (Cd, Cu e Hg) e ausência de correlação (Mn e Zn) entre elementos traço teciduais e o desenvolvimento corporal (CCC) de tartarugas-verde (Storelli *et al.*, 2008; Saeki *et al.*, 2000; Bezerra *et al.*, 2012).

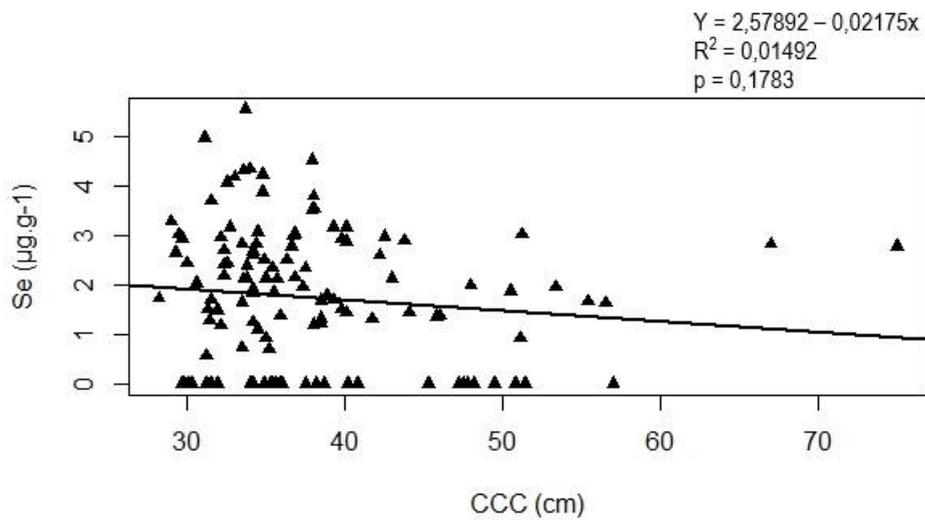




C



D

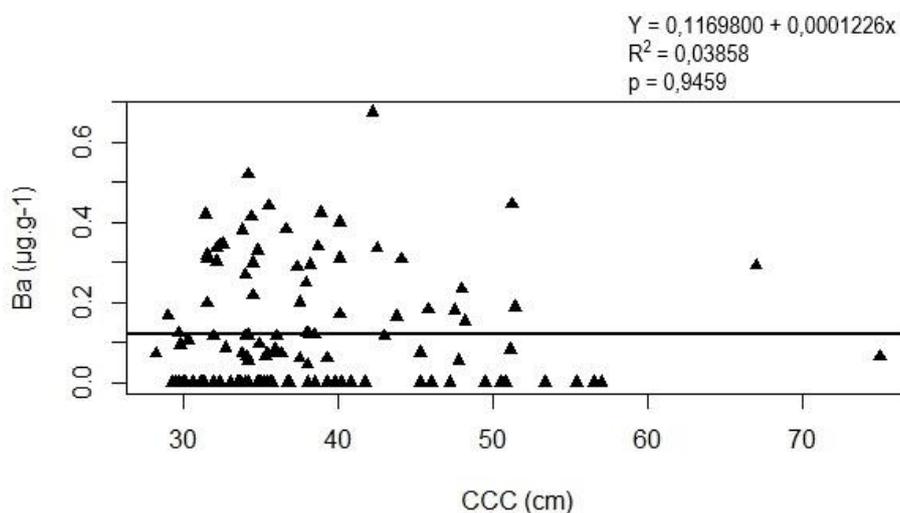
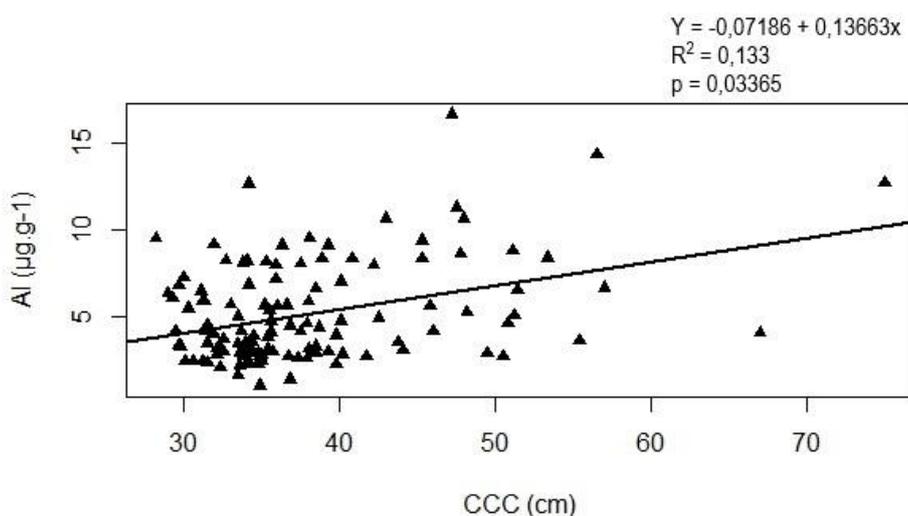


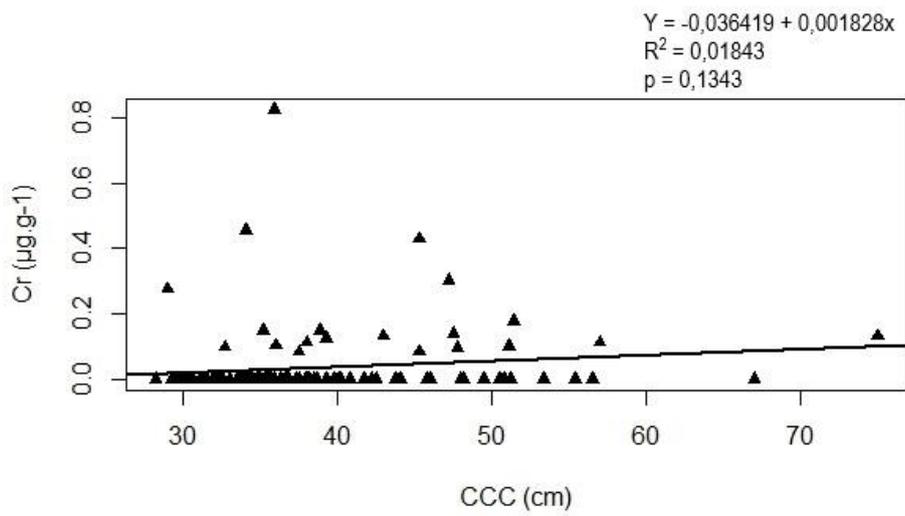
E

Figura 7: Elementos traço essenciais e não essenciais que apresentaram correlações negativas ($p < 0,05$).

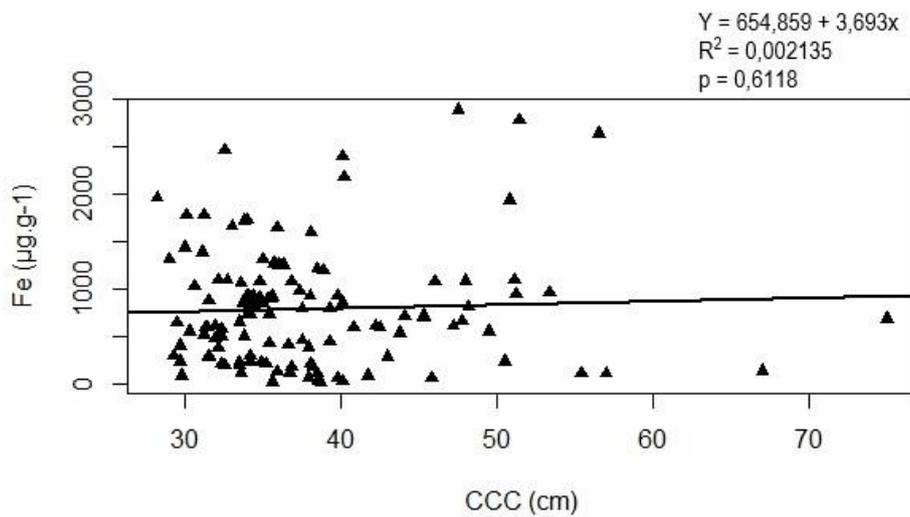
Partindo do pressuposto de que a exposição máxima a metais ocorre através da dieta, é então esperado que maiores taxas de bioacumulação ocorram no início do ciclo de vida, quando o consumo alimentar de tartarugas marinhas verdes é baseado em presas de posições mais altas da cadeia trófica (Gardner *et al.*, 2006; da Silva *et al.*, 2014).

Fundamentando-se na informação de que a quantidade de metal disponível através da dieta é maior para juvenis nos primeiros anos de vida do que para juvenis (> 28 cm de CCC) e adultos que alimentam-se exclusivamente de macroalgas que possuem concentrações de metal mais baixas em relação ao zooplâncton (Bojorndal, 1998; da Silva *et al.*, 2014; Maffucci *et al.*, 2005). O que poderia explicar, pelo menos em parte, as correlações negativas observada entre as concentrações de metais no tecido hepático e o CCC das tartarugas-verde (Figura 7).

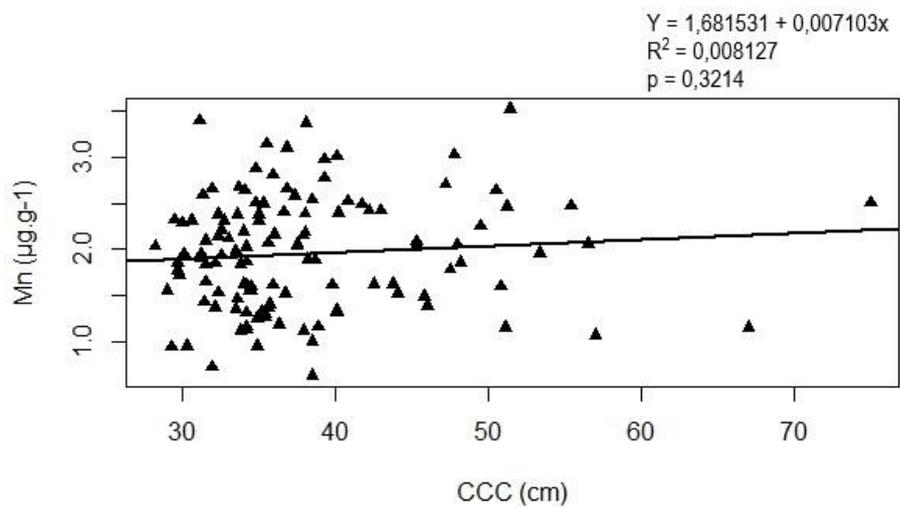




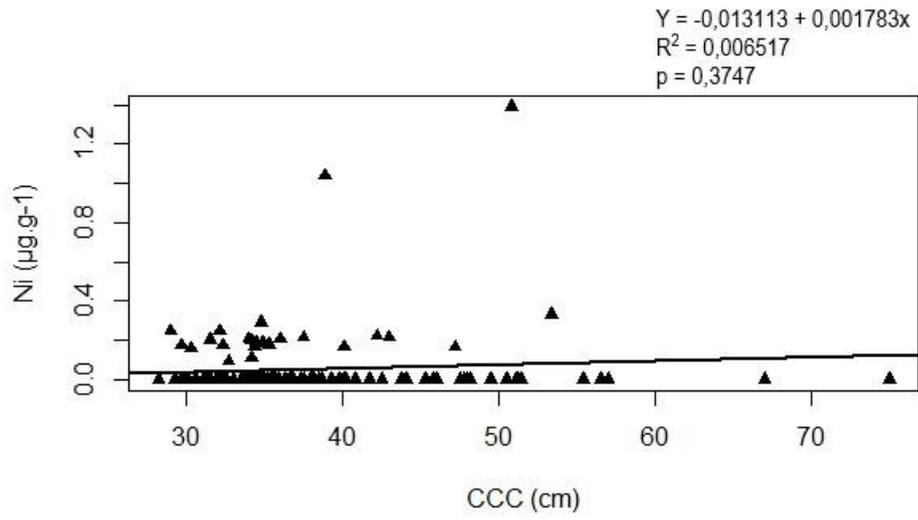
C



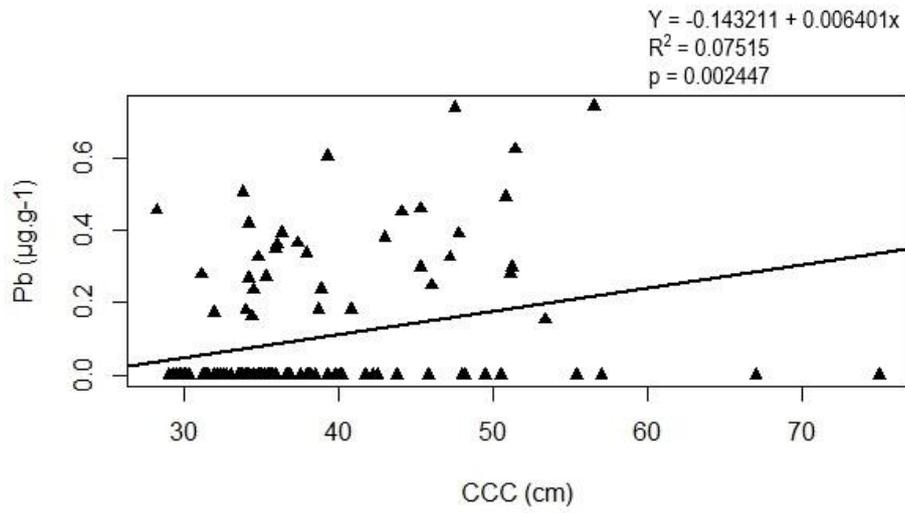
D



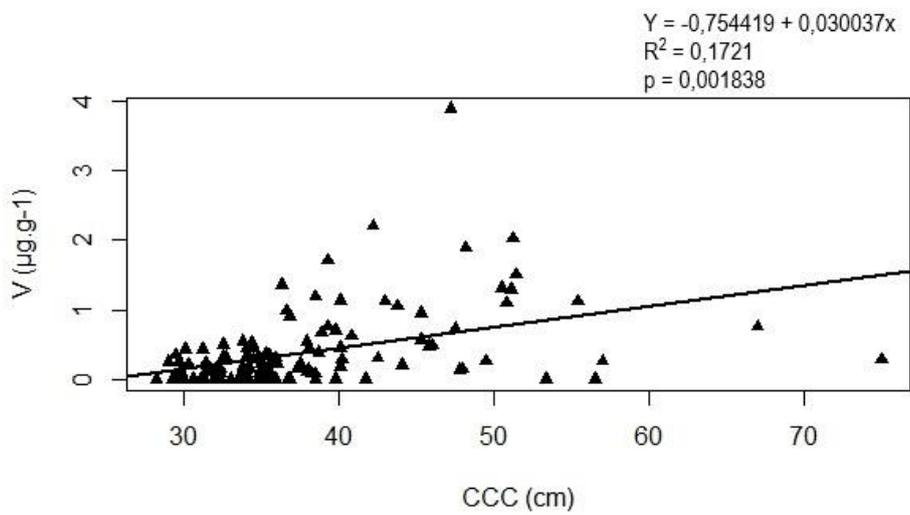
E



F



G



H

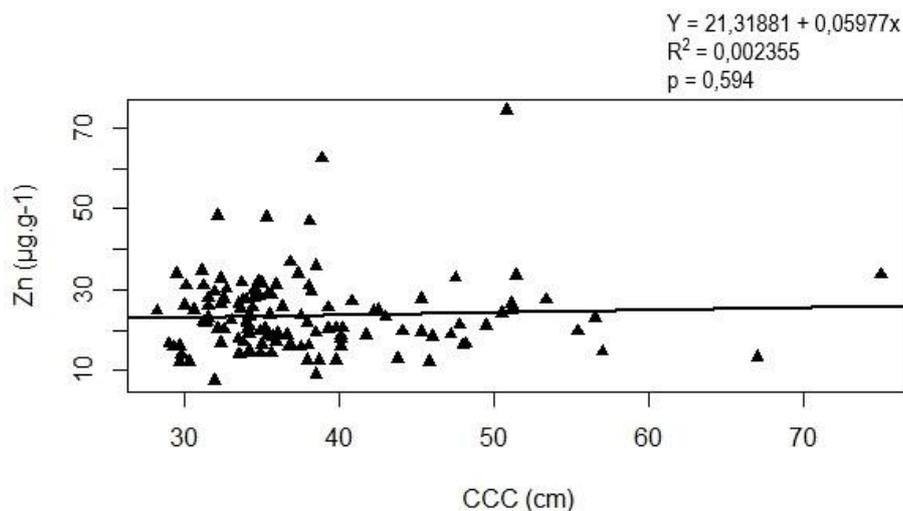


Figura 8: Elementos traço essenciais e não essenciais que apresentaram correlações positivas. ($p < 0,05$)

As correlações positivas observadas nos metais essenciais e não essenciais sugerem o aumento da bioacumulação ao longo do desenvolvimento (Figura 8), que pode estar relacionado com a disponibilidade desses elementos nos recursos alimentares e a características intrínsecas a própria espécie (da Silva *et al.*, 2016).

Os elementos Ba, Mn, Ni, Fe e Zn apresentaram coeficientes de correlação muito próximos a zero, isso reflete a planicidade observada na reta estimada da regressão (Figura 8). Indicando ausência de correlação.

A exposição a elementos tóxicos tem sido associada a doenças graves e desordem no desenvolvimento, tais como: distúrbios de ordens reprodutiva, imunológica e neurológica, bem como efeitos carcinogênicos. Esse problema afeta diversas espécies marinhas. Estudos que buscam compreender os efeitos desses contaminantes não ocorrem apenas em tartarugas marinhas (Aguirre *et al.*, 1994; da Silva *et al.* 2016), mas também em mamíferos (DAS *et al.*, 2003; Ikemoto *et al.*, 2004; Law *et al.*, 1991), e aves marinhas (Ikemoto *et al.*, 2004; Whalsh *et al.*, 2017).

5. CONCLUSÕES

Não foram observadas diferenças estatísticas significativas ($p < 0,05$) entre machos e fêmeas. Alguns autores atribuem esse resultado ao fato de os organismos amostrados encontrarem-se no mesmo estágio de desenvolvimento, o que não implicaria mudanças fisiológicas e metabólicas muito abruptas entre os indivíduos. Já que mudanças dessa magnitude só ocorreriam em idade reprodutiva.

Em comparação com outros trabalhos, utilizando a mesma matriz analítica realizados a partir dos anos 2000, os elementos bário, cromo, mercúrio, níquel, chumbo e vanádio apresentaram-se em concentrações equivalentes às já reportadas. O Al foi analisado em apenas uma pesquisa ocorrida na costa da Bahia, e apresentou concentrações relativamente mais elevadas, bem como o As; mas este último foi observado em níveis equivalentes ao presente estudo no litoral chinês.

Os elementos essenciais manganês, selênio e zinco, de forma geral, ocorreram em concentrações equivalentes em relação aos estudos citados anteriormente, exceto na costa chinesa, onde os valores foram bastante superiores.

No cádmio foram verificadas concentrações semelhantes em trabalhos nas costas japonesa, chinesa, sudeste da Península Arábica e brasileira (São Paulo e Rio Grande do Sul); porém no litoral mexicano costarricense e baiano as concentrações foram consideravelmente mais elevadas.

O ferro, elemento que apresentou a maior concentração, chama a atenção pela média expressivamente mais elevada em relação aos estudos realizados no Japão, China e México; e em contrapartida, na costa baiana e costarricense foram obtidos valores mais elevados.

O cobre, assim como o ferro apresentou uma das concentrações mais elevadas – a segunda, mostrou resultados comparativamente similares aos reportados nas zonas costeiras japonesa, mexicana e italiana. Por outro lado, na região da ilha de Yaeyama no Japão, China, Costa Rica e Brasil foram observadas concentrações significativamente maiores.

Alguns elementos traço essenciais correlacionaram-se entre si, o que já era esperado; já que muitos deles desempenham papéis metabólicos fundamentais para manutenção da homeostase. Quanto a correlação observada entre metais essenciais e não essenciais, alguns autores sugerem que mecanismos de produção de

metaloproteínas possam estar associados com processos de detoxificação nesses organismos.

Como não existe uma metodologia para estimar a idade das tartarugas-marinhas, utiliza-se amplamente o CCC para verificar a bioacumulação ao longo do desenvolvimento desses organismos. Correlações positivas foram observadas nos elementos: Al, Cr, Fe, Ni, Pb, V, Ba, Mn e Zn – os três últimos apresentaram valores muito próximos a zero, indicando uma possível ausência de correlação; e negativas nos elementos: As, Cd, Cu, Hg, Se. Em suma, a grande maioria dos autores atribuem essa variação à mudança no hábito alimentar e a características intrínsecas aos próprios organismos.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As principais áreas habitadas pelas tartarugas-verde são águas costeiras de países tropicais e/ou subtropicais, e algumas dessas regiões estão se desenvolvendo rapidamente. Esses locais tendem a receber descargas intensas de origem antropogênica – produtos de resíduos industriais e domésticos, incluindo os elementos traço. Seu ciclo de vida longo e complexo somado às intensas migrações torna esses organismos ainda mais vulneráveis a impactos dessa ordem.

Trabalhos envolvendo a interação de contaminantes químicos com a fauna marinhas são, muitas vezes, difíceis de interpretar. Existem algumas variáveis a serem consideradas, mesmo quando estes são realizados em ambientes controlados, tais como: variações genéticas, idade, ambiente e recursos alimentares. Quando o assunto é tartarugas-verde, há muitas outras considerações a se ponderar. São organismos ectotérmicos – ou seja, a taxa metabólica varia em conformidade com a temperatura ambiental; fazem longas migrações para se reproduzir, às vezes, atravessando o oceano Atlântico; e mudam sua dieta alimentar radicalmente de onívora quando filhotes para totalmente herbívora na fase juvenil/adulta.

Sabe-se que as tartarugas marinhas são capazes de bioacumular contaminantes orgânicos e inorgânicos em seus tecidos principalmente através da alimentação - mas também via sedimentos e água. Como resultado, esses animais tornam-se cada vez mais interessantes como potenciais bioindicadores para a poluição por metais pesados nos ecossistemas marinhos. Cabe ressaltar, que mais estudos envolvendo a concentração de elementos traço nos componentes da dieta das tartarugas-verde, na área de estudo, poderiam auxiliar na correta interpretação dos resultados apresentados.

Projetos de monitoramento como esse fornecem dados que podem ajudar a avaliar os riscos potenciais para as tartarugas-verde de exposição a contaminantes tóxicos, e contribuir para o desenvolvimento de estratégias de conservação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIRRE, A. A.; LUTZ, P. L. Marine turtles as sentinels of ecosystem health: is Fibropapillomatosis an Indicator? **EcoHealth**: New York, v. 1, p. 275-283, 2004.
- AL-RAWAHY, S. H. *et al.* Accumulation of metals in the egg yolk and liver of hatchling of green turtles *Chelonia mydas* at Ras Al Hadd, Sultanate of Oman. **Journal of Biological Sciences**, v. 7, n. 6, p. 925-930, 2007.
- ANAN, Y. *et al.* 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. *et al.* Metal distribution and metallothionein in loggerhead (*Caretta caretta*) and green (*Chelonia mydas*) sea turtles. **Science of the total environment**, v. 390, n. 1, p. 287-294, 2008.
- BAIRD, C. **Química ambiental**. Reverté, 2001.
- BALAZS, G. H. Synopsis of biological data on the green turtle in the Hawaiian Islands. 1980.
- 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.
- BERNARDI, M. M. *et al.* Ecotoxicologia. **Toxicologia Aplicada à Medicina Veterinária. Manole, São Paulo. 942p**, p. 815-858, 2008.
- BJORNDAL, K. A. Nutritional and grazing behavior of the green turtle, *Chelonia mydas*. **Marine Biology**, v. 56, p. 147-154, 1980.
- BONDIOLI, A. C. V.; NAGAOKA, S. M.; MONTEIRO-FILHO, E. L. A. Ocorrência, distribuição e status de conservação das tartarugas marinhas presentes na região de Cananéia, SP. **II Jornada de conservação e pesquisa de tartarugas marinhas no Atlântico Sul Ocidental. Praia do Cassino. Rio Grande, RS. Livro de Resumos**, p. 53-55, 2005.
- BOWEN, B. W. *et al.* Global population structure and natural history of the green turtle (*Chelonia mydas*) in terms of matriarchal phylogeny. **Evolution**, v. 46, n. 4, p. 865-881, 1992.
- BRASIL. Portaria IBAMA n.º 1.522 de 19 de dezembro de 1989. Lista Oficial das Espécies da Fauna Brasileira Ameaçadas de Extinção. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/179/_arquivos/lista_1989.pdf>. Acesso em: Janeiro de 2019.

BRITO, G. B. *et al.* Levels and spatial distribution of trace elements in macroalgae species from the Todos os Santos Bay, Bahia, Brazil. **Marine pollution bulletin**, v. 64, n. 10, p. 2238-2244, 2012.

BUGONI, L.; KRAUSE, L.; PETRY, M. V. Marine debris and human impacts on sea turtles in southern Brazil. **Marine pollution bulletin**, v. 42, n. 12, p. 1330-1334, 2001.

CARPENÈ, E.; SERRA, R.; ISANI, G. Effects of heavy metals on algae. **Encyclopedia of environmental control technology**. Houston, Texas: Gulf Publishing Company, p. 707-59, 1995.

CARR, A. New perspectives on the pelagic stage of sea turtle development. **Conservation Biology**, v. 1, n. 2, p. 103-121, 1987.

DA SILVA, C. C. *et al.* Metal contamination as a possible etiology of fibropapillomatosis in juvenile female green sea turtles *Chelonia mydas* from the southern Atlantic Ocean. **Aquatic Toxicology**, v. 170, p. 42-51, 2016.

DAS, Krishna *et al.* Heavy metals in marine mammals. **Toxicology of marine mammals**, v. 3, p. 135-167, 2003.

DE OLIVEIRA, Maria Nilka *et al.* Nutritive and non-nutritive attributes of washed-up seaweeds from the coast of Ceará, Brazil. **Food chemistry**, v. 115, n. 1, p. 254-259, 2009.

DE PÁDUA ALMEIDA, A. *et al.* Avaliação do estado de conservação da tartaruga marinha *Chelonia mydas* (Linnaeus, 1758) no Brasil. **Biodiversidade Brasileira**, n. 1, 2011.

DERRAIK, J. G. B. The pollution of the marine environment by plastic debris: a review. **Marine pollution bulletin**, v. 44, n. 9, p. 842-852, 2002.

ECKERT, K. L. *et al.* Técnicas de Investigación y Manejo para la Conservación de las Tortugas Marinas. **Grupo especialista en Tortugas Marinas. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y Comisión de Supervivencia de Especies, Publicación**, n. 4, 2000.

EPPELRY, S.; FRAZIER, J. Resoluciones de los miembros del XX Simposio Anual sobre la Biología y la Conservación de las Tortugas Marinas. **Noticiero de Tortugas Marinas**, v. 88, p. 20-26, 2000.

FERREIRA, L. de S. *et al.* Concentration of inorganic elements content in benthic seaweeds of Fernando de Noronha archipelago by synchrotron radiation total reflection x-ray fluorescence analysis (srtxrf). **International Journal of Analytical Chemistry**, v. 2012, 2012.

FLORA, G.; GUPTA, D.; TIWARI, A. Toxicity of lead: a review with recent updates. **Interdisciplinary toxicology**, v. 5, n. 2, p. 47-58, 2012.

FONSECA, L. A. *et al.* Atividade da colinesterase plasmática como biomarcador de impacto ambiental em tartarugas verdes (*Chelonia mydas*) no litoral do Arquipélago de Fernando de Noronha, Pernambuco¹. **Pesq. Vet. Bras**, v. 35, n. 4, p. 385-389, 2015.

FORMIA, A. Population and genetic structure of the green turtle (*Chelonia mydas*) in West and Central Africa; implications for management and conservation. **Unpublished Ph. D. Dissertation, Cardiff University, United Kingdom, 2002.**

FRANCIS, B. M. *et al.* **Toxic substances in the environment.** John Wiley and Sons, Inc., 1994.

GARDNER, S. C. *et al.* Heavy metal accumulation in four species of sea turtles from the Baja California peninsula, Mexico. **Biometals**, v. 19, n. 1, p. 91-99, 2006.

GERACI, Joseph R.; LOUNSBURY, Valerie J. **Marine mammals ashore: a field guide for strandings.** National Aquarium in Baltimore, 2005.

GODLEY, B. J.; THOMPSON, D. R.; FURNESS, R. W. Do heavy metal concentrations pose a threat to marine turtles from the Mediterranean Sea?. **Marine Pollution Bulletin**, v. 38, n. 6, p. 497-502, 1999.

GROSSMAN, A. **Biologia Reprodutiva de *Chelonia mydas* (Reptilia), na Reserva Biológica do Atol das Rocas.** 2001. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Zoologia de Vertebrados). Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, UFRGS. 43f.

HAMANN, M. *et al.* Global research priorities for sea turtles: informing management and conservation in the 21st century. **Endangered Species Research**, v. 11, n. 3, p. 245-269, 2010.

HIRAYAMA, R. Oldest known sea turtle. **Nature**, v. 392, n. 6677, p. 705-708, 1998.

HIRTH, H. Synopsis of biological data on the green turtle, *Chelonia mydas* (Linnaeus) 1758. **FAO Fisheries Synopsis**, v. 85, 1971.

HUGHES, M. F. Arsenic toxicity and potential mechanisms of action. **Toxicology Letters**, Amsterdam, v.133, n.1, p.1-16, 2002.

HYLLAND, K. Biological effects in the management of chemicals in the marine environment. **Marine pollution bulletin**, v. 53, n. 10-12, p. 614-619, 2006.

IKEMOTO, T. *et al.* Detoxification mechanism of heavy metals in marine mammals and seabirds: interaction of selenium with mercury, silver, copper, zinc, and cadmium in liver. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 47, n. 3, p. 402-413, 2004.

IUCN – International Union for Conservation of Nature and Natural Resources. IUCN Red list of threatened species, 2019.

JAKIMSKA, A. *et al.* Bioaccumulation of Metals in Tissues of Marine Animals, Part I: the Role and Impact of Heavy Metals on Organisms. **Polish Journal of Environmental Studies**, v. 20, n. 5, 2011.

KEHRIG, H. A. *et al.* Trophic transference of mercury and selenium in the Northern Coast of Rio de Janeiro. **Química Nova**, v. 32, n. 7, p. 1822-1828, 2009.

KENNISH, M. J. **Practical handbook of estuarine and marine pollution**. Boca Raton: CRC, 1997.

LACERDA, L. D. de; MALM, O. Mercury contamination in aquatic ecosystems: an analysis of the critical areas. **Estudos avançados**, v. 22, n. 63, p. 173-190, 2008.

LAM, C. W. J. *et al.* Trace element residues in tissues of green turtles (*Chelonia mydas*) from South China Waters. **Marine Pollution Bulletin**, v. 48, n. 1-2, p. 174-182, 2004.

LAW, R. J. *et al.* Concentrations of trace metals in the livers of marine mammals (seals, porpoises and dolphins) from waters around the British Isles. **Marine Pollution Bulletin**, v. 22, n. 4, p. 183-191, 1991.

LUSCHI, P. *et al.* The navigational feats of green sea turtles migrating from Ascension Island investigated by satellite telemetry. **Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences**, v. 265, n. 1412, p. 2279-2284, 1998.

LUTZ, P. L.; LUTCAVAGE, M. E. Diving physiology. In: **The Biology of Sea Turtles, Volume I**. CRC Press. p. 291-310, 2017.

MAFFUCCI, F. *et al.* 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, n. 5, p. 535-542, 2005.

MARCOVALDI, M. A. *et al.* Sea turtle interactions in Brazil: identifying and mitigating potential conflicts. **Marine Turtles Newsletter**. 112: p. 4-8. 2006.

MARCOVALDI, M. Â.; MARCOVALDI, G. M. F. G. Projeto Tartaruga Marinha: áreas de desova, época de reprodução, técnicas de preservação. **Boletim FBCN**, Rio de Janeiro, n. 22, p. 95-104, 1987.

MARCOVALDI, M. A.; SANTOS, A. S.; SALES, G. Plano de Ação Nacional para conservação das tartarugas marinhas. **Brasília: ICMBio**, 2011.

MARQUES JR, A. N. MORAES., RBC; MAURAT., MC Poluição Marinha. In. PEREIRA, RC; SOARES-GOMES, A. **Biologia Marinha**, p. 311-334, 2002.

MÁRQUEZ, R. M. Sea turtles of the world. **FAO Fisheries Synopsis**, v. 11, n. 125, p. I, 1990.

MASCARENHAS, R.; SANTOS, R.; ZEPPELINI, D. Plastic debris ingestion by sea turtle in Paraíba, Brazil. **Marine pollution bulletin**, v. 49, n. 4, p. 354-355, 2004.

MEYLAN, A. B.; MEYLAN, P. A. Introduction to the evolution, life history, and biology of sea turtles. **Research and management techniques for the conservation of sea turtles. IUCN/SSC Marine Turtle Specialist Group Publication**, n. 4, p. 3-5, 1999.

Ministério do Meio Ambiente (MMA). Lista de espécies da fauna brasileira ameaçada de extinção. 2014.

Ministério do Meio Ambiente (MMA) – Portaria ICMBio nº 287 de 26 de abril de 2017. Aprova o 2º ciclo de implementação do Plano de Ação Nacional para a Conservação das Tartarugas Marinhas – PAN Tartarugas Marinhas. Disponível em: http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/docs-plano-de-acao/pan-tartarugas/2_ciclo/1._Portaria_de_Aprovação_-_PAN_Tartarugas_Marinhas.pdf
Acesso em: Abril de 2019

MOREIRA, L. M. de P. **Ecologia reprodutiva e estimativa de ninhos da tartaruga verde aruanã—*Chelonia mydas* (Linnaeus, 1758) (Testudines, Reptilia) na ilha da Trindade, Espírito Santo, Brasil**. 2003. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Biologia Animal), Espírito Santo, Universidade Federal do Espírito Santo, 63p.

PRITCHARD, P. C. H. Evolution, phylogeny, and current status. **The biology of sea turtles**, v. 1, p. 1-28, 1997.

PRITCHARD, P. C. H.; MORTIMER, J. A. Taxonomía, morfología externa e identificación de las especies. **En: Eckert, KL**, p. 23-41, 2000.

PROJETO TAMAR (Org.). Ilha da Trindade. Disponível em: <<http://www.tamar.org.br/base.php?cod=38>>. Acesso em: abril de 2019.

SAEKI, K. *et al.* Arsenic accumulation in three species of sea turtles. **Biometals**, v. 13, n. 3, p. 241-250, 2000.

SAKAI, H. *et al.* Growth-related changes in heavy metal accumulation in green turtle (*Chelonia mydas*) from Yaeyama Islands, Okinawa, Japan. **Archives of environmental contamination and toxicology**, v. 39, n. 3, p. 378-385, 2000. [2]

SAKAI, H. *et al.* Species-specific distribution of heavy metals in tissues and organs of loggerhead turtle (*Caretta caretta*) and green turtle (*Chelonia mydas*) from Japanese coastal waters. **Marine Pollution Bulletin**, v. 40, n. 8, p. 701-709, 2000.

SÁNCHEZ-SARMIENTO, A. M. *et al.* Organochlorine pesticides in green sea turtles (*Chelonia mydas*) with and without fibropapillomatosis caught at three feeding areas off Brazil. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, v. 97, n. 1, p. 215-223, 2017.

STORELLI, M. M. *et al.* Total and subcellular distribution of trace elements (Cd, Cu and Zn) in the liver and kidney of green turtles (*Chelonia mydas*) from the Mediterranean Sea. **Chemosphere**, v. 70, n. 5, p. 908-913, 2008.

STORELLI, M. M.; BUSCO, V. P.; MARCOTRIGIANO, G. O. Mercury and arsenic speciation in the muscle tissue of *Scyliorhinus canicula* from the Mediterranean Sea. **Bulletin of environmental contamination and toxicology**, v. 75, n. 1, p. 81-88, 2005.

TALAVERA-SAENZ, A. *et al.* Metal profiles used as environmental markers of green turtle (*Chelonia mydas*) foraging resources. **Science of the Total Environment**, v. 373, n. 1, p. 94-102, 2007.

WADE, Terry L.; CANTILLO, Adriana Y. **Use of standards and reference materials in the measurement of chlorinated hydrocarbon residues: chemistry workbook**. 1994.

WALSH, P. M. The use of seabirds as monitors of heavy metals in the marine environment. In: **Heavy metals in the marine environment**. CRC Press, 2017. p. 183-204.

WHELAN III, T. *et al.* Trace metal partitioning in *Thalassia testudinum* and sediments in the Lower Laguna Madre, Texas. *Environment international*, v. 31, n. 1, p. 15-24, 2005.

WYNEKEN, J. *et al.* Egg failure in natural and relocated sea turtle nests. **Journal of Herpetology**, p. 88-96, 1988.

ANEXO I

Tabela 5: Valores de p da verificação dos testes de comparação de médias entre os sexos ($p < 0,05$).

Teste	Valor de p
Teste Wilcoxon (Al)	0,889
Teste T (As)	0,390
Teste Wilcoxon (Ba)	0,529
Teste T (Cd)	0,691
Teste Wilcoxon (Cr)	0,952
Teste T (Cu)	0,189
Teste T (Fe)	0,203
Teste Wilcoxon (Hg)	1
Teste Wilcoxon (Mn)	0,889
Teste T (Ni)	0,267
Teste Wilcoxon (Pb)	0,260
Teste Wilcoxon (Se)	0,095
Teste Wilcoxon (V)	0,432
Teste Wilcoxon (Zn)	0,608

ANEXO II

Tabela 6: Correlação entre os elementos traço e o CCC, com nível de significância ($p < 0,05$).

Variáveis correlacionadas		R	Valor de p
CCC	Al	0,364	0,03365
	As	- 0,231	0,01996
	Ba	0,006	0,9459
	Cd	- 0,251	0,005109
	Cr	0,135	0,1343
	Cu	- 0,157	0,08228
	Fe	0,046	0,6118
	Hg	- 0,266	0,011
	Mn	0,090	0,3214
	Ni	0,081	0,3747
	Pb	0,274	0,002447
	Se	- 0,122	0,1783
	V	0,414	0,001838
	Zn	0,048	0,594

ANEXO III

Tabela 7: Valores de p do da Matriz de Correlação (*Corrplot* – $p < 0,05$).

	Al	As	Ba	Cd	Cr	Cu
Al	NA	0.97733572	3.090222e-01	0.1775938090	3.996803e-15	0.5451219307
As	9.773357e-01	NA	3.177176e-02	0.1143522205	7.770736e-01	0.3093899208
Ba	3.090222e-01	0.03177176	NA	0.0085564700	9.627807e-01	0.7855462792
Cd	1.775938e-01	0.11435222	8.556470e-03	NA	1.087072e-01	0.0001585428
Cr	3.996803e-15	0.77707365	9.627807e-01	0.1087072492	NA	0.5178745805
Cu	5.451219e-01	0.30938992	7.855463e-01	0.0001585428	5.178746e-01	NA
Fe	0.000000e+00	0.22759900	6.684371e-01	0.9445177863	1.872875e-10	0.0479452306
Mn	9.840697e-01	0.33380281	4.253056e-01	0.1616701881	1.868630e-01	0.3062311328
Ni	2.994702e-01	0.49006866	2.634740e-01	0.4245736717	3.447177e-01	0.2956251427
Pb	0.000000e+00	0.67018522	1.728399e-01	0.6920400061	9.867662e-12	0.1803197444
V	0.000000e+00	0.50800429	7.441142e-02	0.4374362811	7.345236e-13	0.0737689580
Zn	9.909178e-01	0.13654724	8.197530e-01	0.0827955187	7.333353e-01	0.0075117970
Se	6.921551e-02	0.57800519	1.047092e-01	0.8226622683	9.155535e-03	0.2701700917
Hg	2.026329e-01	0.55609777	4.968539e-09	0.0015629391	2.431713e-01	0.1732241989
	Fe	Mn	Ni	Pb	V	Zn
Al	0.000000e+00	0.9840697151	2.994702e-01	0.000000e+00	0.000000e+00	9.909178e-01
As	2.275990e-01	0.3338028126	4.900687e-01	6.701852e-01	5.080043e-01	1.365472e-01
Ba	6.684371e-01	0.4253055797	2.634740e-01	1.728399e-01	7.441142e-02	8.197530e-01
Cd	9.445178e-01	0.1616701881	4.245737e-01	6.920400e-01	4.374363e-01	8.279552e-02
Cr	1.872875e-10	0.1868630082	3.447177e-01	9.867662e-12	7.345236e-13	7.333353e-01
Cu	4.794523e-02	0.3062311328	2.956251e-01	1.803197e-01	7.376896e-02	7.511797e-03
Fe	NA	0.5186508083	8.130847e-02	0.000000e+00	0.000000e+00	1.954021e-02
Mn	5.186508e-01	NA	1.728025e-01	5.158254e-01	7.642184e-01	5.526543e-04
Ni	8.130847e-02	0.1728025489	NA	6.253738e-02	1.817723e-01	5.024070e-11
Pb	0.000000e+00	0.5158253982	6.253738e-02	NA	0.000000e+00	5.151177e-02
V	0.000000e+00	0.7642183593	1.817723e-01	0.000000e+00	NA	7.731941e-01
Zn	1.954021e-02	0.0005526543	5.024070e-11	5.151177e-02	7.731941e-01	NA
Se	3.443430e-01	0.1715998353	2.376348e-01	1.800792e-02	1.180331e-01	7.908137e-01
Hg	5.494278e-01	0.5061719250	5.889012e-01	4.438492e-01	5.143358e-01	8.739247e-01

	Se	Hg
Al	0.069215507	2.026329e-01
As	0.578005190	5.560978e-01
Ba	0.104709188	4.968539e-09
Cd	0.822662268	1.562939e-03
Cr	0.009155535	2.431713e-01
Cu	0.270170092	1.732242e-01
Fe	0.344342998	5.494278e-01
Mn	0.171599835	5.061719e-01
Ni	0.237634779	5.889012e-01
Pb	0.018007919	4.438492e-01
V	0.118033138	5.143358e-01
Zn	0.790813722	8.739247e-01
Se	NA	3.145763e-02
Hg	0.031457635	NA