



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
INSTITUTO DE QUÍMICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA**



EDEVALDO DA SILVA

**DISTRIBUIÇÃO DE ELEMENTOS ESSENCIAIS E NÃO ESSENCIAIS EM TECIDOS
DE DIVERSAS ESPÉCIES DE PEIXES DA BAIA DE TODOS OS SANTOS, BAHIA,
BRASIL**

Salvador
2012



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
INSTITUTO DE QUÍMICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA



DISTRIBUIÇÃO DE ELEMENTOS ESSENCIAIS E NÃO ESSENCIAIS EM TECIDOS
DE DIVERSAS ESPÉCIES DE PEIXES DA BAIÁ DE TODOS OS SANTOS, BAHIA,
BRASIL

EDEVALDO DA SILVA

Tese apresentada ao colegiado do Curso de Pós-Graduação em Química como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Doutor em Química.
Área de concentração: Química Analítica.

Orientadora: Prof^a Dr^a Maria das Graças Andrade Korn

Salvador
2012

Sistema de Bibliotecas – IQ/UFBA

Silva, Edevaldo da.

Distribuição de elementos essenciais e não essenciais em tecidos de diversas espécies de peixes da Baía de Todos os Santos, Bahia, Brasil / Edevaldo da Silva. - 2012.
204 f.

Orientadora: Profª. Drª. Maria das Graças Andrade Korn.

Tese (doutorado) - Universidade Federal da Bahia, Instituto de Química, Salvador, 2012.

1. Peixe-Todos os Santos, Baía de (BA). 2. Peixes -Metais-Análise. 3. Análise espectral. I. Korn, Maria das Graças Andrade. II. Universidade Federal da Bahia. Instituto de Química. III. Título.

CDD - 639.3

CDU-543.62: 637.56

TERMO DE APROVAÇÃO

EDEVALDO DA SILVA

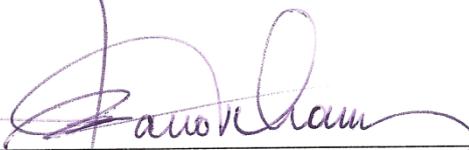
Distribuição de Elementos Essenciais e Não Essências em Tecidos de Diversas Espécies de Peixes da Baía de Todos Santos, Bahia, Brasil

Tese aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Química, Universidade Federal da Bahia, pela seguinte banca examinadora:

Profª. Dra. Maria das Graças Andrade Korn – Orientadora
Doutorado em Química, Universidade de São Paulo (USP)
Universidade Federal da Bahia



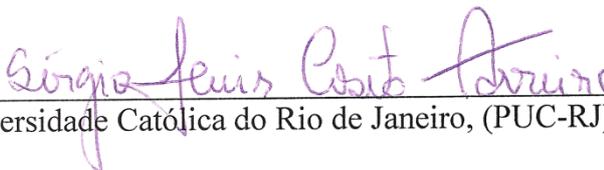
Prof. Dr. Marco Tadeu Grassi
Doutorado em Química, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)
Universidade Federal do Paraná



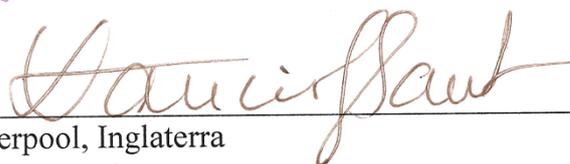
Prof. Dr. Josué Carinhanha Caldas Santos
Doutorado em Química, Universidade Federal da Bahia (UFBA)
Universidade Federal de Alagoas



Prof. Dr. Sérgio Luis Costa Ferreira
Doutorado em Química, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, (PUC-RJ)
Universidade Federal da Bahia



Profª. Dra. Vera Lúcia Cância Souza Santos
Doutorado em Oceanografia, University of Liverpool, Inglaterra
Universidade Federal da Bahia



Salvador, 29 de agosto de 2012

Dedico

À minha família, pelo carinho e apoio incondicional.

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo fortalecimento espiritual

A minha família pelo amor e ajuda incondicional

À Zenira Cardoso Villasboas Viana, pela grande ajuda e atenção.

A Prof^a. Maria das Graças Andrade Korn pela orientação.

Às colegas Fernanda, Thais, Isa e Lília pelo apoio nas práticas laboratoriais.

Aos meus amigos.

*...A cada passo, eleva-te em amor, toda a ternura e tranquilidade da alma encantada
pela viviscitude e esperança em Deus...*

*As aves de longa jornada estão por fim chegando ao seu destino. Parecem marchar
em direção nenhuma, direção alguma, mas retomam a vida em lugar belo e
extraordinário...*

Edevaldo da Silva.

RESUMO

Nesse trabalho, foi investigada a bioacumulação e distribuição de 18 elementos químicos, essenciais (Ca, Mg, P, K, Fe, Sr, Zn, Cu, Mn, Se, Cr, Ni, Mo) e contaminantes (Cd, Pb, Li, Sb, As), em seis tecidos (músculo, guelras, estômago, fígado, rim, gônadas) de seis espécies de peixes marinhos (*Caranx latus - guaricema*, *Archosargus rhomboidalis - sambúio*, *Sphyræna guachancho - bicuda*, *mackerel Scomberomorus cavalla - cavala*, *Lutjanus synagris - vermelho*, *Bagre marinus - bagre*). As amostras foram adquiridas entre dezembro/2010 e janeiro/2012, oriundas da zona costeira da Baía de Todos os Santos (BTS), em Salvador, Bahia, Brasil. Os elementos foram quantificados por espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP OES) e espectrometria de massas com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS). As faixas de concentração encontradas para os macroelementos (mg g^{-1}) foram: Ca (0,71-77,54), Mg (0,31-3,60), P (4,90-98,95), K (4,75-20,88). Os elementos traços apresentaram as seguintes faixas de concentrações ($\mu\text{g g}^{-1}$): Sr (1,67-820,21), Fe (6,64-1853,65), Zn (14,18-843,92), Cu (0,17-28,12), Mn (0,11-77,87), Cr (0,35-5,46), Se (0,57-12,5), Ni (<0,024-15,57), Mo (<0,024-1,29), Cd (<0,004-0,961), Pb (<0,010-0,600), Li (<0,009-1,38), As (0,49-27,31). Houve variações significativas nas concentrações dos elementos entre os tecidos e entre as diferentes espécies. Os tecidos com maior potencial de bioacumulação para os elementos traço foram as guelras, o fígado e o rim. A análise multivariada (PCA) demonstrou não haver correlação entre as medidas biométricas e as concentrações dos elementos químicos, mas, fortes associações entre pares de elementos foram observadas (Mg-Ca; Sr-Ca; P-Ca; K-Ca; Mn-Ca; Sr-Mg; K-Mg; P-Sr; K-Sr; Se-Fe; Cr-Fe). A presença de níveis maiores que o tolerável, nos músculos, para Cr e As e a evidência de bioacumulação desses e de outros elementos tóxicos, tais como Pb, Ni e Cd revelam a necessidade de mais estudos visando a análise de especiação química, além de um programa de monitoramento na região da Baía de Todos os Santos, para se verificar a necessidade de prováveis ações remediadoras.

Palavras-chave: peixe, elementos essenciais, elementos não essenciais, ICP OES, ICP-MS, Baía de Todos os Santos.

ABSTRACT

In this study, we investigated the bioaccumulation and distribution of 18 chemical elements, essential (Ca, Mg, P, K, Fe, Sr, Zn, Cu, Mn, Se, Cr, Ni, Mo) and non-essential (Cd, Pb, Li, Sb, As) in six different tissues (muscle, gills, stomach, liver, kidney, gonads) of six species of marine fish (*Caranx latus* - *guaricema*, *Archosargus rhomboidalis* - *sambúio*, *Sphyræna guachancho* - *bicuda*, *mackerel Scomberomorus cavalla* - *cavala*, *Lutjanus synagris* - *vermelho*, *Bagre marinus* - *bagre*). The samples were acquired between December 2010 and January 2012, all from the coastal zone of Todos os Santos Bay (TSB) in Salvador, Bahia, Brazil. The chemical elements were quantified by inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICPOES) and inductively coupled plasma mass Spectrometry (ICP-MS). The concentration range found for the major elements (mg g^{-1}) were: Ca (0,71-77,54), Mg (0,31-3,60), P (4,90-98,95), K (4,75-20,88). Trace elements had the following concentration ranges ($\mu\text{g g}^{-1}$): Sr (1,67-820,21), Fe (6,64-1853,65), Zn (14,18-843,92), Cu (0,17-28,12), Mn (0,11-77,87), Cr (0,35-5,46), Se (0,57-12,5), Ni (<0,024-15,57), Mo (<0,024-1,29), Cd (<0,004-0,961), Pb (<0,010-0,600), Li (<0,009-1,38), As (0,49-27,31). The results for most elements showed significant variations in their distribution among tissues as well as between concentration levels in different species. Tissues with greater potential for trace elements bioaccumulation were the gills, liver and kidney. Multivariate analysis (PCA) demonstrated no correlation between the measurements and the other chemical elements, but, there were strong associations between pairs of elements (Mg-Ca; Sr-Ca; P-Ca; K-Ca; Mn-Ca; Sr-Mg; K-Mg; P-Sr; K-Sr; Se-Fe; Cr-Fe). Essential trace elements (chromium and selenium) and non-essential (arsenic) determined in muscle samples, of some species, with values above the limit established by ANVISA for food, suggesting the need for more research and biomonitoring of biota in the study region.

Keywords: fish, essential and non-essential elements, ICP OES, ICP-MS, Todos os Santos Bay.

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1- Concentrações dos macro e elementos traço nas soluções da curva padrão	54
Tabela 2 - Condições de operação do ICP OES	55
Tabela 3 - Condições operacionais do ICP-MS.....	55
Tabela 4 - Avaliação da eficiência de digestão segundo a massa da amostra (mg) e a mistura de ácido utilizada.....	62
Tabela 5 - Percentual de recuperação dos elementos determinados no material de referência Nist 1566b - Oyster Tissue	64
Tabela 6 - Percentual de recuperação dos elementos determinados no material de referência Dolt 4 - Liver Tissue.....	65
Tabela 7 - Método de digestão e faixa de recuperação (%) de determinação multielementar em diversos trabalhos publicados recentemente	66
Tabela 8 - LOD e LOQ dos elementos determinados por ICP OES e ICP-MS, em $\mu\text{g g}^{-1}$	67
Tabela 9 - Tamanho corporal (cm) e massa total (g) dos peixes analisados	68
Tabela 10 - Composição centesimal (%) do músculo das espécies de peixes pesquisadas (n = 3).....	68
Tabela 11 - Concentração de cálcio (mg g^{-1}) em tecidos nas espécies de peixes do Verão de 2010/2011	70
Tabela 12 - Concentração de cálcio (mg g^{-1}) em tecidos nas espécies de peixes do Verão de 2011/2012.....	70
Tabela 13 - Concentração ($\mu\text{g g}^{-1}$ peso úmido) de macroelementos em músculo de diversas espécies de peixes reportados em diversos regiões do mundo. Média \pm SD (Min – Max)	74
Tabela 14 - Concentração ($\mu\text{g g}^{-1}$ peso úmido) de macroelementos no fígado de diversas espécies de peixes reportados em diversos regiões do mundo. Média \pm SD (Min – Max)	75
Tabela 15 - Concentração ($\mu\text{g g}^{-1}$ peso úmido) de macroelementos na gônada e guelra de diversas espécies de peixes reportados em diversos regiões do mundo. Média \pm SD (Min – Max).....	76

Tabela 16 - Concentração de magnésio (mg g^{-1}) em tecidos nas espécies de peixes do Verão de 2010/2011	78
Tabela 17 - Concentração de magnésio (mg g^{-1}) em tecidos nas espécies de peixes do Verão de 2011/2012	78
Tabela 18 - Concentração de estrôncio ($\mu\text{g g}^{-1}$) em tecidos nas espécies de peixes do Verão de 2010/2011	80
Tabela 19 - Concentração de estrôncio ($\mu\text{g g}^{-1}$) em tecidos nas espécies de peixes do Verão de 2011/2012	80
Tabela 20 - Concentração de fósforo (mg g^{-1}) em tecidos nas espécies de peixes do Verão de 2010/2011	83
Tabela 21 - Concentração de fósforo (mg g^{-1}) em tecidos nas espécies de peixes do Verão de 2011/2012	83
Tabela 22 - Concentração de potássio (mg g^{-1}) em tecidos nas espécies de peixes do Verão de 2010/2011	86
Tabela 23 - Concentração de potássio (mg g^{-1}) em tecidos nas espécies de peixes do Verão de 2011/2012	86
Tabela 24 - Avaliação da variação de concentração de cálcio nos tecidos das espécies <i>L. synagris</i> e <i>C. latus</i> nos dois períodos de estudo (mg g^{-1} peso úmido) ...	90
Tabela 25 - Avaliação da variação de concentração de magnésio nos tecidos das espécies <i>L. synagris</i> e <i>C. latus</i> nos dois períodos de estudo (mg g^{-1} peso úmido) ...	90
Tabela 26 - Avaliação da variação de concentração de estrôncio nos tecidos das espécies <i>L. synagris</i> e <i>C. latus</i> nos dois períodos de estudo ($\mu\text{g g}^{-1}$ peso úmido)	91
Tabela 27 - Avaliação da variação de concentração de fósforo nos tecidos das espécies <i>L. synagris</i> e <i>C. latus</i> nos dois períodos de estudo (mg g^{-1} peso úmido) ...	91
Tabela 28 - Avaliação da variação de concentração de potássio nos tecidos das espécies <i>L. synagris</i> e <i>C. latus</i> nos dois períodos de estudo (mg g^{-1} peso úmido). ..	92
Tabela 29 - Concentração de ferro ($\mu\text{g g}^{-1}$) em tecidos de diversas espécies da BTS no Verão de 2010/2011	98
Tabela 30 - Concentração de ferro ($\mu\text{g g}^{-1}$) em tecidos de diversas espécies da BTS no Verão de 2011/2012	98
Tabela 31 - Concentração de Zinco ($\mu\text{g g}^{-1}$) em tecidos nas espécies de peixes do Verão de 2010/2011	103

Tabela 32 - Concentração de Zinco ($\mu\text{g g}^{-1}$) em tecidos nas espécies de peixes do Verão de 2011/2012.....	103
Tabela 33 - Concentração de cobre ($\mu\text{g g}^{-1}$) em tecidos nas espécies de peixes do Verão de 2010/2011.....	108
Tabela 34 - Concentração de cobre ($\mu\text{g g}^{-1}$) em tecidos nas espécies de peixes do Verão de 2011/2012.....	108
Tabela 35 - Concentração de manganês ($\mu\text{g g}^{-1}$) em tecidos nas espécies de peixes do Verão de 2010/2011.....	113
Tabela 36 - Concentração de manganês ($\mu\text{g g}^{-1}$) em tecidos nas espécies de peixes do Verão de 2011/2012.....	113
Tabela 37 - Concentração de cromo ($\mu\text{g g}^{-1}$) em tecidos nas espécies de peixes do Verão de 2010/2011.....	117
Tabela 38 - Concentração de cromo ($\mu\text{g g}^{-1}$) em tecidos nas espécies de peixes do Verão de 2011/2012.....	117
Tabela 39 - Concentração de selênio ($\mu\text{g g}^{-1}$) em tecidos nas espécies de peixes do Verão de 2010/2011.....	121
Tabela 40 - Concentração de selênio ($\mu\text{g g}^{-1}$) em tecidos nas espécies de peixes do Verão de 2011/2012.....	121
Tabela 41 - Concentração ($\mu\text{g g}^{-1}$ peso úmido) de selênio no fígado e rim de diversas espécies de peixes pesquisados em outras regiões. Média \pm SD (Min – Max).....	123
Tabela 42 - Concentração de níquel ($\mu\text{g g}^{-1}$) em tecidos nas espécies de peixes do Verão de 2010/2011.....	125
Tabela 43 - Concentração de níquel ($\mu\text{g g}^{-1}$) em tecidos nas espécies de peixes do Verão de 2011/2012.....	125
Tabela 44- Concentração de molibdênio ($\mu\text{g g}^{-1}$) em tecidos nas espécies de peixes do Verão de 2010/2011.....	128
Tabela 45 - Concentração de molibdênio ($\mu\text{g g}^{-1}$) em tecidos nas espécies de peixes do Verão de 2011/2012.....	128
Tabela 46 - Ordem de concentração dos elementos traço encontradas em tecidos de <i>C. Latus</i> , <i>A.rhombidalis</i> e <i>L. lutjanus</i>	130
Tabela 47 - Distribuição de alguns elementos traço em tecidos de peixe.....	131
Tabela 48 - Ordem de concentração dos elementos traço encontradas em cada tecidos de <i>C. Latus</i> , <i>A. rhombidalis</i> e <i>L. lutjanus</i>	133

Tabela 49 - Avaliação da variação de concentração de ferro nos tecidos das espécies <i>L. synagris</i> e <i>C. latus</i> nos dois períodos de estudo ($\mu\text{g g}^{-1}$ peso úmido)...	134
Tabela 50 - Avaliação da variação de concentração de zinco nos tecidos das espécies <i>L. synagris</i> e <i>C. latus</i> nos dois períodos de estudo ($\mu\text{g g}^{-1}$ peso úmido)...	134
Tabela 51 - Avaliação da variação de concentração de cobre nos tecidos das espécies <i>L. synagris</i> e <i>C. latus</i> nos dois períodos de estudo ($\mu\text{g g}^{-1}$ peso úmido)...	135
Tabela 52 - Avaliação da variação de concentração de manganês nos tecidos das espécies <i>L. synagris</i> e <i>C. latus</i> nos dois períodos de estudo ($\mu\text{g g}^{-1}$ peso úmido)...	135
Tabela 53 - Avaliação da variação de concentração de selênio nos tecidos das espécies <i>L. synagris</i> e <i>C. latus</i> nos dois períodos de estudo ($\mu\text{g g}^{-1}$ peso úmido)...	136
Tabela 54 - Avaliação da variação de concentração de cromo nos tecidos das espécies <i>L. synagris</i> e <i>C. latus</i> nos dois períodos de estudo ($\mu\text{g g}^{-1}$ peso úmido)...	136
Tabela 55 - Avaliação da variação de concentração de níquel nos tecidos das espécies <i>L. synagris</i> e <i>C. latus</i> nos dois períodos de estudo ($\mu\text{g g}^{-1}$ peso úmido)...	137
Tabela 56 - Avaliação da variação de concentração de molibdênio nos tecidos das espécies <i>L. synagris</i> e <i>C. latus</i> nos dois períodos de estudo ($\mu\text{g g}^{-1}$ peso úmido)...	137
Tabela 57 - Concentração de cádmio ($\mu\text{g g}^{-1}$) em tecidos nas espécies de peixes do Verão de 2010/2011	147
Tabela 58 - Concentração de cádmio ($\mu\text{g g}^{-1}$) em tecidos nas espécies de peixes do Verão de 2011/2012	147
Tabela 59 - Concentração ($\mu\text{g g}^{-1}$ peso úmido) de cádmio no fígado de diversas espécies de peixes pesquisados em outras regiões. Média \pm SD (Min – Max).....	149
Tabela 60 - Concentração de chumbo ($\mu\text{g g}^{-1}$) em tecidos nas espécies de peixes do Verão de 2011/2012	149
Tabela 61 - Concentração ($\mu\text{g g}^{-1}$ peso úmido) de chumbo no fígado de diversas espécies de peixes pesquisados em outras regiões. Média \pm SD (Min – Max).....	150
Tabela 62 - Concentração de lítio ($\mu\text{g g}^{-1}$) em tecidos nas espécies de peixes do Verão de 2010/2011	151
Tabela 63 - Concentração de lítio ($\mu\text{g g}^{-1}$) em tecidos nas espécies de peixes do Verão de 2011/2012	151
Tabela 64 - Concentração de arsênio ($\mu\text{g g}^{-1}$) em tecidos nas espécies de peixes do Verão de 2010/2011	154

Tabela 65 - Concentração de arsênio ($\mu\text{g g}^{-1}$) em tecidos nas espécies de peixes do Verão de 2011/2012.....	154
Tabela 66 - Ordem de concentração dos elementos traço encontradas em tecidos de <i>C. Latus</i> , <i>A.rhombidalis</i> e <i>L. lutjanus</i>	158
Tabela 67 - Distribuição de alguns elementos traço em tecidos de peixe.....	159
Tabela 68 - Avaliação da variação de concentração de cádmio nos tecidos da espécie <i>C. latus</i> nos dois períodos de estudo ($\mu\text{g g}^{-1}$ peso úmido).....	159
Tabela 69 - Avaliação da variação de concentração de lítio nos tecidos das espécies <i>L. synagris</i> e <i>C. latus</i> nos dois períodos de estudo ($\mu\text{g g}^{-1}$ peso úmido).....	161
Tabela 70 - Avaliação da variação de concentração de arsênio nos tecidos das espécies <i>L. synagris</i> e <i>C. latus</i> nos dois períodos de estudo ($\mu\text{g g}^{-1}$ peso úmido).....	161
Tabela 71 - Comparação das faixas de concentrações dos elementos químicos com os seus valores máximos permitidos pela legislação brasileira vigente ($\mu\text{g g}^{-1}$ peso úmido).....	166
Tabela 72 - Total de variância explicada pela PCA.....	168
Tabela 73 - Análise de Correlação Multielementar reportado pelo PCA ($p < 0,05$).....	172

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Frequência de pesquisas sobre elementos traço em peixes nos diversos ambientes aquáticos (2007 - 2011)	27
Figura 2 - Elementos traço mais pesquisados em tecidos de peixes	32
Figura 3 - Pré-tratamento da amostra: A - Biometria; B - Separação dos tecidos e (C) embalado para armazenamento	50
Figura 4 - Digestão das amostras em bloco digestor (A) até completa mineralização (B)	53
Figura 5 - Instrumentos empregados na determinação dos elementos químicos: A - ICP-MS; B - ICP OES	56
Figura 6 - Imagens das seis espécies de peixes pesquisadas neste trabalho	61
Figura 7 - Acidez residual das amostras digeridas pelas diferentes misturas de ácidos	64
Figura 8 - Concentração de cálcio nas espécies pesquisadas no Verão 2010/2011	71
Figura 9 - Concentração de cálcio nas espécies pesquisadas no Verão 2011/2012	71
Figura 10 - Concentração de magnésio nos diversos tecidos das espécies pesquisadas no Verão 2010-2011	79
Figura 11 - Concentração de magnésio nos diversos tecidos das espécies pesquisadas no Verão 2011-2012	79
Figura 12 - Concentração de estrôncio nas espécies pesquisadas no Verão 2010/2011	81
Figura 13 - Concentração de estrôncio nas espécies pesquisadas no Verão 2011/2012	81
Figura 14 - Concentração de fósforo nas espécies pesquisadas no Verão 2010/2011	84
Figura 15 - Concentração de fósforo nas espécies pesquisadas no Verão 2011/2012	84
Figura 16 - Concentração de potássio nas espécies pesquisadas no Verão 2010/2011	87
Figura 17 - Concentração de potássio nas espécies pesquisadas no Verão 2011/2012	87

Figura 19 - Matriz scatterplots da correlação de Spearman para a concentração de magnésio entre os tecidos analisados (N = 31).	93
Figura 18 - Matriz scatterplots da correlação de Spearman para a concentração de cálcio entre os tecidos analisados (N = 31).	93
Figura 21 - Matriz scatterplots da correlação de Spearman para a concentração de fósforo entre os tecidos analisados (N = 31).	94
Figura 20 - Matriz scatterplots da correlação de Spearman para a concentração de estrôncio entre os tecidos analisados (N = 31).	94
Figura 22 - Matriz scatterplots da correlação de Spearman para a concentração de potássio entre os tecidos analisados (N = 31).	95
Figura 23 - Regressão Linear da correlação de tecidos com p-value relevante para a concentração de cálcio e magnésio.	95
Figura 24 - Regressão Linear da correlação de tecidos com p-value relevante para a concentração de estrôncio e fósforo.	96
Figura 25 - Concentração de ferro nos diversos tecidos das espécies pesquisadas no Verão 2010-2011.....	99
Figura 26 - Concentração de ferro nos diversos tecidos das espécies pesquisadas no Verão 2011-2012.....	99
Figura 27 - Concentrações de ferro em músculos de peixes de diversas regiões do mundo	101
Figura 28 - Concentrações de ferro em fígado de peixes de diversas regiões do mundo	101
Figura 29 - Concentração de zinco nas espécies pesquisadas no Verão 2010/2011	104
Figura 30 - Concentração de zinco nas espécies pesquisadas no Verão 2011/2012	104
Figura 31 - Concentrações de zinco em músculos de peixes de diversas regiões do mundo	106
Figura 32 - Concentrações de zinco em músculos peixes de diversas regiões do mundo	106
Figura 33 - Concentração de cobre nos diversos tecidos das espécies pesquisadas no Verão 2010-2011.....	109

Figura 34 - Concentração de cobre nos diversos tecidos das espécies pesquisadas no Verão 2011-2012.....	109
Figura 35 - Concentrações de cobre em músculos de peixes de diversas regiões do mundo	110
Figura 36 - Concentrações de cobre em fígado de peixes de diversas regiões do mundo	110
Figura 37 - Concentração de manganês nas espécies pesquisadas no verão 2010/2011	114
Figura 38 - Concentração de manganês nas espécies pesquisadas no verão 2011/2012	114
Figura 39 - Concentrações de manganês em músculos peixes de diversas regiões do mundo	115
Figura 40 - Concentrações de manganês em músculos peixes de diversas regiões do mundo	115
Figura 41 - Concentração de cromo nos diversos tecidos das espécies pesquisadas no Verão 2010-2011.....	118
Figura 42 - Concentração de cromo nos diversos tecidos das espécies pesquisadas no Verão 2011-2012.....	118
Figura 43 - Concentrações de cromo em fígado peixes de diversas regiões do mundo	119
Figura 44 - Concentrações de cromo em fígado peixes de diversas regiões do mundo	119
Figura 45 - Concentração de selênio nos diversos tecidos das espécies pesquisadas no Verão 2010-2011.....	122
Figura 46 - Concentração de selênio nos diversos tecidos das espécies pesquisadas no Verão 2011-2012.....	122
Figura 47 - Concentrações de selênio em músculo peixes de diversas regiões do mundo	123
Figura 48 - Concentração de níquel nos tecidos das espécies pesquisadas no Verão 2010-2011	126
Figura 49 - Concentração de níquel nos tecidos das espécies pesquisadas no Verão 2011-2012	126

Figura 50 - Concentrações de níquel em fígado peixes de diversas regiões do mundo	127
Figura 51- Concentração de molibdênio nos diversos tecidos das espécies pesquisadas no Verão 2010-2011.....	129
Figura 52 - Concentração de molibdênio nos diversos tecidos das espécies pesquisadas no Verão 2011-2012.....	129
Figura 54 - Matriz scatterplots da correlação de Spearman para a concentração de zinco entre os tecidos analisados (N = 31).....	139
Figura 53 - Matriz scatterplots da correlação de Spearman para a concentração de ferro entre os tecidos analisados (N = 31).....	139
Figura 56 - Matriz scatterplots da correlação de Spearman para a concentração de manganês entre os tecidos analisados (N = 31).	140
Figura 55 - Matriz scatterplots da correlação de Spearman para a concentração de cobre entre os tecidos analisados (N = 31).....	140
Figura 58 - Matriz scatterplots da correlação de Spearman para a concentração de cromo entre os tecidos analisados (N = 31).....	141
Figura 57 - Matriz scatterplots da correlação de Spearman para a concentração de selênio entre os tecidos analisados (N = 31).....	141
Figura 60 - Matriz scatterplots da correlação de Spearman para a concentração de molibdênio entre os tecidos analisados (N = 31).....	142
Figura 59 - Matriz scatterplots da correlação de Spearman para a concentração de níquel entre os tecidos analisados (N = 31).	142
Figura 61 - Regressão Linear da correlação de tecidos com p-value relevante para a concentração de zinco, manganês e ferro.	143
Figura 62 - Regressão Linear da correlação de tecidos com p-value relevante para a concentração do cobre.	144
Figura 63 - Regressão Linear da correlação de tecidos com p-value relevante para a concentração de cromo, selênio e níquel.....	145
Figura 64 - Concentração de lítio nos diversos tecidos das espécies pesquisadas no Verão 2010-2011.....	152
Figura 65 - Concentração de lítio nos diversos tecidos das espécies pesquisadas no Verão 2011-2012.....	152

Figura 66 - Concentração de arsênio nos Diversos tecidos das espécies pesquisadas no Verão 2010-2011.....	155
Figura 67 - Concentração de arsênio nos Diversos tecidos das espécies pesquisadas no Verão 2011-2012.....	155
Figura 69 - Matriz scatterplots da correlação de Spearman e seus p-values correspondentes para a concentração de cádmio entre os tecidos analisados (N = 31).....	162
Figura 68 - Matriz scatterplots da correlação de Spearman e seus p-values correspondentes para a concentração de chumbo entre os tecidos analisados (N = 31).....	162
Figura 71 - Matriz scatterplots da correlação de Spearman e seus p-values correspondentes para a concentração de arsênio entre os tecidos analisados (N = 31).....	163
Figura 70 - Matriz scatterplots da correlação de Spearman e seus p-values correspondentes para a concentração de lítio entre os tecidos analisados (N = 31).	163
Figura 72 - Regressão Linear da correlação de tecidos com p-value relevante para a concentração do cádmio e lítio.....	164
Figura 73 - Regressão Linear da correlação de tecidos com p-value relevante para a concentração do arsênio.	165
Figura 74 - Análise do Componente Principal (PCA - <i>two way</i>) para os elementos químicos e medidas biométricas.	169
Figura 75 - Análise do Componente Principal (PCA - <i>three way</i>) para os elementos químicos e medidas biométricas	170

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACGIH - American Conference of Industrial Hygienists

ANOVA - Análise de Variância

ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária

AOAC - Association of Official Analytical Chemists

ATSDR - Agency for Toxic Substances and Disease Registry

BTS - Baía de Todos os Santos

CRM - Material de referência certificado

FNB - Food and Nutrition Board

IARC - International Agency for Research on Cancer

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICP OES - Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado

ICP-MS - Espectrometria de massa com Plasma Indutivamente Acoplado

LOD - Limite de detecção

LOQ - Limite de quantificação

PCA - Análise do Componente Principal

WHO - World Health Organization

SUMÁRIO

RESUMO	VIII
ABSTRACT	IX
ÍNDICE DE TABELAS	X
ÍNDICE DE FIGURAS	XV
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	XX
SUMÁRIO	XXI
1. INTRODUÇÃO	24
1.1 ELEMENTOS TRAÇO EM BIOTA E ECOSISTEMAS AQUÁTICOS.....	25
1.2 ESSENCIALIDADE E TOXICIDADE	29
1.3 PRINCIPAIS ELEMENTOS ESTUDADOS.....	32
1.3.1 <i>Chumbo</i>	33
1.3.2 <i>Zinco</i>	33
1.3.3 <i>Cádmio</i>	34
1.3.4 <i>Cobre</i>	35
1.3.5 <i>Cromo</i>	36
1.3.6 <i>Manganês</i>	37
1.3.7 <i>Níquel</i>	38
1.3.8 <i>Ferro</i>	39
1.3.9 <i>Arsênio</i>	39
1.3.10 <i>Selênio</i>	40
1.4 BIOMONITORAMENTO DA CONTAMINAÇÃO QUÍMICA.....	41
1.4.1 <i>Distribuição de Elementos Traço nos Tecidos</i>	44
2. OBJETIVOS	47
2.1 OBJETIVO GERAL	47
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	47
3. DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL	49

3.1 AMOSTRAGEM	49
3.2 PRÉ-TRATAMENTO DAS AMOSTRAS	49
3.3 DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO CENTESIMAL	50
3.3.1 <i>Determinação de Umidade, Proteínas e Cinzas</i>	50
3.3.2 <i>Determinação do Teor de Lipídeos Totais</i>	51
3.4 DETERMINAÇÃO DE ELEMENTOS QUÍMICOS	52
3.4.1 <i>Digestão da Amostra</i>	52
3.4.2 <i>Materiais, Soluções e Reagentes</i>	52
3.4.3 <i>Soluções Padrões</i>	53
3.4.4 <i>Instrumentação</i>	54
3.4.5 <i>Validação do Método</i>	56
3.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS	57
4.0 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA E DAS ESPÉCIES DE ESTUDO	58
4.1 BAÍA DE TODOS OS SANTOS (BTS)	58
4.1 CARACTERIZAÇÃO DAS ESPÉCIES ESTUDADAS	59
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	62
5.1 OTIMIZAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MÉTODO	62
5.1.1 <i>Otimização do método de digestão úmida</i>	62
5.1.2 <i>Validação do Método</i>	65
5.2 AVALIAÇÃO BIOMÉTRICA E COMPOSIÇÃO CENTESIMAL	67
5.3 CONCENTRAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE ELEMENTOS ESSENCIAIS E CONTAMINANTES NOS TECIDOS DE PEIXES	69
5.3.1 <i>Macroelementos (Ca, Mg, P, K) e Estrôncio</i>	69
5.3.1.1 <i>Concentração Individual nos tecidos</i>	69
5.3.1.2 <i>Variação da Concentração de Macroelementos entre os Tecidos</i>	88
5.3.1.3 <i>Variação Temporal da Concentração dos Elementos Traço</i>	88
5.3.1.4 <i>Análise da Correlação Individual dos Elementos Traço nos Tecidos</i>	89
5.3.2 <i>Elementos Traço Essenciais (Fe, Zn, Cu, Mn, Se, Cr, Ni, Mo)</i>	97
5.3.2.1 <i>Concentração Individual nos Tecidos</i>	97
5.3.2.2 <i>Variação da Concentração de Elementos Traço Essenciais entre os Tecidos</i>	127

5.3.2.3 Variação Temporal da Concentração dos Elementos Traço Essenciais	132
5.3.2.4 Análise da Correlação Individual dos Elementos Traço Essenciais nos Tecidos	138
5.3.3 <i>Elementos Traço Não Essenciais (Cd, Pb, Li, Sb, As)</i>	146
5.3.3.1 Concentração Individual nos Tecidos	146
5.3.3.2 Variação da Concentração de Elementos Traço Contaminantes entre os Tecidos	157
5.3.3.3 Variação Temporal da Concentração dos Elementos Contaminantes	158
5.4 AVALIAÇÕES DO RISCO À SAUDE HUMANA	166
6. CONCLUSÕES	173
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	176

1. INTRODUÇÃO

Os peixes atuam como um importante organismo do ecossistema aquático, no consumo alimentar humano e na economia (MAGES et al., 2008). Eles representam uma importante fonte de proteínas de alto valor, vitaminas e ácidos graxos poliinsaturados de cadeia longa (MEUCCI et al., 2009; CIARDULLO et al., 2008), os quais são conhecidos por trazerem benefícios cardiovasculares.

A segurança dos pescados é garantida pela inspeção realizada por autoridades e órgãos de saúde, mas, também, pela regulação da produção de metodologias (*guidelines*) que visam a precisão e confiança necessárias nas determinações de poluentes químicos.

A emissão de elementos traço e, conseqüentemente, seus efeitos, tem sido identificada como uma preocupação ambiental (AZEVEDO et al., 2009; ALHAS et al., 2009; DEMIREL et al., 2008; KAZI et al., 2009; VITEK et al., 2007; DURAL et al., 2007), principalmente em países com significativo desenvolvimento (AGUSA et al., 2007; SIVAPERUMAL, 2007). Os estudos mais recentes sobre elementos traço em organismos aquáticos têm como focos principais: O mecanismo de sua acumulação; fatores geoquímicos e biológicos que afetam o metabolismo e acumulação de elementos traço no organismo animal e; a sua transferência ao longo de diferentes cadeias alimentares (TUZEN, 2009).

Os riscos de contaminação dos ecossistemas aquáticos por elementos traço têm preocupado devido as suas grandes conseqüências ecológicas (MENDIL et al., 2007; ABDALLAH, 2008), onde a biota aquática é prejudicada por causa do stress ambiental por longa exposição ao contaminante, principalmente, as espécies de

importância comercial e as espécies intolerantes à variação dos níveis de concentração desses elementos no ecossistema.

Apesar desses contaminantes em potencial também serem de origem natural (FIDAN et al., 2008), as suas principais fontes são de atividades humanas. Seu acúmulo no ambiente aquático pode favorecer uma provável bioacumulação e biomagnificação nos organismos ao longo da cadeia trófica do ecossistema aquático (DURAL et al., 2007), magnificando seu poder tóxico nos consumidores do topo da cadeia como, baleias, pássaros e o homem (SILVA, 2007).

Diante do cenário atual de poluição dos ecossistemas aquáticos, há uma necessidade crescente em encontrar níveis de contaminação em alimentos públicos, particularmente no peixe e seus produtos derivados (REIS et al., 2008). A avaliação de potencial perigo de contaminantes que causam efeitos adversos no peixe é de fundamental importância.

Dessa forma, o estudo de contaminação de ecossistemas é um dos principais objetivos da química analítica ambiental (MOREDA-PIÑEIRO et al., 2007), devido a extrema importância do desenvolvimento de novas metodologias que permitam a extração e quantificação segura de nutrientes inorgânicos, para subsequente determinação da biodisponibilidade aparente desses nutrientes no estudo da nutrição animal (NEVES et al., 2009).

1.1 ELEMENTOS TRAÇO EM BIOTA E ECOSSISTEMAS AQUÁTICOS

Elementos traço de origem natural e antropogênica estão presentes nos ecossistemas ao redor do mundo. A ocorrência não natural desses elementos em

regiões distantes de atividades antropogênicas, tais como o Ártico e Antártica é uma preocupação (KOJADINOVIC et al., 2007). O fundo do oceano é uma vasta área, o qual compreende uma ampla área inexplorada, especialmente em termos de sua biota. Entretanto essas áreas remotas são alcançadas por diversos grupos de poluentes antropogênicos tais como os elementos traço (ABDALLAH, 2008).

As águas tropicais são menos monitoradas que os ambientes marinhos de regiões temperadas e polares, mais particularmente os oceanos do sudeste tropical, os quais são geralmente considerados como menos contaminados que os da região nordeste. A zona tropical do oceano Índico tem, até o presente, recebida pequena atenção de pesquisadores com referência a níveis de elementos traço em organismos marinhos (ROBINSON, 2004).

Além do ambiente marinho, costeiro e estuarino, há uma preocupação com o impacto de poluentes químicos em ambientes de águas naturais, tais como lagos e rios (MEUCCI et al., 2009; REIS et al., 2008). Uma revisão bibliográfica de artigos recentemente publicados sobre determinação de elementos traço em ambientes aquáticos nos últimos anos (2007-2011), no banco de dados do *web of science* e do *science direct*, demonstrou essa tendência e preocupação, onde o total de trabalhos para amostras de peixes de rios e lagos é quase igual ao número de trabalhos realizados com peixes de ambiente marinho (Figura 1).

Vale destacar que a maioria dos trabalhos publicados nos últimos anos, cerca de 40%, foram realizados para os mares e lagos da Turquia, região onde a pesquisa visando a avaliação da concentração de metais em peixes é mais difundida (TÜRKMEN et al., 2009a; YILDIRIM et al., 2009; ALHAS et al., 2009; TÜRKMEN et al., 2009b; TUZEN, 2009; TEPE et al., 2008; TÜRKMEN et al., 2008a; FIDAN et al., 2008; YILMAZ e DOGAN., 2008; TÜRKMEN et al., 2008b; OZAN e KIR, 2008;

ULUOZLU et al., 2007; KESKIN et al., 2007; ULUTURHAN e KUCUKSEZGIN, 2007; ERSOY e CELIK, 2009; OZTURK et al., 2009; DAS et al., 2009).

O Brasil, apesar de possuir uma grande extensão costeira, ainda tem recebido pouca atenção em relação ao desenvolvimento de pesquisas de monitoramento de peixes de ambientes aquáticos de mares temperados, havendo um menor volume de trabalhos publicados (AZEVEDO et al., 2009; NEVES et al., 2009; REIS e ALMEIDA, 2008; TERRA et al., 2008).

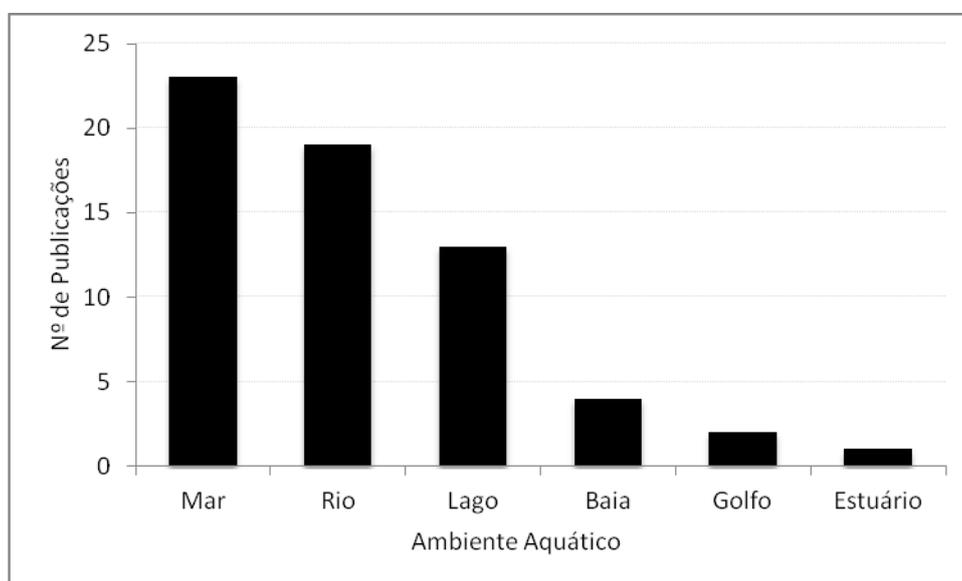


Figura 1 - Frequência de pesquisas sobre elementos traço em peixes nos diversos ambientes aquáticos (2007 - 2011)

As concentrações de elementos traço têm aumentado nos ecossistemas de águas naturais (ÖZAN et al., 2008), devido a sua liberação contínua por fontes naturais e uma variedade de atividades antropogênicas (REIS e ALMEIDA, 2008; UYSAL et al., 2008), que podem ameaçar o suprimento de água pública, além do risco para a saúde humana pelo consumo de pescados (TERRA et al., 2008).

As lagoas costeiras são ecossistemas vulneráveis à contaminação por poluentes de atividades antropogênicas. São ecossistemas que possuem uma grande biodiversidade e, diversas espécies de peixes têm parte de seu ciclo de vida nesse ambiente (UYSAL et al., 2008). Nas lagoas, essas espécies encontram o alimento necessário para o seu desenvolvimento em alguma fase de sua vida (larval, juvenil ou adulta), sendo então, conhecidos como de grande importância e significância para a vida de diversos peixes e vários outros organismos aquáticos.

Alguns metais existem em concentrações extremamente pequenas no ambiente marinho (ULUTURHAN E KUCUKSEZGIN, 2007). De um modo geral, os metais de origem natural ocorrem, principalmente, como componentes traço de minerais detríticos, enquanto que os de origem antrópica, uma vez descarregados em águas superficiais, são associados ao material particulado ou transportados na forma dissolvida e, eventualmente, coloidal.

Os oceanos recebem toda a carga transportada pelas correntes originadas do intemperismo dos continentes. O sedimento marinho tem sido considerado um dos melhores meios incorporadores de metais (LUOMA e BRYAN, 1981).

Boa parte da contaminação de metais de origem antropogênica do ambiente aquático vem de atividades de minas, agricultura intensiva, efluentes domésticos e industriais não tratados, lixiviação da agricultura (BATVARI et al., 2008; DALMAN E BALCI, 2006; TÜRKMEN et al., 2009a; AZEVEDO et al., 2009; IKEM e EGIEBOR., 2005), atividades portuárias e de navegação (AZEVEDO et al., 2009).

1.2 ESSENCIALIDADE E TOXICIDADE

Alguns elementos traço são fisiologicamente essenciais para plantas e animais e assim possuem relação direta com a sobrevivência desses organismos e sua cadeia alimentar, outros são usados em indústrias como matéria prima ou tomando parte no processo para obtenção do produto final que devido a sua grande utilização pode se tornar poluente significativo do ambiente marinho.

O tecido corporal do animal é constituído por apenas 4% de espécies inorgânicas, mas são essenciais para realização de processos vitais do organismo (NEVES et al., 2009). Esses processos ou mecanismos podem ser relacionados como estruturais ou funcionais.

Em processos funcionais, os elementos inorgânicos atuam na catálise de mecanismos e sistemas enzimáticos, ligando seus íons aos substratos e favorecendo inúmeras reações, tais como as reações de oxidação-redução ou redox, por meio de mudanças reversíveis no estado de oxidação do íon metálico. Estruturalmente, integram compostos orgânicos do corpo, tais como o ferro na hemoglobina e cobalto na vitamina B12 (CAMPBELL, 2000).

Os elementos inorgânicos são classificados, como macro e microelementos (ou elementos traço), segundo o maior ou menor requerimento de suas concentrações pelo organismo. Uma variação no balanço da concentração de elementos traço pode representar um risco para várias doenças no animal (TÜRKMEN et al., 2009a).

Os elementos traço, nas formas iônicas, livres ou associados a outras espécies químicas, possuem funções importantes nos sistemas biológicos dos organismos. Alguns deles são considerados essenciais devido a sua carência

causar patologias ao organismo, sendo a patologia minimizada ou extinguida com a suplementação alimentar do elemento (SILVA, 2007). Avaliando os elementos da tabela periódica, 25 deles são considerados como essenciais para a vida humana (WATANABE et al., 1997), sendo que 11 deles (Co, Cu, Cr, I, Mn, Mo, Ni, Se, Si, V, e Zn) encontram-se em baixas concentrações (< 7 g de um indivíduo de 70 kg) e, por isso, são denominados elementos traço (CORREIA, 2001). A maioria desses elementos são cofatores enzimáticos e participam de atividades metabólicas importantes no organismo, tais como: transporte de oxigênio, combate aos radicais livres e a organização estrutural de macromoléculas.

A exposição de peixes ao elemento tóxico pode causar a síntese de metalotioneína no fígado, rins e guelras, e esses elementos podem se infiltrar no corpo do animal diretamente por esse mecanismo (HAMILTON e MEHRLE, 1986). A acumulação de metais pela biota e a associação dos efeitos biológicos com contaminação por metais são questões importantes que precisam ser levantadas (REIS et al., 2008), tornando-se muito importante compreender, avaliar e monitorar a acumulação de metais nos ecossistemas aquáticos.

A elevada concentração de elementos traço nos sedimentos, solo, água e plantas têm efeitos sobre a saúde animal (MOORE E RAMAMOORTHY, 1984). Uma vez que esses elementos alcancem o homem eles podem produzir doenças crônicas e agudas (FRANÇA et al., 2005) e resulta na extinção completa de algumas espécies intolerantes ao aumento desses poluentes no ambiente (CHEUNG et al., 2008).

Alguns desses elementos representam um sério problema, sendo tóxicos em concentrações traço, tais como o mercúrio, chumbo, cádmio e arsênio (TÜRKMEN et al., 2009a), devido ao seu potencial de toxicidade, habilidade para se acumular na

biota (MATTA et al., 1999; ISLAM e TANAKA, 2004) e longa persistência e biomagnificação na cadeia alimentar (PAPAGIANNIS et al., 2004; IKEM e EGILLA, 2008). Os elementos essenciais também podem ser perigosos, devido a exposição contínua dos organismos às elevadas concentrações (MEUCCI et al., 2009; TÜRKMEN et al., 2009b; KARADEDE, 2007), podendo resultar em bioacumulação e transferência para a cadeia trófica e, conseqüentemente, para o homem.

Os elementos traço com suas formas de ligações têm potencial para afetar vários processos biológicos nos organismos aquáticos (KARGIN e COGUN, 1999), causando danos estruturais e funcionais aos organismos por interferir em seu mecanismo fisiológico e bioquímico (ALHAS et al., 2009). Dentre esses efeitos estão efeitos de mutagenicidade e genotoxicidade, interferências em vias metabólicas xenobióticas, efeitos na glicólise, no ciclo de krebs, na oxidação fosforilativa, na proteína de aminoácidos, carboidratos e metabolismo de lipídeos (STRYDOM, et al., 2006). Além de efeitos adversos nos estágios iniciais de vida (BESSER et al., 1993) e nas fases reprodutivas (AZEVEDO et al., 2009).

Devido à importância da avaliação e controle na sua ingestão via dieta alimentar, vários países possuem regulações sobre os níveis de contaminação de elementos traço tóxicos em alimentos e seus derivados, especialmente frutos do mar (MANUTSEWEE et al., 2007). A União Européia estabelece os níveis máximos (MLs) para Cd, Pb e Hg em músculos de peixes. Estes valores, em $\mu\text{g g}^{-1}$ de peso úmido, são os seguintes: 0,050 (com faixa entre 0,10-0,30 para algumas espécies selecionadas); 0,30 e 0,50 (com faixas de 1,0 para peixes predatórios), respectivamente. O maior MLs para o Hg reflete a tendência desse elemento se acumular nos músculos largamente como metilmercúrio (CH_3Hg^+ ; CIARDULLO et al., 2008).

A agência de Substâncias Tóxicas dos Estados Unidos (ATSDR) classificou o Hg, Pb, Cd e As como potencialmente tóxico para a saúde humana devido a serem conhecidos ou suspeitos de toxicidade (ATSDR, 2006). No Brasil, a Agência de Vigilância Sanitária (ANVISA, 1965), estabelece valores limites máximos de ingestão de frutos do mar para os elementos, tais como ($\mu\text{g g}^{-1}$): cádmio 1,0; cromo 0,1; cobre 30,0; níquel 5,0; chumbo 2,0; selênio 0,05; arsênio 1,0; antimônio 2,0; mercúrio 0,50; estanho 250,0 e. zinco 50,0.

1.3 PRINCIPAIS ELEMENTOS ESTUDADOS

Uma revisão bibliográfica em trabalhos publicados recentemente (2007 - 2011), no banco de dados do *web of science* e do *science direct*, sobre concentrações de elementos traço em tecidos de peixes, foi verificado a determinação de 48 elementos da tabela periódica. Dentre eles os mais pesquisados foram os elementos: Pb, Zn, Cd, Cu, Cr e Mn (Figura 2).

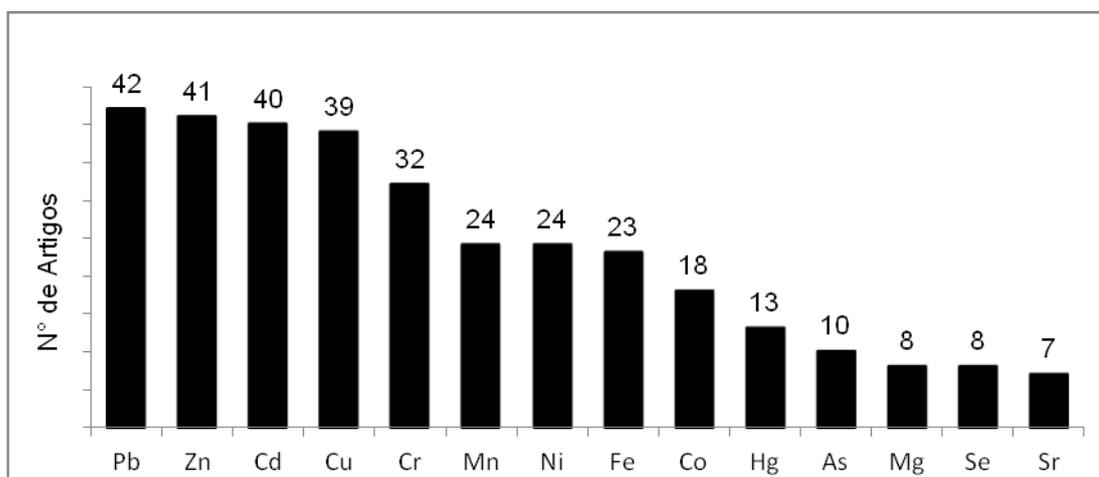


Figura 2 - Elementos traço mais pesquisados em tecidos de peixes

1.3.1 Chumbo

A maior parte do chumbo no ambiente marinho provém de fontes antrópicas. O chumbo de origem poluente pode ser transportado por longas distâncias e misturar-se com o chumbo de origem natural. Esta contribuição é introduzida na coluna d'água e depositada ao longo do tempo, no sedimento de fundo. Ele é utilizado em indústrias, em mineração, carvão e plumbagem. A presença de chumbo no organismo provoca anemia, doenças nos rins e pode atingir o sistema nervoso. A absorção oral de sais de chumbo pode provocar envenenamento agudo ou crônico a depender da dose (ROCHA, 1973). Chumbo possui quatro isótopos de ocorrência natural, com as seguintes abundâncias: ^{204}Pb (1,4%), ^{206}Pb (24,1%), ^{207}Pb (22,1%) e ^{208}Pb (52,4%), sendo encontrado na natureza nos estados de oxidação Pb^{+2} e Pb^{+4} (CAMPBELL, 2000).

A agência Internacional de Pesquisas sobre o Câncer (IARC) reconhece que o chumbo inorgânico e seus compostos são provavelmente carcinogênicos humano, grupo 2A (IARC, 2004). Enquanto que a Conferência do Governo Americano da Indústria de Higiene (ACGIH), já reconhece que os compostos inorgânicos de chumbo são carcinogênico animal confirmado com relevância desconhecida para seres humanos, grupo 3A (ACGIH, 2003).

1.3.2 Zinco

Zinco é um elemento essencial devido a sua importância estrutural e/ou catalítica em mais de 300 proteínas que atuam em importantes mecanismos do peixe, tais como: crescimento, reprodução, desenvolvimento, visão e função

imunológica (WATANABE, et al., 1997). Sua principal ocorrência se dá na forma de óxidos, sulfatos, nitratos e carbonatos (BRITO, 1988) e a ubiquidade do zinco é por causa de sua habilidade em formar diversas cordenações geométricas, permitindo sua interação com uma grande quantidade de entidades celulares (MCCALL et al., 2000). É o segundo elemento traço mais abundante no corpo humano, sendo 80% distribuído em ossos, músculos, fígado e pele (COZZOLINO, 2005).

O requerimento alimentar de zinco para os peixes está em torno de 230-460 μmol (15-30 mg) Kg^{-1} de peso seco (GATLIN e WILSON, 1983). A sua toxicidade em peixes é caracterizada por interferir com a homeostase do cálcio, competindo em suas ligações. Para humanos, tem sido reportada como causa de desbalanço eletrolítico, náuseas, anemia e letargia (PRASAD, 1984).

1.3.3 Cádmi

O elemento cádmio é distribuído no organismo ligado à albumina, sendo acumulado no fígado e rins, principalmente em sua forma ligada à metalotioneina, além de se acumular nos pulmões, pâncreas, testículos e tireóide (ASTDR, 2010). Segundo a literatura, o cádmio ingerido não é prontamente absorvido, sendo sua absorção pelo trato gastrointestinal influenciada por outros fatores, como por exemplo, a carência nutricional. Entretanto, no corpo, devido a longa meia-vida desse metal, até mesmo a exposição moderada pode causar efeitos a saúde ao longo do tempo (AKESSON et al., 2005).

Este elemento pode causar danos aos rins e sintomas de toxicidades, incluindo baixa capacidade de reprodutividade, hipertensão, tumores e disfunções hepáticas (WAALKES, 2000), além de efeitos cardiotoxicos (ASTDR, 2010). A

toxicidade crônica por cádmio pode levar a lesões ósseas devido à competição do cádmio com o cálcio (ASTDR, 2010). Este elemento e seus compostos são reconhecidos pela IARC como carcinogênico humano, grupo 1 (IARC, 2004) e pela ACGIH como suspeito de ser carcinogênico humano, 2A (ACGIH, 2003).

1.3.4 Cobre

O elemento cobre está presente em todos os ambientes aquáticos. É um elemento essencial para os organismos, participando de sistemas de mecanismos biológicos (KESKIN et al., 2007). O requerimento diário de cobre para peixes é cerca de 15 - 60 mg Kg⁻¹ de peso seco (WATANABE et al., 1997).

A dieta é a principal fonte de cobre para o peixe (KAMUNDE et al, 2002), sendo que a sua absorção pela respiração (guelras) também pode contribuir com a sua incorporação ao seu organismo (WATANABE, 1997). Os animais acumulam cobre em seu corpo diretamente proporcional ao aumento da sua biodisponibilidade na água e na cadeia alimentar (RAINBOW, 1995). Este elemento age como cofator de numerosas proteínas, por exemplo, a superóxido dismutase e ceruloplasmina. A sua flexibilidade redox permite atuar em um mecanismo vital na respiração celular, devido ao citocromo c oxidase ser uma importante proteína ligada ao cobre (CAMPBELL, 2000).

Entretanto o cobre pode se tornar tóxico quando presente em altas concentrações no ambiente. E, nessas condições, ele é incluído como um dos metais mais tóxicos para a biota e geralmente se acumula e causa danos irreversíveis para algumas espécies (GUNER, 2007). Seu excesso pode produzir radicais livres nos tecidos onde ele se acumula (BURY et al., 2003). Para o homem,

o excesso de ingestão de cobre pode causar cirrose hepática, dermatites e desordens neurológicas (PRASAD, 1984).

1.3.5 Cromo

Em humanos e animais cromo é um nutriente essencial e atua como um componente de várias enzimas que participam de importantes reações metabólicas (glicose, lipídeos e proteínas; SILVA, 2007). A sua absorção depende do seu estado de valência e a natureza de suas ligações. A forma biologicamente ativa do cromo, chamada cromodulina, é geralmente um complexo oligopeptídico contendo 4 íons cromo (JACQUAMET et al., 2003). O homem e os animais são capazes de converter o cromo III para sua forma fisiologicamente ativa.

O cromo é liberado para o ambiente por meio de fontes naturais e antropogênicas. Uma das principais rotas de exposição ocorre via ingestão alimentar. Em geral, a maioria dos alimentos naturais possuem níveis de concentrações de cromo que variam de <10 a 1.300 $\mu\text{g kg}^{-1}$ (WATANEBE, 1997). Ainda há controvérsias sobre a essencialidade do cromo (III) para humanos e tem-se poucas informações sobre os efeitos provocados por sua deficiência. A maioria dos estudos indica que os seus compostos solúveis são mais absorvidos do que os insolúveis (por exemplo, CrCO_3) e é maior para o cromo (VI) solúvel (por exemplo, $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) do que os compostos de cromo (III) solúveis (por exemplo, CrCl_3) (CAMPBELL, 2000).

Cromo é distribuído para todos os tecidos, concentrando-se em maior quantidade nos rins e fígado, sendo o osso a principal deposição e pode contribuir para a sua retenção a longo tempo (COZZOLINO, 2005). Dentre os efeitos

toxicológicos podemos citar: problemas respiratórios, gastrointestinais, imunológicos, reprodutivos e de desenvolvimento fetal. Adicionalmente pode causar redução da vitamina A na corrente sanguínea e problemas renais, que em casos agudos, podem levar a doença de Wilson (SILVA, 2007; CORREIA, 2001).

1.3.6 Manganês

O elemento manganês também ocorre de forma natural na natureza, compreendendo cerca de 0,1% da crosta terrestre, sendo o quinto metal mais abundante. Ele é encontrado sob a forma de óxidos, carbonatos e silicatos em mais de 100 minerais com a maior parte deles de ocorrência natural (ASTDR, 2003).

É um elemento essencial, onde vários sistemas enzimáticos interagem e atuam com ou dependente do manganês para as suas funções de regulação catalítica. É requerido na formação da cartilagem do osso e do ciclo da uréia, e na manutenção das mitocôndrias, por ser um constituinte das enzimas superóxido dismutase mitocondrial (SOD), que é responsável pela correta metabolização dos radicais livres nas mitocôndrias (CORREIA, 2001), além de participar na produção de glicose.

Em geral, a população é exposta ao manganês, principalmente, via dieta alimentar. A Food and Nutrition Board (FNB, 2000) estabelece a concentração de manganês adequada por ingestão (para humanos) como sendo (mg/dia): 0,003 para recém-nascidos (0 - 6 meses); 0,6 (7 - 12 meses); 1,2 1,5 e 1,9 (para crianças de 1 - 3 anos, 4 - 8 anos e 9 - 13 anos, respectivamente); 2,2 e 1,6 para adolescente (homem e mulher, respectivamente) e 2,3 e 1,8 para adultos (homem e mulher

respectivamente. A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) tem classificado o manganês como não carcinogênico humano (ASTDR, 2001).

1.3.7 Níquel

Níquel é um elemento traço essencial nos animais, embora sua importância funcional não esteja claramente conhecida. O níquel ocorre naturalmente em solos e resíduos vulcânicos. É encontrado na forma Ni^{2+} ou Ni^{3+} , atuando como cofator (urease) componente estrutural de metaloenzimas específicas, sendo importante para o crescimento e formação de glóbulos vermelhos (CAMPBELL, 2000). Pode ser liberado para atmosfera pela combustão de óleos combustíveis, incineradores municipais, resíduos vulcânicos e indústrias envolvidas na refinaria de níquel. A forma de níquel emitida depende de sua fonte de origem, sendo seus óxidos, sulfatos e forma metálica associadas com a combustão, incineração e processos de refinaria (LAVILLA et al., 2008).

A rota principal de exposição ao níquel é através da ingestão alimentar. Há evidências suficientes para considerar os compostos de níquel menos solúveis como carcinógenos por inalação. O Departamento de Saúde e Serviços Humanos dos Estados Unidos determinou que o níquel metálico pudesse, razoavelmente, ser antecipadamente classificado como carcinogênico humano e os compostos de níquel já são conhecidos como carcinogênicos (ASTDR, 2001). A IARC também classificou o níquel metálico e os compostos de níquel como possivelmente carcinogênico humano do grupo 2B e A, respectivamente.

1.3.8 Ferro

A presença do ferro é indispensável ao desenvolvimento correto de numerosas funções fisiológicas. Ele atua principalmente, como integrante da molécula hemoglobina, aumentando a capacidade de ligação e transporte do oxigênio pela hemoglobina. É um componente da oxidase mitocondrial e faz parte como centro ativo de muitas metaloenzimas nos animais superiores (FRANCO, 1987)

A sobrecarga do ferro no organismo ocorre mais frequentemente devido à hemocromatose hereditária, que é consequência da absorção de ferro da alimentação diária. As consequências desse acúmulo ocorrem, em geral, entre os 30 e os 40 anos, sendo uma patologia genética manifestada pelo excesso de ingestão desse elemento (CARNEIRO, 2001). Todo o excesso de ferro ingerido é eliminado pelas fezes, pouca quantidade vem da bile. A excreção diária em um indivíduo normal é da ordem de 0,5 mg/dia (GOYER, 1995).

1.3.9 Arsênio

O elemento Arsênio é ubíquo na natureza e os humanos são sujeitos a numerosas fontes de exposição: ambiental, dieta alimentar, ocupacional, acidental, etc (KARADEDE, 2007). Há uma grande preocupação sobre a exposição de uma grande população humana (vários milhões) a elevadas doses de Arsênio, principalmente de fontes naturais tais como a água contaminada (MATTUSCH e WENNRICH, 2005) e frutos do mar.

Frutos do mar pode ser a principal fonte da exposição de arsênio total para o homem. A toxicidade de diferentes espécies de Arsênio em amostras marinhas depende de seu estado de oxidação e forma química. Apesar da presença e forma química variar segundo a espécie, os frutos do mar, por exemplo, geralmente contêm arsenobetaina e arsenocolina que não são tóxicos para o homem e são excretados pela urina (EDMONDS e FRANCESCONE., 1993).

A exposição aguda ao arsênio pelo homem causa grave quadro gastroentérico após 30 minutos de exposição (WHO, 2010). O arsênio é distribuído ao organismo ligado às proteínas plasmáticas, e sua acumulação após exposição aguda, ocorre no fígado e nos rins. Este elemento e seus compostos são reconhecidos pela IARC como carcinogênico humano, grupo I (IARC, 2004) e pela ACGIH como carcinogênico humano confirmado, 1A (ACGIH, 2003).

1.3.10 Selênio

Selênio atua como parte da enzima glutathione-peroxidase, agente oxidante que ataca radical livre na célula (GOYER, 1995), tendo, também funções bioquímicas na redução de hidroperóxidos nas células, plasma e trato gastrointestinal, onde é essencial para o metabolismo e excreção de H_2O_2 e lipídeo peroxidases nas células (LAUWERYS, 1994). O peixe é conhecido por conter maiores níveis de selênio do que a maioria dos frutos do mar, sendo a principal fonte desse elemento na dieta. O selênio proveniente de fontes orgânicas é absorvido por meio de aminoácidos e pode ser incorporado diretamente às proteínas corporais, onde ficam estocadas, diminuindo assim, sua excreção e a contaminação do meio ambiente (SILVA, 2007; PAIVA, 2006).

O comportamento dual do selênio, como um elemento essencial ou tóxico com uma estreita faixa entre a deficiência e os efeitos tóxicos tem sido reconhecido (OZAN e KIR, 2008). A Food and Nutrition Board (Estados Unidos) estabeleceu limites de ingestões para o selênio na dieta de adultos, sendo calculada com base nos limites recomendados na dieta (RDA) para certos grupos com requerimentos fisiológicos especiais, apresentando as seguintes faixas de concentração: 15 - 20 $\mu\text{g dia}^{-1}$ para crianças, 20 - 30 $\mu\text{g dia}^{-1}$ para crianças, 40 - 55 $\mu\text{g dia}^{-1}$ para adultos, 60 $\mu\text{g dia}^{-1}$ para grávidas e 70 $\mu\text{g dia}^{-1}$ para mães lactantes. Um limite com efeitos vitais é estabelecido como superior a 400 $\mu\text{g dia}^{-1}$ (FOOD ANDNUTRITION BOARD, 2000).

1.4 BIOMONITORAMENTO DA CONTAMINAÇÃO QUÍMICA

Em décadas recentes, visando a qualidade do suprimento público de alimento e a qualidade dos ecossistemas aquáticos, houve um crescente fomento a pesquisas de monitoramento ambiental, incluindo a avaliação do nível de contaminação por meio de monitoramento e análises de elementos traço em organismos com potencial de acumular esses poluentes em seus tecidos ao longo da cadeia trófica. O biomonitoramento atua como um importante mecanismo para avaliar a biodisponibilidade de metais no ambiente marinho.

O uso de organismos como indicadores de poluição tem vantagens sobre a análise química do compartimento abiótico por permitir o monitoramento contínuo no ambiente, por estarem sempre presentes e, por serem hábeis em integrar a

flutuação da concentração de poluentes ao longo do tempo e acompanhar a magnificação permitida pela bioacumulação (SILVA, 2007).

A maioria dos estudos que reportam pesquisas com organismos bioindicadores de poluição utilizam espécies de invertebrados (REDDY et al., 2001) e, em especial, moluscos (ESPAÑA et al., 2007; FANG et al., 2008; MOREDA-PIÑEIRO et al., 2007), tais como o mexilhão, por acumular elementos traço por filtração, e crustáceos como as lagostas (REIS e ALMEIDA, 2008) e camarões (SILVA, 2007), por ingestão de água intersticial e sedimento contaminado.

Diversos estudos têm sido reportados sobre acumulação de elementos traço em tecidos de diferentes espécies de peixes (FANG et al., 2008; KOJADINOVIC et al., 2007; SIVAPERUMAL 2007; ULUTURHAN E KUCUKSEZGIN, 2007; FERNANDES et al., 2008a; TÜRKMEN et al., 2008a; OZAN e KIR, 2008), demonstrando que os tecidos de peixes tem alta capacidade de bioacumular esses elementos (FISK et al., 2001).

Em revisão minuciosa da literatura atual (a partir de 2007), foi observado que, foram pesquisadas mais de 160 espécies de peixes que foram utilizadas para avaliação das concentrações de elementos traço em seus tecidos.

Dentre as espécies mais pesquisadas se destacam as espécies: *Merlangius merlangus*, *Mullus barbatus* e *Engraulis encrasicolus* (YILDIRIM et al., 2009; TUZEN, 2009; TÜRKMEN et al., 2008b; ULUOZLU et al., 2007; KESHIN et al., 2007).

A variabilidade da concentração de elementos traço em organismos marinhos depende de vários fatores ambientais ou puramente biológicos (ULUTURHAN E KUCUKSEZGIN, 2007). A maioria dos organismos desenvolveu mecanismos específicos para regular o metabolismo, excreção, translocação intracelular e

compartimentalização de metais essenciais. Esses mecanismos são necessários para proteger as células de uma reatividade tóxica (RALLE e LUTSENKO, 2009) e determina a sua acumulação e toxicidade no peixe (BANG et al., 2008).

Para um determinado elemento, a acumulação dentro do peixe pode variar com a rota metabólica (se foi metabolizado via ingestão ou absorção) e ainda segundo a intensidade e duração da exposição (THOMAS et al., 1985). Cada espécie tem um modo particular de acumular e/ou eliminar o metal quando exposta a determinados contaminantes (TERRA et al., 2008). Muitas das variações nas concentrações de elementos traço em tecidos de peixes têm sido atribuída a diversos fatores biológicos, tais como: variabilidade no tamanho e idade dos indivíduos, seu ciclo de vida, os hábitos alimentares das espécies e a época de estação da captura (MCCOY, 1995), cinética do metal, sua regulação e armazenamento, estratégia de alimentação, sexo, maturação (BANG et al., 2008).

Dentre os fatores biológicos, o mais pesquisado é a influência do tamanho do corpo. Entretanto, para o peixe, não há relação consistente entre a concentração de diferentes elementos traço e corpo ou tamanho de órgão (COETZEE et al., 2002; CANLI et al., 2003; ANAN et al., 2005).

A absorção e acumulação de metais pelos organismos podem ocorrer por vários mecanismos metabólicos: pelo trato digestivo (ingestão), pela superfície das guelras, através da respiração e adsorção (PTASHYNSKI et al., 2002; ZHOU et al., 2001). Eles são transferidos, via sangue, para outras partes do organismo, tais como o fígado e os rins em peixes (TÜRKMEN et al., 2009b). Os elementos traço podem se acumular em diferentes tecidos do peixe e a diferentes concentrações (BRIM et al., 2001; BERVOETS et al., 2001; RAO et al., 2000), podendo ser transportados em relação a afinidades entre eles (YILMAZ e DOGAN, 2008). Estudos biocinéticos de

metais têm sido realizados em organismos marinhos com o objetivo de verificar a dinâmica dos metais em seus tecidos (AGUSA et al., 2007).

Diversos órgãos do peixe são estudados quanto a sua acumulação de elementos traço, dentre eles, os músculos e o fígado são os mais analisados atualmente, além de outros tecidos, tais como: guelra, rim, otólito, gônada, intestino, esqueleto, e pele (Figura 2).

1.4.1 Distribuição de Elementos Traço nos Tecidos

A pesquisa da distribuição dos elementos traço tem sido amplamente pesquisadas em trabalhos reportados recentemente (CULIOLI et al., 2009; ALHAS et al., 2009; TÜRKMEN et al., 2009b; ALLINSON et al., 2009; MEUCCI et al., 2009; REYNDERS et al., 2008; FIDAN et al., 2008; HAS-SCHÖN et al., 2008; ÖZAN e KIR, 2008; BURGER et al., 2007; ULUTURHAN e KUCUKSEZGIN, 2007; MARIJIC e RASPOR, 2007; OZTURK et al., 2009; RAUF et al., 2009).

Dentre os tecidos analisados, os músculos são os mais frequentes. Ele não é um tecido ativo em acumular elementos traço, por causa de sua taxa metabólica (ULUTURHAN E KUCUKSEZGIN, 2007). Entretanto, já foram relatados níveis altos de concentrações em tecidos moles (músculos e peles) de alguns peixes de regiões poluídas, excedendo níveis aceitáveis (UYSAL et al., 2008).

A avaliação e regulação das concentrações desses elementos nos músculos de peixes são importantes para estimar as quantidades de metal que entra no consumo humano (PHILLIPS, 1995). Por isso, pesquisas ambientais com tecidos de músculos são amplamente realizadas (CULIOLI et al., 2009; ALHAS et al., 2009; TÜRKMEN et al., 2009b; ALLINSON et al., 2009; TEPE et al., 2008; REYNDERS et

al., 2008; FIDAN et al., 2008; HAS-SCHÖN et al., 2008; BATVARI et al, 2008; YILMAZ e DOGAN, 2008; FERNANDES et al., 2008b; TÜRKMEN et al., 2008b; ÖZAN e KIR, 2008) em espécies de peixes de diversas regiões do mundo.

Em seguida, os tecidos de peixe mais pesquisados foram: o fígado, que foi pesquisado por todos os trabalhos citados no parágrafo anterior e em diversos outros (AZEVEDO et al., 2009; TRIEBSKORN et al, 2008; ULUTURHAN e KUCUKSEZGIN, 2007; MARIJIC e RASPOR, 2007) e a guelra (CULIOLI et al., 2009; ALHAS et al., 2009; TÜRKMEN et al., 2009b; ALLINSON et al., 2009; TEPE et al., 2008; FIDAN et al., 2008; HAS-SCHÖN et al., 2008; BATVARI et al, 2008; YILMAZ e DOGAN, 2008; TRIEBSKORN et al, 2008; ÖZAN e KIR, 2008). Ambos os órgãos são preferencialmente usados para avaliar contaminação ambiental (KARADEDE, 2007). As concentrações de metais encontradas nas guelras podem refletir as concentrações de onde o peixe habita (ALHAS et al., 2009).

Em menor frequência, são verificadas pesquisas recentes com análises de elementos traço no rim (REYNDERS et al., 2008; HAS-SCHÖN et al., 2008; YILMAZ e DOGAN, 2008; MARIJIC e RASPOR, 2007), otolito (ARSLAN e SECOR, 2008; LOHER et al., 2008; LEAKEY et al., 2009), gônada (HAS-SCHÖN et al., 2008; TERRA et al., 2008; BANG et al., 2008; ULUTURHAN e KUCUKSEZGIN, 2007), intestino (REYNDERS et al., 2008; BATVARI et al, 2008; MARIJIC e RASPOR, 2007), esqueleto e pele (CULIOLI et al., 2009; SCHMITT, et al., 2009).

Dentre esses órgãos, a gônada é muito importante na transferência da contaminação para a próxima geração de peixes, resultando em mortes ou doenças (TERRA et al., 2008), onde os peixes se tornam muito suscetíveis a efeitos deletérios já nos seus estágios iniciais de vida (BANG et al., 2008). Entretanto, é um órgão ainda pouco investigado em relação a outros tecidos.

A pesquisa sobre contaminação química ambiental em zonas costeiras brasileiras ainda são escassas, principalmente, utilizando os peixes para biomonitoramento desta contaminação.

Dessa forma, os estudos químicos de ordem nutricional e ambiental, a fim de dar informações abrangentes sobre esse assunto à comunidade, têm sido incipientes. Além disso, esse tipo de avaliação, com a investigação da distribuição dos elementos químicos nos diversos tecidos do peixe é inédita e de grande importância para delineamento de ações futuras envolvendo pesquisas ambientais elementos traço contaminantes e organismos aquáticos.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo desse trabalho é fazer um estudo sobre a distribuição e tendência de bioacumulação de elementos essenciais e não essenciais e determinar a composição centesimal (umidade, proteínas, cinzas e lipídeos totais) em diversos tecidos de peixes coletados na Baía de Todos os Santos – Salvador, BA, avaliando possíveis interações e tendências de bioacumulação dos elementos nos tecidos investigados.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- i) Determinar e avaliar o teor de umidade, proteínas, cinzas e lipídeos totais nos músculos das espécies de peixes.
- ii) Validar método de digestão não convencional para determinação multielementar em amostra biológica – tecidos de peixe;
- iii) Determinar elementos essenciais (Ca, Mg, P, K, Fe, Sr, Zn, Cu, Mn, Se, Cr, Ni, Mo) e não essenciais (Cd, Pb, Li, Sb, As) em tecidos (músculo, estômago, guelra, fígado, rim e gônadas) de diversas espécies de peixes;
- iv) Interpretar e comparar os teores encontrados nos diversos tecidos e entre as espécies investigadas.
- v) Fazer uma análise comparativa da ordem de distribuição dos elementos químicos encontrados nos tecidos analisados.

- vi) Avaliar as variações das concentrações dos elementos entre os dois períodos de coleta.
- vii) Analisar a correlação (pareada) das concentrações de cada elemento entre os tecidos analisados.
- viii) Realizar análise multivariada (PCA) para verificar possíveis interações entre elementos e desses com as medidas biométricas dos peixes.
- ix) Verificar, quando pertinente, se os valores encontrados estão dentro dos limites estabelecidos pela ANVISA.

3. DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL

3.1 AMOSTRAGEM

Foram adquiridas 31 espécimes de peixe das seguintes espécies: *Caranx latus* (Guarajuba), *Bagre marinus* (Bagre), *Archosargus rhomboidalis* (Sambuio), *Lutjanus synagris* (Ariacó), *Scomberomorus cavalla* (Cavala) e *Sphyaena guachancho* (Bicuda). As amostras foram compradas dos pescadores, após serem coletadas na zona costeira.

Os peixes foram adquiridos em três sítios da Baía de Todos os Santos (Pituba, Rio Vermelho e Salinas da Margarida), sendo coletados em dois períodos distintos: verão de 2010 - 2011 (Dez/2010 e Jan/2011) e verão de 2011- 2012 (Dez/2011 e Jan/2012).

Os tamanhos dos peixes adquiridos foram proporcionais às dimensões para consumo humano.

3.2 PRÉ-TRATAMENTO DAS AMOSTRAS

Após a pesagem e medida do tamanho total do corpo, foi realizada a dissecação do peixe com a separação dos órgãos (músculo, estômago, guelra, fígado, rim e gônadas) armazenando-os em recipientes separados (Figura 3). Essas etapas foram realizadas imediatamente após a aquisição dos peixes.

Os órgãos, já separados, foram homogeneizados, liofilizados e homogeneizados (partículas < 149 µm; 100 mesh) em moinho de bolas (SPEX

SamplePrep, 8000M MIXER MILL) e armazenados. O processo de liofilização foi realizado à vácuo (10 mmHg) por aproximadamente 36 horas à - 76°C.



Figura 3 - Pré-tratamento da amostra: A - Biometria; B - Separação dos tecidos e (C) embalado para armazenamento

3.3 DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO CENTESIMAL

Foram realizadas as determinações de umidade, proteína, lipídeos totais e cinzas para os músculos de acordo com as metodologias abaixo descritas.

3.3.1 Determinação de Umidade, Proteínas e Cinzas

A umidade dos músculos foi determinada por diferença entre o peso úmido do músculo, pesado antes da liofilização, e o peso seco, após a liofilização. A amostra

foi sempre transportada em dessecador e imediatamente pesada para evitar aquisição de umidade após a liofilização.

O teor de proteínas foi determinado pela concentração de nitrogênio total (método de Kjeldahl), sendo a quantidade de proteínas calculada pela multiplicação do valor de nitrogênio pelo fator 6,25, segundo recomendado pela AOAC (2000).

Para a determinação de cinzas, cerca de 1 g de amostra (peso seco) foi acondicionada em cadinhos de porcelana e incinerada em mufla, à temperatura de aproximadamente 600°, até atingir peso constante e expresso em percentual da amostra (AOAC, 2000).

3.3.2 Determinação do Teor de Lipídeos Totais

Para a determinação do teor de lipídeos totais foi utilizado o método Bligh & Dyer (BLIGH e DYER, 1959). Para tanto, foram pesados cerca de 3 g de músculo, liofilizado e pulverizado, em triplicata. Posteriormente, foram adicionados os seguintes solventes: 10 mL de clorofórmio, 20 mL de metanol e 8mL de água destilada. Após agitação rotativa do tubo por 30 minutos, acrescentou-se mais 10 mL de clorofórmio e 10 mL de solução de Sulfato de Sódio 1,5% (m/v). A camada metanólica formada após decantação por cerca de 2 minutos foi retirada e descartada. Foi retirada uma alíquota de 5 mL da camada inferior formada no tubo e filtrada direto em béquer previamente tarado em balança analítica. O conteúdo do béquer foi evaporado em estufa a 100° C até peso constante. A massa do lipídeo foi determinada pela diferença do peso do béquer tarado.

O percentual de lipídeos totais nos músculos foi calculado da seguinte forma:

$$\% \text{ lipídeo totais} = \frac{\text{massa dos lipídeos (g)} \times 4 \times 100}{\text{massa da amostra (g)}}$$

3.4 DETERMINAÇÃO DE ELEMENTOS QUÍMICOS

3.4.1 Digestão da Amostra

Cerca de 100 mg de amostra foi digerida com 6 mL de HNO_3 16 mol L^{-1} e 3 mL de H_2O_2 30% (v v^{-1}) em bloco digestor, utilizando tubos de vidro (250mm x 50mm) e dedos frios. O programa de aquecimento do bloco digestor consistiu de: elevação gradual da temperatura do bloco até 90°C, que foi mantida por 30 minutos, seguida de elevação da temperatura do bloco para 180°C, permanecendo as amostras em digestão por mais 90 minutos (Figura 4). Após resfriamento a temperatura ambiente, a solução foi transferida para tubos de centrífuga e o volume foi ajustado para 35 mL com água MILLI-Q[®]. Todas as análises das amostras foram realizadas em triplicatas.

Para determinação dos elementos traço por ICP-MS, foi retirada uma alíquota de 1 mL da solução digerida para um tubo de centrífuga e ajustado o volume para 10 mL com água MILLI-Q[®].

3.4.2 Materiais, Soluções e Reagentes

Todo o material plástico e utensílios usados nas análises foram previamente lavados com água e colocados em solução de detergente por 24 horas. Em seguida, após enxague com água destilada, foi imersa em solução de HNO_3 (10%) pelo

traço e outra para os macroatomantes, ambas com concentração de 50 mg L⁻¹. A curva analítica de calibração foi feita pela diluição de ambas as soluções multielementares em cada ponto da curva. As concentrações para os micro e macro elementos utilizadas nos pontos da curva estão relacionadas na Tabela 1.

Tabela 1- Concentrações dos macro e elementos traço nas soluções da curva padrão

Pontos da Curva	Elementos Traço*	Macro elementos**
1	0,05	10
2	0,1	20
3	0,25	30
4	0,5	40
5	1,0	50
6	1,5	60
7	2,0	70
8	4,0	80
9	6,0	90
10	8,0	100
11	10,0	150

* µg L⁻¹ Sr, Cu, Zn, Cd, Cr, Mn, Ni, Se, Mo, Pb, Li, Sb, As

**mg L⁻¹: Ca, Mg, P, K, Fe, Zn

3.4.4 Instrumentação

Para a determinação dos elementos químicos Ca, Mg, P, K, Fe, Zn foi utilizado o espectrômetro de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado simultâneo com visão axial (Figura 5). Os brancos e as soluções padrões de calibração foram analisados seguindo a mesma metodologia das amostras.

As condições de operação do ICP OES estão relacionadas na Tabela 2. Foram selecionadas as linhas que apresentaram mais baixa interferência e alto sinal analítico. As linhas de emissão escolhidas foram: Ca 396,847 (II); Fe 238,204 (II); Mg 285,213 (I); K 766,491 (I); P 177,434 (II) e Zn 213,857 (I).

Para determinação dos elementos traço (Cu, Zn, Sr, Cd, Cr, Mn, Ni, Se, Mo, Pb, Li, Sb) foi utilizado um espectrômetro de massas com plasma indutivamente acoplado XSeriesII (Thermo Electron Corporation) equipado com uma Célula de Colisão (CC) hexapolo. Foram adicionados como padrões internos Ge, Rh, Tl, In, Bi, e Sc para compensar possíveis efeitos do ácido ou instrumental. As condições de operação do equipamento estão relacionadas na Tabela 3.

Tabela 2 - Condições de operação do ICP OES

Parâmetros	Valores
Potência RF (kW)	1,3
Vazão do gás do nebulizador (L min ⁻¹)	0,70
Vazão do gás auxiliar (L min ⁻¹)	1,5
Vazão do gás do plasma (L min ⁻¹)	15
Tempo de integração (s)	1,0
Tempo de estabilização (s)	15
Tempo de leitura (min)	1
Replicatas	3
Nebulizador	Concêntrico
Câmara de Nebulização	Ciclônica

Tabela 3 - Condições operacionais do ICP-MS

Parâmetro	Valores
Potência de RF incidente (kW)	1,3
Vazão do gás do plasma (L min ⁻¹)	13
Vazão do gás auxiliar (L min ⁻¹)	0,7
Vazão de gás de nebulizador (L min ⁻¹)	0,87
Modo Scanning	Peak jump
Resolução	Standard
Dwell time (ms)	10
Varredura	100
Número de Triplicatas	3



Figura 5 - Instrumentos empregados na determinação dos elementos químicos: A - ICP-MS; B - ICP OES

3.4.5 Validação do Método

Para cada batelada de trabalho no bloco digestor foram adicionados três brancos com o mesmo processo de digestão. A validação do método foi realizada por meio de análises em quadruplicata do material de referência Oyster Tissue (NBS-SRM-1566b) e Dolt-4 Dogfish Liver Muscle (NRC-CRM-422) introduzidos nas análises aleatoriamente e tendo o mesmo tratamento que as amostras digeridas.

A precisão do método foi determinada em termos percentuais do coeficiente de variação a partir dos valores de referência reportado para os materiais certificados de referência (CRM). Os limites de detecção (LOD) e quantificação (LOQ) para cada analito foram calculados como a concentração que corresponde a 3 e 10 vezes,

respectivamente, o desvio padrão de 10 medidas independentes do branco (medidas de intensidade para o ICP OES e de número de contagem para o ICP-MS), dividido pelo seu coeficiente da curva de calibração (ICP OES) ou sensibilidade do analito (ICP-MS).

3.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

A análise estatística incluiu a comparação das concentrações dos elementos químicos entre os tecidos de mesma espécie e entre mesmo tecido de espécies diferentes. Inicialmente, realizou-se os testes de *normalidade Kolmogorov-Smirnov*, e *Shapiro-Wilk*. De acordo com os resultados, utilizou-se o teste não paramétrico Kruskal-Wallis H seguido do teste Mann-Whitney U para comparações pareadas ou, do teste paramétrico ANOVA para um fator (one way) seguido do Teste de Tukey para comparação de testes pareados. Todos os níveis de significância foram com probabilidade igual a 95% ($p < 0,05$).

A correlação pareada das concentrações do mesmo elemento em diferentes tecidos foi realizada pelo teste não paramétrico de Spearman. Para avaliar a correlação de todas as concentrações ao mesmo tempo foi utilizado a Análise de Componente Principal (PCA – *two way* e *three way*) com rotação Varimax e normalização Kaizer.

4.0 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA E DAS ESPÉCIES DE ESTUDO

4.1 BAÍA DE TODOS OS SANTOS (BTS)

A Baía de Todos os Santos possui cerca de 1100 km², situa-se entre as coordenadas geográficas 38° de latitude (S) e 38° de longitude (O). Seu perímetro costeiro é de 462 km, sendo: cerca de 55km de área urbana, 268km de praias arenosas ou rochosas e 139km de manguezais (OLIVEIRA, 2003).

Possui uma riqueza ambiental de grande importância tais como: manguezais, praias arenosas e formações insulares. Vários rios deságuam na BTS, tais como: o Jaguaripe, o Subaé e o Paraguaçu, originando zonas estuarinas de grande importância biológica.

Atualmente, a BTS abrange uma região com cerca de 3 milhões de habitantes e sua produtividade marinha proporciona sustento econômico para uma grande parte da população do Recôncavo, cuja região é constituída pelas cidades: Cachoeira, Candeias, Itaparica, Jaguaripe, Madre de Deus, Maragogipe, Muritiba, Salinas da Margarida, Santo Amaro da Purificação, São Félix, São Francisco do Conde, Saubara, Simões Filho e Vera Cruz (IBGE, 2010).

Apesar da sua importância econômica e geográfica, a BTS tem sofrido impactos ambientais constantes como resultado do crescente desenvolvimento da região urbana e industrial de seu entorno e, conseqüentemente, o aumento do aporte de contaminantes via esgotamento sanitário, efluentes industriais, drenagem de águas pluviais e vazamentos acidentais de óleo.

Em decorrência da industrialização da área, a BTS pode estar sendo submetida a impactos ambientais por petróleo e seus derivados e outros contaminantes. Isto porque, desde a década de 50, após a inauguração do terminal marítimo em Madre de Deus destinado à carga e descarga de petróleo e seus derivados; tem havido intensificação da atividade portuária, contando com dois portos marítimos. Além disso, houve a criação do Centro industrial de Simões Filho; a criação do Pólo Petroquímico de Camaçari na parte norte e nordeste da Baía, que conta com mais de 300 indústrias (TAVARES et al, 1988), entre outras atividades potencialmente poluentes.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DAS ESPÉCIES ESTUDADAS

Szpilman (2000) estudando as espécies de peixes marinhos do Brasil caracterizou as espécies analisadas nesse trabalho (Figura 6) da seguinte forma:

Caranx latus (Agassiz, 1831): são presentes nos mares tropicais e temperados quentes do Atlântico. No Brasil, ocorrem por praticamente todo o litoral. Habita regiões pelágicas costeiras e oceânicas. Vivem e nadam próximo da superfície da água. São comuns em mar aberto, ao redor de ilhas, nas águas rasas e lamacentas e regiões coralinas e estuarinas. São encontrados em pequenos cardumes e alimentam-se de peixes, camarões e outros invertebrados.

Archosargus rhomboidalis (Linnaeus, 1758): ocorrem em mares tropicais do Atlântico Ocidental. No Brasil, ocorre no Norte ao Sudeste e parte Sul. Habitam regiões nectônicas costeiras de águas rasas, vivendo nos fundos rochosos, coralinos, lamacentos ou arenosos com vegetação. Costumam frequentar baías,

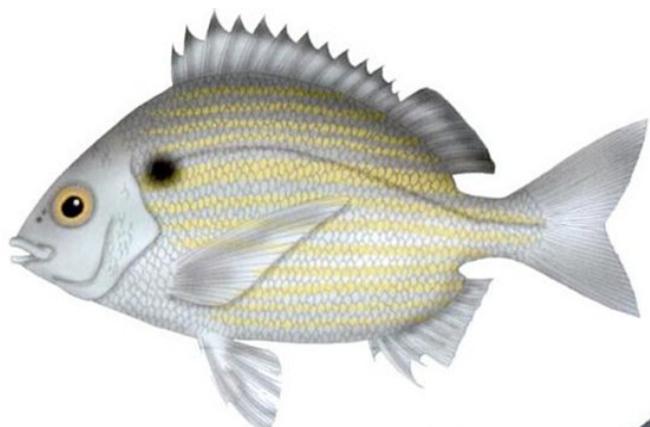
estuários, mangues e áreas com águas salobras. Alimentam-se, principalmente, de invertebrados bentônicos, como os crustáceos e moluscos bivalves, e de material vegetal. Sua carne não é considerada muito boa, mas devido à sua abundância em determinadas regiões aparecem com frequência nos mercados.

Sphyraena guachancho (Cuvier, 1829): são encontrados em águas tropicais e subtropicais do Atlântico. No Brasil, ocorrem em todo o litoral. Habitam regiões pelágicas de águas rasas e nadam ativamente junto ou próximo da superfície sobre fundos arenosos e/ou lamacentos. São comuns nas áreas estuarinas e têm preferência pelas águas turvas. Alimentam-se de peixes, principalmente, de camarões.

Scomberomorus cavalla Cavala (Cuvier, 1829): são encontrados no Atlântico nordeste em águas superficiais e em regiões com recifes de corais. Alimentam-se, principalmente de peixes, e em quantidades menores, camarões e lulas.

Lutjanus synagris (Linnaeus, 1758): estão presentes em águas tropicais do Atlântico Ocidental. No Brasil, ocorrem do Norte ao Sudeste. Habitam regiões nectônicas costeiras de águas relativamente rasas, vivem em fundos coralinos, rochosos ou arenosos com vegetação. São comuns em baías, estuários, áreas de mangue e ao redor de ilhas. Durante o dia, encontram-se em pequenos grupos e, à noite, separam-se. Sua carne é considerada excelente. Muito apreciada, possui grande valor comercial. É uma espécie vulnerável à extinção.

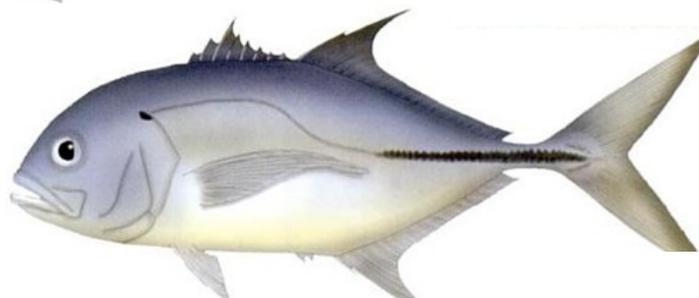
Bagre marinus (Mitchill, 1815): esta espécie ocorre em toda a costa atlântica americana, incluindo o Brasil. São peixes bentônicos costeiros de águas rasas, vivem em fundos arenosos e/ou lodosos. Preferem ambientes com alta salinidade e são encontrados normalmente em grupos. Alimentam-se de pequenos peixes, invertebrados e detritos orgânicos. Sua carne é considerada boa.



Archosargus rhomboidalis



Sphyraena guachancho



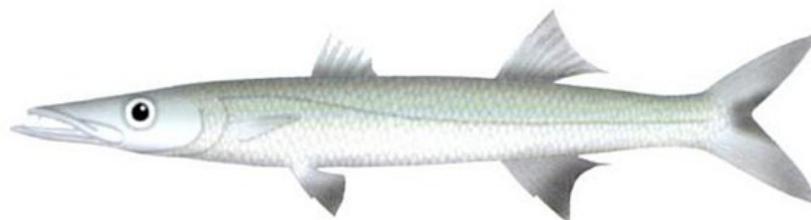
Caranx latus



Lutjanus synagris



Bagre marinus



Scomberomorus cavalla

Figura 6 - Imagens das seis espécies de peixes pesquisadas neste trabalho

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 OTIMIZAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MÉTODO

5.1.1 Otimização do método de digestão úmida

As amostras foram digeridas em bloco digestor, com a otimização do método de digestão adaptado segundo Asante et al., (2008), Ikemoto et al., (2008) e Neves et al., (2009). Foi realizado experimento para verificar o efeito das variáveis “massa da amostra” e “tipo de ácido/mistura de ácido” (Tabela 4), observando, como variável resposta, a acidez residual da amostra, após diluição final para 35 mL.

Tabela 4 - Avaliação da eficiência de digestão segundo a massa da amostra (mg) e a mistura de ácido utilizada

Experimento	Massa da Amostra (mg)	Reagentes	Volumes
E1	100	HNO ₃	6 mL
E2	100	HNO ₃ + H ₂ O ₂	6 mL / 3 mL
E3	100	HNO ₃ + H ₂ SO ₄ + H ₂ O ₂	2 mL / 3 mL / 5 mL
E4	200	HNO ₃	6 mL
E5	200	HNO ₃ + H ₂ O ₂	6 mL / 3 mL
E6	200	HNO ₃ + H ₂ SO ₄ + H ₂ O ₂	2 mL / 3 mL / 5 mL

Nota: Cada experimento foi realizado em triplicatas, em uma única blocagem com 6 brancos. A programação de tempo de digestão e temperatura foi mantida constante.

Para avaliação de elementos traço em alimentos de origem marinha é necessário que se desenvolva protocolos analíticos simples, rápidos e confiáveis para a determinação de elementos traço (MEUCCI, et al., 2009). Nessa tentativa, diversas metodologias são desenvolvidas e reportadas (ASANTE et al., 2008; IKEMOTO et al., 2008; NEVES et al., 2009). Além disso, a determinação de

elementos traço em amostras biológicas sólidas pelos métodos espectrométricos requer comumente a dissolução total da amostra para evitar os efeitos da matriz sobre a análise (MOREDA-PIÑEIRO, et al., 2007).

Atualmente, há diversos métodos recomendados para a preparação de amostras marinhas, sendo a decomposição da amostra, a etapa mais crítica e pode ter efeitos importantes nos resultados analíticos (REIS, et al., 2008). Diversos procedimentos para decomposição são propostos (KAZI, et al., 2009) e os procedimentos mais utilizados para o pré-tratamento são baseados na decomposição úmida com ácidos concentrados para destruir a matéria orgânica presente no tecido do peixe (MEUCCI, et al., 2009).

Os resultados da avaliação quanto ao efeito dos reagentes e da massa da amostra em relação à acidez residual são mostrados na Figura 7. Diante dos resultados, optou-se pela utilização da mistura de ácido contendo 6 mL de HNO_3 16 mol L^{-1} e 3 mL de H_2O_2 30% (v v^{-1}), que apresentou acidez residual intermediária, em torno de $2,64 \pm 0,03$ mol L^{-1} , adequada para as determinações por ICP OES. A massa de 100 mg foi considerada adequada, uma vez que propiciou soluções límpidas dos digeridos e apresentou percentuais de recuperação entre 88 e 103% (Tabelas 5 e 6).

Por meio de comparações estatísticas, pela aplicação do teste-t para médias, verificou-se similaridades entre os resultados obtidos e esperados, superiores a 95% ($p < 0,05$).

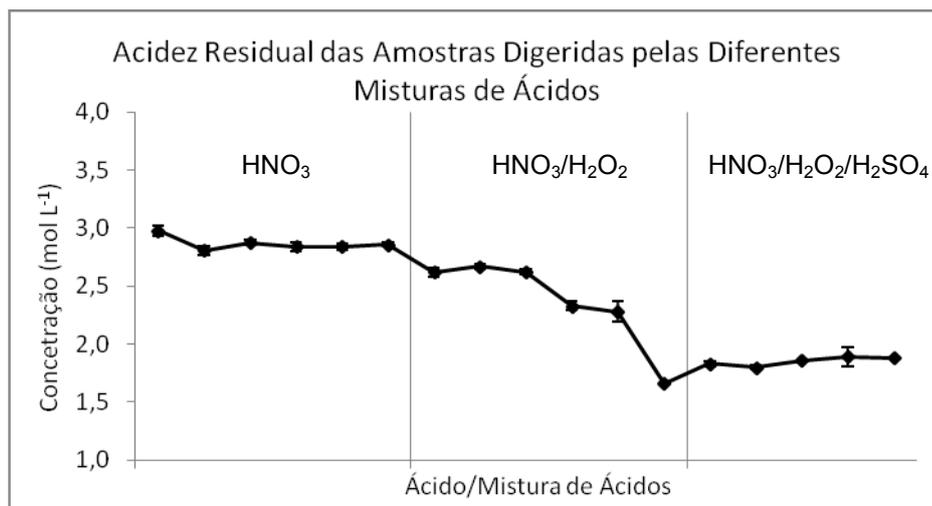


Figura 7 - Acidez residual das amostras digeridas pelas diferentes misturas de ácidos

Tabela 5 - Percentual de recuperação dos elementos determinados no material de referência Nist 1566b - Oyster Tissue

Elementos	Valor de Referência	Valor encontrado	Recuperação (%)	Instrumento
Arsênio	13,3 ± 1,8	12,3 ± 0,6	93	ICP-MS
Cádmio	2,48 ± 0,08	2,37 ± 0,10	96	ICP-MS
Cobre	71,6 ± 1,6	72,2 ± 1,2	101	ICP-MS
Chumbo	0,308 ± 0,009	0,317 ± 0,020	103	ICP-MS
Níquel	1,04 ± 0,09	1,07 ± 0,03	103	ICP-MS
Selênio	1,80 ± 0,15	1,77 ± 0,20	98	ICP-MS
Manganês	18,5 ± 0,2	16,8 ± 1,0	91	ICP-MS
Ferro	205,8 ± 6,8	205,3 ± 3,2	102	ICP OES
Zinco	1424 ± 46	1404 ± 13	99	ICP OES
Calcio ^(a)	0,0838 ± 0,0020	0,0739 ± 0,0019	88	ICP OES
Magnésio ^(a)	0,1085 ± 0,0023	0,1053 ± 0,0008	97	ICP OES
Potássio ^(a)	0,652 ± 0,009	0,600 ± 0,003	92	ICP OES
Estrôncio ^(a,b)	6,8 ± 0,2	6,2 ± 0,1	91	ICP-MS

(a) Valores em frações percentuais de massa.

(b) Valores não certificados, apenas reportados como valores de referência pelo CRM

Tabela 6 - Percentual de recuperação dos elementos determinados no material de referência Dolt 4 - Liver Tissue

Elementos	Valor de Referência ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Valor encontrado ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Recuperação (%)	Instrumento
Arsênio	9,66 ± 0,62	8,8 ± 0,6	91	ICP-MS
Cádmio	24,83 ± 0,80	23,28 ± 1,03	94	ICP-MS
Chumbo	0,16 ± 0,04	0,14 ± 0,02	88	ICP-MS
Cobre	31,2 ± 1,1	29,3 ± 1,2	94	ICP-MS
Ferro	1833 ± 75	1831 ± 63	100	ICP OES
Mercúrio	2,58 ± 0,22	2,44 ± 0,14	95	ICP-MS
Níquel	0,97 ± 0,11	0,90 ± 0,09	93	ICP-MS
Selênio	8,3 ± 1,3	7,6 ± 0,5	91	ICP-MS
Zinco	116 ± 6	116 ± 2	100	ICP OES

5.1.2 Validação do Método

O método escolhido (cerca de 100 mg de amostra digerida com HNO_3 e H_2O_2), avaliado para a digestão das amostras de peixes deste trabalho, apresentou exatidão semelhante à diversos trabalhos que utilizaram placa de aquecimento, bloco digestor ou, até mesmo, forno de microondas para determinação multielementar (Tabela 7).

Os limites de detecção (LOD) e de quantificação (LOQ) estimados para o método proposto para determinação dos macroelementos (ICP OES) e elementos traço (ICP-MS) estão mostrados na Tabela 8.

A precisão do método foi expressa através da estimativa do desvio padrão relativo (RSD). Para os macroelementos (Ca, Mg, P, K, Zn, Fe) observou-se um RSD de <3% e, para os elementos traço esse percentual foi <20%.

Tabela 7 - Método de digestão e faixa de recuperação (%) de determinação multielementar em diversos trabalhos publicados recentemente

Recuperação	Metais	Referência
Digestão em Placa de Aquecimento		
---	Cd, Ni, Cr, Zn, Cu, Pb	Yildirim et al., (2009)
96-112%	Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Zn, Pb	Türkmen et al., (2009a)
---	Ca, Cd, Cu, Fe, Hg, K, Mg, Mn, Na, P, Sr, Zn	Allinson et al., (2009)
Rec: 90-109%	Cd, Cu, Pb, Hg	Meucci et al., (2009)
Rec: 93-109%	Cd, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, Zn, Pb	Tepe et al., (2008)
Rec: 93-109%	Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Zn	Türkmen et al., (2008a)
Rec: 98-110%	Cd, Pb, Cr, Fe, Cu, Zn, Hg	Fernandes et al., (2008a)
Rec: 96-109%	Ag, Cd, Cr, Fe, Ni, Pb, Zn	Yilmaz et al., (2008)
Rec: 88-110%	Cd, Cu, Co, Pb, Ni, Mn, Zn, Fe	Klavins et al., (2009)
Digestão em Forno de Microondas		
---	As	Culioli et al., (2009)
---	Ca, Pb, Cd, Co, Ni, Zn	Schmitt et al., (2009)
Rec: 87-97%	Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, Zn	Alhas et al., (2009)
Rec: 96-99%	Cu, Zn, Mn, Fe, Pb, Cd, As, Se, Cr, Ni	Tuzen (2009)
Rec: 99-106%	As, Cd, Pb, Hg, Se	Ciardullo et al., (2008)
Rec: 80-116%	As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Se, Sn, V, Zn, Hg	Ikem e Egilla (2008)
Rec: 90-110%	Cd, Cu, Zn	Reynders et al., (2008)
Rec: 86-116%	V, Cr, Mn, Co, Cu, Zn, As, Se, Rb, Sr, Mo, Ag, Cd, Sn, Sb, Cs, Ba, Hg, Tl, Pb, and Bi	Ikemoto et al., (2008)
Rec: 90-102%	Cr, Cd, Zn, Pb, Fe	Batvari et al., (2008)
Rec: 90-110%	Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn	Türkmen et al., (2008a)
---	Fe, Cu, Zn, Mn, Cr, Pb, Cd	Ozan e Kir (2008)
---	As, B, Cd, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, Li, Mg, Mn, Mo, Pb, Rb, Se, Sr, Zn, V	Bang et al., (2008)
Rec: 93-109%	Cd, Pb, Cu, Cr, Zn	Abdallah (2008)
Rec: 95-101%	Cu, Cd, Pb, Zn, Mn, Fe, Cr, Ni	Uluozlu et al., (2007)
Rec: 85-115%	As, Cd, Cr, Pb, Mn, Hg, Se	Burger et al., (2007)
---	Cu, Cd, Pb, Hg	Keskin et al., (2007)
---	Ca, Mg, Mn, Zn	Neves et al., (2009)
Digestão em Forno de Microondas e Placa de Aquecimento		
Rec: 88-111%	V, Cr, Mn, Co, Cu, Zn, Rb, Sr, Mo, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Cs, Ba, Tl, Pb, Bi	Asante et al., (2008)
Digestão em Bloco Digestor		
Rec: 90% ± 10%	As, Cd, Cr, Hg, Pb, Cu, Ni, Zn	Cheung et al., (2008)
Rec: 84-92%	Cd, Cr, Cu, Pb, Zn	Fang et al., (2008)

Tabela 8 - LOD e LOQ dos elementos determinados por ICP OES e ICP-MS, em $\mu\text{g g}^{-1}$

ICPOES					
Elemento	LOD	LOQ	Elemento	LOD	LOQ
Ca	0,488	1,624	Na	0,132	0,441
Fe	0,012	0,039	P	0,034	0,112
K	0,033	0,110	Sr	0,002	0,005
Mg	0,034	0,114	Zn	0,017	0,058
ICP-MS					
Elemento	LOD	LOQ	Elemento	LOD	LOQ
⁷ Li	0,028	0,092	⁸² Se	0,011	0,037
⁵³ Cr	0,021	0,071	⁹⁵ Mo	0,010	0,034
⁵⁵ Mn	0,006	0,021	¹¹¹ Cd	0,004	0,013
⁶⁰ Ni	0,020	0,067	¹²¹ Sb	0,043	0,144
⁶⁵ Cu	0,028	0,095	²⁰⁸ Pb	0,013	0,042
⁷⁵ As	0,030	0,102			

5.2 AVALIAÇÃO BIOMÉTRICA E COMPOSIÇÃO CENTESIMAL

Os resultados obtidos na biometria e na composição centesimal estão mostrados nas Tabelas 9 e 10, respectivamente. Foi observada variação significativa ($p < 0,01$) no que diz respeito ao tamanho corporal entre as espécies de peixes pesquisadas. A composição centesimal das amostras de músculo de peixes apresentaram os seguintes valores médios: umidade (77,4 %); lipídeos totais (2,15 %); cinzas (1,2%) e Proteína Total (18,88%).

O pescado é um dos alimentos mais completos graças a sua disponibilidade de nutrientes essenciais, sendo um alimento ideal para dietas que requerem baixo teor de lipídeo e alto teor de proteínas. Em geral, a parte comestível do pescado possui entre 60 a 85 % de umidade e de 0,6 a 36 % de lipídios (MAIA, 1992). Tais compostos são importantes para o valor nutritivo e características como textura e qualidade organoléptica.

Tabela 9 - Tamanho corporal (cm) e massa total (g) dos peixes analisados

Espécie	N	Tamanho Corporal	Massa
<i>C. latus</i>	11	41,7 ± 3,7 ^b	724 ± 25 ^a
<i>B. marinus</i>	3	45,3 ± 2,1 ^{ab}	793 ± 32 ^b
<i>A. rhomboidalis</i>	4	25,7 ± 2,1 ^d	268 ± 22 ^f
<i>L. synagris</i>	7	33,7 ± 2,8 ^c	423 ± 43 ^d
<i>S. cavalla</i>	3	45,5 ± 2,1 ^{ab}	504 ± 17 ^c
<i>S. guachancho</i>	4	48,7 ± 0,6 ^a	481 ± 24 ^e

Valores de médias, na mesma linha, com letras minúsculas diferentes, possuem diferença significativa ($p < 0,05$) entre as espécies.

Tabela 10 - Composição centesimal (%) do músculo das espécies de peixes pesquisadas (n = 3)

Espécie	Umidade	Cinzas	Proteína	Lipídios Totais
<i>C. latus</i>	77,0 ± 1,1	1,0 ± 0,1	20,0 ± 0,9	1,6 ± 0,1
<i>B. marinus</i>	77,3 ± 0,9	1,2 ± 0,1	17,8 ± 1,3	3,1 ± 0,2
<i>A. rhomboidalis</i>	76,9 ± 1,2	1,1 ± 0,1	18,6 ± 1,0	2,5 ± 0,1
<i>L. synagris</i>	77,1 ± 1,3	1,2 ± 0,1	19,8 ± 1,2	1,2 ± 0,1
<i>S. cavalla</i>	77,2 ± 1,4	1,1 ± 0,1	19,3 ± 0,8	2,1 ± 0,1
<i>S. guachancho</i>	77,8 ± 1,2	1,4 ± 0,2	17,8 ± 1,0	2,4 ± 0,2

Outros autores reportam faixas de 64 a 90% para umidade, de 1 a 2% para cinzas, 8 a 23% de proteína e 0,5 a 25% de lipídios totais (OGAWA e MAIA, 1999; BADOLATO et al., 1994). Apesar da proporção desses nutrientes dependerem do tipo de espécie de peixe, do sexo e do ciclo biológico do animal analisado, além de fatores ambientais como: estação do ano, local, abundância de nutriente, temperatura e salinidade da água (MAIA, 1992), os valores encontrados para todas as análises de composição centesimal estão dentro das faixas já reportadas em trabalhos de pesquisa desenvolvidos anteriormente.

5.3 CONCENTRAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE ELEMENTOS ESSENCIAIS E CONTAMINANTES NOS TECIDOS DE PEIXES

5.3.1 Macroelementos (Ca, Mg, P, K) e Estrôncio

5.3.1.1 Concentração Individual nos tecidos

Minerais na dieta são essenciais para processos biológicos, atuando em mecanismos de funções metabólicas e no crescimento e desenvolvimento normal do organismo. Fisiologicamente, dentre os macroelementos mais importantes estão o cálcio, magnésio e o potássio (CHECKI et al., 2012), além do fósforo.

Os principais mecanismos nos quais esses elementos atuam podem ser descritos como: manutenção do pH, pressão osmótica, condutância do nervo, contração muscular, produção de energia e quase todos os outros aspectos da vida biológica (INSTITUTE OF MEDICINE, 2005).

Nas espécies de peixes analisadas, as faixas de concentração encontradas (peso seco) para o cálcio, em mg g^{-1} , foram de: 0,71 a 1,24 no músculo, 54,67 a 74,46 nas guelras, 0,85 a 77,54 no estômago, 1,36 a 3,14 no fígado, 1,08 a 2,90 no rim e 0,29 a 0,51 nas gônadas (Tabelas 11 e 12 e Figuras 8 e 9).

A importância da regulação da concentração de cálcio (Ca^{2+}) no plasma celular é bem reconhecida em todos os vertebrados. O Ca^{2+} livre ou iônico tem efeitos diretos em numerosas funções fisiológicas do animal (ALLEN et al., 2009).

Tabela 11 - Concentração de cálcio (mg g⁻¹) em tecidos nas espécies de peixes do Verão de 2010/2011

Tecidos	<i>C. latus</i>	<i>B. marinus</i>	<i>A. rhomboidalis</i>	<i>L. synagris</i>	<i>S. cavalla</i>
Verão 2010/2011					
Músculo	1,15 ^{aCD} ± 0,04	1,04 ^{aE} ± 0,04	1,18 ^{aD} ± 0,01	0,75 ^{bE} ± 0,03	0,83 ^{bE} ± 0,10
Guelra	72,10 ^{aA} ± 0,75	55,57 ^{bA} ± 5,22	57,82 ^{bB} ± 0,32	74,40 ^{aA} ± 1,01	72,86 ^{aB} ± 3,16
Estômago	0,85 ^{dD} ± 0,50	9,16 ^{cB} ± 2,19	75,77 ^{aA} ± 2,43	45,79 ^{bB} ± 2,08	77,54 ^{aA} ± 0,29
Fígado	2,09 ^{bBC} ± 0,11	1,40 ^{bD} ± 0,15	1,62 ^{bC} ± 0,06	2,87 ^{aC} ± 0,04	2,09 ^{bC} ± 0,61
Rim	2,44 ^{aB} ± 0,45	1,77 ^{bC} ± 0,11	1,68 ^{bC} ± 0,02	1,75 ^{bD} ± 0,03	1,75 ^{bD} ± 0,12
Gônadas	0,29 ^{cE} ± 0,01	0,32 ^{cF} ± 0,01	0,38 ^{bE} ± 0,01	0,42 ^{abF} ± 0,01	0,45 ^{aF} ± 0,04

Tabela 12 - Concentração de cálcio (mg g⁻¹) em tecidos nas espécies de peixes do Verão de 2011/2012

Tecidos	<i>C. latus</i>	<i>A. rhomboidalis</i>	<i>L. synagris</i>	<i>S. guachancho</i>
Verão 2011/2012				
Músculo	1,24 ^{aD} ± 0,07	0,80 ^{bE} ± 0,04	0,71 ^{bE} ± 0,02	1,16 ^{aC} ± 0,05
Guelra	54,67 ^{cA} ± 2,62	65,67 ^{bA} ± 2,05	74,46 ^{aA} ± 1,86	56,62 ^{cA} ± 1,93
Estômago	1,41 ^{cD} ± 0,10	36,20 ^{aB} ± 0,69	4,25 ^{bB} ± 0,19	1,57 ^{cB} ± 0,17
Fígado	2,25 ^{bC} ± 0,16	1,36 ^{cD} ± 0,05	3,14 ^{aC} ± 0,29	1,70 ^{cB} ± 0,09
Rim	2,90 ^{aB} ± 0,23	1,71 ^{bC} ± 0,02	1,08 ^{cD} ± 0,03	1,60 ^{bB} ± 0,02
Gônadas	0,51 ^{aE} ± 0,04	0,42 ^{abF} ± 0,01	0,39 ^{abF} ± 0,03	0,32 ^{bD} ± 0,02

Média ± Desvio Padrão.

Nomes vulgares: *C. latus* – guaricema; *B. marinus* – bagre; *A. rhomboidalis* – sambúio; *L. synagris* – vermelho; *S. cavalla* – cavala; *S. guachancho* – bicuda.

Valores de médias, na mesma coluna, com letras maiúsculas diferentes possuem diferença significativa ($p < 0,05$) entre os tecidos de mesma espécie.

Valores de médias, na mesma linha, com letras minúsculas diferentes, possuem diferença significativa ($p < 0,05$) entre as espécies.

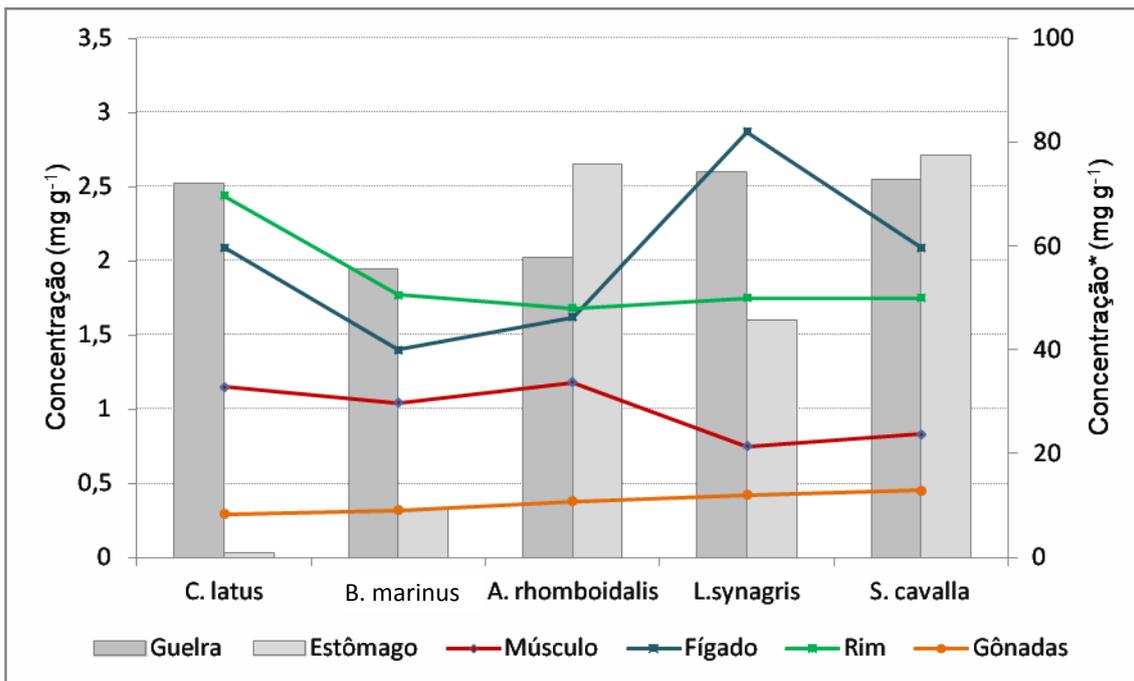


Figura 8 - Concentração de cálcio nas espécies pesquisadas no Verão 2010/2011
 * Faixa de concentração apenas para amostras de guelra e estômago.

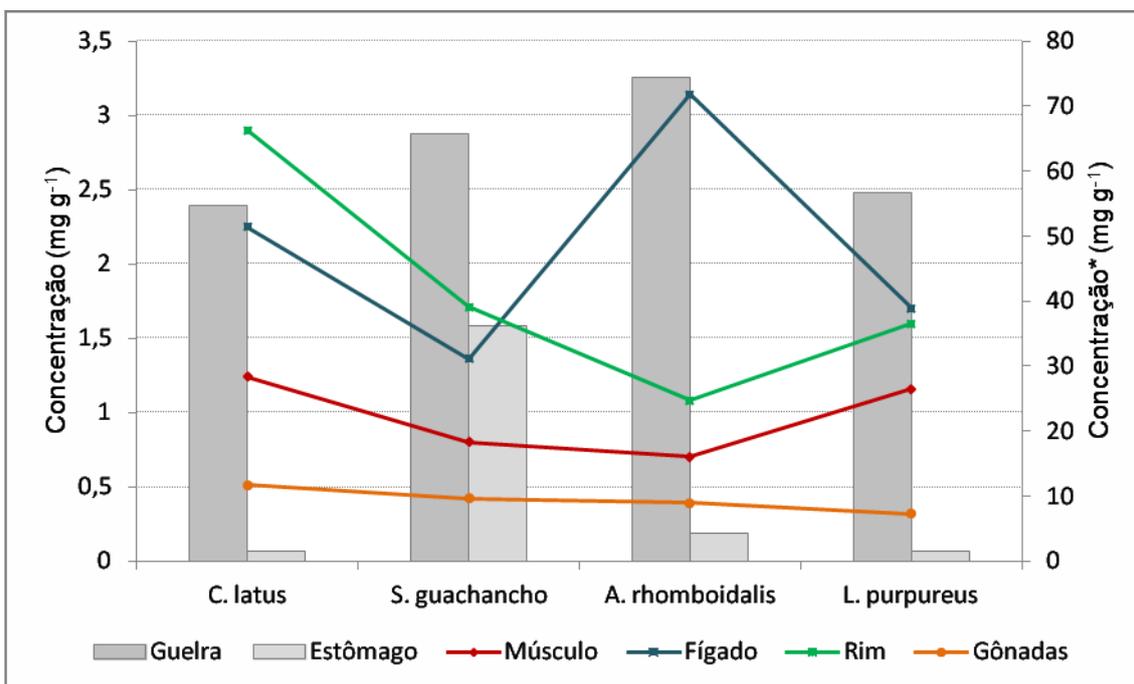


Figura 9 - Concentração de cálcio nas espécies pesquisadas no Verão 2011/2012
 * Faixa de concentração apenas para amostras de guelra e estômago.

Em ambientes aquáticos os peixes absorvem Ca^{2+} por meio de suas guelras e ao longo do epitélio intestinal com os rins atuando na regulação da concentração plasmática do íon. Os peixes ósseos tem uma vantagem adicional sobre os peixes cartilagosos, por apresentarem um armazenamento interno de Ca^{2+} em seu esqueleto, sendo proposto que esse armazenamento foi um mecanismo que permitiu os peixes ósseos migrarem de ambientes marinhos ($\geq 10 \text{ mM L}^{-1}$) para ambientes de águas naturais pobres em cálcio ($\leq 0,1 \text{ mM L}^{-1}$), havendo poucos peixes cartilagosos em águas naturais (ALLEN et al., 2009).

Cálcio foi determinado em todos os tecidos analisados neste trabalho, sendo que as gônadas foram os tecidos que apresentaram as menores concentrações. Entretanto, sua presença nesse órgão é de fundamental importância, particularmente em fêmeas, onde a demanda de Ca^{2+} são exageradas durante o ciclo reprodutivo.

Em peixes vitelogeninos, uma proteína precursora para formação da gema é sintetizada no fígado estimulando o 17β -estradiol (E_2). A vitelogenina é uma lipoglicofosfoproteína que requer Ca^{2+} em sua produção. Além disso, seu grupo polar fosfato (PO_4^{3-}) se ligar a uma grande quantidade de Ca^{2+} e outros cátions divalentes, tais como o Mg^{2+} no plasma (MOMMSEN e WALSH, 1988).

As concentrações de cálcio encontradas nos músculos das espécies investigadas nesse trabalho foram semelhantes às concentrações reportadas em trabalhos anteriores (Tabela 13) para as espécies *Triglia lucerna*, *Lophius budegassa* e *Solea lascaris* (YILMAZ, et al., 2010), e *Tilapia rendali* (ESPINOZA-QUIÑONES, et al., 2010).

Para o fígado, valores semelhantes foram reportados por Ersoy e Çelik (2009) pesquisando a espécie *Etrumeus teres* e por Yilmaz et al., (2010) em *Triglia lucena* por (Tabela 14).

Poucos trabalhos reportam pesquisas sobre a concentração de cálcio na guelra e nas gônadas (Tabela 15). Entretanto, pesquisa realizada no Brasil com *Astyanaxaltiparanae* reportaram valores similares de bioacumulação nas gônadas para as espécies pesquisadas nesse trabalho, embora os valores encontrados tenham sido superiores a diversas outras espécies pesquisadas (ERSOY e ÇELIK, 2009).

Nas guelras, as concentrações de cálcio foram muito elevadas. Valores similares foram reportados por Jabeen e Chaundhry (2010) em guelras de *Oreochromis mossambicus* (Tabela 15). Esse valor elevado está provavelmente relacionado com a constituição esquelética da estrutura das guelras.

Para magnésio, foram observadas variações de (mg g^{-1} peso seco): 0,58 a 1,06 nos músculos, 1,02 a 3,26 nas guelras, 0,43 a 3,60 no estômago, 0,35 a 1,42 no fígado, 0,31 a 0,73 no rim, 0,30 a 0,96 nas gônadas (Tabelas 16 e 17 e Figuras 10 e 11). Este elemento é considerado essencial para todos os organismos vivos, tendo um papel central na fisiologia dos vertebrados, incluindo o peixe (SCHREUDER et al., 1991).

Para o homem, magnésio é um elemento essencial que tem numerosas funções biológicas no sistema cardiovascular. A nível subcelular, magnésio regula proteínas contráteis, modula o transporte transmembrana de cálcio, sódio e potássio, atua como um cofator essencial na ativação da ATPase e controla a regulação da energia citoplasmática (COWAN, 2000).

Tabela 13 - Concentração ($\mu\text{g g}^{-1}$ peso úmido) de macroelementos em músculo de diversas espécies de peixes reportados em diversas regiões do mundo. Média \pm SD (Min – Max)

Espécie	Local	Ca	Mg	Sr	P	K	Ref.
-	Espanha	1.739 \pm 1.498 (34,4–6.572,5)	282,1 \pm 70,5 (171,1– 424,0)	-	-	-	[1]
Várias espécies	França	195 (37- 2.710)	361 (158 - 602)	-	-	3.379 (1.870- 5.560)	[2]
20 espécies	Índia	-	86,73 \pm 9,76	-	-	-	[3]
Várias espécies	França	-	-	1,46 (0,176 - 35,1)	-	-	[4]
<i>Triglia lucerna</i>	Turquia	254 \pm 32,2	17,9 \pm 4,34	0,97 \pm 0,17	-	3,45 \pm 0,58	[5]
<i>Lophius budegassa</i>	Turquia	206 \pm 70,3	7,34 \pm 3,22	0,78 \pm 0,44	-	3,10 \pm 1,28	[5]
<i>Solea lascaris</i>	Turquia	275 \pm 55,3	23,3 \pm 12,3	1,58 \pm 0,73	-	3,46 \pm 3,12	[5]
<i>O. mossambicus</i>	Paquistão	20.099	951	-	-	8.046	[6]
<i>O. mossambicus</i>	Paquistão	12.286	799,8	-	-	7.226	[6]
<i>Tilapia rendali</i>	Brasil	168 \pm 58 (44,4–290,8)	-	-	71 \pm 20 (27,9–114,7)	710 \pm 211 (262,1–1.158,1)	[7]
<i>A. Altiparanae</i>	Brasil	529 \pm 100 (248,3–845,8)	-	-	49 \pm 6 (33,8–70,8)	429 \pm 19 (365,6–477,6)	[7]
<i>Astyanax spp</i>	Brasil	729 \pm 103 (274,9–1216,8)	-	-	50 \pm 12 (16,6–43,7)	385 \pm 35 (220,5–576,8)	[7]
<i>Spratelloides japonicus</i>	Turquia	88,8 \pm 7,6	158 \pm 13	-	-	890 \pm 2,4	[8]
<i>Tracurus mediterraneus</i>	Turquia	85,8 \pm 0,9	210 \pm 1	-	-	1.200 \pm 4,6	[8]
<i>Sparus aurata</i>	Turquia	51,7 \pm 8,0	246 \pm 23	-	-	997 \pm 4,3	[8]
<i>E. teres</i>	Turquia	152,0 \pm 2,6	182 \pm 21	-	-	1.173 \pm 4,4	[8]
<i>Alosa immaculata</i>	Sérvia	-	660,26 \pm 285.34	1,83 \pm 1,19	-	-	[9]
Várias Espécies	Brasil	224,2 \pm 47,8 (162,6 - 285,2)	181,7 \pm 41,7 (141,2 - 241,5)	0,67 \pm 0,42 (0,38 – 1,63)	3.630 \pm 419 (2.824 - 4.071)	5.341 \pm 513 (3.271 - 4.870)	*

* Os valores desses pesquisadores foram reportados em $\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco. ** Valores encontrados nesse trabalho, convertidos para peso úmido.

Legenda: [1]JODRAL-SEGADO et al, 2003; [2] CHECKI et al., 2012; [3] DHANEESH et al., 2012; [4] MILLOUR et al., 2012; [5] YILMAZ et al., 2010; [6] JABEEN et al., 2010; [7] ESPINOZA-QUIÑONES et al., 2010; [8] ERSOY et al., 2009; [9] VISNJIC-JEFTIC et al., 2010.

Tabela 14 - Concentração ($\mu\text{g g}^{-1}$ peso úmido) de macromelementos no fígado de diversas espécies de peixes reportados em diversas regiões do mundo. Média \pm SD (Min – Max)

Espécie	Local	Ca	Mg	Sr	P	K	Ref.
<i>Triglia lucerna</i>	Turquia	320 \pm 41	21,70 \pm 5,57	2,24 \pm 0,67	-	5,83 \pm 1,11	[5]
<i>Lophius budegassa</i>	Turquia	213 \pm 44	16,60 \pm 8,34	2,03 \pm 1,08	-	2,81 \pm 1,83	[5]
<i>Solea lascaris</i>	Turquia	298 \pm 54	9,05 \pm 3,28	2,46 \pm 0,99	-	1,98 \pm 0,92	[5]
<i>T. rendali</i>	Brasil	19 \pm 6 (7,1–31,2)	-	-	66 \pm 12 (41,2–91,2)	659 \pm 211 (210,1–1107,3)	[7]
<i>Oreochromis niloticus</i>	Brasil	10,9 \pm 0,8 (9,18–12,63)	-	-	58 \pm 4 (49,4–68,0)	264 \pm 20 (222,7–306,5)	[7]
<i>Geophagus brasiliensi</i>	Brasil	30,7 \pm 0,7 (29,09–32,20)	-	-	29,9 \pm 1,4 (28,46–31,51)	152 \pm 4 (144,9–160,5)	[7]
<i>H. melabaricus</i>	Brasil	23,2 \pm 0,9 (21,38–24,99)	-	-	119 \pm 4 (110,2–128,8)	627 \pm 23 (578,7–676,5)	[7]
<i>A. Altiparanae</i>	Brasil	70 \pm 9 (41,7–94,2)	-	-	42 \pm 5 (24,9–56,3)	104 \pm 16 (76,7–173,3)	[7]
<i>Astyanax spp</i>	Brasil	12 \pm 3 (4,20–33,69)	-	-	41 \pm 5 (14,2–65,8)	155 \pm 18 (64,4–247,6)	[7]
<i>Rhamdia quelen</i>	Brasil	20,3 \pm 2,2 (6,03–25,54)	-	-	84 \pm 14 (47,2–135,9)	314 \pm 46 (197,2–480,7)	[7]
<i>S. japonicus</i>	Turquia	101 \pm 3,0	253 \pm 22	-	-	1.941 \pm 3	[8]
<i>T. mediterraneus</i>	Turquia	122 \pm 7,5	236 \pm 12	-	-	2.172 \pm 1	[8]
<i>L. aurata</i>	Turquia	127 \pm 4,2	199 \pm 8	-	-	1.694 \pm 8	[8]
<i>E. teres</i>	Turquia	400 \pm 9,1	246 \pm 23	-	-	121 \pm 14	[8]
<i>Alosa immaculata</i>	Sérvia	-	1.165 \pm 351	3,10 \pm 19,3	-	-	[9]
Várias Espécies	Brasil	468,7 \pm 142,0 (314,2- 719,1)	152,6 \pm 68,8 (79,7 - 323,5)	0,67 \pm 0,42 (0,38 – 1,63)	3.272 \pm 1.498 (1.227 - 5.095)	2.470 \pm 278 (2.141 - 2.765)	*

* Valores encontrados nesse trabalho, convertidos para peso úmido.

Legenda: [5] YILMAZ et al., 2010; [7] ESPINOZA-QUIÑONES et al., 2010; [9] VISNJIC-JEFTIC et al., 2010.

Tabela 15 - Concentração ($\mu\text{g g}^{-1}$ peso úmido) de macrolelementos na gônada e guelra de diversas espécies de peixes reportados em diversas regiões do mundo. Média \pm SD (Min – Max)

Espécie	Local	Ca	Mg	Sr	P	K	Ref.
Gônada							
<i>T. rendali</i>	Brasil	17 \pm 7 (2,7–31,3)	-	-	48 \pm 7 (33,3–64,2)	148 \pm 30 (83,8–213,0)	[7]
<i>O. niloticus</i>	Brasil	23 \pm 9 (4,4–41,2)	-	-	54 \pm 5 (43,6–64,1)	188 \pm 33 (118,9–257,9)	[7]
<i>G. brasiliensi</i>	Brasil	16,32 \pm 0,06 (0,27–32,36)	-	-	53,2 \pm 2,1 (49,02–57,37)	333 \pm 40 (247,1–418,3)	[7]
<i>H. melabaricus</i>	Brasil	147 \pm 14 (116,9–176,6)	-	-	58,1 \pm 0,3 (57,38–58,82)	225 \pm 5 (214,8–235,9)	[7]
<i>A. Altiparanae</i>	Brasil	79 \pm 12 (44,6–114,7)	-	-	57 \pm 2 (49,4–62,4)	279 \pm 15 (229,7–317,1)	[7]
<i>Astyanax spp</i>	Brasil	7,5 \pm 0,4 (6,66–7,95)	-	-	62 \pm 6 (55,2–65,9)	223 \pm 8 (207,6–247,9)	[7]
<i>R. quelen</i>	Brasil	46 \pm 8 (21,4–68,5)	-	-	122 \pm 15 (55,4–181,1)	546 \pm 136 (145,9–1050,1)	[7]
<i>Gadus morhua</i>		-	460,3 (267,6–1.262)	2,40 (0,85–16,9)	-	-	[10]
Várias Espécies	Brasil	88,6 \pm 16,0 (66,7 - 116,2)	135,2 \pm 43,8 (68,3 - 218,7)	2,24 \pm 1,52 (4,56 – 5,08)	3.334 \pm 859 (1.831 - 4.544)	2.695 \pm 320 (2.186 - 3.112)	*
Guelra							
<i>O. mossambicus</i>	Paquistão	14.540	495	-	-	3.102	[6]
<i>O. mossambicus</i>	Paquistão	25.300	834	-	-	5.184	[6]
<i>Alosa immaculata</i>	Sérvia	-	2.540 \pm 469	143.81 \pm 44.03	-	-	[9]
Várias Espécies	Brasil	14.785 \pm 1.985 (12.453 - 16.961)	493,3 \pm 143,2 (232,3 - 742,6)	119,4 \pm 39,9 (60,2 – 180,8)	13.574 \pm 4.570 (7.383 - 22.540)	1.543 \pm 638 (1.082 - 3.180)	*

* Valores encontrados nesse trabalho, convertidos para peso úmido.

Legenda: [5] YILMAZ et al., 2010; [6] JABEEN et al., 2010; [7] ESPINOZA-QUIÑONES et al., 2010; [9] VISNJIC-JEFTIC et al., 2010; [10] BANG et al., 2008.

Estudos metabólicos e experimentais sugerem que magnésio tem participação na regulação da pressão sanguínea (RESNICK, 1999; TOUYZ, 2003) e, a sua diminuição no sangue, aumenta a reatividade das artérias para agentes vasoconstritores, atenua respostas à vasodilatação e promove vasoconstrição, levando ao aumento da pressão do sangue (TOUYZ, 2003).

Semelhante ao cálcio, os peixes analisados são fontes ricas em magnésio. As concentrações encontradas nos músculos foram semelhantes às diversas espécies pesquisadas em outras regiões do mundo (Tabela 13). O mesmo pode ser observado para as concentrações encontradas no fígado (Tabela 14) e nas guelras (Tabela 15).

Para estrôncio foram obtidas faixas de concentração ($\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco) que variaram de: 1,67 a 4,81 nos músculos, 264,50 a 793,70 nas guelras, 9,12 a 820,21 no estômago, 13,22 a 64,36 no fígado, 5,07 a 46,39 no rim, e 2,00 a 14,58 nas gônadas (Tabelas 18 e 19 e Figuras 12 e 13).

Estrôncio ocorre em todos os tecidos do peixe. Ele, assim como vários outros elementos, é naturalmente presente no ambiente, mas, suas principais fontes estão ligadas à poluição causada por atividades humanas e industriais (MILLOUR et al., 2012), como por exemplo, na composição de fogos de artifício (WHO, 2010). Ele pode se bioacumular causando disfunções e efeitos nocivos à saúde, tais como desordens na mineralização dos ossos (AKHTER, et al., 2004). Este elemento é importante para a saúde do homem, ajudando a melhorar a estrutura celular e a matriz mineral dos ossos e dentes, além de fortalecer e ajudar a prevenir o decaimento de dentes e ossos moles, controlar doenças ósseas e reduzir a dor de lesões ósseas associadas com certos cânceres (HANSEN et al., 1998).

Tabela 16 - Concentração de magnésio (mg g^{-1}) em tecidos nas espécies de peixes do Verão de 2010/2011

Tecidos	<i>C. latus</i>	<i>B. marinus</i>	<i>A. rhomboidalis</i>	<i>L. synagris</i>	<i>S. cavalla</i>
Verão 2010/2011					
Músculo	0,66 ^{bcc} ± 0,04	0,62 ^{cd} ± 0,06	1,05 ^{ad} ± 0,02	0,58 ^{cc} ± 0,03	0,71 ^{bc} ± 0,01
Guelra	2,11 ^{ca} ± 0,10	1,02 ^{ea} ± 0,01	1,79 ^{db} ± 0,01	2,55 ^{aa} ± 0,01	2,36 ^{bb} ± 0,03
Estômago	1,40 ^{cb} ± 0,07	0,95 ^{cb} ± 0,04	3,60 ^{aa} ± 0,32	2,28 ^{bb} ± 0,17	3,33 ^{aa} ± 0,14
Fígado	0,66 ^{bc} ± 0,03	0,54 ^{ce} ± 0,01	1,42 ^{ac} ± 0,06	0,64 ^{bcc} ± 0,01	0,35 ^{dd} ± 0,07
Rim	0,52 ^{cd} ± 0,02	0,34 ^{df} ± 0,02	0,85 ^{ae} ± 0,01	0,31 ^{dd} ± 0,01	0,69 ^{cb} ± 0,03
Gônadas	0,60 ^{cd} ± 0,03	0,73 ^{bc} ± 0,02	0,96 ^{ad} ± 0,06	0,59 ^{cc} ± 0,02	0,44 ^{dd} ± 0,02

Tabela 17 - Concentração de magnésio (mg g^{-1}) em tecidos nas espécies de peixes do Verão de 2011/2012

Tecidos	<i>C. latus</i>	<i>A. rhomboidalis</i>	<i>L. synagris</i>	<i>S. guachancho</i>
Verão 2011/2012				
Músculo	1,06 ^{ac} ± 0,10	0,83 ^{cc} ± 0,05	0,72 ^{db} ± 0,04	0,95 ^{bc} ± 0,01
Guelra	3,26 ^{aa} ± 0,30	1,86 ^{bb} ± 0,02	2,59 ^{ba} ± 0,07	1,95 ^{ba} ± 0,05
Estômago	1,66 ^{bb} ± 0,13	2,06 ^{aa} ± 0,2	0,43 ^{dd} ± 0,01	1,19 ^{cb} ± 0,09
Fígado	0,68 ^{ad} ± 0,04	0,65 ^{ad} ± 0,02	0,63 ^{ac} ± 0,03	0,46 ^{bd} ± 0,03
Rim	0,72 ^{acd} ± 0,06	0,73 ^{acd} ± 0,01	0,42 ^{bd} ± 0,01	0,31 ^{ce} ± 0,02
Gônadas	0,44 ^{ce} ± 0,01	0,69 ^{acd} ± 0,01	0,59 ^{bc} ± 0,01	0,30 ^{de} ± 0,02

Média ± Desvio Padrão.

Nomes vulgares: *C. latus* – guaricema; *B. marinus* – bagre; *A. rhomboidalis* – sambúio; *L. synagris* – vermelho; *S. cavalla* – cavala; *S. guachancho* – bicuda.

Valores de médias, na mesma coluna, com letras maiúsculas diferentes possuem diferença significativa ($p < 0,05$) entre os tecidos de mesma espécie.

Valores de médias, na mesma linha, com letras minúsculas diferentes, possuem diferença significativa ($p < 0,05$) entre as espécies.

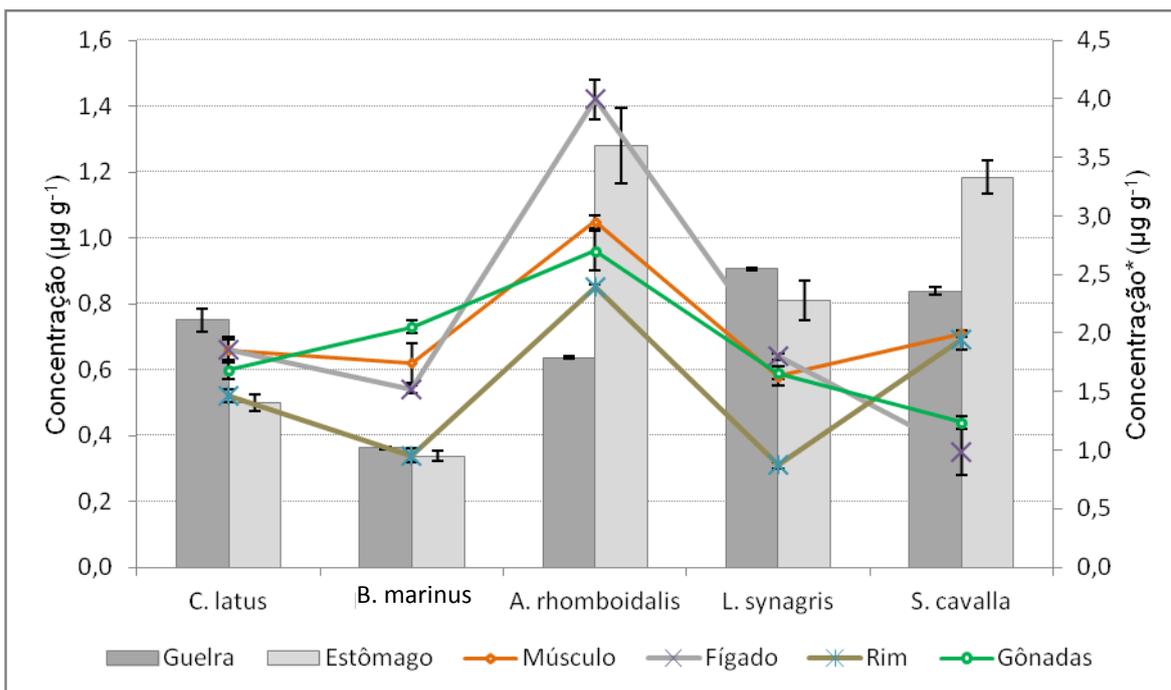


Figura 10 - Concentração de magnésio nos diversos tecidos das espécies pesquisadas no Verão 2010-2011

* Faixa de concentração apenas para amostras de guelra e estômago.

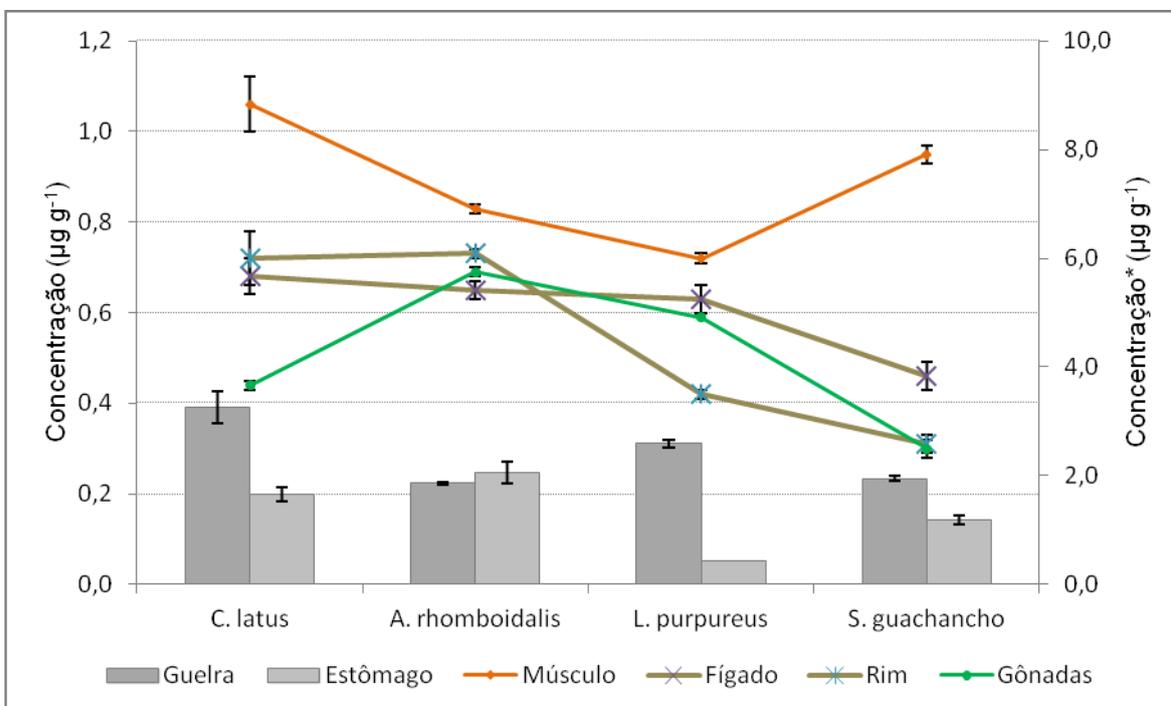


Figura 11 - Concentração de magnésio nos diversos tecidos das espécies pesquisadas no Verão 2011-2012

* Faixa de concentração apenas para amostras de guelra e estômago.

Tabela 18 - Concentração de estrôncio ($\mu\text{g g}^{-1}$) em tecidos nas espécies de peixes do Verão de 2010/2011

Tecidos	<i>C. latus</i>	<i>B. marinus</i>	<i>A. rhomboidalis</i>	<i>L. synagris</i>	<i>S. cavalla</i>
Verão 2010/2011					
Músculo	2,70 ^{cf} ± 0,13	2,09 ^{cdF} ± 0,02	7,16 ^{af} ± 0,42	1,82 ^{de} ± 0,04	4,81 ^{be} ± 0,42
Guelra	793,70 ^{aa} ± 2,63	494,92 ^{ca} ± 3,91	264,50 ^{eb} ± 9,40	454,74 ^{da} ± 21,35	652,57 ^{bb} ± 4,74
Estômago	9,12 ^{de} ± 0,62	72,17 ^{cb} ± 3,41	820,21 ^{aa} ± 44,41	40,88 ^{cdB} ± 0,50	762,93 ^{ba} ± 0,70
Fígado	42,01 ^{bb} ± 0,65	64,36 ^{ac} ± 0,50	44,05 ^{bc} ± 0,23	11,93 ^{cc} ± 0,39	11,71 ^{cc} ± 5,24
Rim	35,06 ^{bc} ± 3,03	46,39 ^{ad} ± 3,75	15,37 ^{ce} ± 0,13	5,07 ^{dd} ± 0,07	7,51 ^{dd} ± 0,29
Gônadas	14,58 ^{ad} ± 0,98	14,06 ^{ae} ± 0,24	22,32 ^{ad} ± 1,02	11,48 ^{cc} ± 0,35	10,34 ^{cc} ± 0,29

Tabela 19 - Concentração de estrôncio ($\mu\text{g g}^{-1}$) em tecidos nas espécies de peixes do Verão de 2011/2012

Tecidos	<i>C. latus</i>	<i>A. rhomboidalis</i>	<i>L. synagris</i>	<i>S. guachancho</i>
Verão 2011/2012				
Músculo	2,70 ^{ad} ± 0,12	1,67 ^{cf} ± 0,03	1,71 ^{bdf} ± 0,01	1,83 ^{be} ± 0,02
Guelra	397,65 ^{ca} ± 25,79	589,98 ^{aa} ± 6,79	712,3 ^{aa} ± 24,40	357,94 ^{da} ± 14,52
Estômago	13,22 ^{cb} ± 1,10	108,94 ^{bb} ± 5,73	33,52 ^{bb} ± 1,64	9,18 ^{cb} ± 0,74
Fígado	1,64 ^{ce} ± 0,09	4,18 ^{bd} ± 0,03	12,69 ^{ac} ± 0,95	4,79 ^{bc} ± 0,04
Rim	11,74 ^{abc} ± 0,68	5,24 ^{dc} ± 0,08	8,20 ^{cd} ± 0,11	9,68 ^{bb} ± 0,13
Gônadas	3,81 ^{bc} ± 0,15	2,00 ^{de} ± 0,03	7,60 ^{ae} ± 0,16	2,42 ^{cd} ± 0,16

Média ± Desvio Padrão.

Nomes vulgares: *C. latus* – guaricema; *B. marinus* – bagre; *A. rhomboidalis* – sambúio; *L. synagris* – vermelho; *S. cavalla* – cavala; *S. guachancho* – bicuda.

Valores de médias, na mesma coluna, com letras maiúsculas diferentes possuem diferença significativa ($p < 0,05$) entre os tecidos de mesma espécie.

Valores de médias, na mesma linha, com letras minúsculas diferentes possuem diferença significativa ($p < 0,05$) entre as espécies.

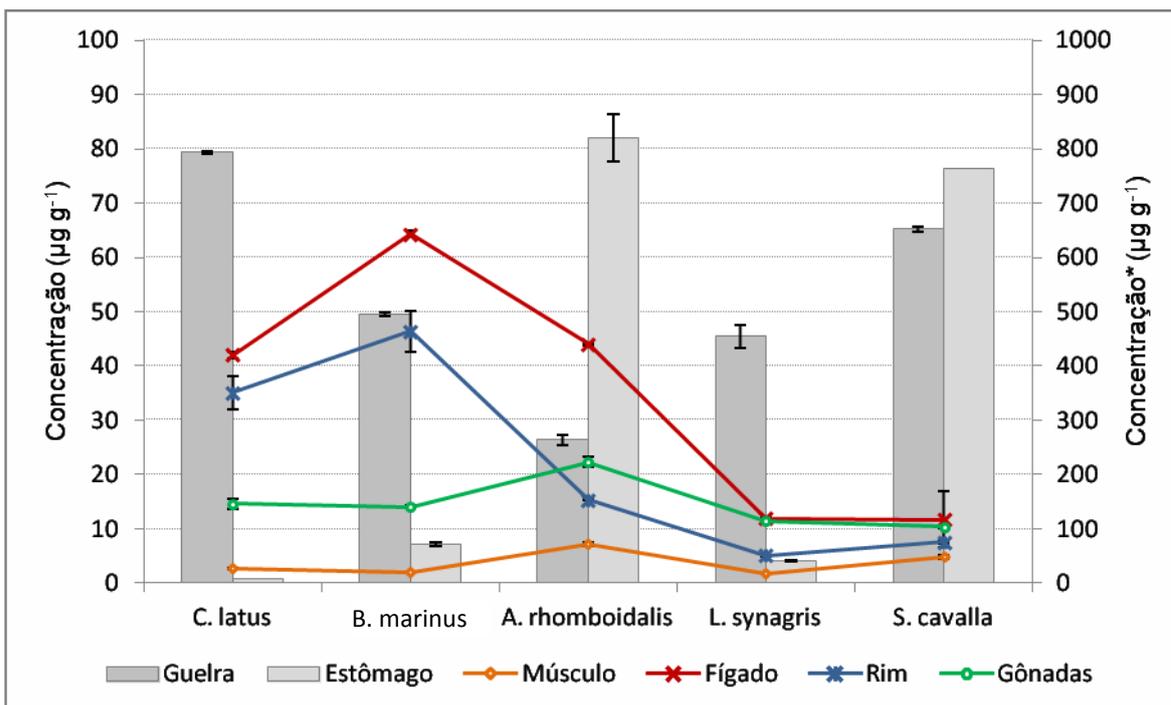


Figura 12 - Concentração de estrôncio nas espécies pesquisadas no Verão 2010/2011

* Faixa de concentração apenas para amostras de guelra e estômago.

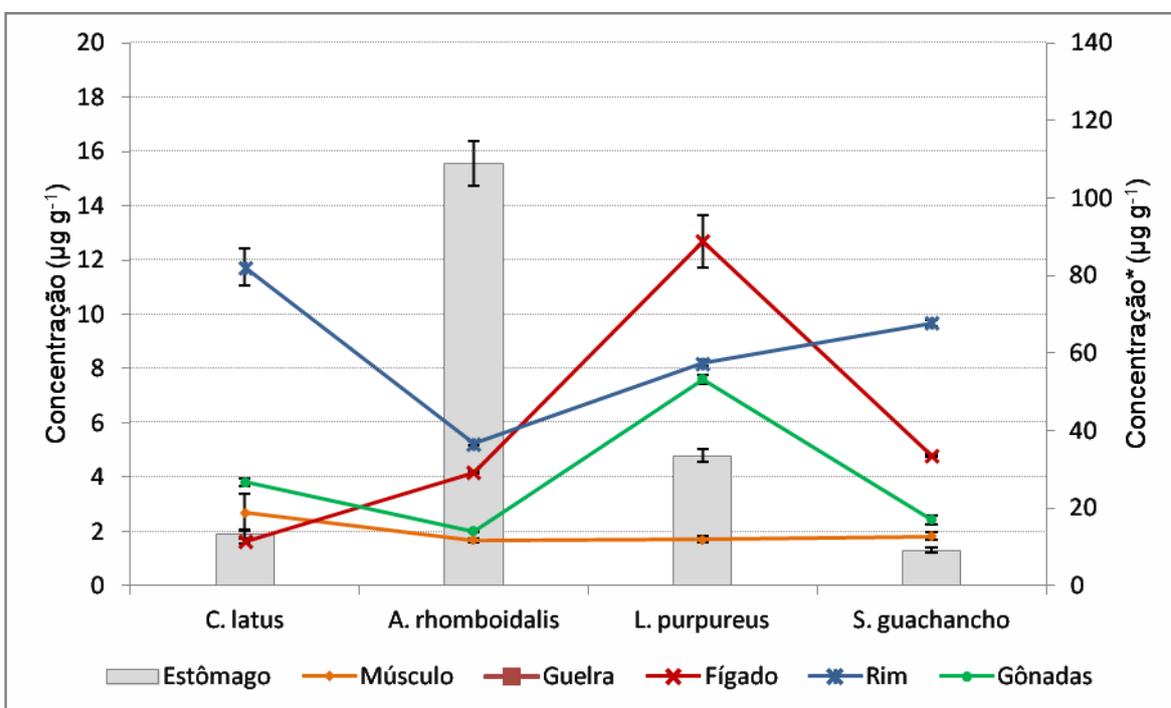


Figura 13 - Concentração de estrôncio nas espécies pesquisadas no Verão 2011/2012

* Faixa de concentração apenas para amostras de guelra e estômago.

As faixas de concentração encontradas para estrôncio nos músculos, guelras e gônadas dos peixes investigados foram similares às concentrações reportadas para estes tecidos em diversas espécies de peixes pesquisados na literatura (Tabelas 13 a 15). Entretanto, para o fígado, as concentrações encontradas nesse trabalho foram maiores do que as reportadas na literatura (Tabela 14).

Fósforo apresentou variações de (em mg g⁻¹ peso seco): 12,40 a 17,87 nos músculos, 32,41 a 98,95 nas guelras, 7,06 a 42,15 no estômago, 5,83 a 22,37 no fígado, 4,90 a 14,91 no rim, 8,04 a 19,95 nas gônadas (Tabelas 20 e 21 e Figuras 14 e 15).

Este elemento é essencial para proporcionar o desenvolvimento e manutenção do corpo e do sistema esquelético do animal. A sua deficiência no organismo do peixe causa redução na taxa de crescimento, diminuição na mineralização óssea e anormalidades esqueléticas (ROY et al., 2002). Entretanto, dados sobre fósforo na dieta alimentar ainda são insuficientes (CORDELL et al., 2009).

A absorção de fósforo nos vertebrados acontece no intestino, sendo conservado nos rins e armazenado nos ossos (CROSS, et al., 1990). Sua presença é requerida no organismo dos peixes, atuando na mineralização dos ossos e presente no controle de seus mecanismos homeostáticos (VIELMA e LALL, 1998). Além disso, o fósforo participa do transporte de energia para o cérebro e na construção das paredes celulares (ALBERTS et al., 1994).

Tabela 20 - Concentração de fósforo (mg g^{-1}) em tecidos nas espécies de peixes do Verão de 2010/2011

Tecidos	<i>C. latus</i>	<i>B. marinus</i>	<i>A. rhomboidalis</i>	<i>L. synagris</i>	<i>S. cavalla</i>
Verão 2010/2011					
Músculo	16,79 ^{ab} ± 0,62	17,87 ^{ab} ± 0,85	17,51 ^{ac} ± 1,74	17,66 ^{ab} ± 0,41	16,56 ^{ac} ± 0,43
Guelra	32,41 ^{da} ± 0,92	65,97 ^{aa} ± 3,23	49,40 ^{ba} ± 0,08	63,70 ^{aa} ± 1,70	37,97 ^{ca} ± 1,30
Estômago	14,14 ^{bc} ± 0,09	12,96 ^{cc} ± 0,30	34,59 ^{ab} ± 0,37	11,85 ^{cc} ± 0,57	7,06 ^{de} ± 0,85
Fígado	5,83 ^{de} ± 0,54	5,39 ^{dd} ± 0,32	10,21 ^{cd} ± 0,34	18,06 ^{bb} ± 0,17	20,29 ^{ab} ± 1,60
Rim	6,52 ^{cde} ± 0,07	5,71 ^{cd} ± 0,43	7,90 ^{be} ± 0,08	4,90 ^{dd} ± 0,09	14,91 ^{ac} ± 0,89
Gônadas	8,04 ^{cd} ± 0,63	11,67 ^{bc} ± 0,61	15,69 ^{ac} ± 0,14	16,56 ^{ab} ± 0,3	10,58 ^{bd} ± 0,42

Tabela 21 - Concentração de fósforo (mg g^{-1}) em tecidos nas espécies de peixes do Verão de 2011/2012

Tecidos	<i>C. latus</i>	<i>A. rhomboidalis</i>	<i>L. synagris</i>	<i>S. guachancho</i>
Verão 2011/2012				
Músculo	12,40 ^{cbc} ± 0,80	14,53 ^{abd} ± 0,69	14,45 ^{bc} ± 0,82	15,65 ^{acd} ± 0,11
Guelra	49,10 ^{ca} ± 4,48	68,88 ^{ba} ± 0,16	98,95 ^{aa} ± 3,69	69,92 ^{ba} ± 2,9
Estômago	11,44 ^{dc} ± 1,38	42,15 ^{ab} ± 2,55	14,96 ^{ccd} ± 1,25	22,24 ^{bb} ± 0,73
Fígado	11,76 ^{bbc} ± 1,01	13,61 ^{cd} ± 0,41	22,37 ^{ab} ± 0,42	21,78 ^{ab} ± 0,95
Rim	11,53 ^{bbc} ± 0,63	12,85 ^{ad} ± 0,11	11,59 ^{bd} ± 0,04	12,06 ^{abd} ± 0,60
Gônadas	15,26 ^{bc} ± 1,18	17,50 ^{abc} ± 0,25	19,95 ^{ab} ± 0,06	16,48 ^{bc} ± 2,22

Média ± Desvio Padrão.

Nomes vulgares: *C. latus* – guaricema; *B. marinus* – bagre; *A. rhomboidalis* – sambúio; *L. synagris* – vermelho; *S. cavalla* – cavala; *S. guachancho* – bicuda.

Valores de médias, na mesma coluna, com letras maiúsculas diferentes possuem diferença significativa ($p < 0,05$) entre os tecidos de mesma espécie.

Valores de médias, na mesma linha, com letras minúsculas diferentes, possuem diferença significativa ($p < 0,05$) entre as espécies.

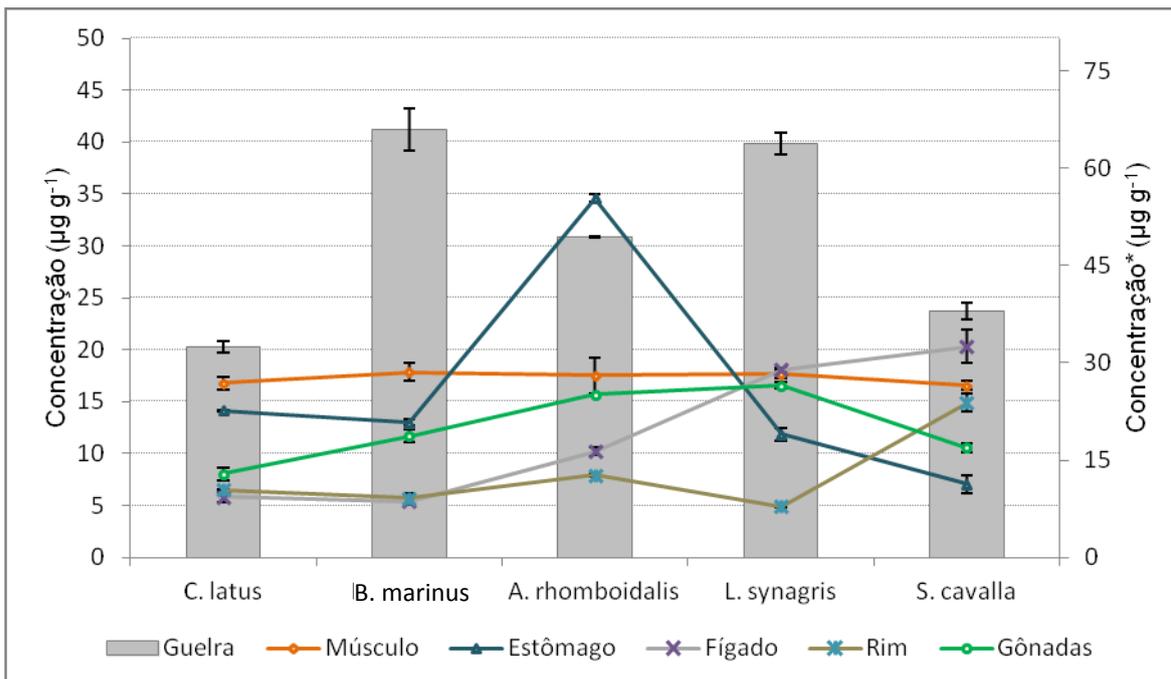


Figura 14 - Concentração de fósforo nas espécies pesquisadas no Verão 2010/2011
* Faixa de concentração apenas para amostras de guelra.

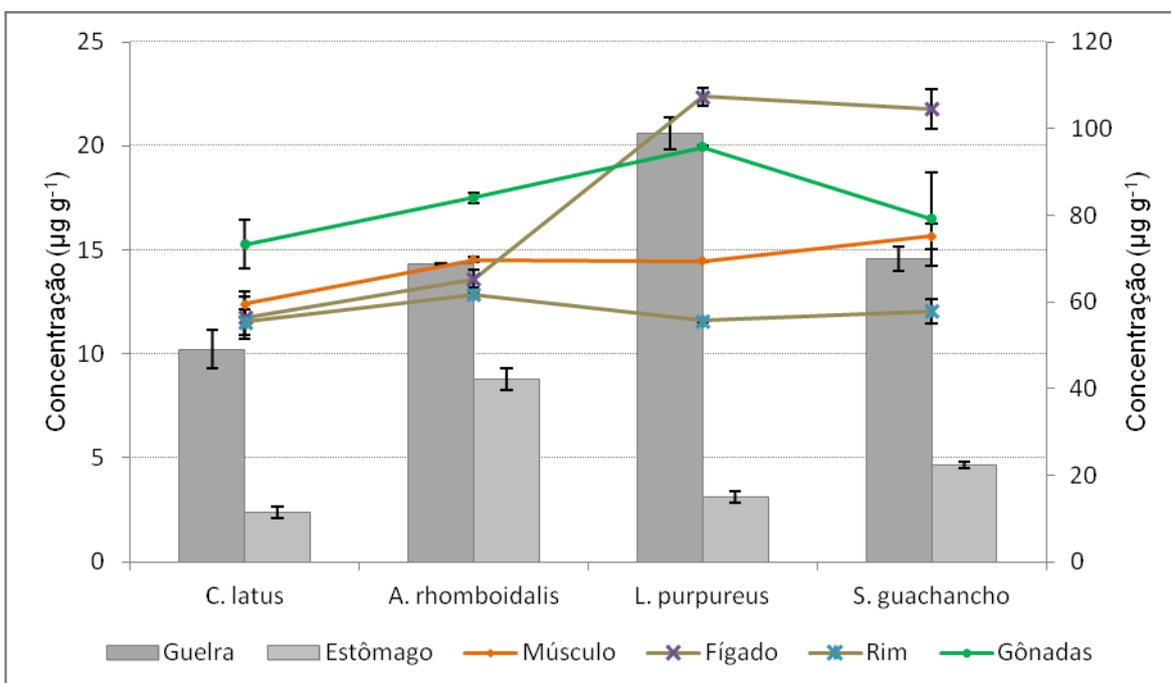


Figura 15 - Concentração de fósforo nas espécies pesquisadas no Verão 2011/2012
* Faixa de concentração apenas para amostras de guelra e estômago.

Devido às atividades humanas, a biodisponibilidade de fósforo triplicou no ambiente (HOWARTH e RAMAKRISHNA, 2005). Atividades como agricultura, efluentes domésticos e industriais e combustíveis fósseis tem contribuído para sua liberação nos cursos de águas naturais e, conseqüentemente, em sistemas costeiros (LIU et al., 2012).

Foram encontrados poucos trabalhos que reportam a concentração de fósforo nos tecidos dos peixes. Nas tabelas 13 a 15 são mostradas as concentrações de fósforo no músculo, fígado e guelras para diversas espécies pesquisadas por Espinoza-Quiñones et al. (2010). Os valores encontrados neste trabalho são muito superiores aos reportados, havendo, provavelmente, influencia da concentração de fósforo disponível no ambiente aquático onde os peixes foram coletados.

Para potássio, as faixas de concentrações encontradas, em mg g^{-1} (peso seco), nos peixes investigados variaram de: 14,36 a 20,88 nos músculos, 4,75 a 13,96 nas guelras, 8,13 a 14,32 no estômago, 9,40 a 12,78 no fígado, 11,02 a 18,53 no rim e 9,60 a 13,66 nas gônadas (Tabelas 22 e 23 e Figuras 16 e 17).

Dentre os tecidos, o músculo apresentou os maiores teores de potássio indicando ser o peixe, uma boa fonte desse elemento para a dieta alimentar humana. As concentrações encontradas foram superiores àquelas reportadas para o músculo de outras espécies de peixes (Tabela 13), mas foram similares com as concentrações encontradas em espécies de peixes coletadas em mares turcos, tais como em *S. japonicus*, *T. mediterraneus* e *L. aurata* (ERSOY e ÇELIK, 2009). Tendência semelhante de elevada bioacumulação na guelra (Tabela 15), foi observada em *O. mossambicus*, pesquisadas em região costeira do Paquistão (JABEEN e CHAUNDHRY, 2010).

Tabela 22 - Concentração de potássio (mg g^{-1}) em tecidos nas espécies de peixes do Verão de 2010/2011

Tecidos	<i>C. latus</i>	<i>B. marinus</i>	<i>A. rhomboidalis</i>	<i>L. synagris</i>	<i>S. cavalla</i>
Verão 2010/2011					
Músculo	17,38 ^{ba} ± 1,18	20,32 ^{aA} ± 0,71	20,88 ^{aA} ± 0,29	14,36 ^{ca} ± 0,68	17,33 ^{ba} ± 0,60
Guelra	5,43 ^{be} ± 0,23	5,00 ^{bd} ± 0,39	13,96 ^{ac} ± 0,84	5,63 ^{bc} ± 0,33	4,75 ^{bd} ± 0,04
Estômago	12,66 ^{ac} ± 0,45	9,12 ^{bcc} ± 1,14	8,13 ^{cdE} ± 0,76	10,51 ^{bb} ± 0,37	7,11 ^{dc} ± 0,06
Fígado	11,64 ^{ad} ± 0,94	9,40 ^{cc} ± 0,88	12,14 ^{ad} ± 0,17	9,69 ^{bcB} ± 0,12	11,22 ^{abB} ± 0,77
Rim	18,05 ^{aA} ± 1,40	11,09 ^{bb} ± 0,62	18,53 ^{ab} ± 0,59	11,02 ^{bb} ± 0,20	17,15 ^{aA} ± 0,47
Gônadas	13,57 ^{ab} ± 1,09	11,74 ^{abB} ± 0,40	12,68 ^{abCD} ± 0,55	10,74 ^{bb} ± 1,00	12,50 ^{abB} ± 0,75

Tabela 23 - Concentração de potássio (mg g^{-1}) em tecidos nas espécies de peixes do Verão de 2011/2012

Tecidos	<i>C. latus</i>	<i>A. rhomboidalis</i>	<i>L. synagris</i>	<i>S. guachancho</i>
Verão 2011/2012				
Músculo	19,80 ^{aA} ± 1,46	19,95 ^{aA} ± 0,52	20,10 ^{aA} ± 1,19	21,38 ^{aA} ± 0,55
Guelra	6,38 ^{ae} ± 0,30	6,99 ^{ae} ± 1,72	6,03 ^{ae} ± 0,11	6,79 ^{ae} ± 0,09
Estômago	14,32 ^{ab} ± 0,46	9,98 ^{cd} ± 0,58	11,28 ^{bc} ± 0,11	13,98 ^{ab} ± 0,62
Fígado	9,68 ^{cd} ± 0,68	9,82 ^{cd} ± 0,14	11,12 ^{bc} ± 0,30	12,78 ^{abc} ± 0,27
Rim	14,40 ^{bb} ± 1,98	15,41 ^{bb} ± 0,73	17,96 ^{ab} ± 0,15	11,97 ^{cc} ± 0,26
Gônadas	11,57 ^{bc} ± 0,27	13,66 ^{ac} ± 0,17	9,60 ^{cd} ± 0,03	10,42 ^{bcd} ± 0,59

Média ± Desvio Padrão.

Nomes vulgares: *C. latus* – guaricema; *B. marinus* – bagre; *A. rhomboidalis* – sambúio; *L. synagris* – vermelho; *S. cavalla* – cavala; *S. guachancho* – bicuda.

Valores de médias, na mesma coluna, com letras maiúsculas diferentes possuem diferença significativa ($p < 0,05$) entre os tecidos de mesma espécie.

Valores de médias, na mesma linha, com letras minúsculas diferentes possuem diferença significativa ($p < 0,05$) entre as espécies.

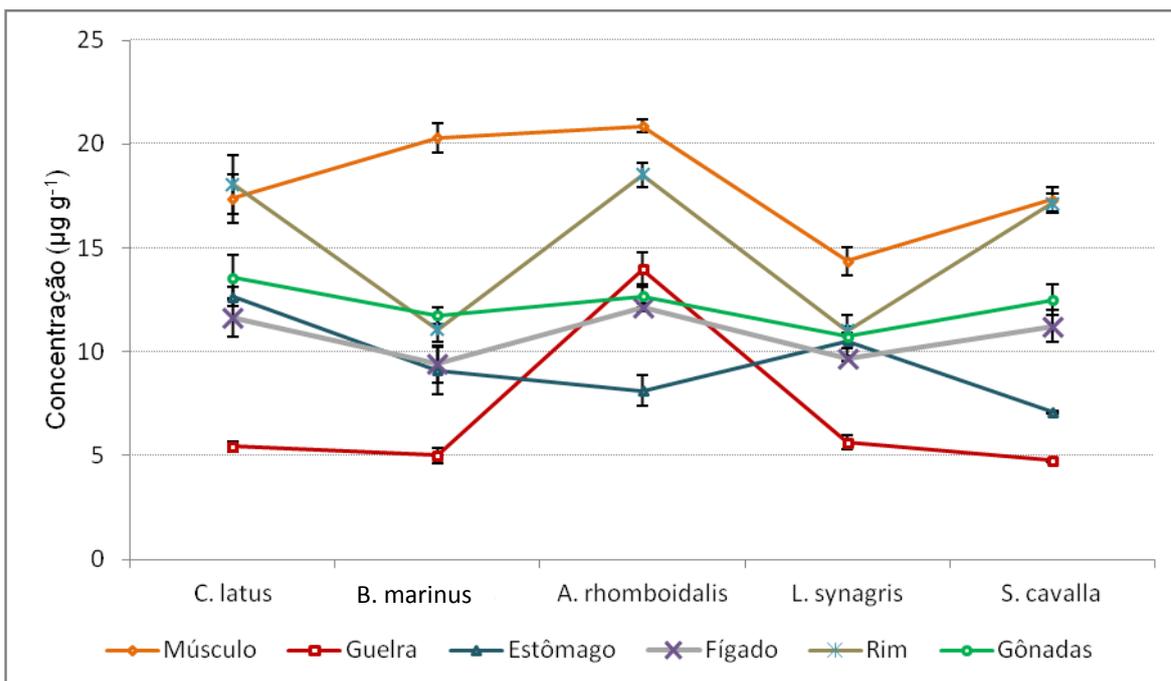


Figura 16 - Concentração de potássio nas espécies pesquisadas no Verão 2010/2011

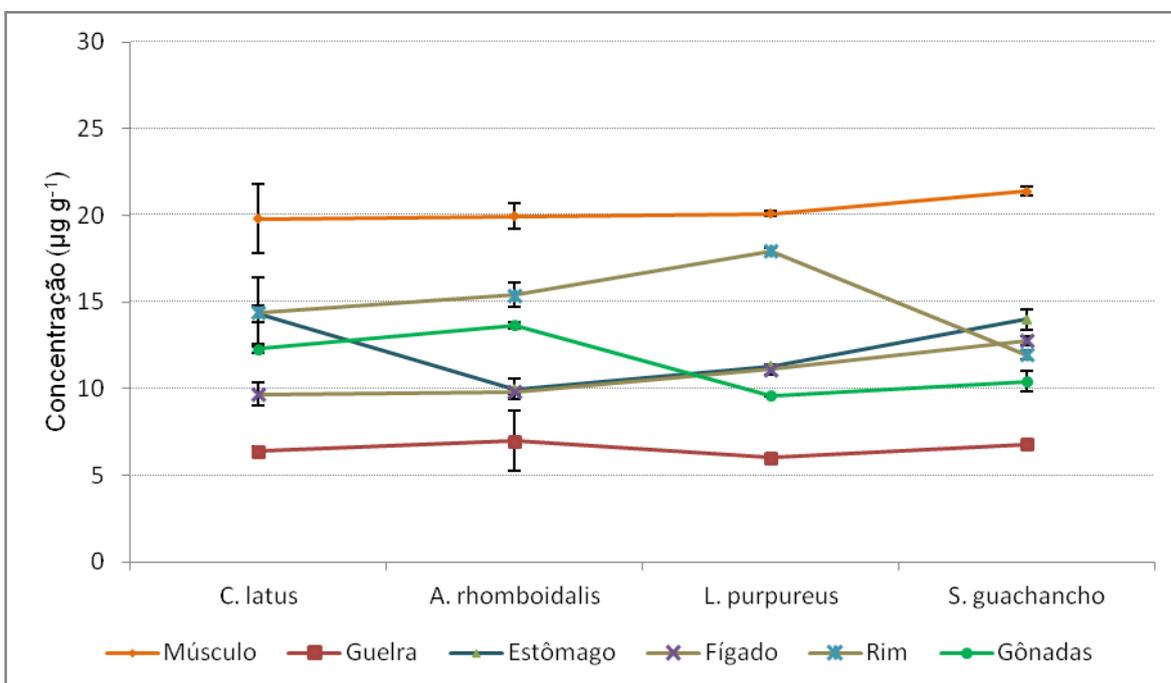


Figura 17 - Concentração de potássio nas espécies pesquisadas no Verão 2011/2012

5.3.1.2 Variação da Concentração de Macroelementos entre os Tecidos

Para todos os macroelementos pesquisados (Ca, Mg, Sr, P, K) e o Sr, houve variação significativa entre os tecidos analisados ($p < 0,05$). Em todos os elementos foi nítida a tendência da guelra em bioacumular maiores concentrações desses elementos (Tabelas 11; 12; 16 a 21), exceto para o potássio que apresentou maiores concentrações nos músculos (Tabelas 22 e 23).

Para cada macroelemento, houve variação entre os tecidos que tende a ter uma menor acumulação. Para o cálcio, por exemplo, as gônadas apresentaram os menores teores. Para o magnésio e o estrôncio, os mais baixos teores foram encontrados nas gônadas e rins enquanto fósforo não apresentou uma tendência bem definida de acumulação. O elemento potássio, diferente dos demais, teve as guelras como órgão de menores valores de concentração.

Em geral, para todos os tecidos, a ordem de distribuição segundo as concentrações desses macroelementos foi a seguinte: $P > K > Ca > Mg > Sr$.

5.3.1.3 Variação Temporal da Concentração dos Elementos Traço

A avaliação da variação temporal nas concentrações nos tecidos investigados para o Ca, Mg, Sr, P e K, entre o verão 2010-2011 e o verão 2011-2012 para *C. latus* e *L. synagris* demonstraram variação significativa nas concentrações dos tecidos analisados (Tabela 24 a 28). Fósforo e potássio foram os elementos que apresentaram maior tendência de seus tecidos apresentarem valores diferentes ao longo do tempo, com variação significativa para todos os tecidos (Tabelas 27 e 28).

Trabalhos que reportem variação sazonal na concentração dos macrossubstâncias investigados não foram encontrados para comparações.

5.3.1.4 Análise da Correlação Individual dos Elementos Traço nos Tecidos

A análise de correlação de Spearman e de regressão linear foi realizada para cada macrossubstância. As matrizes scatterplots da correlação e seus p-valores estão nas Figuras 18 a 22. Os resultados indicaram que potássio não apresentou nenhuma correlação significativa entre os tecidos (Figura 22).

Os resultados para os elementos cálcio, fósforo e estrôncio apresentaram pouca tendência de correlação significativa entre os tecidos analisados sendo: para cálcio, apenas as concentrações entre a guelra e o músculo apresentaram correlação significativa ($r = -0,73$). Para magnésio apenas entre estômago e o rim ($r = 0,66$) e entre o fígado e a gônada ($r = 0,80$), enquanto que para fósforo somente para guelra e gônadas ($r = 0,80$).

Já para o estrôncio foram obtidas correlações muito significativas (Figura 20) entre o músculo e o estômago ($r = 0,92$), entre o fígado e o rim ($r = 0,88$), além das correlações: músculo e gônada ($r = 0,69$), fígado e gônada ($r = 0,78$).

As linhas de tendência das análises de regressão de todos os pares de tecidos que apresentaram significância estão esboçadas nas Figuras 23 e 24.

Tabela 24 - Avaliação da variação de concentração de cálcio nos tecidos das espécies *L. synagris* e *C. latus* nos dois períodos de estudo (mg g^{-1} peso úmido)

Tecido	N	<i>L. synagris</i>		N	<i>C. latus</i>	
		Verão 2010/2011	Verão 2011/2012		Verão 2010/2011	Verão 2011/2012
Músculo	07	0,75 ± 0,03	0,71 ± 0,02	11	1,15 ± 0,04	1,24 ± 0,07
Guelra	07	74,40 ± 1,01	74,46 ± 1,86	11	72,10 ^a ± 0,75	54,67 ^b ± 2,62
Estômago	07	45,79 ^a ± 2,08	4,25 ^b ± 0,19	11	0,85 ± 0,50	1,41 ± 0,10
Fígado	07	2,87 ± 0,04	3,14 ± 0,29	11	2,09 ± 0,11	2,25 ± 0,16
Rim	07	1,75 ^a ± 0,03	1,08 ^b ± 0,03	11	2,44 ± 0,45	2,90 ± 0,23
Gônadas	07	0,42 ± 0,01	0,39 ± 0,03	11	0,29 ^a ± 0,01	0,51 ^b ± 0,04

N – número de amostra (espécimes) por tecidos.

Valores de médias na mesma linha com letras diferentes possuem diferença significativa ($p < 0,05$) entre os períodos de coleta.

Tabela 25 - Avaliação da variação de concentração de magnésio nos tecidos das espécies *L. synagris* e *C. latus* nos dois períodos de estudo (mg g^{-1} peso úmido)

Tecido	N	<i>L. synagris</i>		N	<i>C. latus</i>	
		Verão 2010/2011	Verão 2011/2012		Verão 2010/2011	Verão 2011/2012
Músculo	07	0,58 ^a ± 0,03	0,72 ^b ± 0,04	11	0,66 ^a ± 0,04	1,06 ^b ± 0,1
Guelra	07	2,55 ± 0,01	2,59 ± 0,07	11	2,11 ^a ± 0,1	3,26 ^b ± 0,3
Estômago	07	2,28 ^a ± 0,17	0,43 ^b ± 0,01	11	1,40 ^a ± 0,07	1,66 ^b ± 0,13
Fígado	07	0,64 ± 0,01	0,63 ± 0,03	11	0,66 ± 0,03	0,68 ± 0,04
Rim	07	0,31 ^a ± 0,01	0,42 ^b ± 0,01	11	0,52 ^a ± 0,02	0,72 ^b ± 0,06
Gônadas	07	0,59 ± 0,02	0,59 ± 0,01	11	0,6 ± 0,03	0,44 ± 0,01

N – número de amostra (espécimes) por tecidos.

Valores de médias na mesma linha com letras diferentes possuem diferença significativa ($p < 0,05$) entre os períodos de coleta.

Tabela 26 - Avaliação da variação de concentração de estrôncio nos tecidos das espécies *L. synagris* e *C. latus* nos dois períodos de estudo ($\mu\text{g g}^{-1}$ peso úmido)

Tecido	N	<i>L. synagris</i>		N	<i>C. latus</i>	
		Verão 2010/2011	Verão 2011/2012		Verão 2010/2011	Verão 2011/2012
Músculo	07	1,82 ± 0,04	1,71 ± 0,01	11	2,70 ± 0,13	2,7 ± 0,12
Guelra	07	454,7 ^a ± 21,4	712,3 ^b ± 24,4	11	793,7 ^a ± 2,6	397,6 ^b ± 25,8
Estômago	07	40,88 ^a ± 0,50	33,52 ^b ± 1,64	11	9,12 ^a ± 0,62	13,22 ^b ± 1,1
Fígado	07	11,93 ^a ± 0,39	12,69 ^b ± 0,95	11	42,01 ± 0,65	1,64 ± 0,09
Rim	07	5,07 ^a ± 0,07	8,20 ^b ± 0,11	11	35,06 ^a ± 3,03	11,74 ^b ± 0,68
Gônadas	07	11,48 ^a ± 0,35	7,60 ^b ± 0,16	11	14,58 ^a ± 0,98	3,81 ^b ± 0,15

N – número de amostra (espécimes) por tecidos.

Valores de médias na mesma linha com letras diferentes possuem diferença significativa ($p < 0,05$) entre os períodos de coleta.

Tabela 27 - Avaliação da variação de concentração de fósforo nos tecidos das espécies *L. synagris* e *C. latus* nos dois períodos de estudo (mg g^{-1} peso úmido)

Tecido	N	<i>L. synagris</i>		N	<i>C. latus</i>	
		Verão 2010/2011	Verão 2011/2012		Verão 2010/2011	Verão 2011/2012
Músculo	07	17,66 ^a ± 0,41	14,45 ^b ± 0,82	11	16,79 ^a ± 0,62	12,40 ^b ± 0,80
Guelra	07	63,70 ^a ± 1,70	98,95 ^b ± 3,69	11	32,41 ^a ± 0,92	49,10 ^b ± 4,48
Estômago	07	11,85 ^a ± 0,57	14,96 ^b ± 1,25	11	14,14 ^a ± 0,09	11,44 ^b ± 1,38
Fígado	07	18,06 ^a ± 0,17	22,37 ^b ± 0,42	11	5,83 ^a ± 0,54	11,76 ^b ± 1,01
Rim	07	4,90 ^a ± 0,09	11,59 ^b ± 0,04	11	6,52 ^a ± 0,07	11,53 ^b ± 0,63
Gônadas	07	16,56 ^a ± 0,3	19,95 ^b ± 0,06	11	8,04 ^a ± 0,63	15,26 ^b ± 1,18

N – número de amostra (espécimes) por tecidos.

Valores de médias na mesma linha com letras diferentes possuem diferença significativa ($p < 0,05$) entre os períodos de coleta.

Tabela 28 - Avaliação da variação de concentração de potássio nos tecidos das espécies *L. synagris* e *C. latus* nos dois períodos de estudo (mg g⁻¹ peso úmido).

Tecido	N	<i>L. synagris</i>	
		Verão 2010/2011	Verão 2011/2012
Músculo	07	14,36 ^a ± 0,68	20,10 ^b ± 1,19
Guelra	07	5,63 ± 0,33	6,03 ± 0,11
Estômago	07	10,50 ^a ± 0,37	11,28 ^b ± 0,11
Fígado	07	9,69 ^a ± 0,12	11,12 ^b ± 0,30
Rim	07	11,02 ^a ± 0,20	17,96 ^b ± 0,15
Gônadas	07	10,74 ± 1,00	9,60 ± 0,03
Tecido	N	<i>C. latus</i>	
		Verão 2010/2011	Verão 2011/2012
Músculo	11	17,38 ^a ± 1,18	19,80 ^b ± 1,46
Guelra	11	5,43 ^a ± 0,23	6,38 ^b ± 0,30
Estômago	11	12,66 ^a ± 0,45	14,32 ^b ± 0,46
Fígado	11	11,64 ^a ± 0,94	9,68 ^b ± 0,68
Rim	11	18,05 ^a ± 1,40	14,40 ^b ± 1,98
Gônadas	11	13,57 ± 1,09	11,57 ± 0,27

N – número de amostra (espécimes) por tecidos.

Valores de médias na mesma linha com letras diferentes possuem diferença significativa (p < 0,05) entre os períodos de coleta.

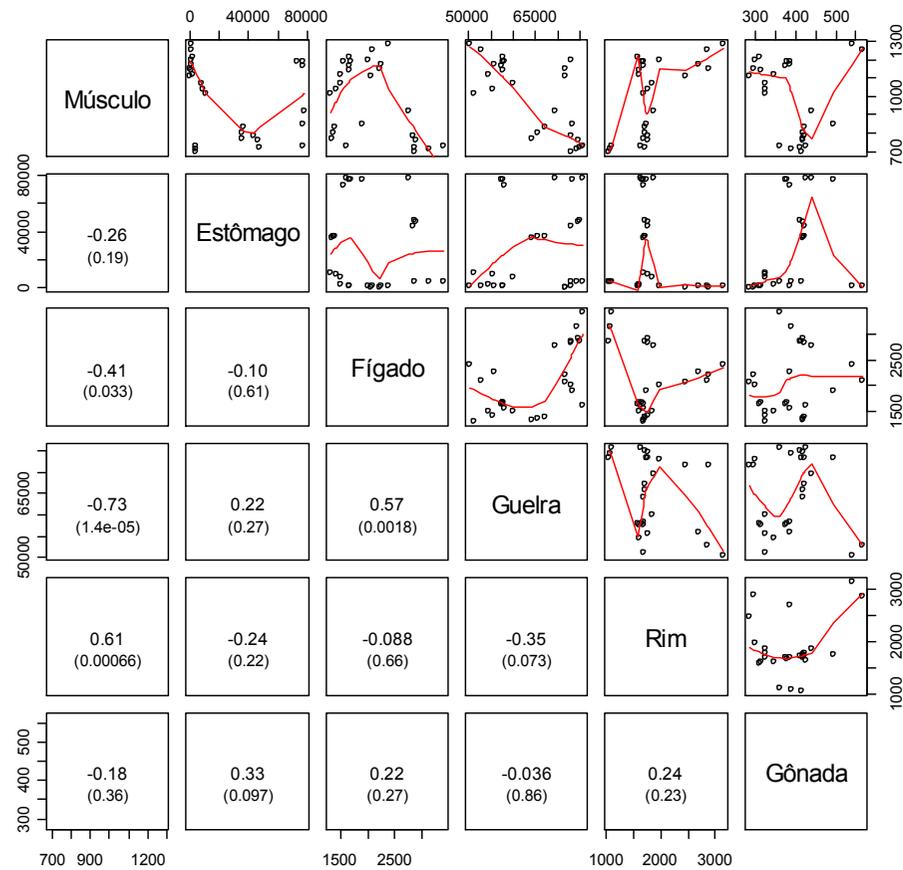


Figura 18 - Matriz scatterplots da correlação de Spearman para a concentração de cálcio entre os tecidos analisados (N = 31).

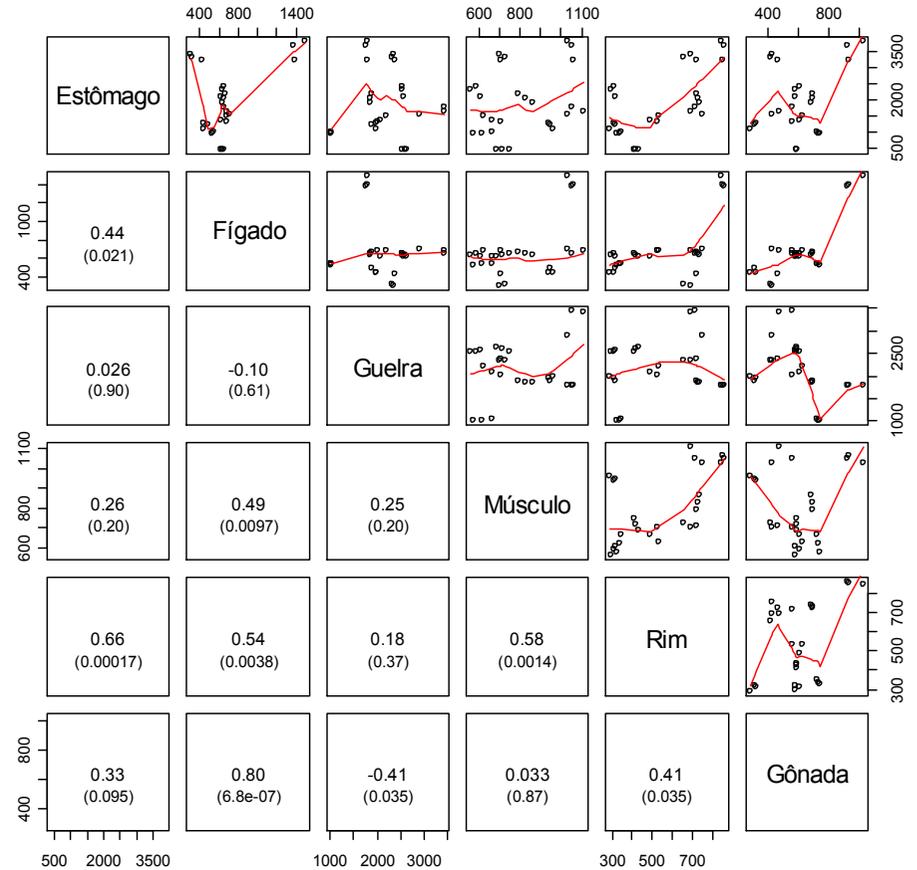


Figura 19 - Matriz scatterplots da correlação de Spearman para a concentração de magnésio entre os tecidos analisados (N = 31).

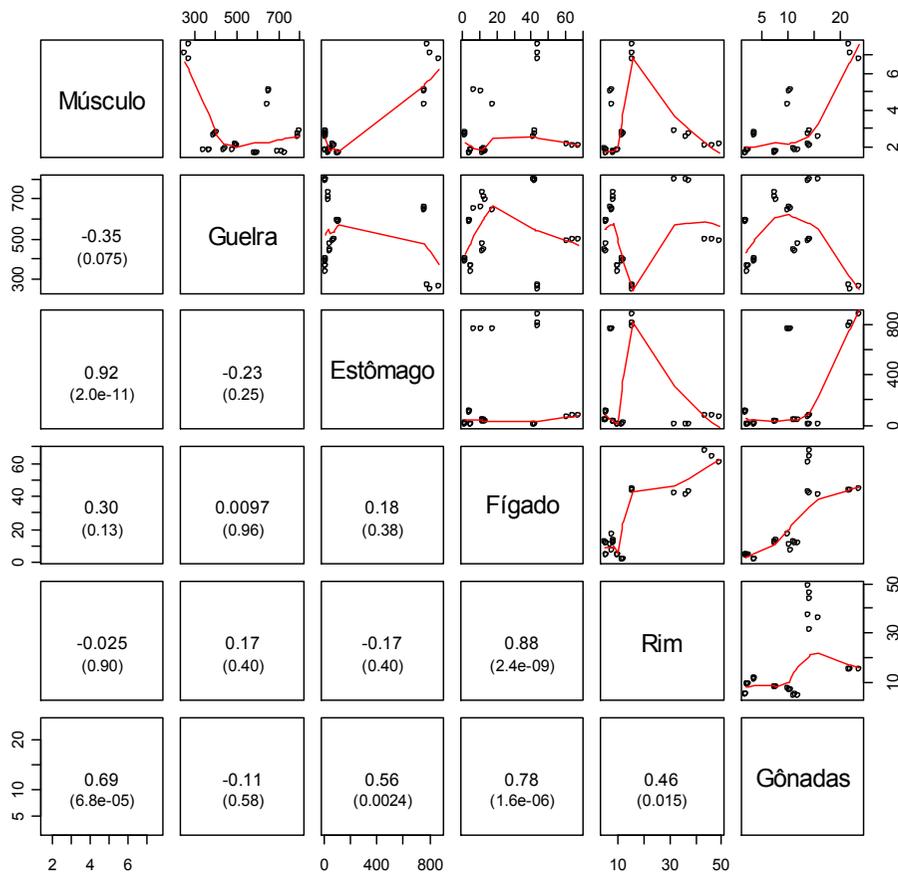


Figura 20 - Matriz scatterplots da correlação de Spearman para a concentração de estrôncio entre os tecidos analisados (N = 31).

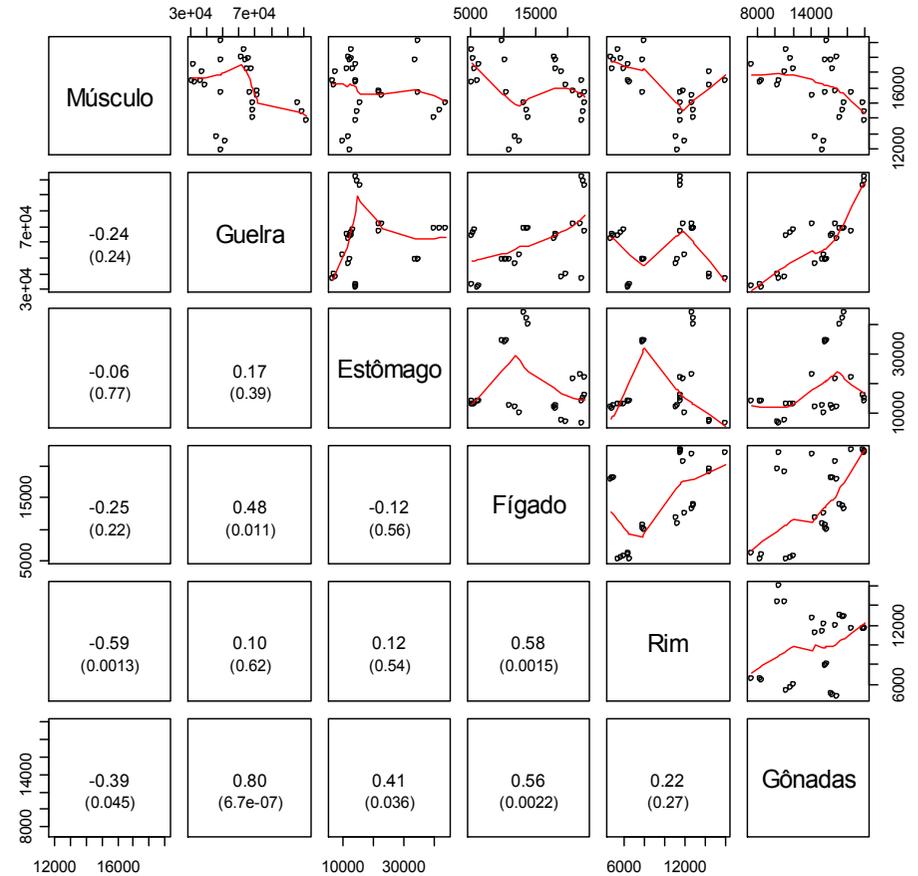


Figura 21 - Matriz scatterplots da correlação de Spearman para a concentração de fósforo entre os tecidos analisados (N = 31).

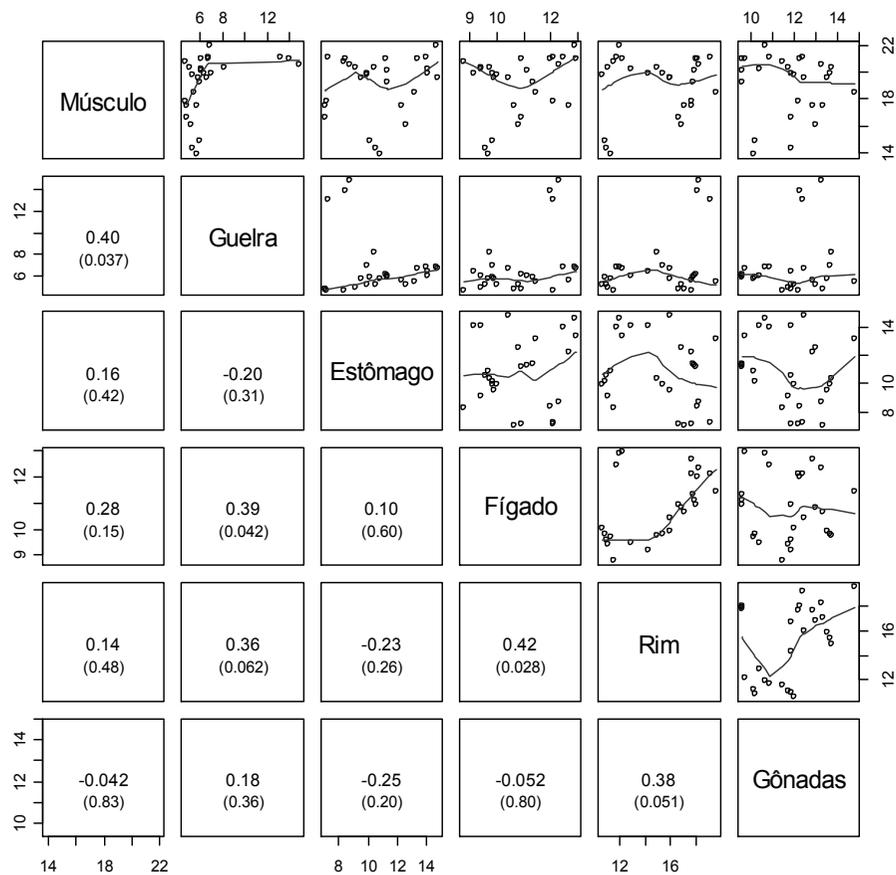


Figura 22 - Matriz scatterplots da correlação de Spearman para a concentração de potássio entre os tecidos analisados (N = 31).

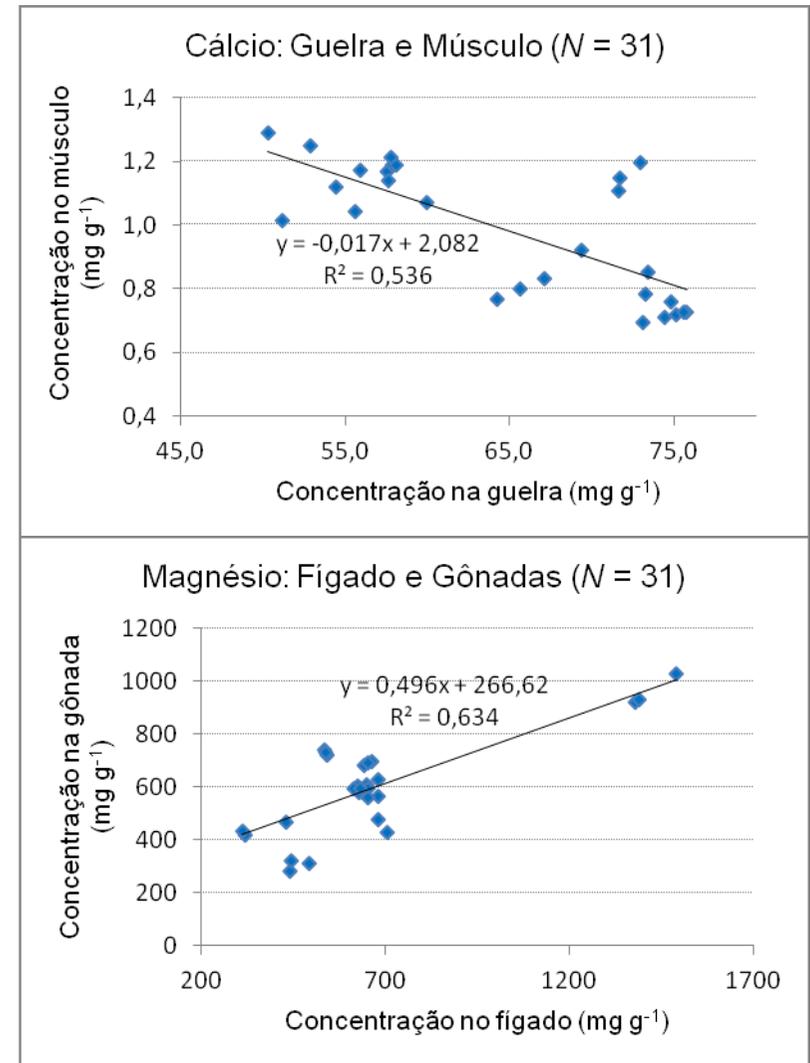


Figura 23 - Regressão Linear da correlação de tecidos com p-value relevante para a concentração de cálcio emagnésio.

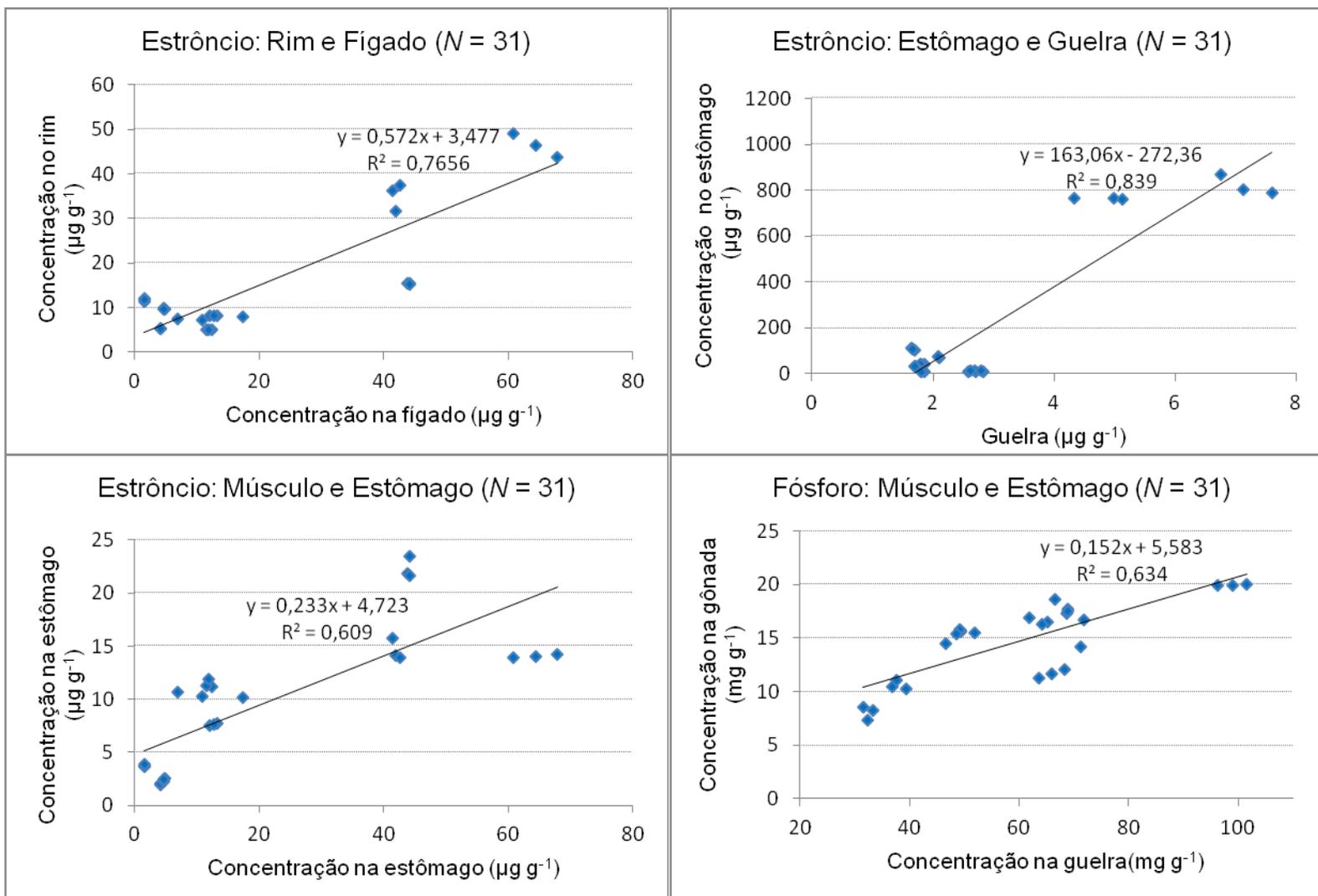


Figura 24 - Regressão Linear da correlação de tecidos com p-value relevante para a concentração de estrôncio e fósforo.

5.3.2 Elementos Traço Essenciais (Fe, Zn, Cu, Mn, Se, Cr, Ni, Mo)

5.3.2.1 Concentração Individual nos Tecidos

Os elementos traço possuem grande importância para o homem e alguns animais. Entretanto, muitos aspectos de sua ingestão, função e biodisponibilidade ainda não estão claros e, informações sobre o requerimento nutricional desses elementos traço para o crescimento normal de peixes ainda é fragmentada (WATANABE et al., 1997). Entretanto, quantidades excessivas quando ingeridas e assimiladas podem causar efeitos tóxicos nos peixes, podendo causar bioacumulação e biomagnificação ao longo da cadeia trófica.

Nesse trabalho, a faixa de concentração encontrada para o ferro, em cada tecido, foram as seguintes ($\mu\text{g g}^{-1}$): 6,64 a 19,51 nos músculos, de 112,82 a 522,95 nas guelras, de 95,94 a 212,14 no estômago, de 242,20 a 1680,18 no fígado, de 652,35 a 1853,65 no rim, de 28,87 a 73,26 nas gônadas (Tabelas 29 e 30 e Figuras 25 e 26).

Dessa forma, concentrações significantes de ferro estão presentes em todos os tecidos analisados, inclusive nas gônadas, sugerindo que é um elemento traço de importância para o metabolismo fisiológico do peixe.

O ferro é encontrado, principalmente, participando de ligações complexas tais como: o grupo heme, em enzimas do citocromo microssomal, de catalase e componentes etc, sendo a hemoglobina o principal carreador de ferro no sangue (CAMPBELL, 2000).

Estima-se que o peixe requer entre 30 a 170 $\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco de ferro para o seu metabolismo normal. (WATANABE et al., 1997).

Tabela 29 - Concentração de ferro ($\mu\text{g g}^{-1}$) em tecidos de diversas espécies da BTS no Verão de 2010/2011

Tecidos	<i>C. latus</i>	<i>B. marinus</i>	<i>A. rhomboidalis</i>	<i>L. synagris</i>	<i>S. cavalla</i>
<i>Verão 2010/2011</i>					
Músculo	19,42 ^{dA} ± 0,16	12,57 ^{dB} ± 1,14	14,66 ^{FB} ± 1,04	6,64 ^{FC} ± 0,47	12,75 ^{dB} ± 1,05
Guelra	215,72 ^{CA} ± 9,39	125,27 ^{dB} ± 18,79	112,51 ^{dB} ± 1,65	124,16 ^{CB} ± 8,25	114,01 ^{cdB} ± 2,19
Estômago	111,95 ^{cdB} ± 12,13	174,42 ^{CA} ± 13,74	184,10 ^{CA} ± 13,48	95,94 ^{dB} ± 2,04	188,05 ^{CA} ± 5,63
Fígado	1442,34 ^{ab} ± 104,74	1348,15 ^{bb} ± 87,09	405,15 ^{bd} ± 7,14	884,94 ^{ac} ± 17,43	1680,18 ^{aa} ± 95,93
Rim	839,25 ^{bbc} ± 67,71	1853,65 ^{aa} ± 51,42	920,78 ^{ab} ± 3,47	786,28 ^{bc} ± 7,44	903,12 ^{bb} ± 15,04
Gônadas	54,39 ^{dA} ± 4,32	46,84 ^{dB} ± 0,70	59,15 ^{eA} ± 0,64	48,49 ^{eB} ± 0,24	55,24 ^{dA} ± 0,29

Tabela 30 - Concentração de ferro ($\mu\text{g g}^{-1}$) em tecidos de diversas espécies da BTS no Verão de 2011/2012

Tecidos	<i>C. latus</i>	<i>A. rhomboidalis</i>	<i>L. synagris</i>	<i>S. guachancho</i>
<i>Verão 2011/2012</i>				
Músculo	19,51 ^{dA} ± 1,20	15,70 ^{eC} ± 0,56	18,44 ^{eB} ± 0,57	7,74 ^{TD} ± 0,52
Guelra	522,95 ^{CA} ± 2,30	218,25 ^{CB} ± 20,72	112,82 ^{CC} ± 7,50	219,50 ^{CB} ± 6,75
Estômago	148,25 ^{dB} ± 35,90	212,14 ^{CA} ± 16,96	98,00 ^{CC} ± 1,63	131,56 ^{dBc} ± 7,54
Fígado	1083,81 ^{bA} ± 230,71	404,66 ^{bb} ± 3,43	914,54 ^{aA} ± 44,69	242,20 ^{bb} ± 1,84
Rim	1430,71 ^{aA} ± 69,46	874,35 ^{ab} ± 2,99	739,56 ^{bd} ± 1,88	652,35 ^{ad} ± 3,76
Gônadas	73,26 ^{dA} ± 4,69	49,93 ^{dB} ± 0,59	54,91 ^{dB} ± 0,66	28,87 ^{eC} ± 2,22

Média ± Desvio Padrão.

Nomes vulgares: *C. latus* – guaricema; *B. marinus* – bagre; *A. rhomboidalis* – sambúio; *L. synagris* – vermelho; *S. cavalla* – cavala; *S. guachancho* – bicuda.

Valores de médias, na mesma coluna, com letras maiúsculas diferentes, possuem diferença significativa ($p < 0,05$) entre os tecidos de mesma espécie.

Valores de médias, na mesma linha, com letras minúsculas diferentes, possuem diferença significativa ($p < 0,05$) entre as espécies.

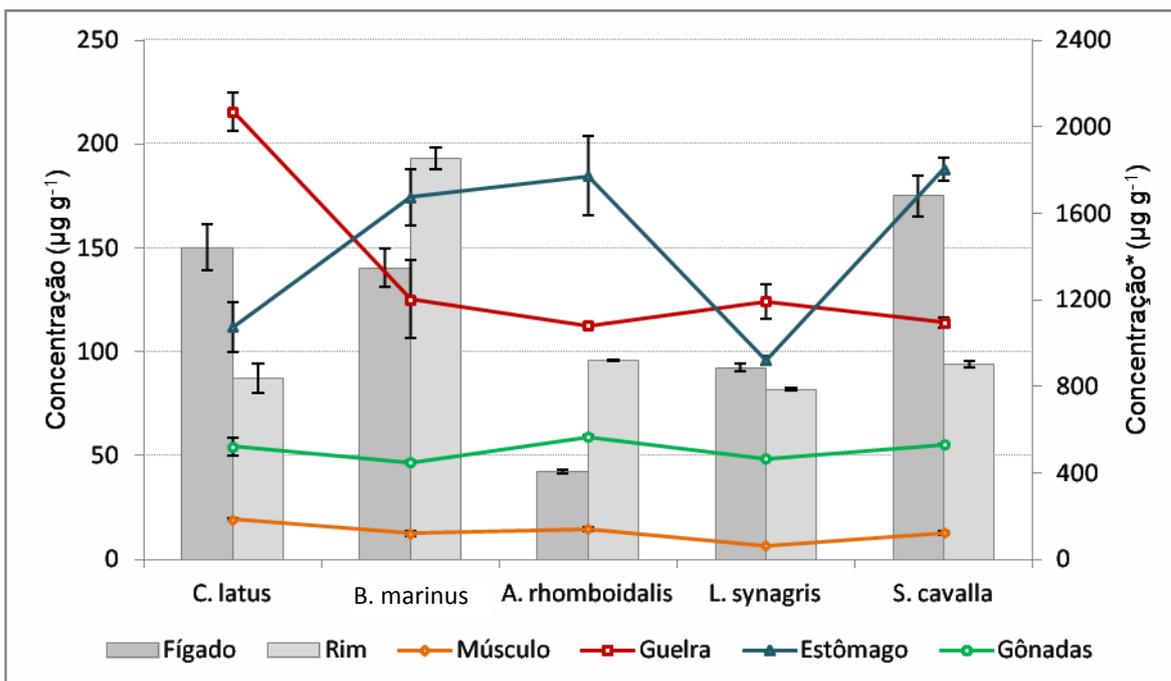


Figura 25 - Concentração de ferro nos diversos tecidos das espécies pesquisadas no Verão 2010-2011

* Faixa de concentração apenas para amostras de fígado e rim.

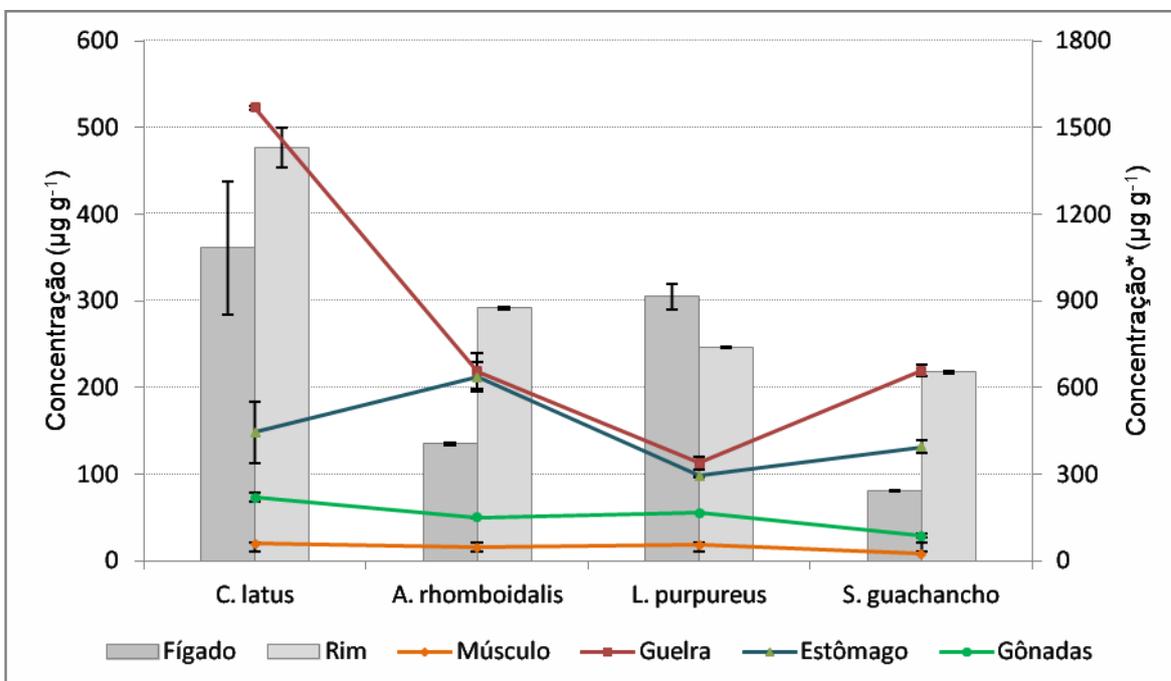


Figura 26 - Concentração de ferro nos diversos tecidos das espécies pesquisadas no Verão 2011-2012

* Faixa de concentração apenas para amostras de fígado e rim.

Nesse trabalho, valores muito superiores a essa referência foram verificados no fígado e no rim, órgãos envolvidos na regulação dos níveis de elementos traço ingeridos pelo peixe, por meio de proteínas (Ex.: metalotioneínas; (FALLAH et al., 2011).

Na literatura, as concentrações de ferro encontradas nos diversos tecidos de peixe tem grande variação entre diferentes regiões, o que pode ser atribuída também à diferença nas influências da composição química do sedimento e da água intersticial do mar e da variação da salinidade das águas onde os peixes habitam (SADIQ et al, 1992).

Para os músculos, várias pesquisas reportam concentrações de ferro em peixes que são bem maiores que as encontradas nesse trabalho (Figura 27). Por outro lado, outros pesquisadores encontraram valores semelhantes nas espécies *Barbusxanthopterus* e *Barbus rajanorum mystaceus* (ALHAS et al., 2009), *Oreochromis niloticus* (ALLINSON et al., 2009) e *Carassius carassius L.* (FIDAN, et al., 2008).

As concentrações encontradas no fígado variaram bastante (Figura 28) e foram similares a diversas pesquisas (ALHAS, et al., 2009; ALLINSON et al., 2009; TÜRKMEN et al., 2009a; TEPE et al., 2008; FIDAN et al., 2008; TÜRKMEN et al., 2008b; AZEVEDO et al., 2009).

Poucos trabalhos reportam pesquisas da concentração de ferro nos outros órgãos pesquisados (guelra, rim, estômago e gônadas). Fidan et al., (2008) encontraram a concentração de $42,67 \pm 6,63 \mu\text{g g}^{-1}$ (peso úmido) em guelras de *Carassius carassius L.* Alhas et al., (2009) encontraram nas guelras e no rim, respectivamente, concentrações $\mu\text{g g}^{-1}$ (peso úmido) de $102,97 \pm 58,75$ e $67,50 \pm 50,46$ na espécie

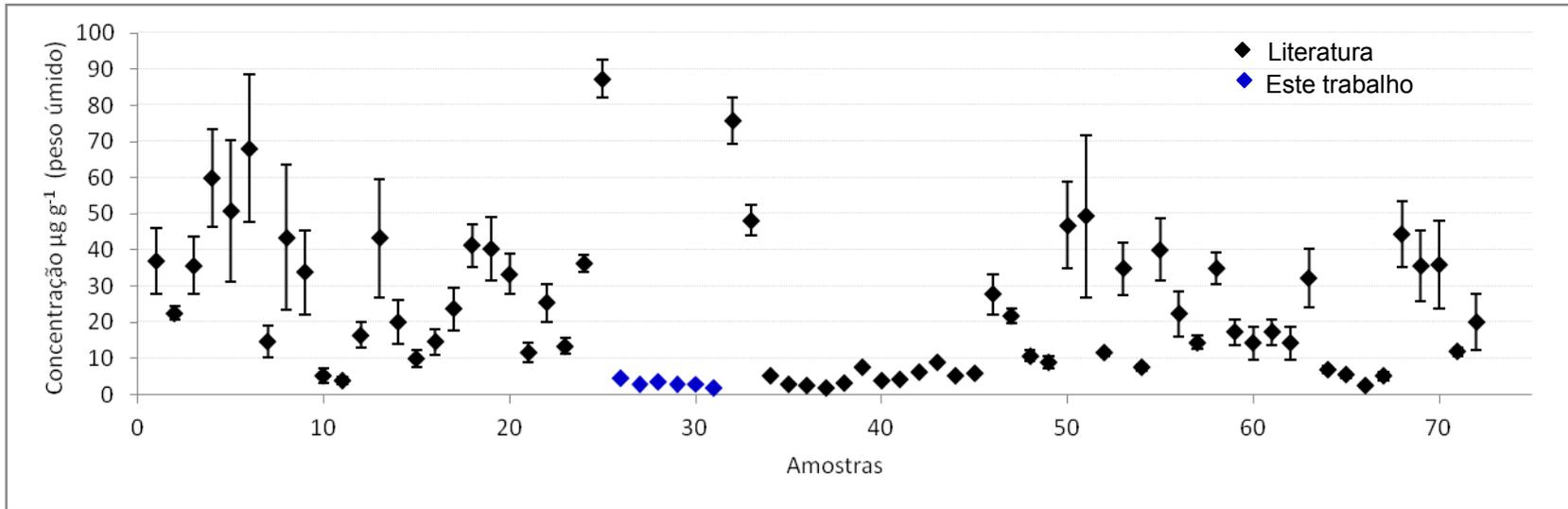


Figura 27 - Concentrações de ferro em músculos de peixes de diversas regiões do mundo

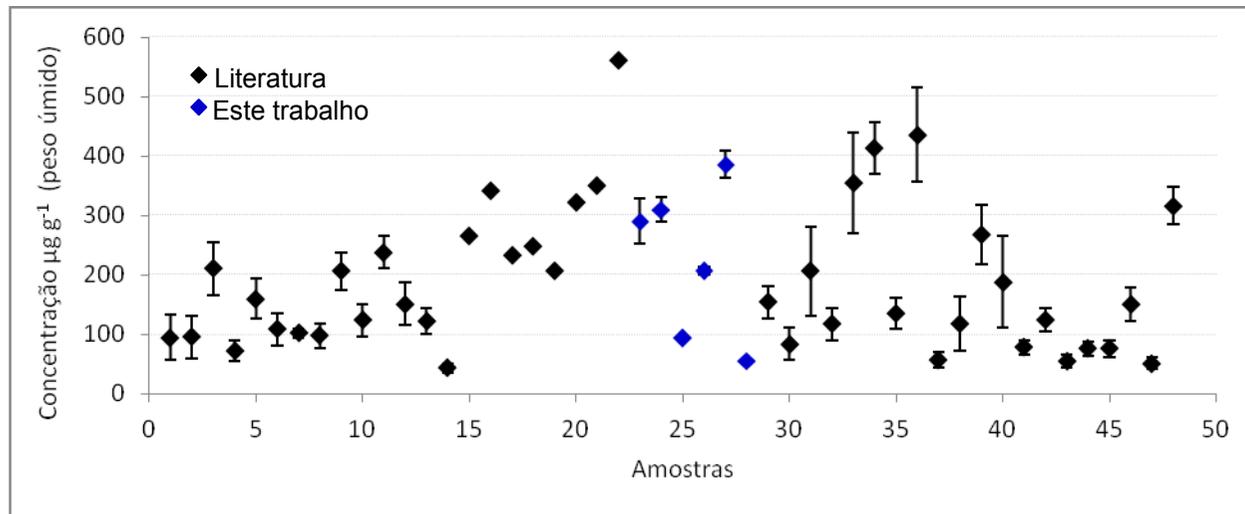


Figura 28 - Concentrações de ferro em fígado de peixes de diversas regiões do mundo

Barbus xanthopterus e $83,66 \pm 18,18$; $61,99 \pm 34,63$ em *Barbus rajanorum mystaceus*. As concentrações nas guelras, nesses trabalhos citados estão dentro da faixa de concentração encontrada nas espécies investigadas (guelras: 25,93 a $120,21 \mu\text{g g}^{-1}$ peso úmido). Enquanto que, para o rim, os valores reportados apresentam concentrações menores que as encontradas nesse trabalho (rim: 149,96 a $426,13 \mu\text{g g}^{-1}$ peso úmido).

Para o zinco, foram encontradas as seguintes faixas de concentrações ($\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco): 14,18 a 37,46 nos músculos, de 66,37 a 476,78, nas guelras, de 91,77 a 658,80 no estômago, de 75,91 a 502,97 no fígado, de 74,79 a 843,92 no rim e de 221,48 a 458,06 $\mu\text{g g}^{-1}$ nas gônadas (Tabelas 31 e 32 e Figuras 29 e 30).

O zinco é um importante elemento traço na nutrição do peixe, estando presente em diversas vias metabólicas, como cofator de várias enzimas e integrando cerca de 20 metaloenzimas. O peixe requer entre 15 a $40 \mu\text{g g}^{-1}$ (peso seco) para seu desenvolvimento metabólico normal (WATANABE et al., 1997).

A faixa de concentração de zinco encontrada nos músculos das espécies pesquisadas nesse trabalho foi baixa (Figura 31), comparada com diversas pesquisas reportadas na literatura (SCHMITT et al., 2009; YILDIRIM, et al., 2009; TÜRKMEN, et al., 2009a; TUZEN, 2009; TÜRKMEN et al., 2008a; IKEMOTO et al., 2008; FIDAN, et al., 2008; TÜRKMEN et al., 2008b).

Entretanto, está dentro da faixa sugerida por Watanabe e colaboradores (1997), indicando que a disponibilidade de zinco no ambiente aquático onde os peixes habitavam possuíam reservas adequadas desse elemento traço para o seu desenvolvimento.

Tabela 31 - Concentração de Zinco ($\mu\text{g g}^{-1}$) em tecidos nas espécies de peixes do Verão de 2010/2011

Tecidos	<i>C. latus</i>	<i>B. marinus</i>	<i>A. rhomboidalis</i>	<i>L. synagris</i>	<i>S. cavalla</i>
Verão 2010/2011					
Músculo	20,45 ^{dB} ± 0,75	37,46 ^{eA} ± 0,20	18,68 ^{fC} ± 0,14	14,18 ^{fD} ± 0,02	18,99 ^{eC} ± 0,28
Guelra	83,54 ^{cC} ± 1,66	476,78 ^{cA} ± 13,83	406,66 ^{cB} ± 0,59	76,73 ^{eCD} ± 1,87	66,37 ^{dD} ± 0,39
Estômago	91,77 ^{cD} ± 5,87	656,80 ^{bA} ± 8,33	148,01 ^{eB} ± 7,71	129,95 ^{cC} ± 5,86	132,60 ^{cC} ± 0,79
Fígado	76,91 ^{cE} ± 1,82	502,97 ^{cA} ± 34,64	439,83 ^{bB} ± 1,63	313,29 ^{aC} ± 0,33	153,58 ^{cD} ± 11,05
Rim	309,24 ^{bC} ± 12,51	843,92 ^{aA} ± 1,60	821,99 ^{aA} ± 1,44	92,36 ^{dD} ± 1,06	380,53 ^{aB} ± 15,37
Gônadas	458,06 ^{aA} ± 32,45	307,38 ^{dC} ± 1,34	357,22 ^{dB} ± 14,02	224,91 ^{bD} ± 1,35	320,85 ^{bBC} ± 3,52

Tabela 32 - Concentração de Zinco ($\mu\text{g g}^{-1}$) em tecidos nas espécies de peixes do Verão de 2011/2012

Tecidos	<i>C. latus</i>	<i>A. rhomboidalis</i>	<i>L. synagris</i>	<i>S. guachancho</i>
Verão 2011/2012				
Músculo	22,45 ^{cA} ± 1,52	23,30 ^{eA} ± 0,30	21,74 ^{eA} ± 0,57	17,08 ^{fB} ± 1,63
Guelra	77,81 ^{cD} ± 1,96	119,39 ^{cA} ± 1,71	105,08 ^{cB} ± 0,33	82,010 ^{eC} ± 1,41
Estômago	111,62 ^{cB} ± 10,01	106,20 ^{dB} ± 5,19	107,64 ^{cB} ± 1,65	126,32 ^{dA} ± 6,40
Fígado	75,91 ^{cD} ± 4,41	113,85 ^{cC} ± 1,96	234,51 ^{aB} ± 5,78	391,33 ^{aA} ± 18,69
Rim	456,77 ^{aA} ± 0,10	239,31 ^{bB} ± 1,50	74,79 ^{dC} ± 0,36	355,78 ^{bAB} ± 2,76
Gônadas	246,69 ^{bB} ± 9,16	321,50 ^{aA} ± 4,92	222,12 ^{bC} ± 0,36	221,48 ^{cC} ± 7,24

Média ± Desvio Padrão.

Nomes vulgares: *C. latus* – guaricema; *B. marinus* – bagre; *A. rhomboidalis* – sambúio; *L. synagris* – vermelho; *S. cavalla* – cavala; *S. guachancho* – bicuda.

Valores de médias, na mesma coluna, com letras maiúsculas diferentes, possuem diferença significativa ($p < 0,05$) entre os tecidos de mesma espécie.

Valores de médias, na mesma linha, com letras minúsculas diferentes, possuem diferença significativa ($p < 0,05$) entre as espécies.

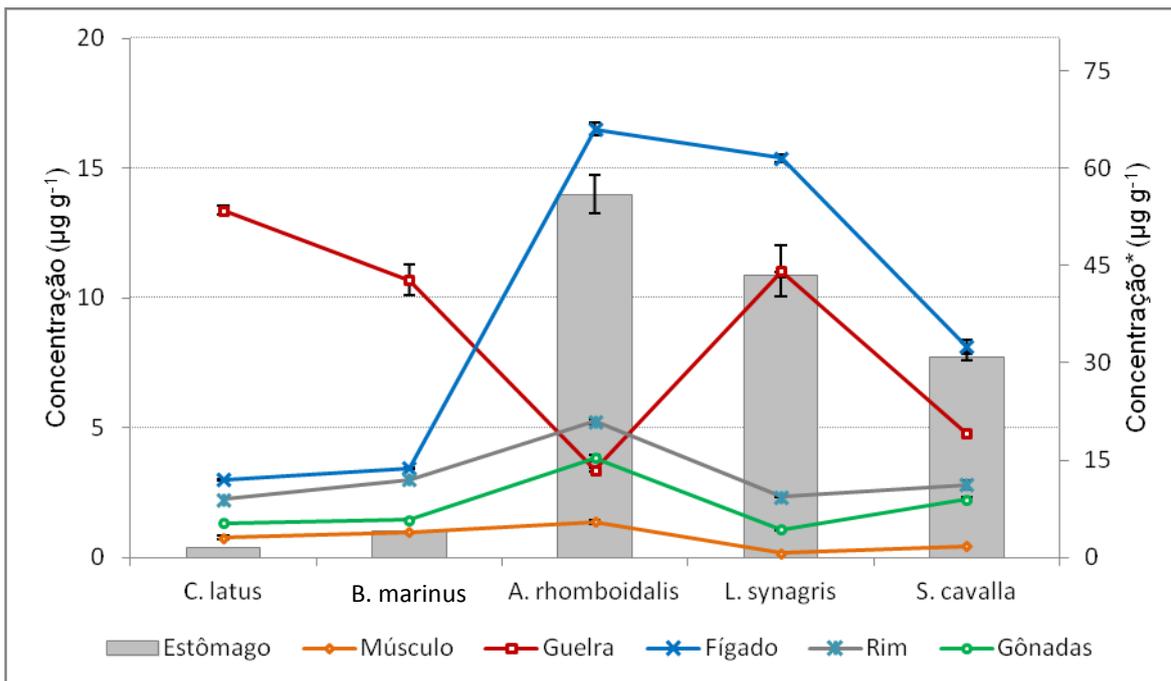


Figura 29 - Concentração de zinco nas espécies pesquisadas no Verão 2010/2011
* Faixa de concentração apenas para amostras de estômago.

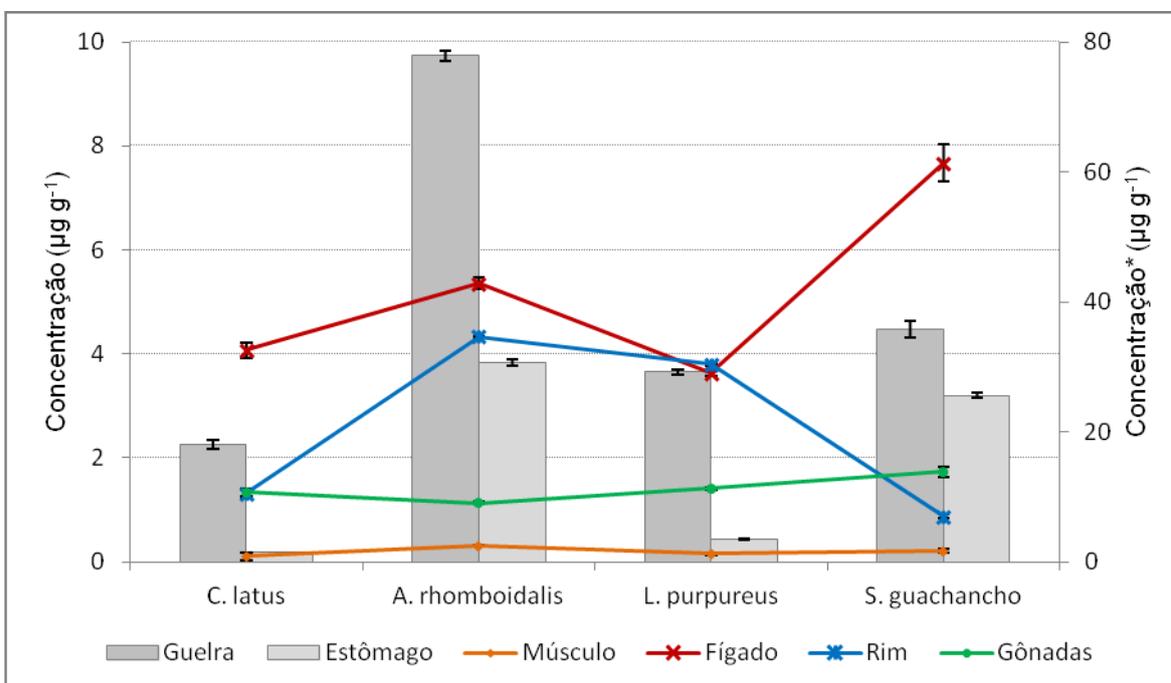


Figura 30 - Concentração de zinco nas espécies pesquisadas no Verão 2011/2012
* Faixa de concentração apenas para amostras de guelra e estômago.

Pesquisas com músculo de *Barbus xanthopterus* e *Barbus rajanorum mystaceus* (ALHAS et al., 2009), *Oreochromis niloticus* (ALLINSON et al., 2009), *Ctenopharyngodon idellus*, *Siniperca kneri*, *Monopterus albus*, *Epinephelus bleekeri* e *Trachinotus blochii* (CHEUNG et al., 2008) encontraram concentrações semelhantes às encontradas nesse trabalho.

Poucos trabalhos determinaram zinco em guelra, rim, estômago e gônada. Fidan et al., (2008) encontraram a concentração de $74,70 \pm 6,13 \mu\text{g g}^{-1}$ (peso úmido) em guelras de *Carassius carassius L.* e Alhas et al., (2009) encontraram nas guelras e no rim, respectivamente, concentrações $\mu\text{g g}^{-1}$ (peso úmido) de $12,10 \pm 3,86$ e $11,65 \pm 10,44$ na espécie *Barbus xanthopterus* e $23,18 \pm 25,38$ e $34,46 \pm 15,60$ em *Barbus rajanorum mystaceus*. As concentrações das guelras ($15,25$ a $109,60 \mu\text{g g}^{-1}$ peso úmido) e rim ($17,19$ a $194,00$ em $\mu\text{g g}^{-1}$ peso úmido) encontradas nesse trabalho estão dentro da faixa de concentração reportadas por ambos os trabalhos citados.

No fígado, com excessão das concentrações encontradas nas espécies *C. latus* e *L. synagris*, foram encontrado valores mais elevados que concentrações reportadas na literatura (Figura 32).

Nas guelras, o seu excesso sugere uma grande disponibilidade desse elemento no ambiente que o peixe habitava. Considerando que as guelras é a via de absorção do zinco (WATANABE et al., 1997), o peixe naturalmente absorve maior quantidade e requer maior mobilização desse elemento para órgão de bioacumulação, como o rim, os quais apresentaram altas concentrações.

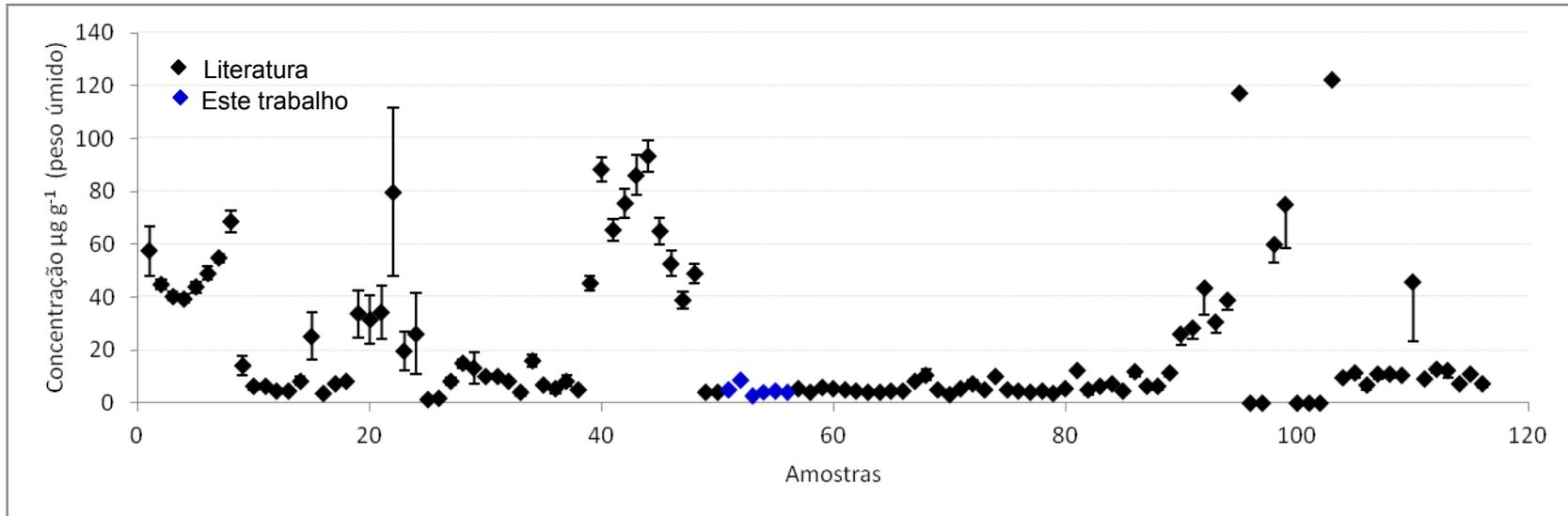


Figura 31 - Concentrações de zinco em músculos de peixes de diversas regiões do mundo

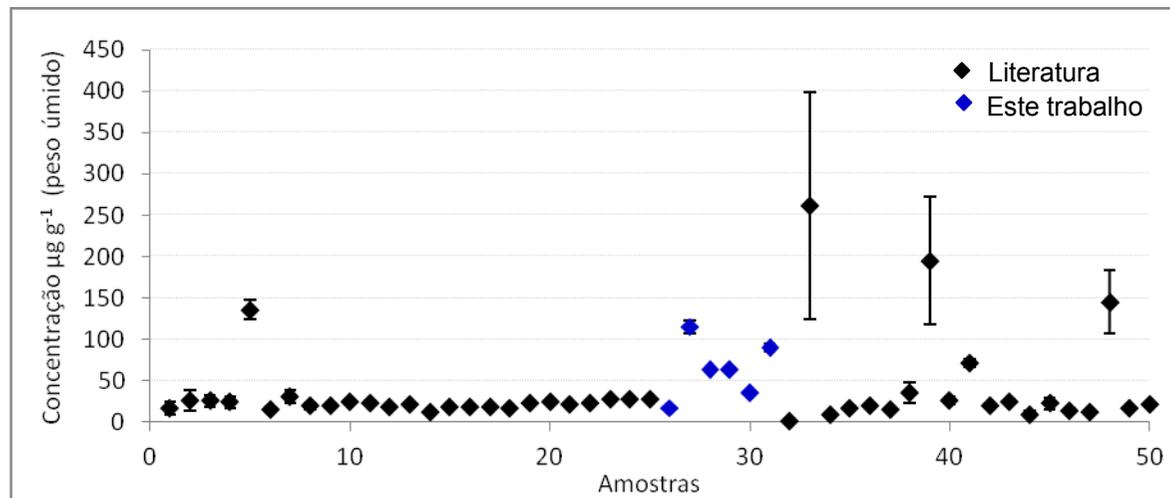


Figura 32 - Concentrações de zinco em músculos peixes de diversas regiões do mundo

O cobre apresentou, para cada tecido, as seguintes faixas de concentrações ($\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco): 0,17 a 1,11, nos músculos, de 1,14 a 6,14, nas guelras, de 2,44 a 15,85 no estômago, de 4,87 a 28,12 no fígado, de 2,64 a 13,47 no rim e de 1,67 a 2,87 nas gônadas (Tabelas 33 e 34 e Figuras 33 e 34).

O cobre é importante para os animais por que está envolvido em diversas atividades enzimáticas. Nos peixes seus níveis são elevados no fígado e estima-se que o peixe requer quantidades entre 1 a 5 $\mu\text{g g}^{-1}$ para o seu desenvolvimento normal (WATANABE et al., 1997).

As concentrações, desse elemento, encontradas nos músculos das espécies investigadas foram menores que o valor reportado por Watanabe et al., (1997) para o desenvolvimento do peixe, exceto para a espécie *C. latus* que apresentaram valores > que 1,0 $\mu\text{g g}^{-1}$ nos dois período que as amostras foram coletados.

Apesar disso, os níveis encontrados estão semelhantes a muitos trabalhos reportados na literatura (Figura 35), onde apresentaram valores dentro da faixa de concentração encontrada por outros pesquisadores (YILDIRIM et al., 2009; ALHAS et al., 2009; TÜRKMEN et al., 2009a; TUZEN, 2009; ALLINSON et al., 2008; MEUCCI et al., 2009; CHEUNG et al., 2008; TÜRKMEN et al., 2008a; FIDAN et al., 2008; TÜRKMEN et al., 2008b).

O mesmo foi observado para as concentrações de cobre no fígado (Figura 36) de todas as espécies investigadas quando comparadas com outros trabalhos (ALHAS et al., 2009; TÜRKMEN et al., 2009a; TUZEN, 2009; ALLINSON et al., 2008; MEUCCI et al., 2009; CHEUNG et al., 2008; TÜRKMEN et al., 2008a; FIDAN et al., 2008; TÜRKMEN et al., 2008b).

O fígado foi o órgão que apresentou maior tendência de bioacumular o cobre, apresentando níveis elevados nas espécies *S. cavalla*, *S. guachancho* e *L. synagris*.

Tabela 33 - Concentração de cobre ($\mu\text{g g}^{-1}$) em tecidos nas espécies de peixes do Verão de 2010/2011

Tecidos	<i>C. latus</i>	<i>B. marinus</i>	<i>A. rhomboidalis</i>	<i>L. synagris</i>	<i>S. cavalla</i>
Verão 2010/2011					
Músculo	1,11 ^{aF} ± 0,04	0,33 ^{dF} ± 0,01	0,80 ^{bF} ± 0,04	0,43 ^{cE} ± 0,01	0,17 ^{eF} ± 0,01
Guelra	2,38 ^{cD} ± 0,06	1,84 ^{dD} ± 0,01	1,69 ^{dD} ± 0,12	4,14 ^{bC} ± 0,06	6,14 ^{aD} ± 0,06
Estômago	3,91 ^{cB} ± 0,02	3,11 ^{dB} ± 0,01	3,84 ^{cB} ± 0,15	7,12 ^{bB} ± 0,09	7,62 ^{aB} ± 0,20
Fígado	5,19 ^{cA} ± 0,06	4,87 ^{cA} ± 0,03	5,28 ^{cA} ± 0,12	11,10 ^{bA} ± 0,29	15,14 ^{aA} ± 0,66
Rim	3,63 ^{bC} ± 0,05	2,87 ^{dC} ± 0,01	2,64 ^{eC} ± 0,01	4,42 ^{aC} ± 0,10	3,17 ^{cC} ± 0,06
Gônadas	1,67 ^{cE} ± 0,02	2,12 ^{bE} ± 0,02	2,21 ^{bE} ± 0,17	2,61 ^{aD} ± 0,06	2,25 ^{bE} ± 0,05

Tabela 34 - Concentração de cobre ($\mu\text{g g}^{-1}$) em tecidos nas espécies de peixes do Verão de 2011/2012

Tecidos	<i>C. latus</i>	<i>A. rhomboidalis</i>	<i>L. synagris</i>	<i>S. guachancho</i>
Verão 2011/2012				
Músculo	1,03 ^{aF} ± 0,10	0,45 ^{bE} ± 0,02	0,33 ^{bCD} ± 0,01	0,18 ^{cC} ± 0,01
Guelra	3,41 ^{aD} ± 0,21	2,58 ^{bC} ± 0,10	3,12 ^{aC} ± 0,20	1,14 ^{cC} ± 0,05
Estômago	4,74 ^{bA} ± 0,18	2,44 ^{dCD} ± 0,10	6,44 ^{bB} ± 0,21	15,85 ^{aB} ± 0,26
Fígado	6,82 ^{bA} ± 0,09	8,14 ^{bA} ± 0,18	9,01 ^{bA} ± 0,30	28,12 ^{aA} ± 1,65
Rim	3,92 ^{cC} ± 0,04	4,11 ^{bB} ± 0,02	3,16 ^{dC} ± 0,08	13,47 ^{aB} ± 0,07
Gônadas	1,86 ^{cE} ± 0,05	2,10 ^{bD} ± 0,01	2,87 ^{aC} ± 0,18	2,82 ^{aC} ± 0,04

Média ± Desvio Padrão.

Nomes vulgares: *C. latus* – guaricema; *B. marinus* – bagre; *A. rhomboidalis* – sambúio; *L. synagris* – vermelho; *S. cavalla* – cavala; *S. guachancho* – bicuda.

Valores de médias, na mesma coluna, com letras maiúsculas diferentes, possuem diferença significativa ($p < 0,05$) entre os tecidos de mesma espécie.

Valores de médias, na mesma linha, com letras minúsculas diferentes, possuem diferença significativa ($p < 0,05$) entre as espécies.

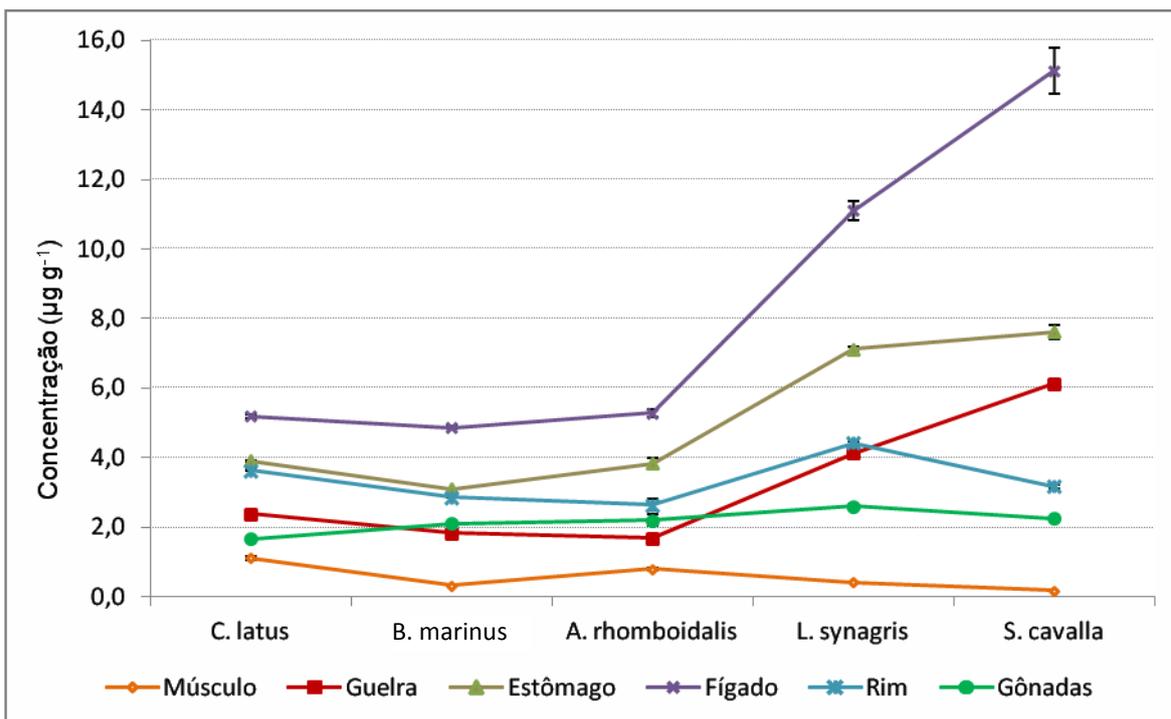


Figura 33 - Concentração de cobre nos diversos tecidos das espécies pesquisadas no Verão 2010-2011

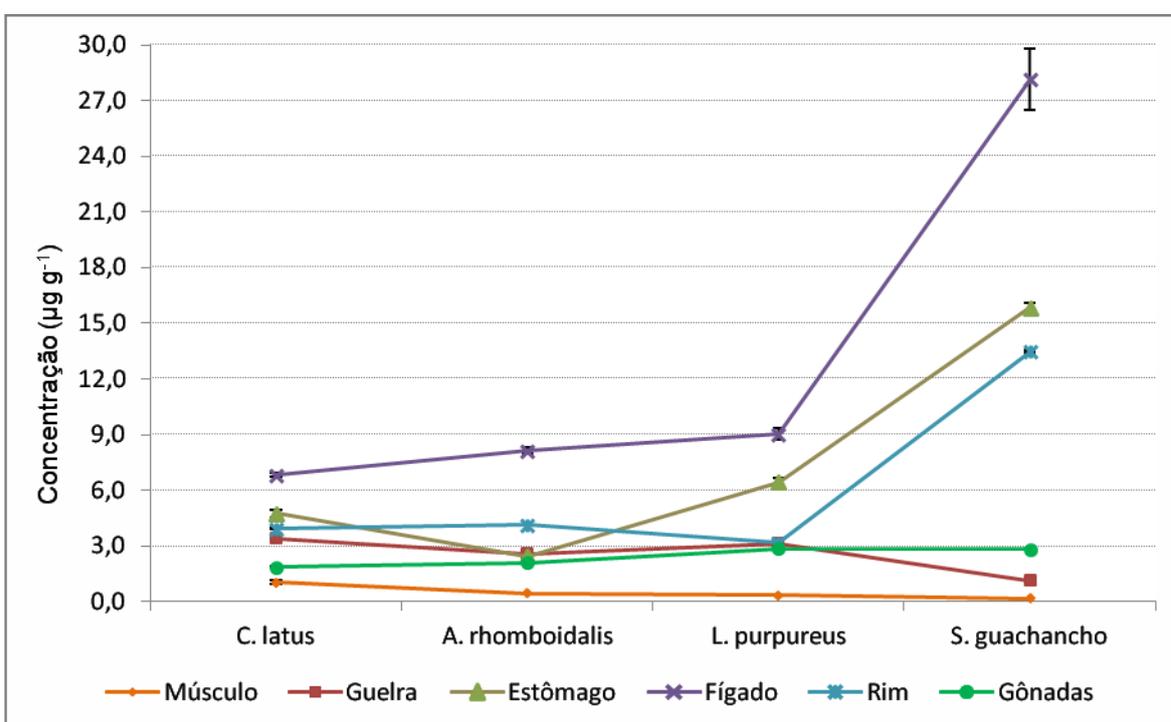


Figura 34 - Concentração de cobre nos diversos tecidos das espécies pesquisadas no Verão 2011-2012

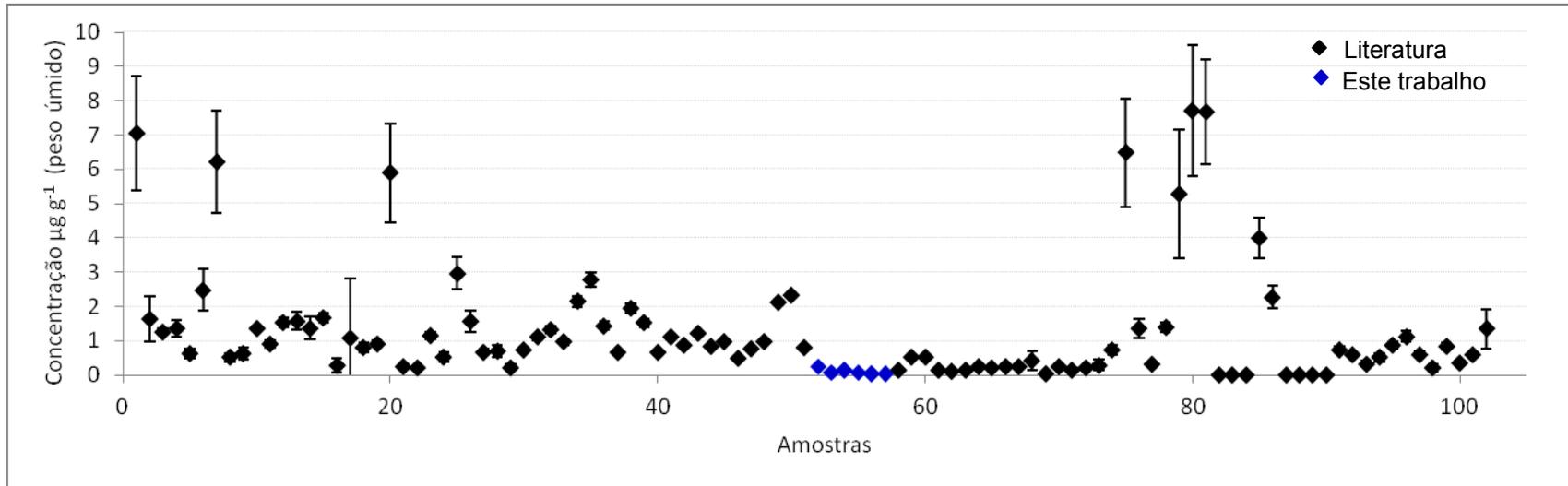


Figura 35 - Concentrações de cobre em músculos de peixes de diversas regiões do mundo

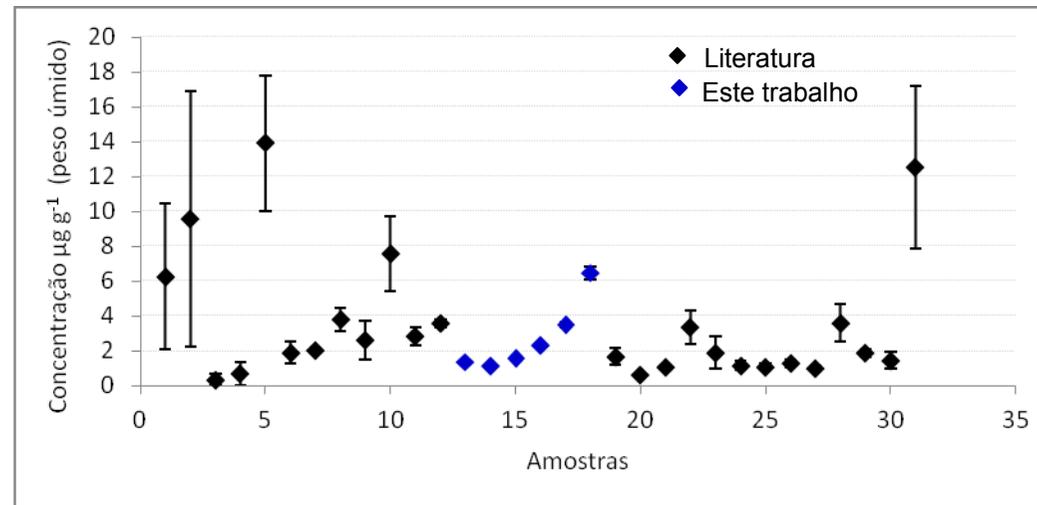


Figura 36 - Concentrações de cobre em fígado de peixes de diversas regiões do mundo

Os valores de cobre encontrados nesse trabalho são similares aos encontrados em *B. xanthopterus* e *B. rajanus mystaceus* (ALHAS et al., 2009). Esses pesquisadores encontraram concentrações nas guelras de *B. rajanus mystaceus* próximos dos encontrados em *C. latus* e *L. synagris* investigados nesse trabalho. Concentrações similares foram observadas também em *Carassius carassius* L. (FIDAN et al., 2008).

O manganês apresentou, para cada tecido, faixas de concentrações ($\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco) que variaram de: 0,11 a 1,37 nos músculos, 3,36 a 77,87 nas guelras, 1,46 a 55,92 no estômago, 3,00 a 16,51 no fígado, 0,87 a 5,25 no rim e de 1,09 a 3,83 nas gônadas (Tabelas 35 e 36 e Figuras 37 e 38).

O manganês, semelhantes aos elementos traço anteriormente mencionados, é distribuído em todos os tecidos do peixe. O seu suprimento inadequado ao peixe causa retardamento no seu crescimento (WATANABE et al., 1997).

As guelras e o estômago foram os tecidos que apresentaram maior variação na sua concentração de manganês, assumindo os valores mais elevados em *A. rhomboidalis*.

Em comparação com pesquisas com espécies de peixes de outras regiões, verificou-se valores similares nos tecidos de músculo (ALHAS et al., 2009; TÜRKMEN et al., 2009a; TUZEN, 2009; ALLINSON et al., 2008; MEUCCI et al., 2009; CHEUNG et al., 2008; TÜRKMEN et al., 2008b; TEPE et al., 2008), de fígado (TEPE et al., 2008; ALHAS et al., 2009; TÜRKMEN et al., 2009b; TUZEN, 2009; ALLINSON et al., 2008; MEUCCI et al., 2009; CHEUNG et al., 2008; TÜRKMEN et al., 2008b; FIDAN et al., 2008; TÜRKMEN et al., 2008a) e da guelra (FIDAN et al., 2008; ALHAS et al., 2008) e rim (ALHAS et al., 2009) aos encontrados nesse trabalho.

As Figuras 39 e 40 ilustram e comparam as concentrações de manganês encontradas nos tecidos de músculo e fígado, respectivamente, em diversas espécies de diferentes regiões com as concentrações encontradas nas espécies investigadas nesse trabalho.

Não foi encontrado trabalhos que investigaram o tecido do estômago para esse elemento. Para as gônadas, Bang et al., (2008) encontraram a concentração de $4,03 \pm 0,16 \mu\text{g g}^{-1}$ em *Gadus morhua*, valores muito superiores aos encontrados para a maioria das espécies investigadas, exceto para *A. rhomboidalis* coletadas no verão de 2012-2011, onde apresentaram concentrações de $3,83 \pm 0,126 \mu\text{g g}^{-1}$.

O cromo apresentou, para cada tecido, as seguintes faixas de concentrações ($\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco): 0,38 a 1,30 nos músculos, de 0,55 a 1,98 nas guelras, de 0,44 a 2,30 no estômago, de 0,45 a 5,46 no fígado, de 0,35 a 6,05 no rim e de 0,26 a 1,84 nas gônadas (Tabelas 37 e 38 e Figuras 41 e 42).

O cromo é um elemento essencial para o metabolismo normal de lípídeos e carboidratos dos animais (WATANABE et al., 1997). Sua presença foi determinada em todos os tecidos analisados e as maiores concentrações foram encontradas nos tecidos de fígado e rim, assumindo valores mais elevados em *S. cavalla*.

Sua variação, entre as espécies foi discreta, mas, significativa para boa parte dos tecidos. Os tecidos de músculo, seguido das gônadas, foram os que apresentaram menores concentrações.

Tabela 35 - Concentração de manganês ($\mu\text{g g}^{-1}$) em tecidos nas espécies de peixes do Verão de 2010/2011

Tecidos	<i>C. latus</i>	<i>B. marinus</i>	<i>A. rhomboidalis</i>	<i>L. synagris</i>	<i>S. cavalla</i>
Verão 2010/2011					
Músculo	0,77 ^{cd} ± 0,06	0,98 ^{bd} ± 0,01	1,37 ^{ad} ± 0,06	0,16 ^{ef} ± 0,01	0,45 ^{de} ± 0,02
Guelra	13,38 ^{aa} ± 0,17	10,68 ^{ba} ± 0,58	3,36 ^{dcd} ± 0,07	11,03 ^{bc} ± 0,99	4,77 ^{cc} ± 0,05
Estômago	1,46 ^{ec} ± 0,02	3,98 ^{db} ± 0,06	55,92 ^{aa} ± 2,97	43,51 ^{ba} ± 0,39	30,96 ^{ca} ± 0,63
Fígado	3,00 ^{db} ± 0,02	3,43 ^{dc} ± 0,03	16,51 ^{ab} ± 0,24	15,38 ^{bb} ± 0,16	8,11 ^{cb} ± 0,26
Rim	2,23 ^c ± 0,01	3,01 ^{bc} ± 0,01	5,25 ^{ac} ± 0,09	2,34 ^{cd} ± 0,022	2,80 ^{bd} ± 0,16
Gônadas	1,33 ^{cc} ± 0,01	1,45 ^{cd} ± 0,02	3,83 ^{acd} ± 0,13	1,09 ^{de} ± 0,023	2,24 ^{bd} ± 0,07

Tabela 36 - Concentração de manganês ($\mu\text{g g}^{-1}$) em tecidos nas espécies de peixes do Verão de 2011/2012

Tecidos	<i>C. latus</i>	<i>A. rhomboidalis</i>	<i>L. synagris</i>	<i>S. guachancho</i>
Verão 2011/2012				
Músculo	0,11 ^{dd} ± 0,01	0,31 ^{af} ± 0,01	0,16 ^{cd} ± 0,002	0,21 ^{bf} ± 0,01
Guelra	18,02 ^{da} ± 0,73	77,87 ^{aa} ± 0,84	29,22 ^{ca} ± 0,45	35,8 ^{ba} ± 1,36
Estômago	1,59 ^{cc} ± 0,079	30,61 ^{ab} ± 0,51	3,54 ^{cb} ± 0,13	25,61 ^{bb} ± 0,35
Fígado	4,07 ^b ± 0,15	5,35 ^{bc} ± 0,11	3,62 ^{db} ± 0,06	7,67 ^{ac} ± 0,35
Rim	1,32 ^{ccd} ± 0,08	4,33 ^{ad} ± 0,01	3,80 ^{bb} ± 0,02	0,87 ^{de} ± 0,04
Gônadas	1,34 ^{bcd} ± 0,07	1,13 ^{ce} ± 0,02	1,41 ^{bc} ± 0,02	1,73 ^{ad} ± 0,10

Média ± Desvio Padrão.

Nomes vulgares: *C. latus* – guaricema; *B. marinus* – bagre; *A. rhomboidalis* – sambúio; *L. synagris* – vermelho; *S. cavalla* – cavala; *S. guachancho* – bicuda.

Valores de médias, na mesma coluna, com letras maiúsculas diferentes, possuem diferença significativa ($p < 0,05$) entre os tecidos de mesma espécie.

Valores de médias, na mesma linha, com letras minúsculas diferentes, possuem diferença significativa ($p < 0,05$) entre as espécies.

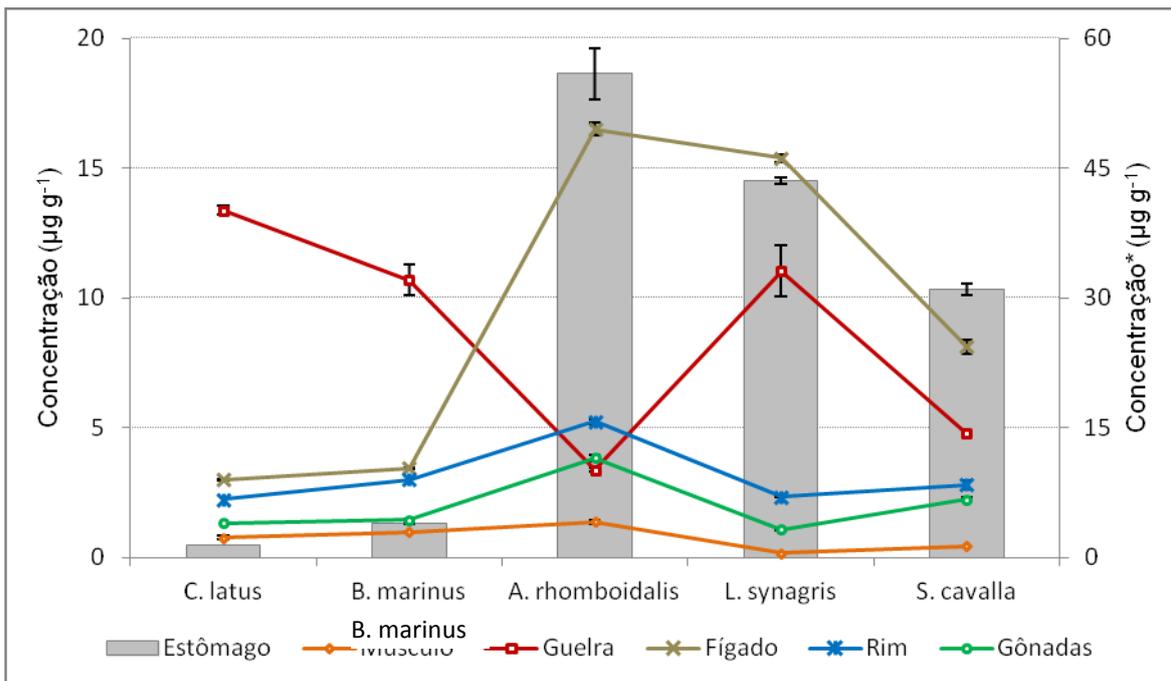


Figura 37 - Concentração de manganês nas espécies pesquisadas no verão 2010/2011

* Faixa de concentração apenas para amostras de estômago.

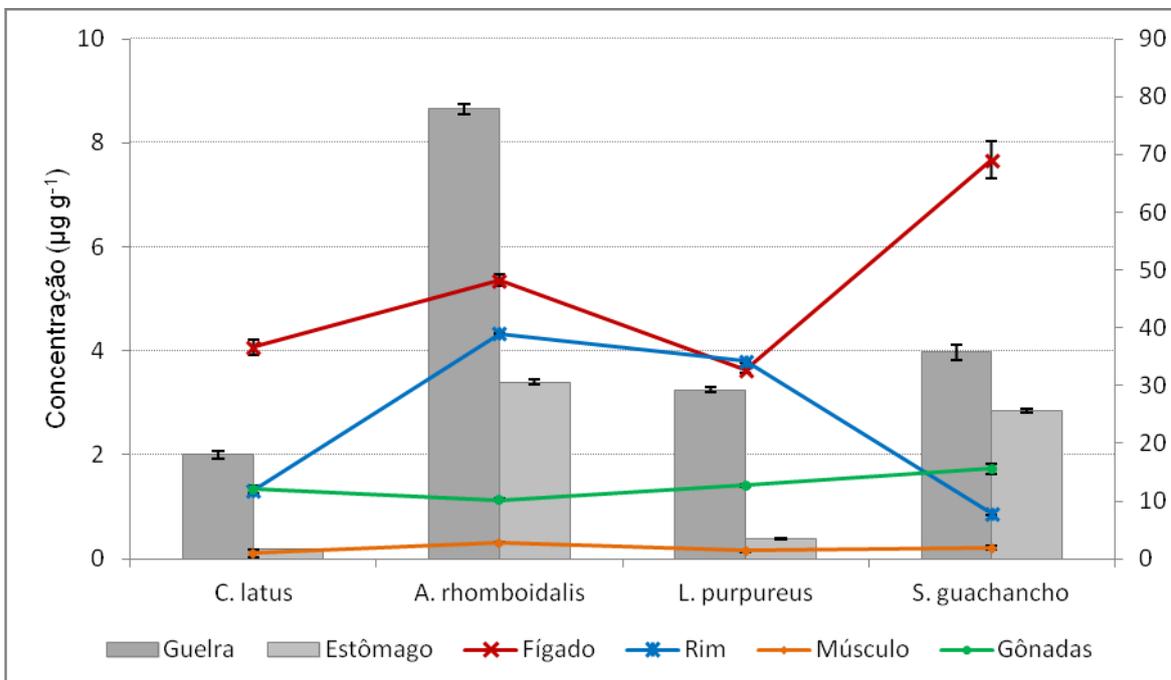


Figura 38 - Concentração de manganês nas espécies pesquisadas no verão 2011/2012

* Faixa de concentração apenas para amostras de guelra e estômago.

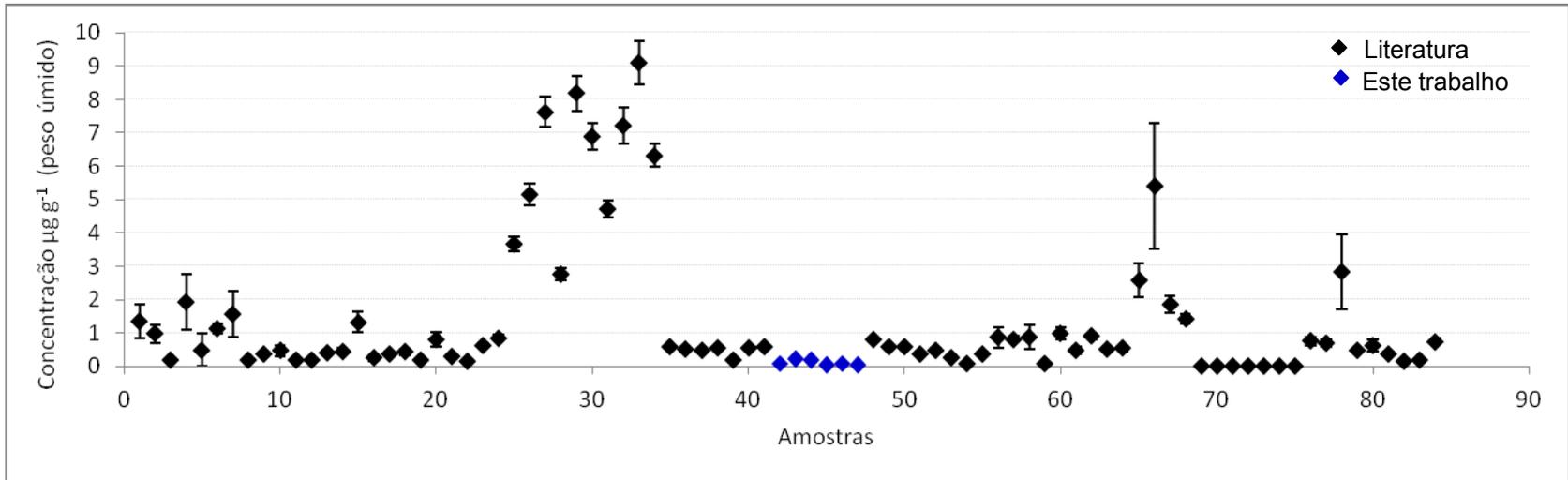


Figura 39 - Concentrações de manganês em músculos peixes de diversas regiões do mundo

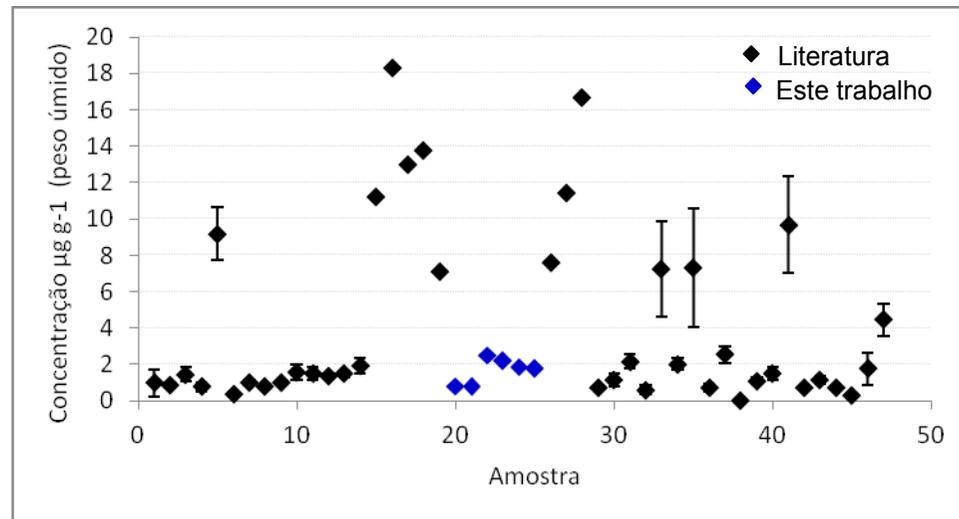


Figura 40 - Concentrações de manganês em músculos peixes de diversas regiões do mundo

Os tecidos de gônadas tem sido pouco pesquisado, apesar do efeito toxicológico dos elementos traço na reprodução e/ou bioacumulação na prole. O mesmo verifica-se para o tecido do estômago, onde não foi encontrado pesquisas publicadas com determinação de cromo e outros elementos traço para se avaliar possíveis similaridades.

As concentrações de manganês encontradas nos músculos foram semelhantes às encontradas em pesquisas (Figura 43) com outras espécies de peixes de diferentes regiões do mundo (TÜRKMEN et al., 2009b; YILDIRIM et al., 2009; ALHAS et al., 2009; TÜRKMEN et al., 2009a; TUZEN, 2009; ALLINSON et al., 2008; MEUCCI et al., 2009; CHEUNG et al., 2008; TÜRKMEN et al., 2008a; FIDAN et al., 2008; TÜRKMEN et al., 2008b).

Comparação similar foi realizada para as concentrações encontradas nos fígados (Figura 44), havendo também, diversas espécies que apresentaram valores similares, mesmo habitando zonas costeiras diferentes (TÜRKMEN et al., 2009a; TÜRKMEN et al., 2008a; TÜRKMEN et al., 2008b; TEPE et al., 2008).

Para a guelra e o rim, poucos pesquisadores os analisaram quanto à concentração de cromo. Entretanto, há trabalhos que reportam valores similares para a guelra (FIDAN et al., 2008) e mais elevadas que os encontrados para o fígado (ALHAS et al., 2009) nos peixes por eles analisados em relação ao valores encontrados.

As faixas de concentrações ($\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco) encontradas para o selênio nos tecidos analisados foram de: 0,73 a 2,19 nos músculos, 0,57 a 4,45 nas guelras, 1,21 a 10,22 no estômago, 3,54 a 12,50 no fígado, 4,73 a 19,36 no rim, e de 2,06 a 5,71 nas gônadas (Tabelas 39 e 40 e Figuras 45 e 46).

Tabela 37 - Concentração de cromo ($\mu\text{g g}^{-1}$) em tecidos nas espécies de peixes do Verão de 2010/2011

Tecidos	<i>C. latus</i>	<i>B. marinus</i>	<i>A. rhomboidalis</i>	<i>L. synagris</i>	<i>S. cavalla</i>
Verão 2010/2011					
Músculo	0,44 ^{CF} ± 0,03	0,42 ^{CE} ± 0,01	0,38 ^{CF} ± 0,01	1,30 ^{aC} ± 0,08	0,61 ^{bB} ± 0,02
Guelra	1,86 ^{aD} ± 0,01	1,73 ^{bC} ± 0,04	1,45 ^{CC} ± 0,02	1,04 ^{dCD} ± 0,03	0,74 ^{eB} ± 0,01
Estômago	2,30 ^{aC} ± 0,02	2,26 ^{aB} ± 0,05	1,27 ^{bD} ± 0,03	1,16 ^{bCD} ± 0,05	1,27 ^b ± 0,02
Fígado	2,65 ^{CB} ± 0,05	4,37 ^{bA} ± 0,08	4,70 ^{CB} ± 0,07	2,73 ^{CB} ± 0,04	5,46 ^{aA} ± 0,10
Rim	2,94 ^{dA} ± 0,06	4,30 ^{CA} ± 0,09	5,41 ^{bA} ± 0,16	3,12 ^{dA} ± 0,04	6,05 ^{aA} ± 0,06
Gônadas	0,87 ^{aE} ± 0,01	0,78 ^{bD} ± 0,02	0,67 ^{dE} ± 0,01	0,67 ^{dD} ± 0,02	0,71 ^{CB} ± 0,01

Tabela 38 - Concentração de cromo ($\mu\text{g g}^{-1}$) em tecidos nas espécies de peixes do Verão de 2011/2012

Tecidos	<i>C. latus</i>	<i>A. rhomboidalis</i>	<i>L. synagris</i>	<i>S. guachancho</i>
Verão 2011/2012				
Músculo	0,43 ^{CC} ± 0,01	0,61 ^{bF} ± 0,01	0,58 ^{bE} ± 0,01	1,06 ^{aE} ± 0,06
Guelra	0,55 ^{dA} ± 0,01	1,63 ^{bC} ± 0,03	1,43 ^{CD} ± 0,09	1,98 ^{aC} ± 0,11
Estômago	0,44 ^{dBC} ± 0,01	1,54 ^{CD} ± 0,07	1,67 ^{bC} ± 0,01	1,81 ^{aC} ± 0,04
Fígado	0,45 ^{dB} ± 0,02	1,89 ^{bB} ± 0,03	1,64 ^{CC} ± 0,02	2,29 ^{aB} ± 0,11
Rim	0,35 ^{CD} ± 0,02	2,21 ^{bA} ± 0,01	2,22 ^{bA} ± 0,03	3,22 ^{aA} ± 0,08
Gônadas	0,26 ^{dE} ± 0,01	1,10 ^{CE} ± 0,01	1,80 ^{aB} ± 0,06	1,44 ^{bD} ± 0,07

Média ± Desvio Padrão.

Nomes vulgares: *C. latus* – guaricema; *B. marinus* – bagre; *A. rhomboidalis* – sambúio; *L. synagris* – vermelho; *S. cavalla* – cavala; *S. guachancho* – bicuda.

Valores de médias, na mesma coluna, com letras maiúsculas diferentes possuem diferença significativa ($p < 0,05$) entre os tecidos de mesma espécie.

Valores de médias, na mesma linha, com letras minúsculas diferentes possuem diferença significativa ($p < 0,05$) entre as espécies.

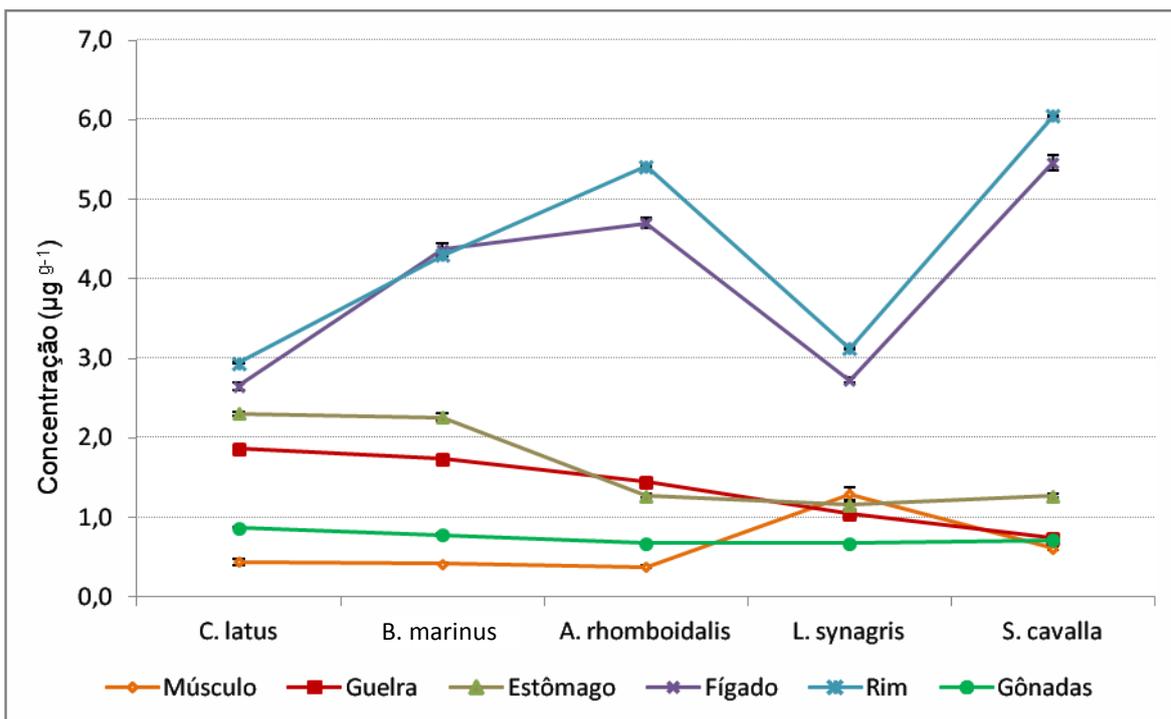


Figura 41 - Concentração de cromo nos diversos tecidos das espécies pesquisadas no Verão 2010-2011

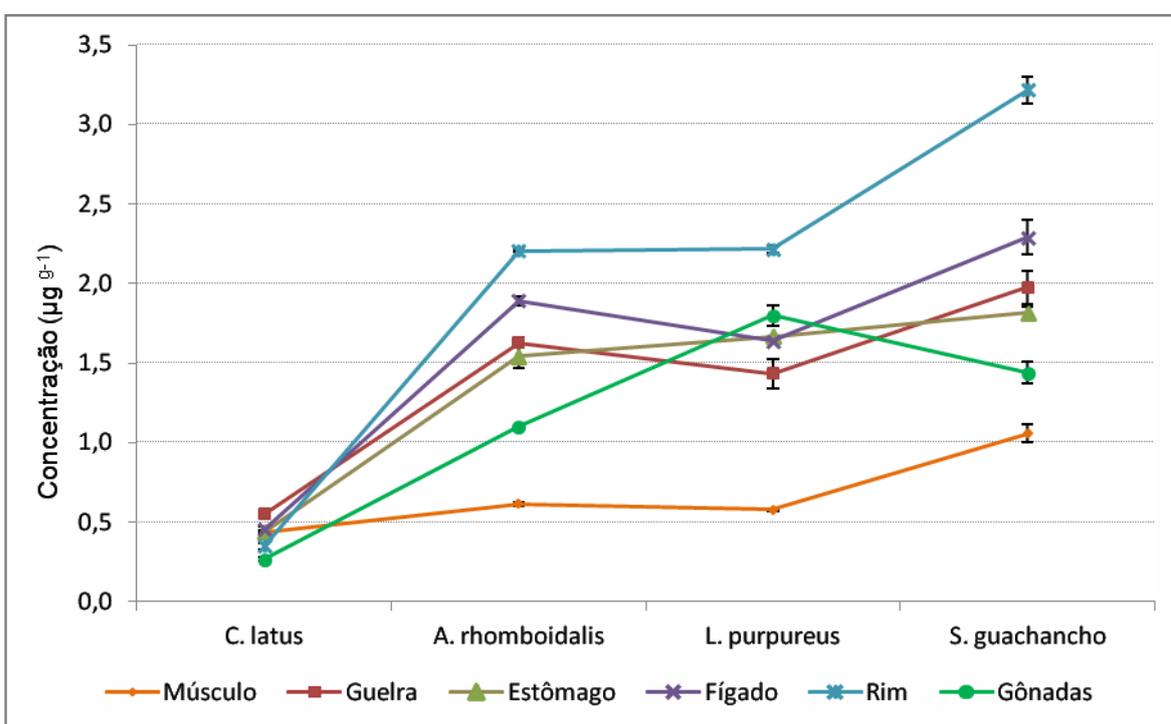


Figura 42 - Concentração de cromo nos diversos tecidos das espécies pesquisadas no Verão 2011-2012

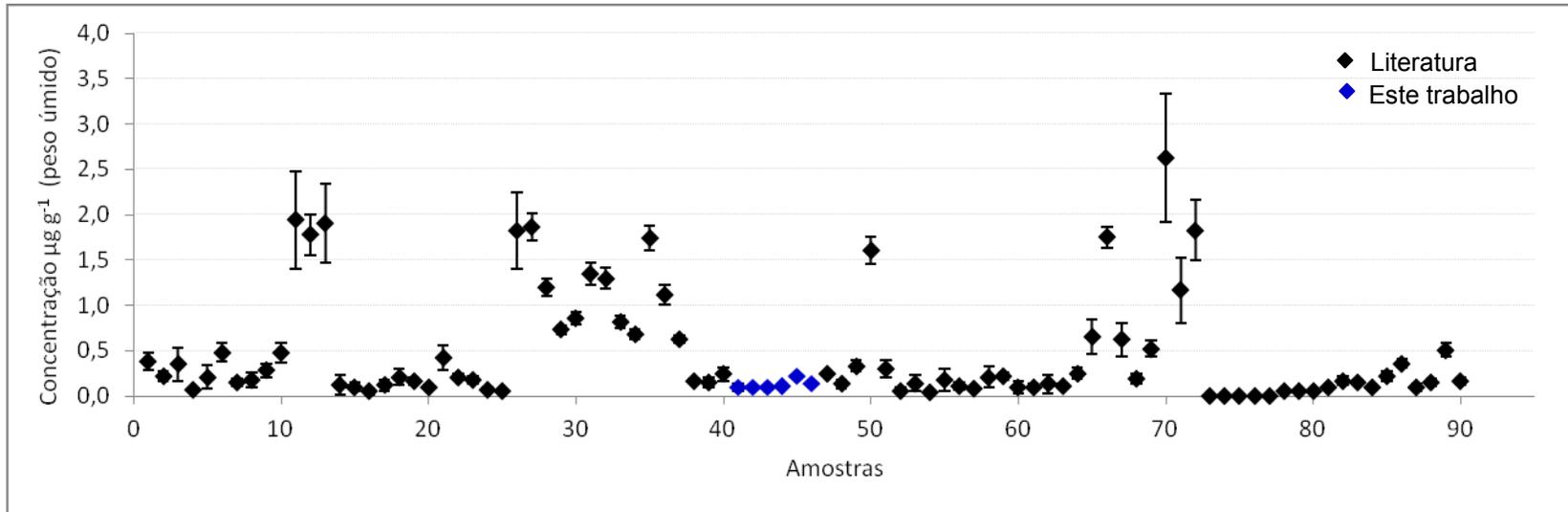


Figura 43 - Concentrações de cromo em fígado peixes de diversas regiões do mundo

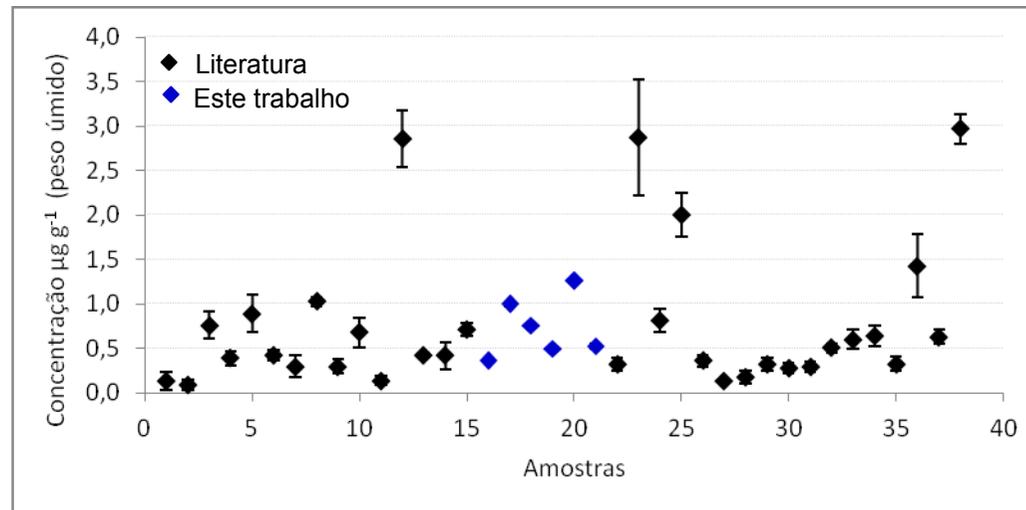


Figura 44 - Concentrações de cromo em fígado peixes de diversas regiões do mundo

Em geral, o selênio mostrou maior tendência de bioacumulação no fígado e no rim, onde foram obtidos os maiores valores.

Estudos realizados em laboratório com espécies de peixes demonstraram que o excesso de selênio nos tecidos de organismos aquáticos resulta numa variedade de efeitos tóxicos tais como: redução do crescimento, danos no tecido, efeitos na reprodução e aumento da mortalidade (HODSON e HILTON 1983; LEMLY, 1993). A marca característica da toxicidade do selênio é a aparição de deformações teratogênicas na progênie das fêmeas expostas a essa toxicidade, que resultam da deposição de selênio em seus ovos. A teratogenese é restrita ao desenvolvimento da fase larval do ovo quando as larvas utilizam gemas contaminadas com selênio (LEMLY, 1997). O tipo mais comum de deformação teratogênica inclui a curvatura espinhal (lordose, escoliose) e ausência ou deformidades nas guelras, no opérculo e olhos (LEMLY, 1993).

Em comparação com outras pesquisas (Figura 47), as concentrações encontradas nos músculos analisados neste trabalho apresentaram similaridades com algumas delas (TUZEN, 2009; CIARDULLO et al., 2008). O mesmo foi observado para as concentrações do fígado e do rim (Tabela 41).

O níquel apresentou, para cada tecido, as seguintes faixas de concentrações($\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco): < 0,024 nos músculos, de 1,02 a 4,76 nas guelras, de 0,88 a 3,76 no estômago, de 0,34 a 5,88 no fígado, de 1,81 a 15,57 no rim, de 0,07 a 0,75 nas gônadas (Tabelas 42 e 43 e Figuras 48 e 49).

Os tecidos que apresentaram maior e menor tendência a bioacumular o níquel foi o músculo e o rim, respectivamente. Encontrou-se valores mais elevados nas amostras de *C. latus* (verão 2010 – 2011) e *A. rhomboidalis* (verão 2011 – 2012).

Tabela 39 - Concentração de selênio ($\mu\text{g g}^{-1}$) em tecidos nas espécies de peixes do Verão de 2010/2011

Tecidos	<i>C. latus</i>	<i>B. marinus</i>	<i>A. rhomboidalis</i>	<i>L. synagris</i>	<i>S. cavalla</i>
Verão 2010/2011					
Músculo	1,80 ^{ce} ± 0,07	0,73 ^{ee} ± 0,01	2,71 ^{ad} ± 0,08	2,19 ^{bc} ± 0,03	1,50 ^{de} ± 0,04
Guelra	1,03 ^{bf} ± 0,06	0,57 ^{ef} ± 0,03	2,66 ^{ae} ± 0,11	0,88 ^{df} ± 0,02	0,94 ^{cf} ± 0,03
Estômago	10,22 ^{ac} ± 0,09	3,24 ^{bc} ± 0,10	2,85 ^{cc} ± 0,14	1,21 ^{ee} ± 0,02	1,60 ^{dd} ± 0,02
Fígado	12,50 ^{ab} ± 0,23	5,87 ^{db} ± 0,015	10,01 ^{bb} ± 0,11	4,72 ^{eb} ± 0,06	8,41 ^{cb} ± 0,35
Rim	14,56 ^{aa} ± 0,32	6,74 ^{da} ± 0,06	11,77 ^{ba} ± 0,47	4,92 ^{ea} ± 0,12	9,01 ^{ca} ± 0,02
Gônadas	4,34 ^{bd} ± 0,17	2,33 ^{dd} ± 0,12	4,80 ^a ± 0,17	2,06 ^{ed} ± 0,06	3,37 ^{cc} ± 0,16

Tabela 40 - Concentração de selênio ($\mu\text{g g}^{-1}$) em tecidos nas espécies de peixes do Verão de 2011/2012

Tecidos	<i>C. latus</i>	<i>A. rhomboidalis</i>	<i>L. synagris</i>	<i>S. guachancho</i>
Verão 2011/2012				
Músculo	1,03 ^{bf} ± 0,05	1,24 ^{af} ± 0,01	1,26 ^{af} ± 0,03	0,96 ^{cf} ± 0,06
Guelra	1,44 ^{de} ± 0,03	1,74 ^{ce} ± 0,06	2,57 ^{be} ± 0,08	4,45 ^{ad} ± 0,17
Estômago	3,90 ^{ac} ± 0,08	1,93 ^{dd} ± 0,05	3,03 ^{cd} ± 0,01	3,44 ^{be} ± 0,12
Fígado	6,06 ^{bb} ± 0,31	3,54 ^{cb} ± 0,07	6,99 ^{ab} ± 0,22	6,13 ^{bb} ± 0,05
Rim	19,36 ^{aa} ± 0,64	4,73 ^{da} ± 0,05	8,73 ^{ca} ± 0,09	12,62 ^{ba} ± 0,05
Gônadas	2,06 ^{dd} ± 0,04	2,33 ^{cc} ± 0,02	4,23 ^{bc} ± 0,21	5,71 ^{ac} ± 0,06

Média ± Desvio Padrão.

Nomes vulgares: *C. latus* – guaricema; *B. marinus* – bagre; *A. rhomboidalis* – sambúio; *L. synagris* – vermelho; *S. cavalla* – cavala; *S. guachancho* – bicuda.

Valores de médias, na mesma coluna, com letras maiúsculas diferentes possuem diferença significativa ($p < 0,05$) entre os tecidos de mesma espécie.

Valores de médias, na mesma linha, com letras minúsculas diferentes possuem diferença significativa ($p < 0,05$) entre as espécies.

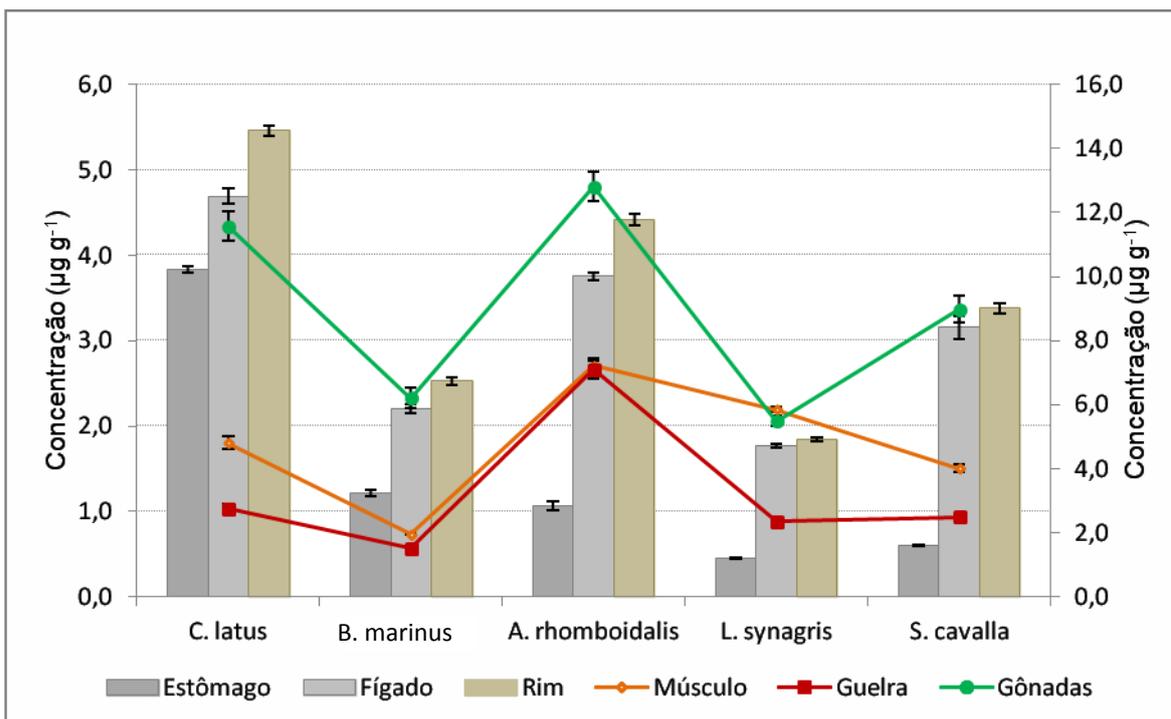


Figura 45 - Concentração de selênio nos diversos tecidos das espécies pesquisadas no Verão 2010-2011

* Faixa de concentração apenas para amostras de fígado, estômago e rim.

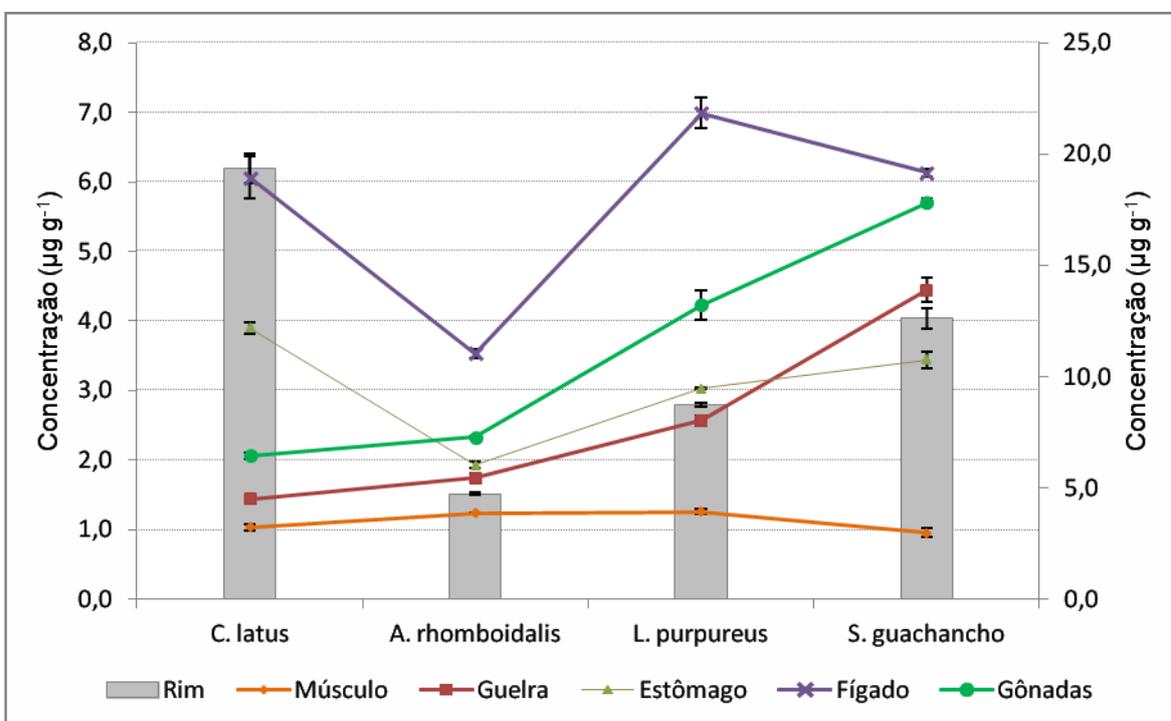


Figura 46 - Concentração de selênio nos diversos tecidos das espécies pesquisadas no Verão 2011-2012

* Faixa de concentração apenas para amostras de rim.

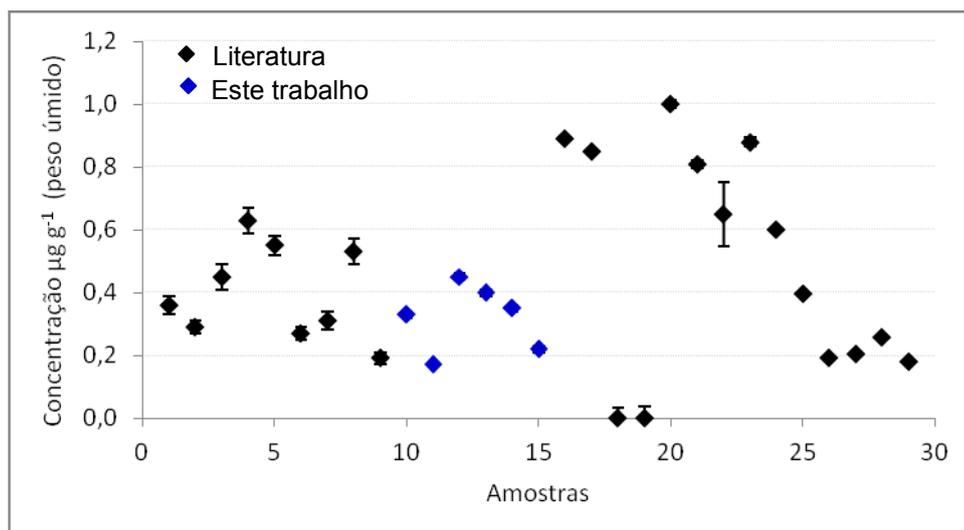


Figura 47 - Concentrações de selênio em músculo peixes de diversas regiões do mundo

Tabela 41 - Concentração ($\mu\text{g g}^{-1}$ peso úmido) de selênio no fígado e rim de diversas espécies de peixes pesquisados em outras regiões. Média \pm SD (Min – Max)

Espécie	Local	Concentração	Ref.
Fígado			
<i>Oncorhyncus mykiss</i>	Roma	1,21 \pm 0,25 (0,75 – 1,66)	Ciardullo et al., 2008
<i>Hippoglossoides elassodon</i>	Alaska	2,07 \pm 0,24	Burger et al., 2007
<i>Myoxocephalus polyacanthocephalus</i>	Alaska	2,63 \pm 0,12	Burger et al., 2007
Várias Espécies	Brasil	1,62 \pm 0,33 (1,35 – 2,13)	Este trabalho*
Rim			
<i>Hippoglossoides elassodon</i>	Alaska	1,86 \pm 0,17	Burger et al., 2007
<i>Myoxocephalus polyacanthocephalus</i>	Alaska	5,21 \pm 0,54	Burger et al., 2007
<i>Oncorhyncus mykiss</i>	Roma	1,40 \pm 0,28 (1,18 – 1,63)	Ciardullo et al., 2008
Várias Espécies	Brasil	0,34 \pm 0,07 (0,17 – 0,50)	Este trabalho*

* Os valores foram convertidos para peso úmido.

Na guelra, verificou-se valores de níquel semelhantes entre os encontrados para o *C. latus* e os reportados para o *Oncorhyncus mykiss* por Ciardullo et al., (2008).

Em comparação com a literatura, as concentrações de níquel nos tecidos analisados nesse trabalho foram similares às encontradas no fígado (Figura 50) e guelra (FIDAN et al., 2008) de outros trabalhos publicados.

Para o molibdênio, em todas as espécies analisadas, as concentrações nos tecido de músculo e gônadas foram abaixo do limite de detecção. Os demais tecidos apresentaram as seguintes faixas de concentração ($\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco): 0,037-0,074 nas guelras, de 0,038-0,269 no estômago, de 0,236-1,172 no fígado e de 0,136-1,290 no rim (Tabelas 44 e 45 e Figuras 51 e 52).

A determinação do molibdênio é muito importante, uma vez que esse metal é um mineral essencial ao metabolismo do nosso organismo participando também da bioquímica de organismos da flora e fauna marinha. Ele é prontamente absorvido no estômago e intestino delgado pela ação de carreadores ou por difusão passiva (KRAUSE, 1998).

Molibdênio é um elemento traço encontrado no organismo dos seres vivos como co-fator essencial para enzimas (metaloenzima xantino-oxidase, aldeído-oxidase e sulfito-oxidase) e catalisa a conversão do Fe^{3+} (ferro férrico) para Fe^{2+} (ferro ferroso) (FRANCO, 1987; CAMPBELL, 2000; BERG et al., 2004). Em altas concentrações, causa intoxicação podendo elevar o ácido úrico e promover a deficiência do cobre (CAMPBELL, 2000). Entretanto, a ANVISA (1965) não estabelece o valor máximo para molibdênio em alimentos.

Tabela 42 - Concentração de níquel ($\mu\text{g g}^{-1}$) em tecidos nas espécies de peixes do Verão de 2010/2011

Tecidos	<i>C. latus</i>	<i>B. marinus</i>	<i>A. rhomboidalis</i>	<i>L. synagris</i>	<i>S. cavalla</i>
Verão 2010/2011					
Músculo	< 0,024	< 0,024	< 0,024	< 0,024	< 0,024
Guelra	4,76 ^{aC} ± 0,11	3,51 ^{bB} ± 0,07	1,33 ^{dD} ± 0,03	2,12 ^{cB} ± 0,21	1,23 ^{eC} ± 0,06
Estômago	3,76 ^{aD} ± 0,11	1,91 ^{cD} ± 0,05	2,32 ^{bC} ± 0,11	0,88 ^{eD} ± 0,01	1,07 ^{dD} ± 0,05
Fígado	5,88 ^{aB} ± 0,10	2,66 ^{cC} ± 0,03	5,17 ^{bB} ± 0,23	1,90 ^{eC} ± 0,07	2,52 ^{dB} ± 0,03
Rim	9,11 ^{aA} ± 0,10	6,33 ^{cA} ± 0,14	8,46 ^{bA} ± 0,17	5,86 ^{dA} ± 0,09	4,08 ^{eA} ± 0,05
Gônadas	0,21 ^{aE} ± 0,01	0,12 ^{cE} ± 0,01	0,14 ^{bE} ± 0,01	0,07 ^{eE} ± 0,01	0,08 ^{dE} ± 0,01

Tabela 43 - Concentração de níquel ($\mu\text{g g}^{-1}$) em tecidos nas espécies de peixes do Verão de 2011/2012

Tecidos	<i>C. latus</i>	<i>A. rhomboidalis</i>	<i>L. synagris</i>	<i>S. guachancho</i>
Verão 2011/2012				
Músculo	< 0,024	< 0,024	< 0,024	< 0,024
Guelra	1,02 ^{dB} ± 0,04	4,50 ^{aC} ± 0,14	3,35 ^{cB} ± 0,30	3,65 ^{bB} ± 0,11
Estômago	0,94 ^{cC} ± 0,06	2,55 ^{aD} ± 0,20	1,13 ^{bD} ± 0,04	1,15 ^{bC} ± 0,07
Fígado	0,34 ^{cD} ± 0,02	13,33 ^{aB} ± 0,17	1,92 ^{bC} ± 0,05	0,27 ^{dD} ± 0,01
Rim	1,81 ^{dA} ± 0,09	15,57 ^{aA} ± 0,12	4,53 ^{cA} ± 0,04	4,76 ^{bA} ± 0,21
Gônadas	0,09 ^{dE} ± 0,01	0,23 ^{bE} ± 0,01	0,75 ^{aE} ± 0,02	0,15 ^{cE} ± 0,01

Média ± Desvio Padrão.

Nomes vulgares: *C. latus* – guaricema; *B. marinus* – bagre; *A. rhomboidalis* – sambúio; *L. synagris* – vermelho; *S. cavalla* – cavala; *S. guachancho* – bicuda.

Valores de médias, na mesma coluna, com letras maiúsculas diferentes, possuem diferença significativa ($p < 0,05$) entre os tecidos de mesma espécie.

Valores de médias, na mesma linha, com letras minúsculas diferentes, possuem diferença significativa ($p < 0,05$) entre as espécies.

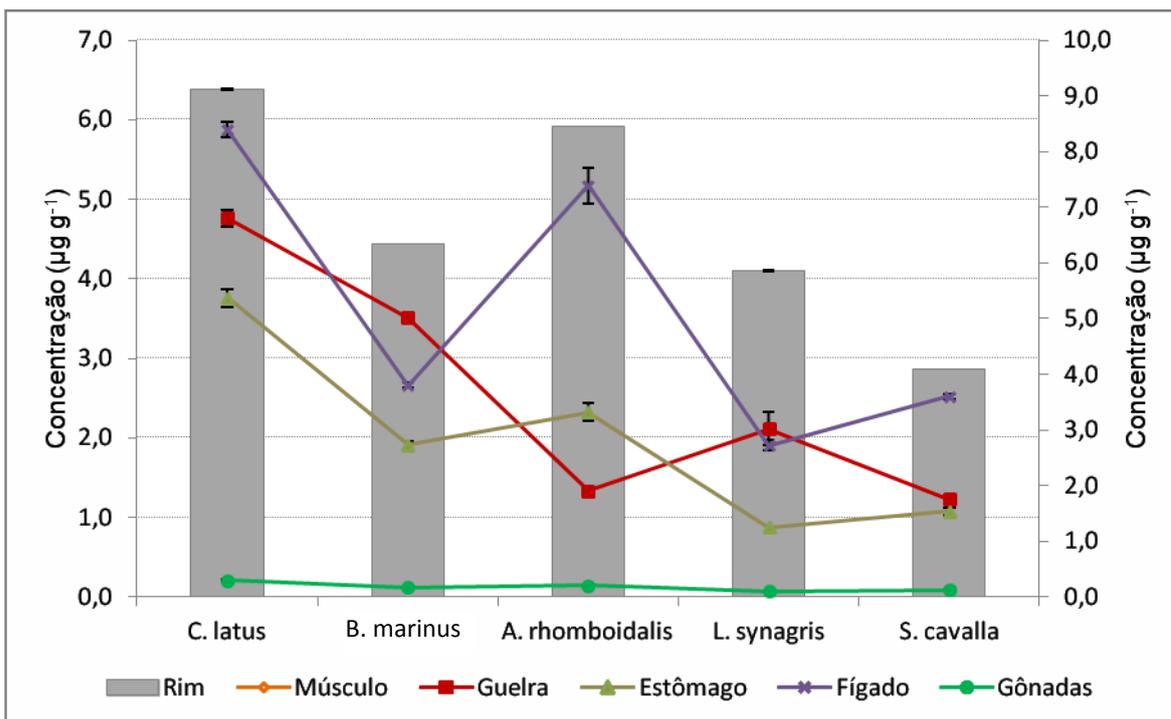


Figura 48 - Concentração de níquel nos tecidos das espécies pesquisadas no Verão 2010-2011

* Faixa de concentração apenas para amostras de rim.

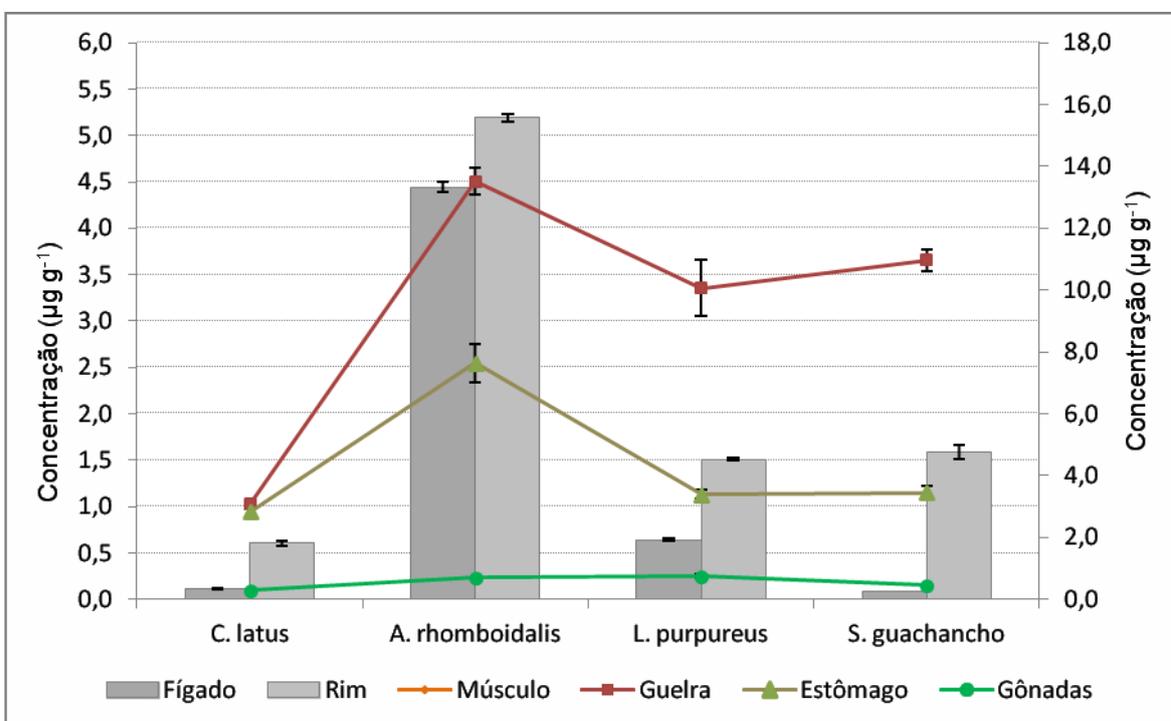


Figura 49 - Concentração de níquel nos tecidos das espécies pesquisadas no Verão 2011-2012

* Faixa de concentração apenas para amostras de rim.

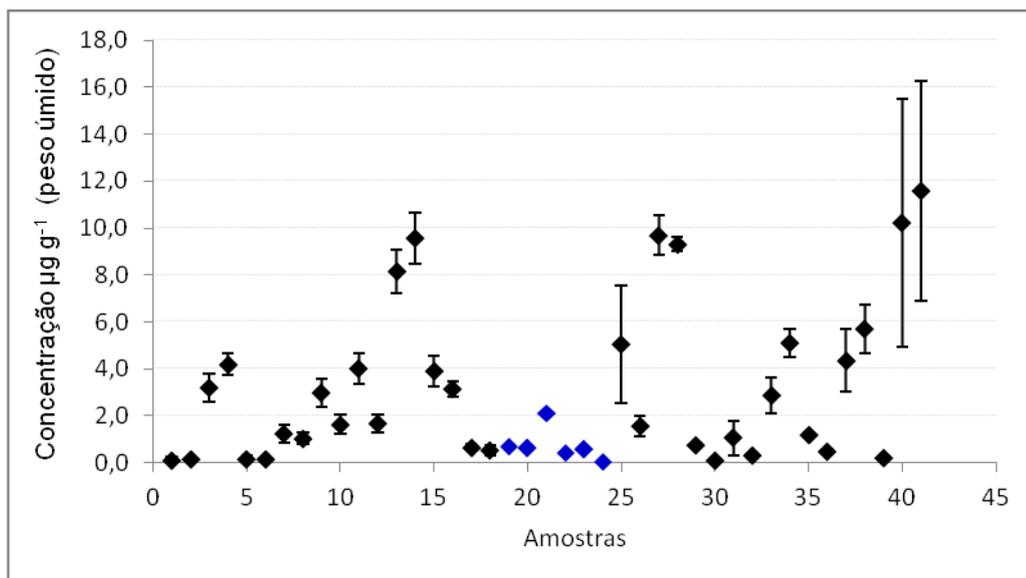


Figura 50 - Concentrações de níquel em fígado peixes de diversas regiões do mundo

Há muito poucos trabalhos publicados com a determinação de concentrações de molibdênio em tecidos de músculos de peixes (VIANA, 2008). Para os outros tecidos pesquisados, não foi encontrado pesquisas similares para comparações.

5.3.2.2 Variação da Concentração de Elementos Traço Essenciais entre os Tecidos

Para todos os elementos traço (Fe, Zn, Cu, Mn, Se, Cr, Ni, Mo), houve variação significativa entre os tecidos analisados ($p < 0,05$). Dentre eles, o rim e o fígado apresentaram maior tendência em bioacumular esses elementos traço. Enquanto que os tecidos de músculo e gônada tiveram menor tendência.

A ordem da distribuição segundo a análise da concentração encontrada em cada tecido foi analisada para as três espécies com maior número de amostragem (*C. latus*, *A. rhomboidalis* e *L. synagris*).

Tabela 44- Concentração de molibdênio ($\mu\text{g g}^{-1}$) em tecidos nas espécies de peixes do Verão de 2010/2011

Tecidos	<i>C. latus</i>	<i>B. marinus</i>	<i>A. rhomboidalis</i>	<i>L. synagris</i>	<i>S. cavalla</i>
Verão 2010/2011					
Músculo	< 0,034	< 0,034	< 0,034	< 0,034	< 0,034
Guelra	0,074 ^{ad} ± 0,003	0,038 ^{cc} ± 0,002	0,061 ^{bd} ± 0,001	0,037 ^{cd} ± 0,002	0,048 ^{dd} ± 0,002
Estômago	0,261 ^{ac} ± 0,014	0,038 ^{ec} ± 0,001	0,071 ^{dc} ± 0,005	0,083 ^{cc} ± 0,001	0,167 ^{bc} ± 0,002
Fígado	0,680 ^{db} ± 0,009	0,236 ^{eb} ± 0,003	0,943 ^{bb} ± 0,004	0,750 ^{ca} ± 0,010	1,172 ^{aa} ± 0,032
Rim	1,068 ^{ba} ± 0,048	0,416 ^{ea} ± 0,008	1,290 ^{aa} ± 0,018	0,653 ^{cb} ± 0,006	0,582 ^{db} ± 0,014
Gônadas	< 0,034	< 0,034	< 0,034	< 0,034	< 0,034

Tabela 45 - Concentração de molibdênio ($\mu\text{g g}^{-1}$) em tecidos nas espécies de peixes do Verão de 2011/2012

Tecidos	<i>C. latus</i>	<i>A. rhomboidalis</i>	<i>L. synagris</i>	<i>S. guachancho</i>
Verão 2011/2012				
Músculo	< 0,034	< 0,034	< 0,034	< 0,034
Guelra	0,045 ^{bd} ± 0,003	0,042 ^{cd} ± 0,001	0,045 ^{cd} ± 0,002	0,089 ^{ad} ± 0,003
Estômago	0,153 ^{cb} ± 0,008	0,269 ^{ac} ± 0,013	0,108 ^{dc} ± 0,001	0,249 ^{bb} ± 0,011
Fígado	0,587 ^{ba} ± 0,022	0,740 ^{ab} ± 0,005	0,500 ^{ca} ± 0,003	0,580 ^{da} ± 0,054
Rim	0,136 ^{cc} ± 0,015	1,240 ^{ca} ± 0,003	0,209 ^{bb} ± 0,002	0,176 ^{ac} ± 0,010
Gônadas	< 0,034	< 0,034	< 0,034	< 0,034

Média ± Desvio Padrão.

Nomes vulgares: *C. latus* – guaricema; *B. marinus* – bagre; *A. rhomboidalis* – sambúio; *L. synagris* – vermelho; *S. cavalla* – cavala; *S. guachancho* – bicuda.

Valores de médias, na mesma coluna, com letras maiúsculas diferentes, possuem diferença significativa ($p < 0,05$) entre os tecidos de mesma espécie.

Valores de médias, na mesma linha, com letras minúsculas diferentes, possuem diferença significativa ($p < 0,05$) entre as espécies.

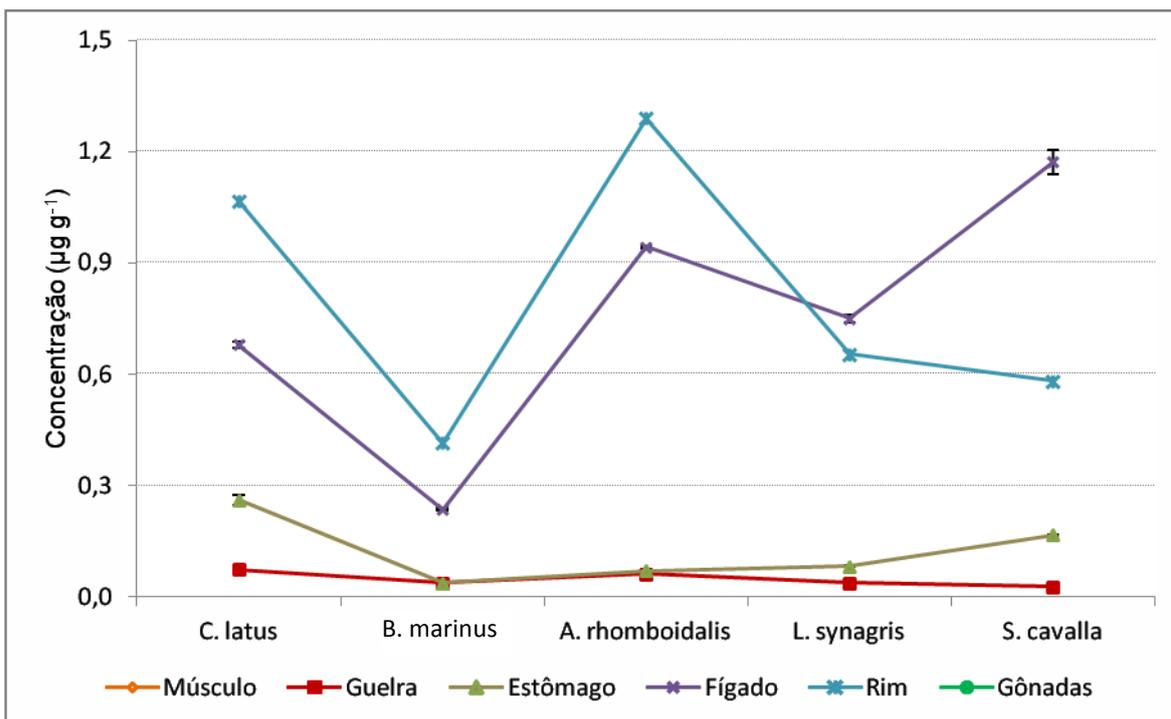


Figura 51- Concentração de molibdênio nos diversos tecidos das espécies pesquisadas no Verão 2010-2011

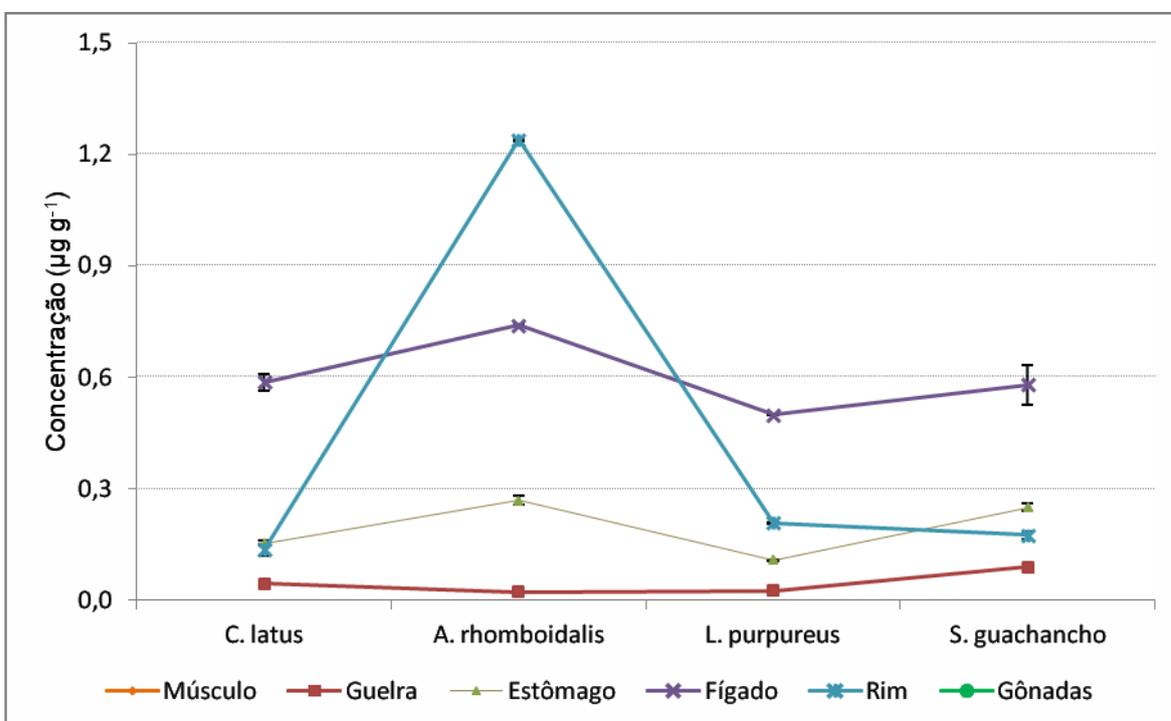


Figura 52 - Concentração de molibdênio nos diversos tecidos das espécies pesquisadas no Verão 2011-2012

Foi verificado que os elementos, nas três espécies, apresentaram diferenças na ordem de bioacumulação nos tecidos, havendo maior tendência de bioacumular-se mais no rím e no fígado e menos no músculo e gônada (Tabela 46).

Tabela 46 - Ordem de concentração dos elementos traço encontradas em tecidos de *C. Latus*, *A.rhombidalis* e *L. lutjanus*

Espécies	Elemento	Ordem
<i>C. Latus</i>	Fe	F> R> G> E> S> M
	Zn	S> R> E> G> F> M
	Cu	F> E> R> G> S> M
	Mn	G> F> R> E> S> M
	Se	R> F> E> S> G> M
	Cr	R> F> E> G> S> M
	Ni	R> E> F>G> S> M
	Mo	F> R> E> G> M =G
<i>A. rhombidalis</i>	Fe	R> F> E> G> S> M
	Zn	R> F> G> S> E> M
	Cu	F> E> R>S> G> M
	Mn	E> F> R> S> G> M
	Se	R> F> S> G> M> E
	Cr	R> F> G> E> S> M
	Ni	R> F> G> E> S> M
	Mo	F> R> E> G> M = G
<i>L. lutjanus</i>	Fe	F> R> G> E> S> M
	Zn	F> S> E> R> G> M
	Cu	F> E> R> G> S> M
	Mn	E> F> G> R> G> M
	Se	R> F> S> E> M> G
	Cr	R> F> E> G> S> M
	Ni	R> F> G> E> S> M
	Mo	F> R> E> G> M = G

Legenda: F – Fígado; R – Rim; G – Guelra; E – Estômago; S – Gônada; M – Músculo.

Na Tabela 47 estão relacionados diversos resultados de trabalhos publicados com tendência similar às encontradas nesse trabalho. Nessas pesquisas, também foi verificada diferenças na bioacumulação de elementos traço em diferentes tecidos.

Tabela 47 - Distribuição de alguns elementos traço em tecidos de peixe

Metal	Tendência de Concentração nos Tecidos	Referência
Zn	Fígado > Rim > Guelra > Músculo	[1]
	Fígado > Músculo	[2][4][6]
	Fígado > Guelra > Músculo	[5]
	Fígado > Gônadas > Músculo	[8]
Cu	Fígado > Músculo	[2][3][6]
	Fígado > Guelra > Músculo	[5]
	Fígado > Gônadas > Músculo	[8]
Cr	Guelra > Rim > Fígado > Músculo	[1]
	Fígado > Músculo	[2][4][6]
	Fígado > Guelra > Músculo	[5]
	Fígado > Rim > Músculo	[7]
Mn	Guelra > Fígado > Rim > Músculo	[1]
	Fígado > Músculo	[2][3][4][6]
	Fígado > Rim > Músculo	[7]
Ni	Guelra > Fígado > Rim > Músculo	[1]
	Fígado > Músculo	[2][4][6]
	Fígado > Guelra > Músculo	[5]
Fe	Rim > Fígado > Esqueleto > Músculo	[1]
	Fígado > Rim > Guelra > Músculo	[1]
	Fígado > Músculo	[2][3][4][6]
	Fígado > Guelra > Músculo	[5]
Cu	Fígado > Rim > Guelra > Músculo	[1]
Se	Fígado > Rim > Músculo	[7]
Li	Fígado > Guelra > Músculo	[5]

Espécies de peixes estudadas nas referências citadas: [1] ALHAS et al., 2009 – *Barbus xanthopterus*; [2] TÜRKMEN et al., 2009b - *Pomatomus saltatrix*; [3] ALLINSON et al., 2009 – *Oreochromis niloticus*; [4] TEPE et al., 2008 – *Mullus barbatus*; [5] FIDAN et al., 2008 – *Carassius carassius*; [6] TÜRKMEN et al., 2008b – *Spicara smaris*; [7] BURGER et al., 2007 - *Hippoglossoides elassodon*, *Myoxocephalus polyacanthocephalus*; [8] ULUTURHAN e KUCUKSEZGIN, 2007 – *Pagellus erithrinus*.

Também foi analisada, nas mesmas espécies anteriores, a ordem de concentração dos elementos em cada tecido analisado (Tabela 48). Os resultados

demonstram que, apesar de variações distintas para cada tecido e espécie, o ferro e o zinco foram os elementos que apresentaram maiores concentrações em todos os tecidos das espécies em análise. Além disso, o níquel, molibdênio e cromo foram os elementos de menor concentração na maioria dos tecidos.

O fígado mostra grande potencial em bioacumular vários elementos traço, essa característica está relacionada à grande tendência desses elementos reagirem com metalotioneínas, proteínas presente no fígado mas não nos músculos (FALLAH et al., 2011).

O músculo não é um tecido ativo na acumulação de elementos traço devido à sua taxa metabólica (ULUTURHAN E KUCUKSEZGIN, 2007) e sua avaliação e regulação é importante para estimar a quantidade do metal que entra no consumo humano (PHILLIPS, 1995), sendo assim, provavelmente por isso, o tecido de peixes mais pesquisado.

Entre os órgãos, as gônadas são muito importantes na transferência da contaminação para a próxima geração de peixes, resultando em mortes ou doenças, onde os peixes se tornam suscetíveis a efeitos deletérios já em seus estágios iniciais de vida (BANG et al., 2008).

5.3.2.3 *Variação Temporal da Concentração dos Elementos Traço Essenciais*

A avaliação da variação temporal nas concentrações nos tecidos investigados para Fe, Zn, Cu, Mn, Se, Cr, Ni e Mo entre o verão 2010-2011 e o verão 2011-2012 para *C. latus* e *L. synagris* demonstrou que, em geral, todos os elementos traço apresentaram tendência, em todos os tecidos de ambas as espécies investigadas, de apresentarem variações significativas entre os dois períodos de coleta (Tabelas

49 a 56). Apesar do músculo ser um tecido bastante ativo, apenas ele mostrou tendência a apresentar valores semelhantes tanto para *L. synagris* (Fe, Zn e Mn) como para o *C. latus* (Fe, Cu e Cr).

Tabela 48 - Ordem de concentração dos elementos traço encontradas em cada tecidos de *C. Latus*, *A. rhombidalis* e *L. lutjanus*

Espécies	Tecido	Ordem
<i>C. Latus</i>	Músculo	Fe>Zn>Se>Ni>Cu>Mn>Cr>Mo
	Guelra	Fe>Zn>Mn>Ni>Cu>Cr>Se>Mo
	Estômago	Fe>Zn>Se>Cu>Ni>Cr>Mn>Mo
	Fígado	Fe>Zn>Se>Ni>Cu>Mn>Cr>Mo
	Rim	Fe>Zn>Se>Cu>Cr>Mn>Ni>Mo
	Gônada	Zn>Fe>Se>Cu>Mn>Cr>Ni>Mo
<i>A. rhombidalis</i>	Músculo	Zn>Fe>Mn>Se>Cu>Cr>Ni>Mo
	Guelra	Zn>Fe>Mn>Se>Cu>Cr>Ni>Mo
	Estômago	Fe>Zn>Mn>Cu>Se>Ni>Cr>Mo
	Fígado	Zn>Fe>Mn>Se>Cu>Cr>Ni>Mo
	Rim	Fe>Zn>Se>Cr>Mn>Cu>Ni>Mo
	Gônada	Zn>Fe>Se>Cu>Mn>Cr>Ni>Mo
<i>L. lutjanus</i>	Músculo	Fe>Zn>Mn>Cu>Se>Cr>Ni>Mo
	Guelra	Fe>Zn>Mn>Cu>Ni>Cr>Se>Mo
	Estômago	Zn>Fe>Mn>Cu>Se>Cr>Ni>Mo
	Fígado	Fe>Zn>Mn>Cu>Se>Cr>Ni>Mo
	Rim	Fe>Zn>Se>Cu>Cr>Mn>Ni>Mo
	Gônada	Zn>Fe>Se>Cu>Mn>Cr>Ni>Mo

Tabela 49 - Avaliação da variação de concentração de ferro nos tecidos das espécies *L. synagris* e *C. latus* nos dois períodos de estudo ($\mu\text{g g}^{-1}$ peso úmido).

Tecido	N	<i>L. synagris</i>		N	<i>C. latus</i>	
		Verão 2010/2011	Verão 2011/2012		Verão 2010/2011	Verão 2011/2012
Músculo	07	6,64 ± 0,47	18,44 ± 0,57	11	19,42 ^a ± 0,16	19,51 ^b ± 1,20
Guelra	07	124,16 ^a ± 8,25	112,82 ^b ± 7,50	11	215,72 ± 9,39	522,95 ± 2,30
Estômago	07	95,94 ± 2,04	98,00 ± 1,63	11	111,95 ± 12,13	148,25 ± 35,90
Fígado	07	884,94 ^a ± 17,43	914,54 ^b ± 44,69	11	1442,34 ± 104,74	1083,81 ± 230,71
Rim	07	786,28 ^a ± 7,44	739,56 ^b ± 1,88	11	839,25 ^a ± 67,71	1430,71 ^b ± 69,46
Gônadas	07	48,49 ^a ± 0,24	54,91 ^b ± 0,66	11	54,39 ^a ± 4,32	73,26 ^b ± 4,69

N – número de amostra (espécimes) por tecidos.

Valores de médias na mesma linha com letras diferentes possuem diferença significativa ($p < 0,05$) entre os períodos de coleta.

Tabela 50 - Avaliação da variação de concentração de zinco nos tecidos das espécies *L. synagris* e *C. latus* nos dois períodos de estudo ($\mu\text{g g}^{-1}$ peso úmido).

Tecido	N	<i>L. synagris</i>		N	<i>C. latus</i>	
		Verão 2010/2011	Verão 2011/2012		Verão 2010/2011	Verão 2011/2012
Músculo	07	14,18 ± 0,02	21,74 ± 0,57	11	20,45 ^a ± 0,75	22,45 ^b ± 1,52
Guelra	07	76,73 ^a ± 1,87	105,08 ^b ± 0,33	11	83,54 ^a ± 1,66	77,81 ^b ± 1,96
Estômago	07	129,95 ± 5,86	107,64 ± 1,65	11	91,77 ^a ± 5,87	111,62 ^b ± 10,01
Fígado	07	313,29 ^a ± 0,33	234,51 ^b ± 5,78	11	76,91 ^a ± 1,82	75,91 ^b ± 4,41
Rim	07	92,36 ^a ± 1,06	74,79 ^b ± 0,36	11	309,24 ^a ± 12,51	456,77 ^b ± 0,10
Gônadas	07	224,91 ^a ± 1,35	222,12 ^b ± 0,36	11	458,06 ^a ± 32,45	246,69 ^b ± 9,16

N – número de amostra (espécimes) por tecidos.

Valores de médias na mesma linha com letras diferentes possuem diferença significativa ($p < 0,05$) entre os períodos de coleta.

Tabela 51 - Avaliação da variação de concentração de cobre nos tecidos das espécies *L. synagris* e *C. latus* nos dois períodos de estudo ($\mu\text{g g}^{-1}$ peso úmido).

Tecido	N	<i>L. synagris</i>		N	<i>C. latus</i>	
		Verão 2010/2011	Verão 2011/2012		Verão 2010/2011	Verão 2011/2012
Músculo	07	0,43 ^a ± 0,01	0,33 ^b ± 0,01	11	1,11 ± 0,04	1,03 ± 0,10
Guelra	07	4,14 ^a ± 0,06	3,12 ^b ± 0,20	11	2,38 ^a ± 0,06	3,41 ^b ± 0,21
Estômago	07	7,12 ^a ± 0,09	6,44 ^b ± 0,21	11	3,91 ^a ± 0,02	4,74 ^b ± 0,18
Fígado	07	11,10 ^a ± 0,29	9,01 ^b ± 0,30	11	5,19 ^a ± 0,06	6,82 ^b ± 0,09
Rim	07	4,42 ^a ± 0,10	3,16 ^b ± 0,08	11	3,63 ^a ± 0,05	3,92 ^b ± 0,04
Gônadas	07	2,61 ^a ± 0,06	2,87 ^b ± 0,18	11	1,67 ^a ± 0,02	1,86 ^b ± 0,05

N – número de amostra (espécimes) por tecidos.

Valores de médias na mesma linha com letras diferentes possuem diferença significativa ($p < 0,05$) entre os períodos de coleta.

Tabela 52 - Avaliação da variação de concentração de manganês nos tecidos das espécies *L. synagris* e *C. latus* nos dois períodos de estudo ($\mu\text{g g}^{-1}$ peso úmido).

Tecido	N	<i>L. synagris</i>		N	<i>C. latus</i>	
		Verão 2010/2011	Verão 2011/2012		Verão 2010/2011	Verão 2011/2012
Músculo	07	0,16 ± 0,004	0,16 ± 0,01	11	0,77 ^a ± 0,06	0,11 ^b ± 0,01
Guelra	07	11,03 ^a ± 0,99	29,22 ^b ± 0,46	11	13,38 ^a ± 0,17	18,02 ^b ± 0,74
Estômago	07	43,51 ^a ± 0,40	3,54 ^b ± 0,13	11	1,46 ^a ± 0,02	1,59 ^b ± 0,08
Fígado	07	15,38 ^a ± 0,16	3,62 ^b ± 0,06	11	3,00 ^a ± 0,02	4,07 ^b ± 0,15
Rim	07	2,34 ^a ± 0,02	3,80 ^b ± 0,02	11	2,23 ^a ± 0,01	1,32 ^b ± 0,08
Gônadas	07	1,09 ^a ± 0,02	1,41 ^b ± 0,02	11	1,33 ± 0,01	1,34 ± 0,07

N – número de amostra (espécimes) por tecidos.

Valores de médias na mesma linha com letras diferentes possuem diferença significativa ($p < 0,05$) entre os períodos de coleta.

Tabela 53 - Avaliação da variação de concentração de selênio nos tecidos das espécies *L. synagris* e *C. latus* nos dois períodos de estudo ($\mu\text{g g}^{-1}$ peso úmido).

Tecido	N	<i>L. synagris</i>		N	<i>C. latus</i>	
		Verão 2010/2011	Verão 2011/2012		Verão 2010/2011	Verão 2011/2012
Músculo	07	2,19 ^a ± 0,03	1,26 ^b ± 0,03	11	1,80 ^a ± 0,07	1,03 ^b ± 0,05
Guelra	07	0,88 ^a ± 0,02	2,57 ^b ± 0,08	11	1,03 ^a ± 0,06	1,44 ^b ± 0,03
Estômago	07	1,21 ^a ± 0,02	3,03 ^b ± 0,01	11	10,22 ^a ± 0,09	3,90 ^b ± 0,08
Fígado	07	4,72 ^a ± 0,06	6,99 ^b ± 0,22	11	12,50 ^a ± 0,23	6,06 ^b ± 0,31
Rim	07	4,92 ^a ± 0,12	8,73 ^b ± 0,09	11	14,56 ^a ± 0,32	19,36 ^b ± 0,64
Gônadas	07	2,06 ^a ± 0,06	4,23 ^b ± 0,21	11	4,34 ^a ± 0,17	2,06 ^b ± 0,04

N – número de amostra (espécimes) por tecidos.

Valores de médias na mesma linha com letras diferentes possuem diferença significativa ($p < 0,05$) entre os períodos de coleta.

Tabela 54 - Avaliação da variação de concentração de cromo nos tecidos das espécies *L. synagris* e *C. latus* nos dois períodos de estudo ($\mu\text{g g}^{-1}$ peso úmido).

Tecido	N	<i>L. synagris</i>		N	<i>C. latus</i>	
		Verão 2010/2011	Verão 2011/2012		Verão 2010/2011	Verão 2011/2012
Músculo	07	1,30 ^a ± 0,08	0,58 ^b ± 0,01	11	0,44 ± 0,03	0,43 ± 0,01
Guelra	07	1,04 ^a ± 0,03	1,43 ^b ± 0,09	11	1,86 ^a ± 0,01	0,55 ^b ± 0,01
Estômago	07	1,16 ^a ± 0,05	1,67 ^b ± 0,01	11	2,30 ^a ± 0,02	0,44 ^b ± 0,01
Fígado	07	2,73 ^a ± 0,04	1,64 ^b ± 0,02	11	2,65 ^a ± 0,05	0,45 ^b ± 0,02
Rim	07	3,12 ^a ± 0,04	2,22 ^b ± 0,03	11	2,94 ^a ± 0,06	0,35 ^b ± 0,02
Gônadas	07	0,67 ^a ± 0,02	1,80 ^b ± 0,06	11	0,87 ^a ± 0,01	0,26 ^b ± 0,01

N – número de amostra (espécimes) por tecidos.

Valores de médias na mesma linha com letras diferentes possuem diferença significativa ($p < 0,05$) entre os períodos de coleta.

Tabela 55 - Avaliação da variação de concentração de níquel nos tecidos das espécies *L. synagris* e *C. latus* nos dois períodos de estudo ($\mu\text{g g}^{-1}$ peso úmido).

Tecido	N	<i>L. synagris</i>		N	<i>C. latus</i>	
		Verão 2010/2011	Verão 2011/2012		Verão 2010/2011	Verão 2011/2012
Músculo	07	< 0,009	< 0,009	11	< 0,009	< 0,009
Guelra	07	2,12 ^a ± 0,21	3,35 ^b ± 0,30	11	4,76 ^a ± 0,11	1,02 ^b ± 0,04
Estômago	07	0,88 ^a ± 0,01	1,13 ^b ± 0,04	11	3,76 ^a ± 0,11	0,94 ^b ± 0,06
Fígado	07	1,90 ± 0,07	1,92 ± 0,05	11	5,88 ^a ± 0,10	0,34 ^b ± 0,02
Rim	07	5,86 ^a ± 0,09	4,53 ^b ± 0,04	11	9,11 ^a ± 0,10	1,81 ^b ± 0,09
Gônadas	07	0,07 ^a ± 0,01	0,75 ^b ± 0,02	11	0,21 ^a ± 0,01	0,09 ^b ± 0,01

N – número de amostra (espécimes) por tecidos.

Valores de médias na mesma linha com letras diferentes possuem diferença significativa ($p < 0,05$) entre os períodos de coleta.

Tabela 56 - Avaliação da variação de concentração de molibdênio nos tecidos das espécies *L. synagris* e *C. latus* nos dois períodos de estudo ($\mu\text{g g}^{-1}$ peso úmido).

Tecido	N	<i>L. synagris</i>		N	<i>C. latus</i>	
		Verão 2010/2011	Verão 2011/2012		Verão 2010/2011	Verão 2011/2012
Músculo	07	< 0,034	< 0,034	11	< 0,034	< 0,034
Guelra	07	0,037 ^a ± 0,002	0,025 ^b ± 0,002	11	0,074 ^a ± 0,003	0,045 ^b ± 0,003
Estômago	07	0,083 ^a ± 0,001	0,108 ^b ± 0,001	11	0,261 ^a ± 0,014	0,153 ^b ± 0,008
Fígado	07	0,75 ^a ± 0,01	0,500 ^b ± 0,003	11	0,680 ^a ± 0,009	0,587 ^b ± 0,022
Rim	07	0,653 ^a ± 0,006	0,209 ^b ± 0,002	11	1,068 ^a ± 0,048	0,136 ^b ± 0,015
Gônadas	07	< 0,034	< 0,034	11	< 0,034	< 0,034

N – número de amostra (espécimes) por tecidos.

Valores de médias na mesma linha com letras diferentes possuem diferença significativa ($p < 0,05$) entre os períodos de coleta.

5.3.2.4 Análise da Correlação Individual dos Elementos Traço Essenciais nos Tecidos

A análise de correlação (Spearman) e de regressão linear foi realizada para cada macroelemento. As matrizes scatterplots da correlação e seus p-valores estão nas Figuras 53 a 60.

As linhas de tendência das análises de regressão dos pares de tecidos que apresentaram maiores valores de coeficiente de determinação estão esboçadas nas Figuras 61 a 63.

Os resultados indicaram que o molibdênio não apresentou nenhuma correlação significativa entre os tecidos analisados (Figura 60). Foi verificado que os elementos ferro, selênio e cromo apresentaram pouca tendência de correlação significativa entre os tecidos analisados (Figuras 53, 57 e 58), tendo as seguintes correlações significativas: Ferro (músculo e guelra: $r = 0,74$; músculo e gônada $r = 0,62$); Selênio (Estômago e Fígado: $r = 0,70$; guelra e gônada: $r = 0,75$); Cromo (Estômago e guelra: $r = 0,86$; Fígado e rim: $r = 0,98$; guelra e gônada: $r = 0,72$).

Os elementos zinco, cobre, manganês e níquel apresentaram várias correlações significativas. O zinco apresentou correlações envolvendo, principalmente, as guelras e/ou estômago (Figura 54). A maioria das correlações do cobre envolveu os tecidos do estômago e fígado (Figura 55).

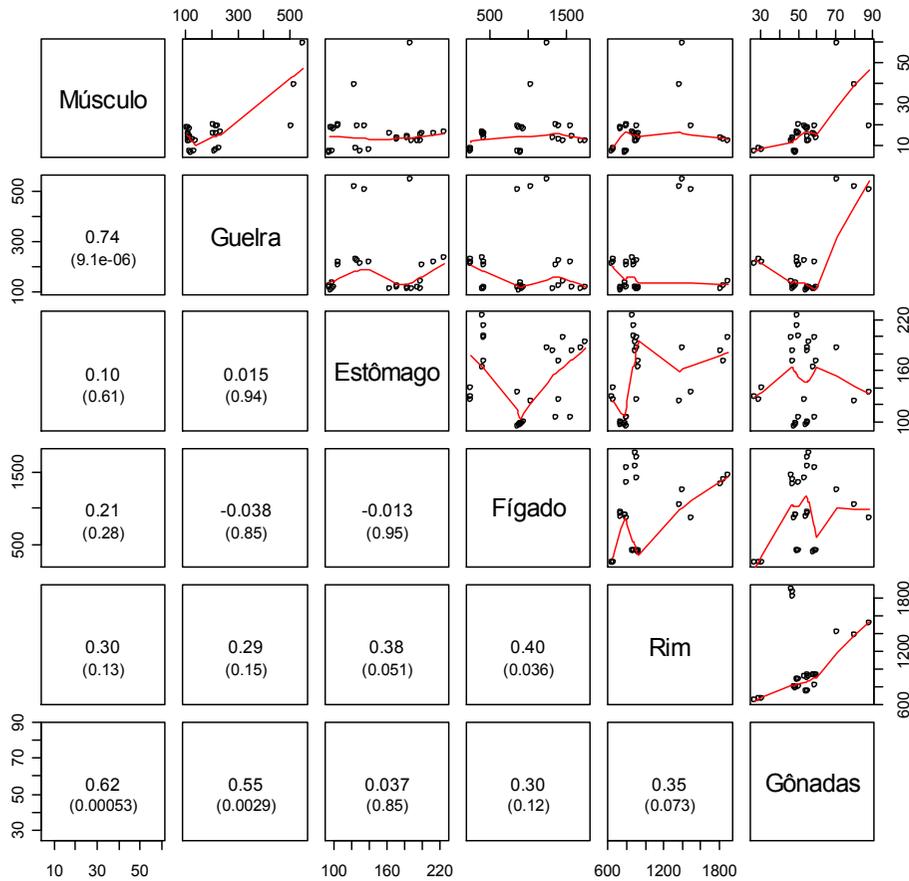


Figura 53 - Matriz scatterplots da correlação de Spearman para a concentração de ferro entre os tecidos analisados (N = 31)

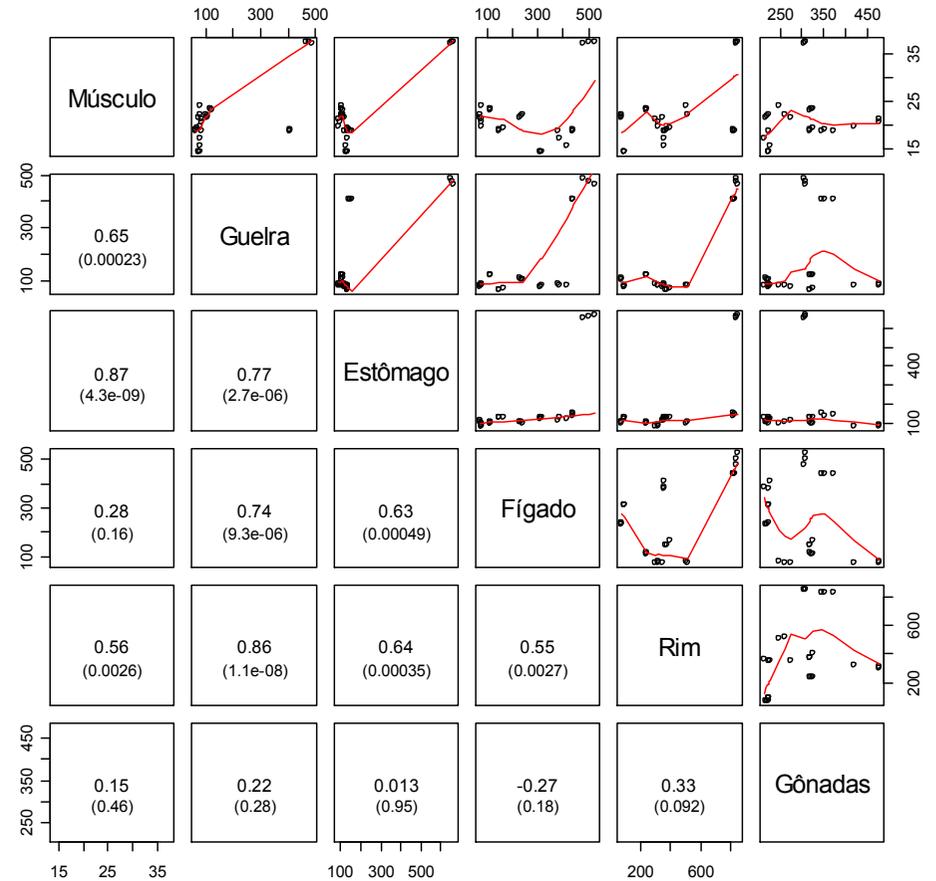


Figura 54 - Matriz scatterplots da correlação de Spearman para a concentração de zinco entre os tecidos analisados (N = 31).

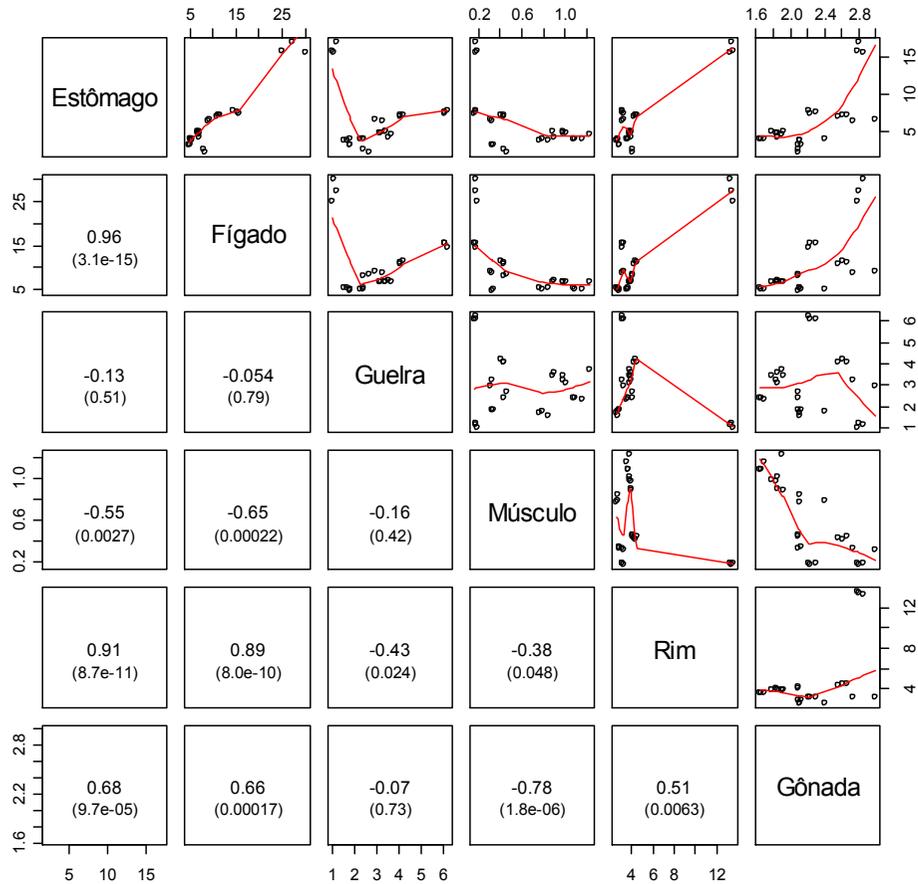


Figura 55 - Matriz scatterplots da correlação de Spearman para a concentração de cobre entre os tecidos analisados (N = 31)

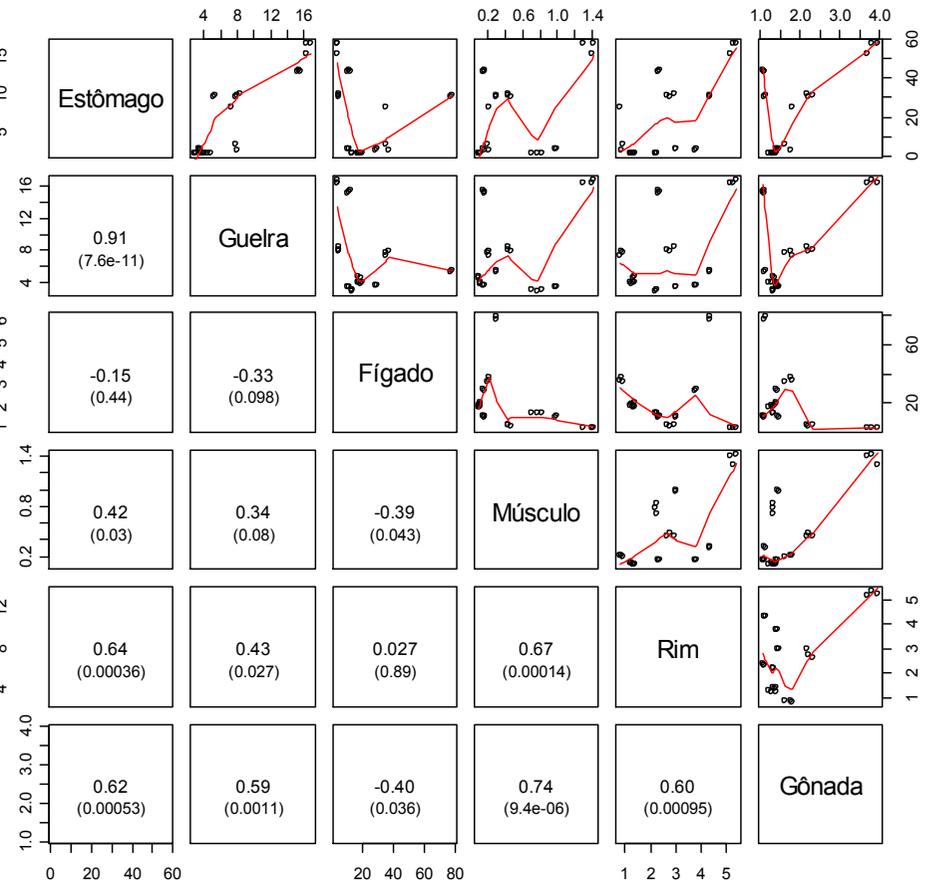


Figura 56 - Matriz scatterplots da correlação de Spearman para a concentração de manganês entre os tecidos analisados (N = 31).

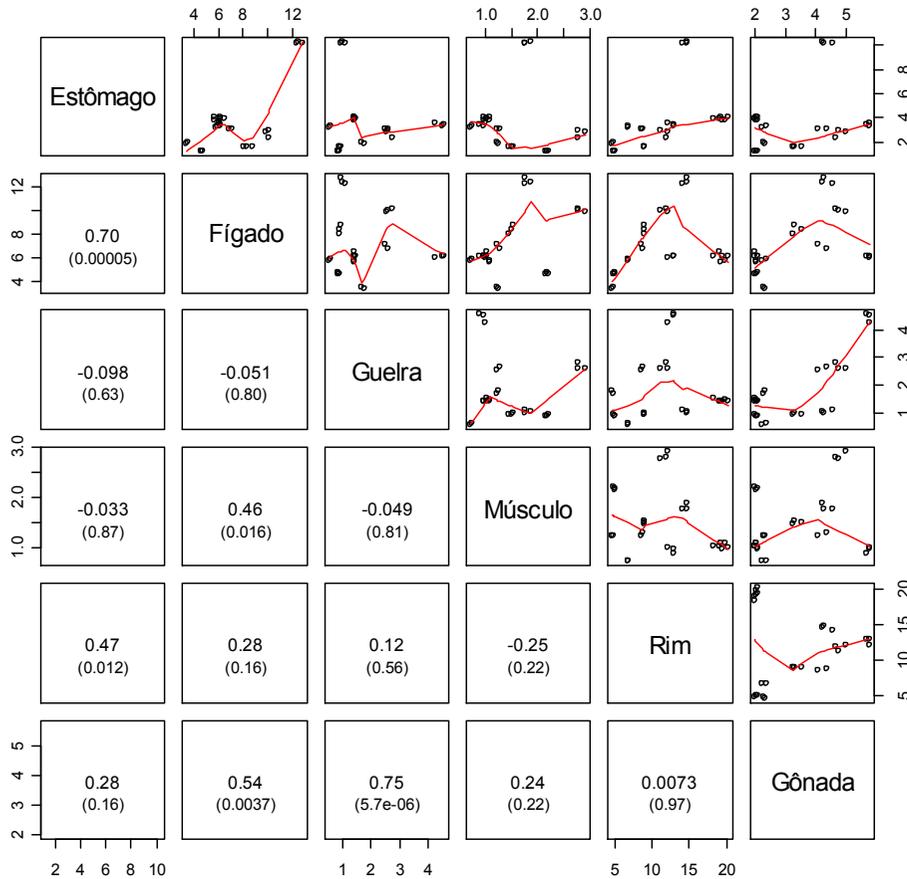


Figura 57 - Matriz scatterplots da correlação de Spearman para a concentração de selênio entre os tecidos analisados (N = 31)

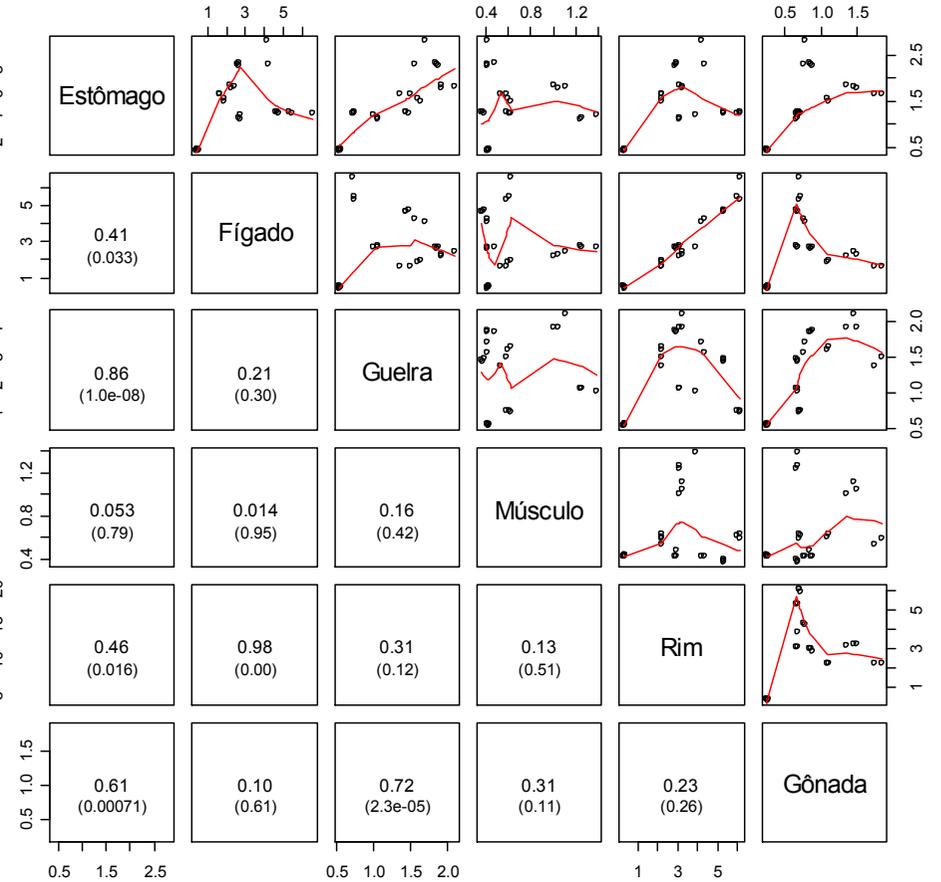


Figura 58 - Matriz scatterplots da correlação de Spearman para a concentração de cromo entre os tecidos analisados (N = 31).

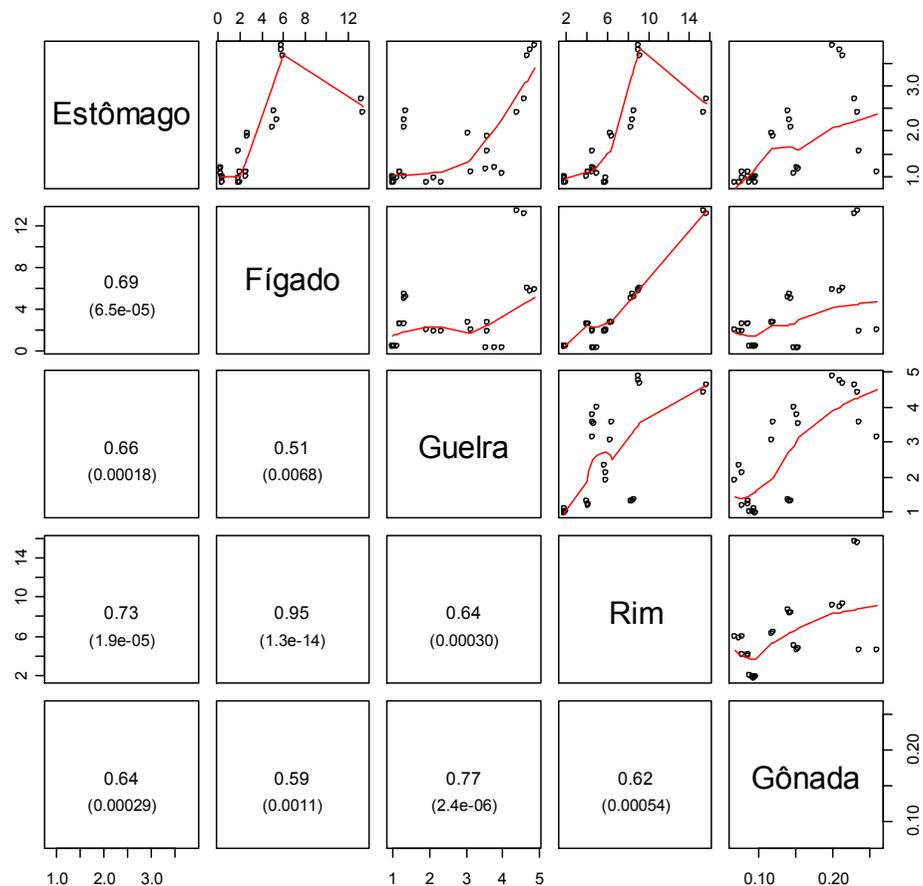


Figura 59 - Matriz scatterplots da correlação de Spearman para a concentração de níquel entre os tecidos analisados (N = 31).

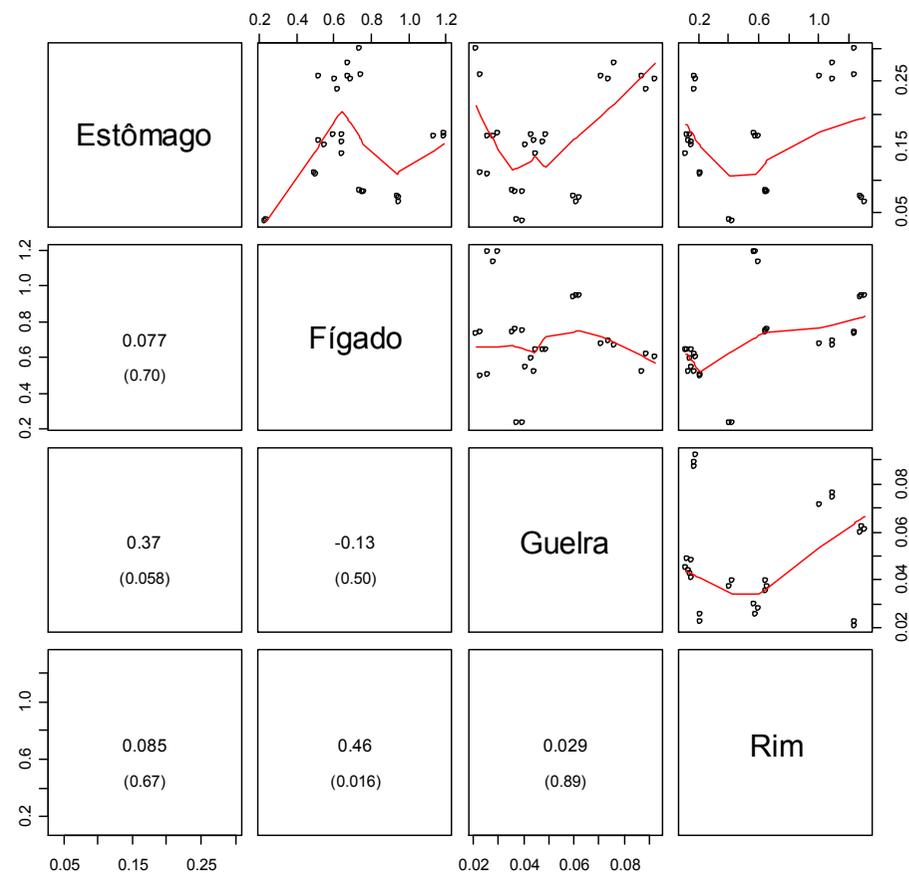


Figura 60 - Matriz scatterplots da correlação de Spearman para a concentração de molibdênio entre os tecidos analisados (N = 31).

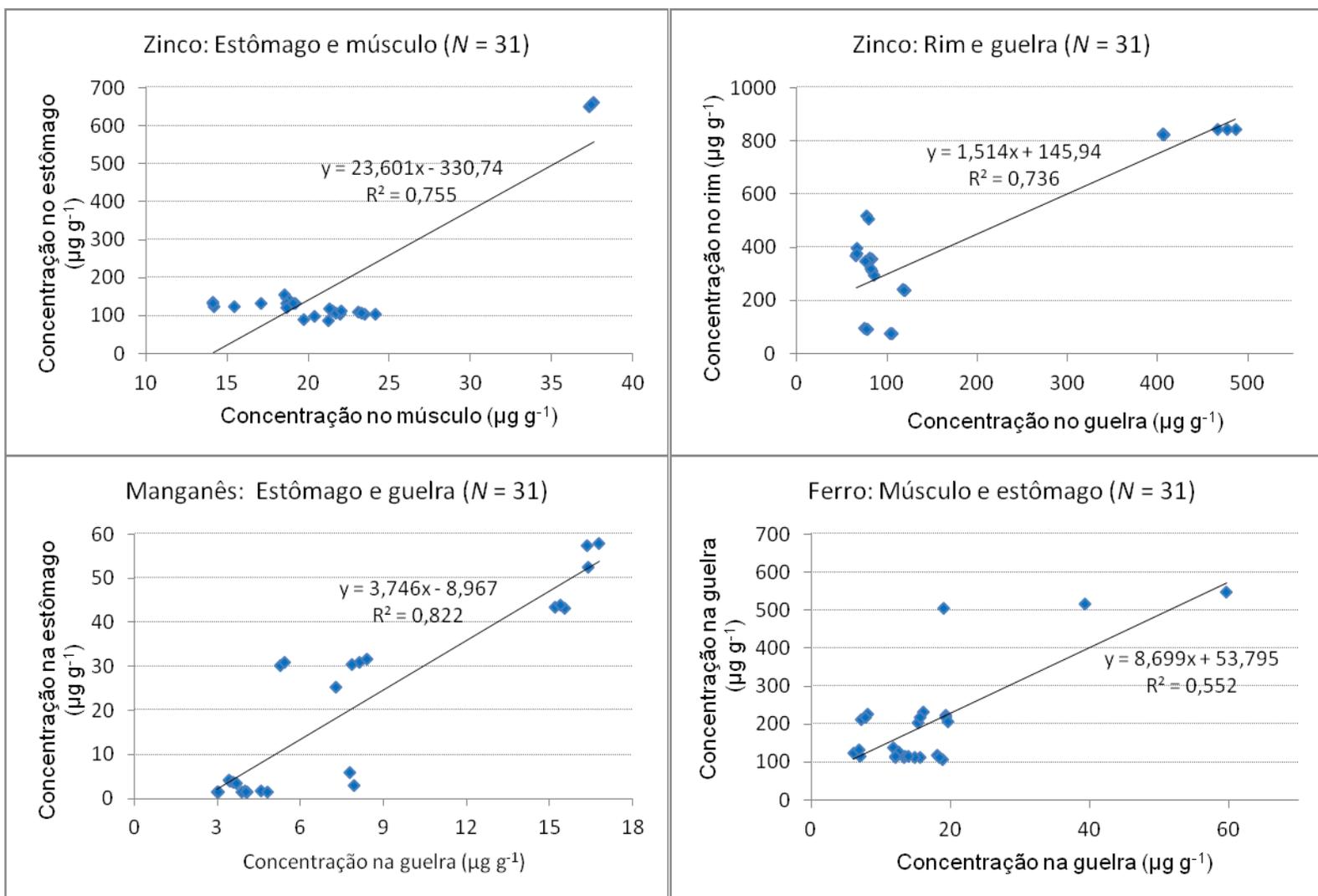


Figura 61 - Regressão Linear da correlação de tecidos com p-value relevante para a concentração de zinco, manganês e ferro.

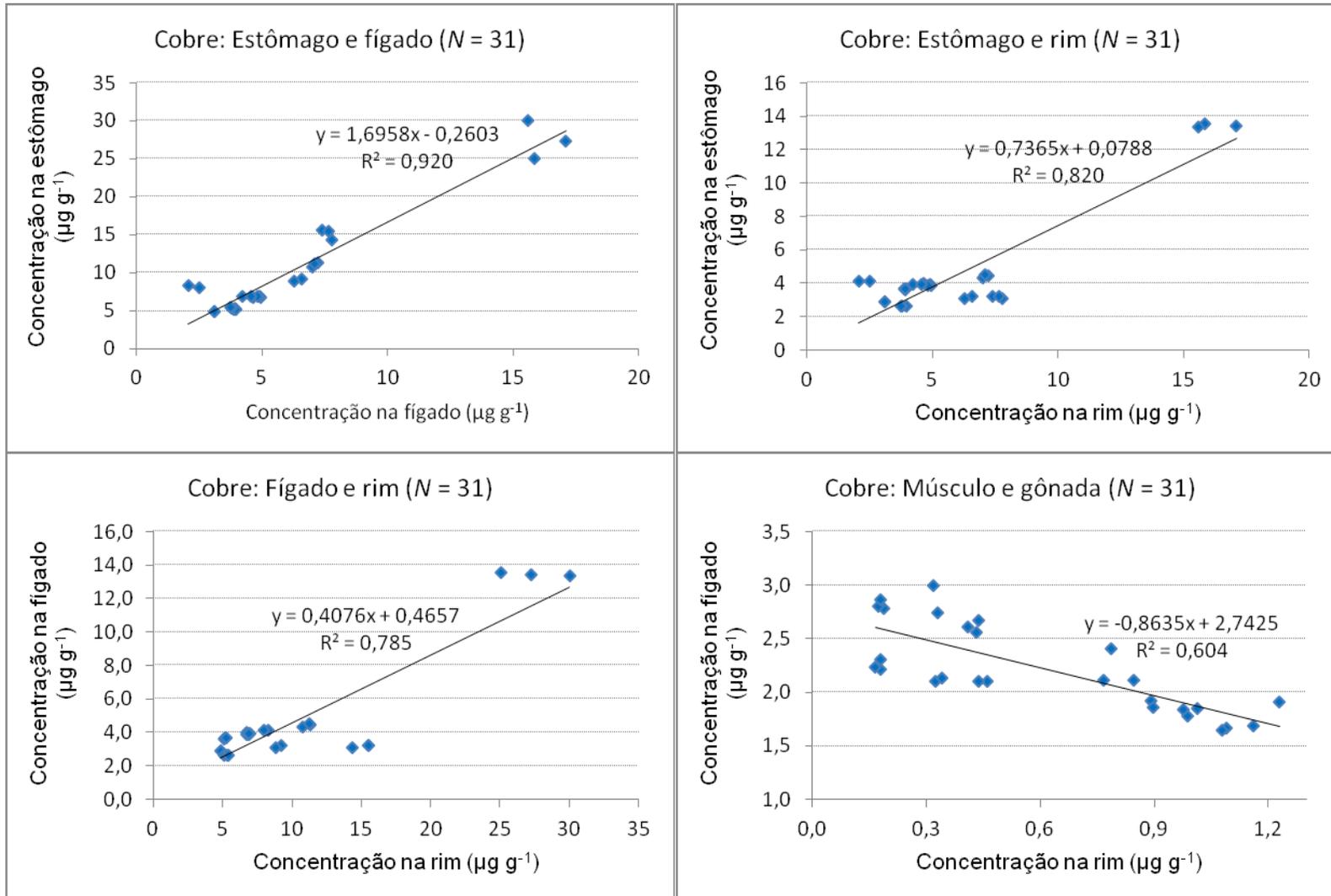


Figura 62 - Regressão Linear da correlação de tecidos com p-value relevante para a concentração do cobre.

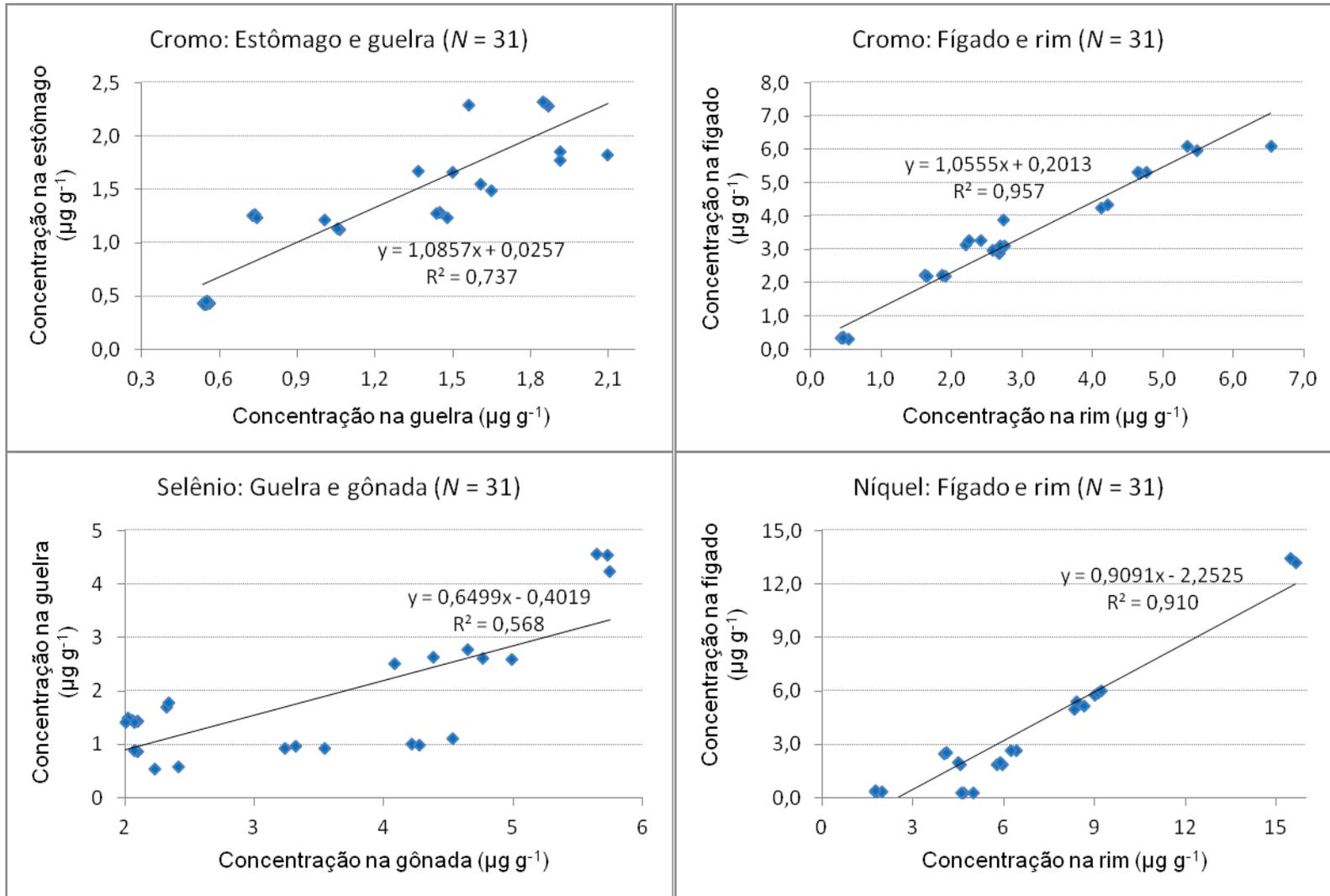


Figura 63 - Regressão Linear da correlação de tecidos com p-value relevante para a concentração de cromo, selênio e níquel.

5.3.3 Elementos Traço Não Essenciais (Cd, Pb, Li, Sb, As)

5.3.3.1 Concentração Individual nos Tecidos

Para cádmio e lítio, em todas as espécies analisadas, as concentrações nos tecido de músculo e gônadas foram abaixo do limite de detecção. Para o lítio, também para o rim as concentrações foram abaixo do LOQ.

Foi possível determinar chumbo apenas nos tecidos do segundo período de coleta, inclusive nos músculos (verão 2011 – 2012). Antimônio apresentou valores abaixo do LOQ em todas as amostras de tecidos analisados em ambos os períodos de coleta.

Para cádmio, verificaram-se as seguintes faixas de concentração, em $\mu\text{g g}^{-1}$ (peso seco): 0,093 a 0,525 nas guelras, de 0,159 a 1,366 no estômago, de 0,401 a 0,961 no fígado e de 0,047 a 0,081 no rim (Tabelas 57 e 58).

O elemento cádmio é relativamente raro na crosta terrestre e não é essencial para nenhum organismo conhecido. Ele entra no meio ambiente por fontes naturais e antropogênicas, podendo ser transportado pelo ar atmosférico ligado a finas partículas (BURGER, et al., 2007). Os organismos aquáticos são bioacumuladores em potencial desse elemento tóxico. Há evidências de bioacumulação em alguns organismos marinhos, onde podem concentrar cerca de 900 a 1600 vezes (PRAGER, 1995) ou 2000 a 4000 vezes (PESCH E STEWARD, 1980) acima da concentração encontrada na água marinha.

Os organismos aquáticos são bioacumuladores em potencial desse elemento tóxico. Há evidências de bioacumulação em alguns organismos marinhos, onde podem concentrar cerca de 900 a 1600 vezes (PRAGER, 1995) ou 2000 a 4000

Tabela 57 - Concentração de cádmio ($\mu\text{g g}^{-1}$) em tecidos nas espécies de peixes do Verão de 2010/2011

Tecidos	<i>C. latus</i>	<i>B. marinus</i>	<i>A. rhomboidalis</i>	<i>L. synagris</i>	<i>S. cavalla</i>
Verão 2010/2011					
Músculo	< 0,004	< 0,004	< 0,004	< 0,004	< 0,004
Guelra	0,093 ^{bc} \pm 0,004	< 0,004	0,525 ^{aA} \pm 0,033	< 0,004	< 0,004
Estômago	1,366 ^{aA} \pm 0,025	< 0,004	0,423 ^{bB} \pm 0,024	< 0,004	< 0,004
Fígado	0,822 ^{aB} \pm 0,004	< 0,004	0,401 ^{cB} \pm 0,010	< 0,004	0,533 ^{dA} \pm 0,016
Rim	0,056 ^{bd} \pm 0,004	< 0,004	0,081 ^{aC} \pm 0,006	< 0,004	0,060 ^{bB} \pm 0,001
Gônadas	< 0,004	< 0,004	< 0,004	< 0,004	< 0,004

Tabela 58 - Concentração de cádmio ($\mu\text{g g}^{-1}$) em tecidos nas espécies de peixes do Verão de 2011/2012

Tecidos	<i>C. latus</i>	<i>A. rhomboidalis</i>	<i>L. synagris</i>	<i>S. guachancho</i>
Verão 2011/2012				
Músculo	< 0,004	< 0,004	< 0,004	< 0,004
Guelra	0,127 ^{bc} \pm 0,007	< 0,004	0,248 ^{ab} \pm 0,017	< 0,004
Estômago	1,118 ^{bA} \pm 0,014	< 0,004	0,159 ^{aC} \pm 0,007	0,171 ^{aA} \pm 0,008
Fígado	0,961 ^{cB} \pm 0,024	< 0,004	0,481 ^{aA} \pm 0,003	0,540 ^{bB} \pm 0,020
Rim	0,072 ^{bd} \pm 0,003	< 0,004	0,047 ^{bd} \pm 0,001	< 0,004
Gônadas	< 0,004	< 0,004	< 0,004	< 0,004

Média \pm Desvio Padrão.

Nomes vulgares: *C. latus* – guaricema; *A. couma* – bagre; *A. rhomboidalis* – sambúio; *L. synagris* – vermelho; *S. cavalla* – cavala; *S. guachancho* – bicuda.

Valores de médias, na mesma coluna, com letras maiúsculas diferentes possuem diferença significativa ($p < 0,05$) entre os tecidos de mesma espécie.

Valores de médias, na mesma linha, com letras minúsculas diferentes possuem diferença significativa ($p < 0,05$) entre as espécies.

vezes (PESCH E STEWARD, 1980) acima da concentração encontrada na água marinha.

Apesar de cádmio ser um elemento tóxico, vários trabalhos reportam a sua presença em tecido de músculo (ALLINSON et al., 2009, TEPE et al., 2008, TÜRKMEN et al., 2008b, SCHMITT, et al., 2009, TÜRKMEN et al., 2009a, YILDIRIM et al., 2009, MEUCCI et al., 2009). Nesse trabalho, as concentrações de cádmio nos músculos foram abaixo do limite de detecção ($< 0,004 \mu\text{g g}^{-1}$).

Dentre os tecidos analisados, o fígado apresentou as concentrações mais elevadas em *C. latus* coletados em ambos os períodos de coleta. Os valores encontrados são similares com alguns trabalhos reportados na literatura (Tabela 59).

Para chumbo, apenas as espécie *A. rhomboidalis* e *L. synagris*, coletadas no verão de 2010-2011 (Tabela 60), apresentaram concentrações detectáveis nos tecidos de estômago ($0,475$ a $0,528 \mu\text{g g}^{-1}$), guelra ($0,477$ a $0,600 \mu\text{g g}^{-1}$) e fígado ($0,502 \mu\text{g g}^{-1}$). Dessa forma, cerca de 20% das amostras apresentaram concentrações detectáveis de chumbo.

Chumbo não possui efeitos benéficos ou nutritivos, sendo um metal tóxico, sendo absorvido pelo organismo e se acumula nos tecidos do homem e de outros animais. A exposição humana a altas concentrações de chumbo pode produzir consequências severas, como lesão de cérebro, cólica intestinal, paralisias, anemia e morte (CAMPBELL, 2000).

As concentrações mais elevadas de chumbo foram encontradas nas guelras, sugerindo a biodisponibilidade desse elemento no ambiente onde os peixes habitavam. Os tecidos de estômago e guelras são poucos pesquisados quanto aos elementos traço contaminantes, havendo poucos trabalhos na literatura para comparar prováveis similaridades.

Tabela 59 - Concentração ($\mu\text{g g}^{-1}$ peso úmido) de cádmio no fígado de diversas espécies de peixes pesquisados em outras regiões. Média \pm SD (Min – Max)

Espécie	Local	Concentração	Ref.
Fígado			
<i>Belone belone</i>	Turquia	0,03 - 1,13	Türkmen et al., 2009b
<i>Pomatomus saltatrix</i>	Turquia	0,03 - 0,80	Türkmen et al., 2009b
<i>Oreochromis niloticus</i>	Sri Lanka	0,30 – 1,14	Allinson et al., 2009
<i>Mullus barbatus</i>	Turquia	0,04 – 0,13	Tepe et al., 2008
<i>Carassius carassius L.</i>	Turquia	0,09 \pm 0,04	Fidan et al., 2008
<i>Engraulis encrasicolus L.</i>	Turquia	0,06 – 0,24	Türkmen et al., 2008b
<i>Spicara smaris L.</i>	Turquia	0,07 – 0,69	Türkmen et al., 2008b
Várias Espécies	Brasil	0,28 \pm 0,09 (0,09 - 0,22)	Este trabalho*

* Os valores foram convertidos para peso úmido.

Tabela 60 - Concentração de chumbo ($\mu\text{g g}^{-1}$) em tecidos nas espécies de peixes do Verão de 2011/2012

Tecidos	<i>C. latus</i>	<i>A. rhomboidalis</i>	<i>L. synagris</i>	<i>S. guachancho</i>
Verão 2011/2012				
Músculo	< 0,010	0,082 ^{bc} \pm 0,003	0,096 ^{ac} \pm 0,003	< 0,010
Guelra	< 0,010	0,600 ^{aA} \pm 0,014	0,477 ^{bB} \pm 0,012	< 0,010
Estômago	< 0,010	0,528 ^{ab} \pm 0,020	0,475 ^{bB} \pm 0,009	< 0,010
Fígado	< 0,010	< 0,010	0,502 ^D \pm 0,006	< 0,010
Rim	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010
Gônadas	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010

Média \pm Desvio Padrão. N – número de espécimes coletadas de cada espécie.

Valores de médias, na mesma coluna, com letras minúsculas diferentes possuem diferença significativa ($p < 0,05$) entre as espécies.

Valores de médias, na mesma linha, com letras maiúsculas diferentes possuem diferença significativa ($p < 0,05$) entre os tecidos de mesma espécie.

ALLINSON et al. (2009) e FIDAN et al. (2008) pesquisaram concentrações de chumbo nas guelas de peixes encontrando os valores de ($\mu\text{g g}^{-1}$ peso úmido): 1,46 \pm 1,18; 2,30 \pm 1,62 e 0,02 \pm 0,01 a 0,08 \pm 0,04, respectivamente. Neste trabalho, a faixa de concentração encontrada, convertida para peso úmido, foi entre 0,110 a 0,138 $\mu\text{g g}^{-1}$.

O fígado é o segundo tecido mais pesquisado (Tabela 61). Para este tecido, os valores de chumbo encontrados neste trabalho foram bem menores que os reportados para diversas espécies de peixes pesquisadas em outras regiões (ALHAS et al., 2009; TÜRKMEN et al., 2009b; TEPE et al., 2008; TÜRKMEN et al., 2008b).

Tabela 61 - Concentração ($\mu\text{g g}^{-1}$ peso úmido) de chumbo no fígado de diversas espécies de peixes pesquisados em outras regiões. Média \pm SD (Min – Max)

Espécie	Local	Concentração	Ref.
Fígado			
<i>Scorpaena porcus</i>	Turquia	0,83 \pm 0,19	Türkmen et al., 2008
<i>Scorpaena aurata</i>	Turquia	1,11 \pm 0,28	Türkmen et al., 2008
<i>Merlangius merlangus</i>	Turquia	0,66 – 5,20	Tepe et al., 2008
<i>Mullus barbatus</i>	Turquia	0,38 – 2,46	Tepe et al., 2008
<i>Engraulis encrasicolus L.</i>	Turquia	0,44 – 3,38	Türkmen et al., 2008
<i>Spicara smaris L.</i>	Turquia	0,26 – 2,48	Türkmen et al., 2008
Várias Espécies	Brasil	0,115 \pm 0,002	Este trabalho*

* Os valores foram convertidos para peso úmido.

Para lítio, as faixas de concentrações encontradas foram ($\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco): 0,10 a 1,38 nas guelras, de 0,09 a 1,34 no estômago e de 0,14 a 0,32 no fígado (Tabelas 62 e 63 e Figuras 64 e 65).

O lítio foi determinado em todos os peixes coletados. Suas concentrações foram mais elevadas que às encontradas para o cádmio e o chumbo para o mesmo tecido. Ele também teve maior tendência em se bioacumular em tecidos da guelra, estômago e fígado.

O elemento lítio apresenta propriedades essenciais (NIELSEN, 1988), mas não é considerado um elemento essencial (SAWASDEE et al., 2011). Ele é um

Tabela 62 - Concentração de lítio ($\mu\text{g g}^{-1}$) em tecidos nas espécies de peixes do Verão de 2010/2011

Tecidos	<i>C. latus</i>	<i>B. marinus</i>	<i>A. rhomboidalis</i>	<i>L. synagris</i>	<i>S. cavalla</i>
Verão 2010/2011					
Músculo	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009
Guelra	0,81 ^{bA} ± 0,01	0,58 ^{dA} ± 0,01	0,10 ^{eC} ± 0,08	0,89 ^{aB} ± 0,01	0,75 ^{cB} ± 0,01
Estômago	0,61 ^{dB} ± 0,01	0,17 ^{dB} ± 0,01	1,34 ^{aA} ± 0,01	1,06 ^{cA} ± 0,04	1,19 ^{bA} ± 0,03
Fígado	0,16 ^{bC} ± 0,01	0,14 ^{cC} ± 0,01	0,14 ^{cB} ± 0,01	0,22 ^{aC} ± 0,01	0,13 ^{cC} ± 0,00
Rim	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009
Gônadas	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009

Tabela 63 - Concentração de lítio ($\mu\text{g g}^{-1}$) em tecidos nas espécies de peixes do Verão de 2011/2012

Tecidos	<i>C. latus</i>	<i>A. rhomboidalis</i>	<i>L. synagris</i>	<i>S. guachancho</i>
Verão 2011/2012				
Músculo	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009
Guelra	0,64 ^{dA} ± 0,04	1,38 ^{aA} ± 0,05	0,83 ^{cB} ± 0,04	1,27 ^{bA} ± 0,01
Estômago	0,57 ^{cB} ± 0,02	0,09 ^{dC} ± 0,01	0,79 ^{bA} ± 0,01	0,85 ^{aB} ± 0,02
Fígado	0,15 ^{cC} ± 0,01	0,14 ^{cB} ± 0,01	0,28 ^{bC} ± 0,01	0,32 ^{aC} ± 0,01
Rim	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009
Gônadas	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009

Média ± Desvio Padrão.

Nomes vulgares: *C. latus* – guaricema; *A. couma* – bagre; *A. rhomboidalis* – sambúio; *L. synagris* – vermelho; *S. cavalla* – cavala; *S. guachancho* – bicuda.

Valores de médias, na mesma coluna, com letras maiúsculas diferentes possuem diferença significativa ($p < 0,05$) entre os tecidos de mesma espécie.

Valores de médias, na mesma linha, com letras minúsculas diferentes possuem diferença significativa ($p < 0,05$) entre as espécies.

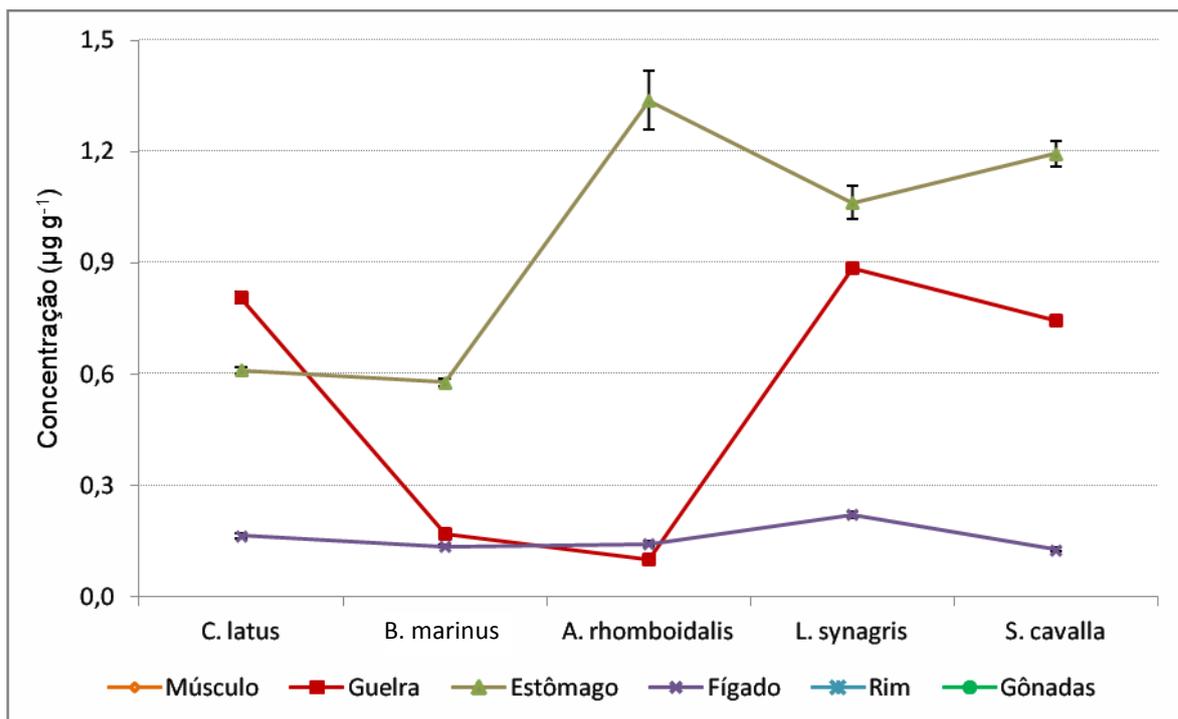


Figura 64 - Concentração de lítio nos diversos tecidos das espécies pesquisadas no Verão 2010-2011

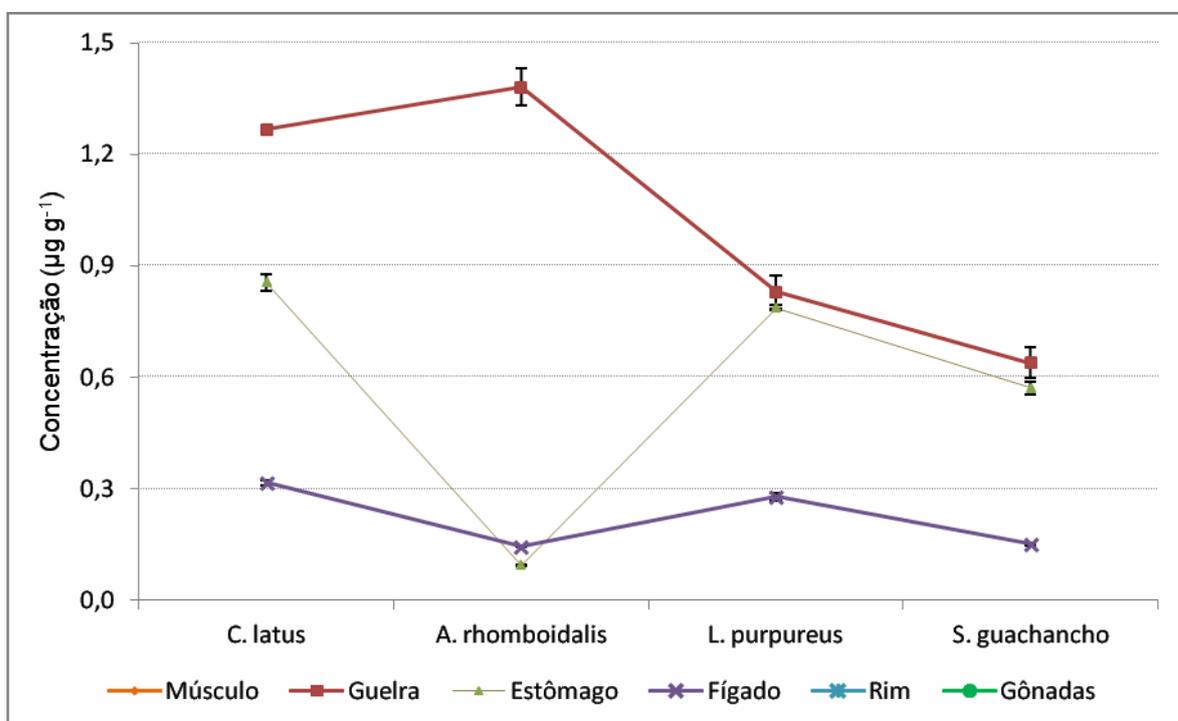


Figura 65 - Concentração de lítio nos diversos tecidos das espécies pesquisadas no Verão 2011-2012

elemento tóxico quando encontrado no plasma em níveis superiores a $10 \mu\text{g mL}^{-1}$, sendo considerado o metal alcalino mais leve. É encontrado na natureza em baixíssimas concentrações, nos animais e nos humanos tem sido encontrado em torno de 2 a 200 ng g^{-1} peso úmido (VIANA, 2008).

As maiores concentrações de lítio encontradas foram nas guelras e estômago, o que sugere que sua principal via de incorporação no peixe é por meio na ingestão alimentar ou de água do ambiente que o peixe habita. Poucos trabalhos reportam concentrações de lítio em tecidos de peixes. Fidan et al. (2008); Guérin et al. (2011) encontraram concentrações de lítio nas seguintes faixas de concentrações ($\mu\text{g g}^{-1}$ peso úmido): Fígado ($0,15 \pm 0,01$ e $0,57 \pm 0,17$); Guelra ($0,22 \pm 0,01$ a $0,30 \pm 0,021$). Nesse trabalho, as concentrações encontradas e convertidas para peso úmido foram: Fígado ($0,030 \pm 0,005$ a $0,073 \pm 0,002$); e Guelra ($0,023 \pm 0,02$ a $0,317 \pm 0,01$).

Não há informações consistentes sobre os efeitos do lítio em humanos (TSALTAS et al., 2009) e a ANVISA não estabelece o valor máximo de lítio ingerido em alimentos.

Arsênio foi o único elemento traço contaminante determinado em todos os tecidos analisados de todas as espécies analisadas. Foram obtidas as seguintes faixas de concentrações, em $\mu\text{g g}^{-1}$ (peso seco): 2,08 a 5,17 nos músculos, 0,49 a 18,57 nas guelras, 1,14 a 27,31 no estômago, 5,00 a 16,42 no fígado, 3,78 a 11,33 no rim, e de 3,55 a 14,02 nas gônadas (Tabelas 64 e 65 e Figuras 66 e 67).

O arsênio é liberado para o meio ambiente por meio de fontes naturais e antropogênicas. Entretanto, a atividade antropogênicas tem aumentado a sua concentração no meio ambiente (CULIOLI et al., 2009). Este elemento pode ser encontrado na forma de compostos inorgânicos e orgânicos que apresentam

Tabela 64 - Concentração de arsênio ($\mu\text{g g}^{-1}$) em tecidos nas espécies de peixes do Verão de 2010/2011

Tecidos	<i>C. latus</i>	<i>B. marinus</i>	<i>A. rhomboidalis</i>	<i>L. synagris</i>	<i>S. cavalla</i>
Verão 2010/2011					
Músculo	4,26 ^{bB} ± 0,19	4,21 ^{bC} ± 0,16	2,55 ^{cD} ± 0,17	4,78 ^{aC} ± 0,10	2,08 ^{dD} ± 0,05
Guelra	3,07 ^{aD} ± 0,08	0,49 ^{dE} ± 0,05	2,41 ^{cD} ± 0,15	2,77 ^{bD} ± 0,14	0,59 ^{dE} ± 0,05
Estômago	4,48 ^{aB} ± 0,08	1,14 ^{bD} ± 0,11	1,28 ^{bE} ± 0,13	1,38 ^{bE} ± 0,04	4,75 ^{aB} ± 0,19
Fígado	5,00 ^{dA} ± 0,14	6,28 ^{bA} ± 0,09	8,57 ^{aA} ± 0,52	6,02 ^{bCA} ± 0,17	5,28 ^{cdAB} ± 0,49
Rim	3,78 ^{dC} ± 0,11	5,33 ^{bB} ± 0,01	7,41 ^{aB} ± 0,26	4,73 ^{cC} ± 0,02	5,71 ^{bA} ± 0,38
Gônadas	4,87 ^{bA} ± 0,11	5,26 ^{aB} ± 0,07	3,55 ^{cC} ± 0,11	5,26 ^{aB} ± 0,12	3,54 ^{cC} ± 0,13

Tabela 65 - Concentração de arsênio ($\mu\text{g g}^{-1}$) em tecidos nas espécies de peixes do Verão de 2011/2012

Tecidos	<i>C. latus</i>	<i>A. rhomboidalis</i>	<i>L. synagris</i>	<i>S. guachancho</i>
Verão 2011/2012				
Músculo	2,38 ^{cd} ± 0,08	1,28 ^{dd} ± 0,04	2,73 ^{be} ± 0,21	5,17 ^{ad} ± 0,03
Guelra	3,69 ^{ca} ± 0,20	2,83 ^{cc} ± 0,09	18,57 ^{ab} ± 0,59	13,01 ^{ba} ± 0,59
Estômago	3,53 ^{cc} ± 0,12	7,62 ^{ca} ± 0,05	27,31 ^{aA} ± 1,50	12,37 ^{ba} ± 0,24
Fígado	7,43 ^{ce} ± 0,46	9,08 ^{da} ± 0,06	16,42 ^{ac} ± 0,42	13,70 ^{ba} ± 0,21
Rim	4,69 ^{cb} ± 0,18	4,24 ^{ca} ± 0,12	9,79 ^{bd} ± 0,02	11,33 ^{ab} ± 0,38
Gônadas	5,00 ^{cb} ± 0,18	7,78 ^{db} ± 0,16	14,02 ^{ab} ± 0,52	8,38 ^{bc} ± 0,11

Média ± Desvio Padrão.

Nomes vulgares: *C. latus* – guaricema; *A. couma* – bagre; *A. rhomboidalis* – sambúio; *L. synagris* – vermelho; *S. cavalla* – cavala; *S. guachancho* – bicuda.

Valores de médias, na mesma coluna, com letras maiúsculas diferentes possuem diferença significativa ($p < 0,05$) entre os tecidos de mesma espécie.

Valores de médias, na mesma linha, com letras minúsculas diferentes possuem diferença significativa ($p < 0,05$) entre as espécies.

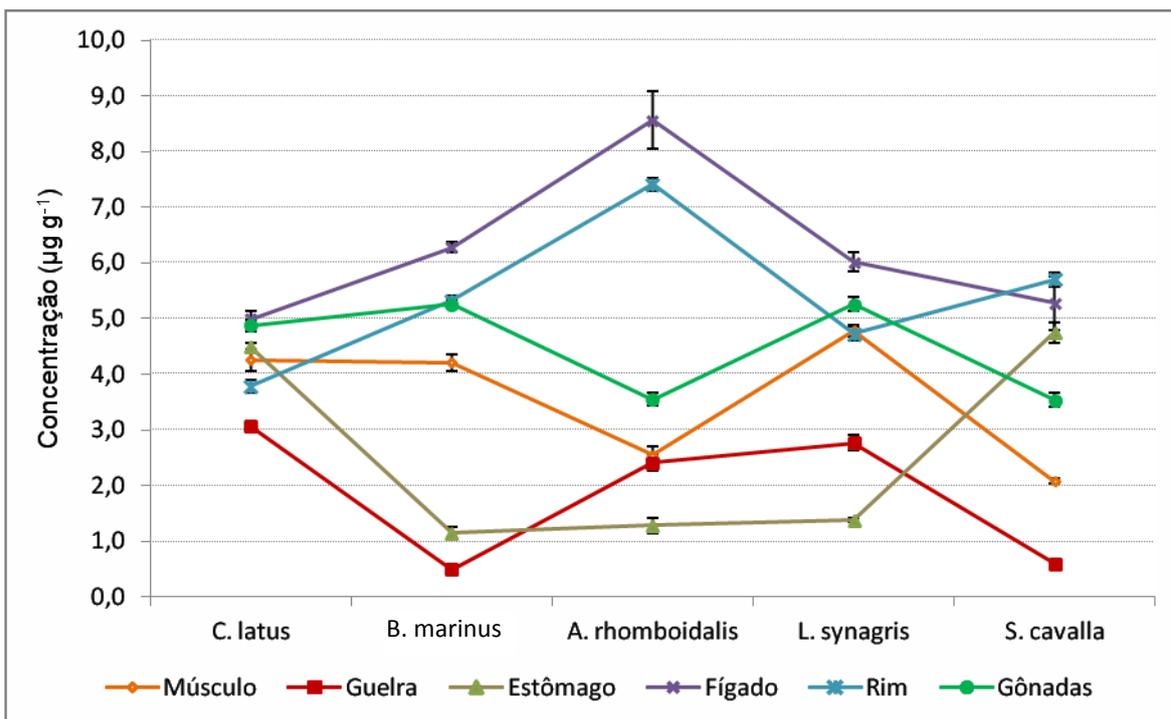


Figura 66 - Concentração de arsênio nos Diversos tecidos das espécies pesquisadas no Verão 2010-2011

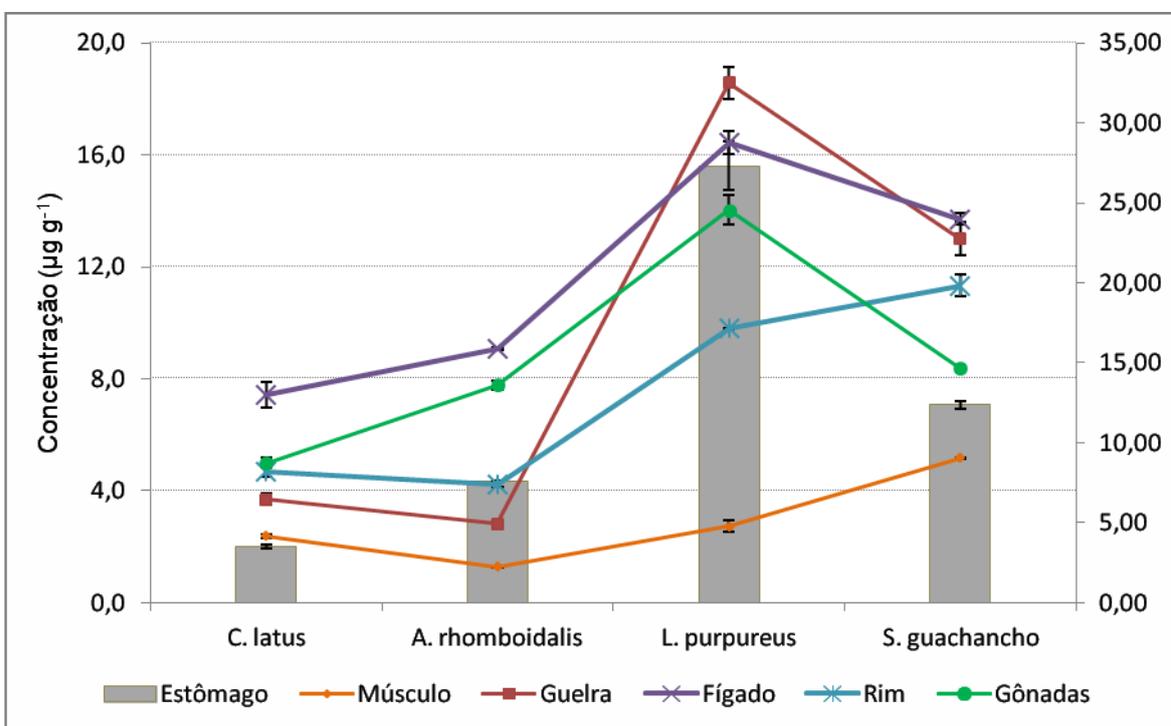


Figura 67 - Concentração de arsênio nos Diversos tecidos das espécies pesquisadas no Verão 2011-2012

diferentes níveis de toxicidade. Altas concentrações de arsênio são normalmente encontradas em organismos marinhos. Os níveis de toxicidade de arsênio são bem estabelecidos, pois compostos de arsênio são facilmente absorvidos, tanto oralmente quanto por inalação, sendo a extensão da absorção dependente da solubilidade do composto. Arsênio(III) e As(V) são as espécies mais tóxicas, já classificadas como carcinogênicas, enquanto arsenobetaína e arsenocolina, que são as espécies encontradas nos organismos marinhos, são relativamente não tóxicas. Segundo a literatura, a concentração de arsênio em organismos marinhos varia de 1 $\mu\text{g g}^{-1}$ a mais de 30 $\mu\text{g g}^{-1}$ de arsênio. (PETRPULU et al., 1997; REYES et al., 2009; LÓPEZ-GARCIA et al., 2011).

As concentrações de arsênio encontradas nos tecidos de músculo neste trabalho (0,44 a 1,18 $\mu\text{g g}^{-1}$ peso úmido) foram semelhante à maioria das concentrações encontradas em músculos de algumas espécies pesquisadas por Falco et al. (2006), onde encontraram valores na faixa de $0,99 \pm 1,25$ a $15,39 \pm 17,77 \mu\text{g g}^{-1}$ peso úmido.

Concentrações similares também foram encontradas por Ciardullo et al. (2008), onde encontraram concentrações de arsênio na faixa de $0,399 \pm 0,100$ a $0,948 \pm 0,148$ ($\mu\text{g g}^{-1}$ peso úmido) em *Oncorhyncus mykiss*.

Os autores também pesquisaram concentrações de arsênio em outros tecidos de *O. mykiss*, encontrando as seguintes faixas de concentração ($\mu\text{g g}^{-1}$ peso úmido): Guelras: 0,156 a 0,320; Fígado: 0,167 a 0,377; RiM: 0,215 a 0,425.

As concentrações ($\mu\text{g g}^{-1}$) encontradas nesse trabalho, para esses tecidos, convertidas para peso úmido ($\mu\text{g g}^{-1}$), foram: Guelra: 0,112 a 4,26; Fígado: 1,15 a 3,77; Rim: 0,869 a 2,604. Dessa forma, os valores encontrados foram maiores,

exceto para a guelra de *B. marinus* e *S. cavalla*, onde os valores encontrados foram similares aos encontrados por Falcó et al. (2006).

Os valores encontrados neste trabalho para o arsênio sugerem maior atenção e necessidade de análise de especiação química de forma a definir as concentrações das espécies de arsênio nos peixes coletados na região em estudo.

5.3.3.2 Variação da Concentração de Elementos Traço Contaminantes entre os Tecidos

Considerando os resultados obtidos para os elementos traço contaminantes Cd, Pb, Li e As foi observada variação significativa entre os tecidos analisados (Tabelas 57, 58 60, 62 a 65).

Não houve uma tendência bem definida da ordem de distribuição desses elementos entre os tecidos analisados (Tabela 66). Entretanto, os tecidos do estômago e do fígado apresentaram maior tendência em bioacumular esses elementos traço. Essa tendência foi similar a diversos trabalhos reportados na literatura (Tabela 67).

Como já discutido, o fígado é um tecido com grande potencial em bioacumular elementos traço. Essa característica está relacionada à tendência desses elementos reagirem com metalotioneínas, proteínas presente no fígado (FALLAH et al., 2011), o que pode ser a causa provável de se encontrar altas concentrações dos elementos traço nesse tecido.

5.3.3.3 Variação Temporal da Concentração dos Elementos Contaminantes

A variação na concentração para o cádmio, entre os períodos de coleta (verão 2010 – 2011 e verão 2011 – 2012) foi possível apenas com a espécie *L. synagris*. Para chumbo, não foi possível fazer essa comparação, devido ele não ter sido encontrado nas espécies de peixes coletadas no segundo período de coleta.

Todos os elementos traço contaminantes apresentaram diferença significativa nas suas concentrações entre o verão de 2010 – 2011 e o verão de 2011 – 2012, em todos os tecidos (Tabelas 68 a 70), exceto a concentração do arsênio nas gônadas de *C. latus* (Tabela 70).

Tabela 66 - Ordem de concentração dos elementos traço encontradas em tecidos de *C. Latus*, *A. rhombidalis* e *L. lutjanus*

Espécies	Elemento	Ordem
<i>C. Latus</i>	Cd	E>F>G>R
	Li	G>E>F
	As	F>S>R>E>G>M
<i>A. rhombidalis</i>	Cd	G>E=F>R
	Pb	E>G>M
	Li	E>F>G
	As	F>S>R>G>M>E
<i>L. synagris</i>	Cd	F>G>E>R
	Pb	E>G>F>M
	Li	G>E>F
	As	F>G>E>S>R>M

Legenda: F: Fígado; R: Rim; G: Guelra; E: Estômago; S: Gônada; M: Músculo.

Tabela 67 - Distribuição de alguns elementos traço em tecidos de peixe

Metal	Tendência de Concentração nos Tecidos	Referência
Pb	Fígado > Guelra > Rim > Músculo	[1]
	Fígado > Músculo	[2][4][6]
	Fígado > Rim > Músculo	[5]
	Fígado > Gônadas > Músculo	[8]
Cd	Fígado > Músculo	[2][4][6][9]
	Fígado > Guelra > Músculo	[3]
	Fígado > Rim > Músculo	[5]
	Fígado > Gônadas > Músculo	[8]
As	Fígado > Guelra > Esqueleto > Músculo	[7]
	Fígado > Rim > Músculo	[5]
Li	Fígado > Guelra > Músculo	[3]

Referências citadas: [1] ALHAS et al., 2009; [2] TÜRKMEN et al., 2009b; [3] ALLINSON et al., 2009; [4] TEPE et al., 2008; [5] FIDAN et al., 2008; [6] TÜRKMEN et al., 2008b; [7] TUZEN, 2009; [8] ULUTURHAN e KUCUKSEZGIN, 2007; [9] ALLINSON et al., 2009

Tabela 68 - Avaliação da variação de concentração de cádmio nos tecidos da espécie *C. latus* nos dois períodos de estudo ($\mu\text{g g}^{-1}$ peso úmido).

Tecido	N	Verão 2010/2011	Verão 2011/2012
Músculo	11	< 0,004	< 0,004
Guelra	11	0,093 ^a ± 0,004	0,127 ^b ± 0,007
Estômago	11	1,366 ^a ± 0,025	1,118 ^b ± 0,014
Fígado	11	0,822 ^a ± 0,004	0,961 ^b ± 0,024
Rim	11	0,056 ^a ± 0,004	0,072 ^b ± 0,003
Gônadas	11	< 0,004	< 0,004

N – número de amostra (espécimes) por tecidos.

Valores de médias na mesma linha com letras diferentes possuem diferença significativa ($p < 0,01$) entre os períodos de coleta.

5.3.3.4 Análise da Correlação Individual dos Elementos Contaminantes nos Tecidos

As matrizes de correlação de Spearman para os elementos traço contaminantes estão mostradas nas Figuras 68 a 71 e os gráficos de regressão linear dos pares de tecidos que apresentaram os maiores coeficientes de determinação, estão apresentados nas Figuras 72 e 73.

As análises dos resultados revelam que os elementos traço contaminantes arsênio e chumbo não apresentaram tendências associativas nas suas concentrações entre os tecidos. Cádmio também apresentou pouca tendência, mas, foi verificada correlação significativa nos seguintes pares de tecidos: estômago e guelra ($r = - 0,76$) e Fígado e rim ($r = - 0,71$).

Em contrapartida, arsênio apresentou alta tendência de correlação entre os tecidos, especialmente envolvendo o estômago. Os pares de tecidos com alta significância de correlação foram: estômago e fígado ($r = 0,84$); estômago e guelra ($r = 0,94$); estômago e rim ($r = 0,70$), estômago e gônada ($r = 0,95$); fígado e guelra ($r = 0,93$); fígado e rim ($r = 0,90$); fígado e gônada ($r = 0,83$); guelra e rim ($r = 0,80$) e guelra e gônada ($r = 0,91$).

Dessa forma, a bioacumulação do arsênio nos outros tecidos está provavelmente associada com a concentração presente no tecido do estômago, exceto no músculo.

Tabela 69 - Avaliação da variação de concentração de lítio nos tecidos das espécies *L. synagris* e *C. latus* nos dois períodos de estudo ($\mu\text{g g}^{-1}$ peso úmido).

Tecido	N	<i>L. synagris</i>		N	<i>C. latus</i>	
		Verão 2010/2011	Verão 2011/2012		Verão 2010/2011	Verão 2011/2012
Músculo	07	< 0,009	< 0,009	11	< 0,009	< 0,009
Guelra	07	0,89 ^a ± 0,01	0,83 ^b ± 0,04	11	0,81 ^a ± 0,01	0,64 ^b ± 0,04
Estômago	07	1,06 ^a ± 0,04	0,79 ^b ± 0,01	11	0,61 ^a ± 0,01	0,57 ^b ± 0,01
Fígado	07	0,22 ^a ± 0,01	0,28 ^b ± 0,01	11	0,16 ^a ± 0,01	0,15 ^b ± 0,01
Rim	07	< 0,009	< 0,009	11	< 0,009	< 0,009
Gônadas	07	< 0,009	< 0,009	11	< 0,009	< 0,009

N – número de amostra (espécimes) por tecidos.

Valores de médias na mesma linha com letras diferentes possuem diferença significativa ($p < 0,05$) entre os períodos de coleta.

Tabela 70 - Avaliação da variação de concentração de arsênio nos tecidos das espécies *L. synagris* e *C. latus* nos dois períodos de estudo ($\mu\text{g g}^{-1}$ peso úmido).

Tecido	N	<i>L. synagris</i>		N	<i>C. latus</i>	
		Verão 2010/2011	Verão 2011/2012		Verão 2010/2011	Verão 2011/2012
Músculo	07	4,78 ^a ± 0,10	2,73 ^b ± 0,21	11	4,26 ^a ± 0,19	2,38 ^b ± 0,08
Guelra	07	2,77 ^a ± 0,14	18,57 ^b ± 0,59	11	3,07 ^a ± 0,08	3,69 ^b ± 0,20
Estômago	07	1,38 ^a ± 0,04	27,31 ^b ± 1,50	11	4,48 ^a ± 0,08	3,53 ^b ± 0,12
Fígado	07	6,02 ^a ± 0,17	16,42 ^b ± 0,42	11	5,00 ^a ± 0,14	7,43 ^b ± 0,46
Rim	07	4,73 ^a ± 0,02	9,79 ^b ± 0,02	11	3,78 ^a ± 0,11	4,69 ^b ± 0,18
Gônadas	07	5,26 ^a ± 0,12	19,02 ^b ± 0,52	11	4,87 ± 0,11	5,00 ± 0,18

N – número de amostra (espécimes) por tecidos.

Valores de médias na mesma linha com letras diferentes possuem diferença significativa ($p < 0,05$) entre os períodos de coleta.

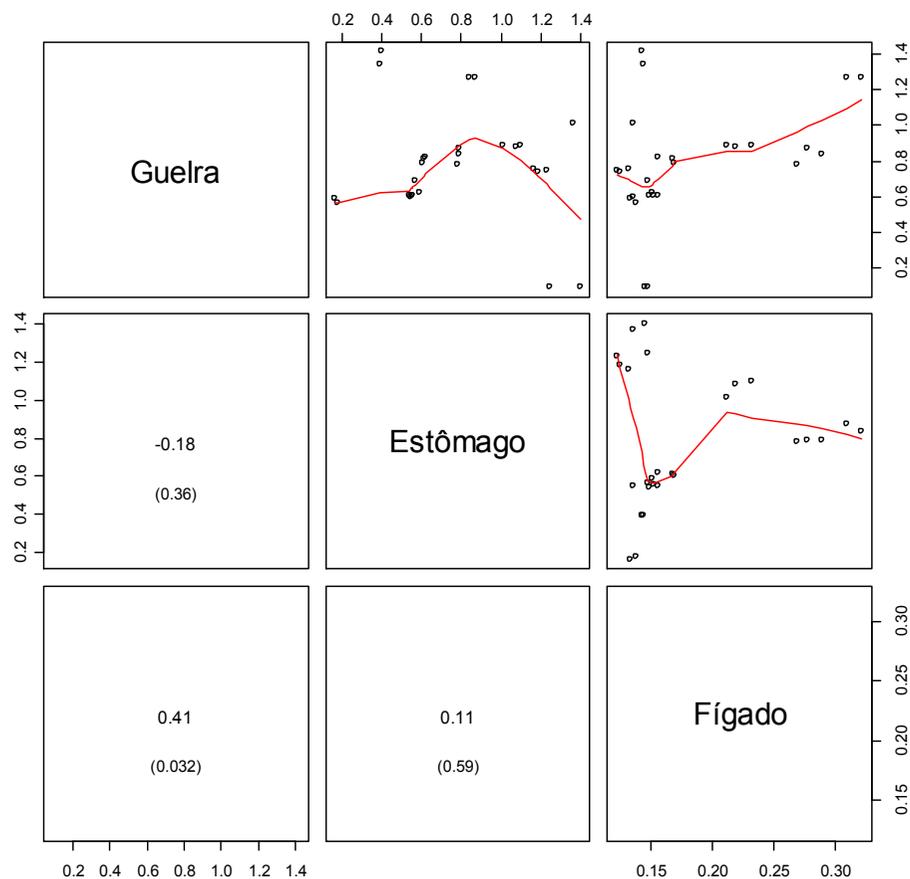


Figura 68 - Matriz scatterplots da correlação de Spearman e seus p-values correspondentes para a concentração de chumbo entre os tecidos analisados (N = 31).

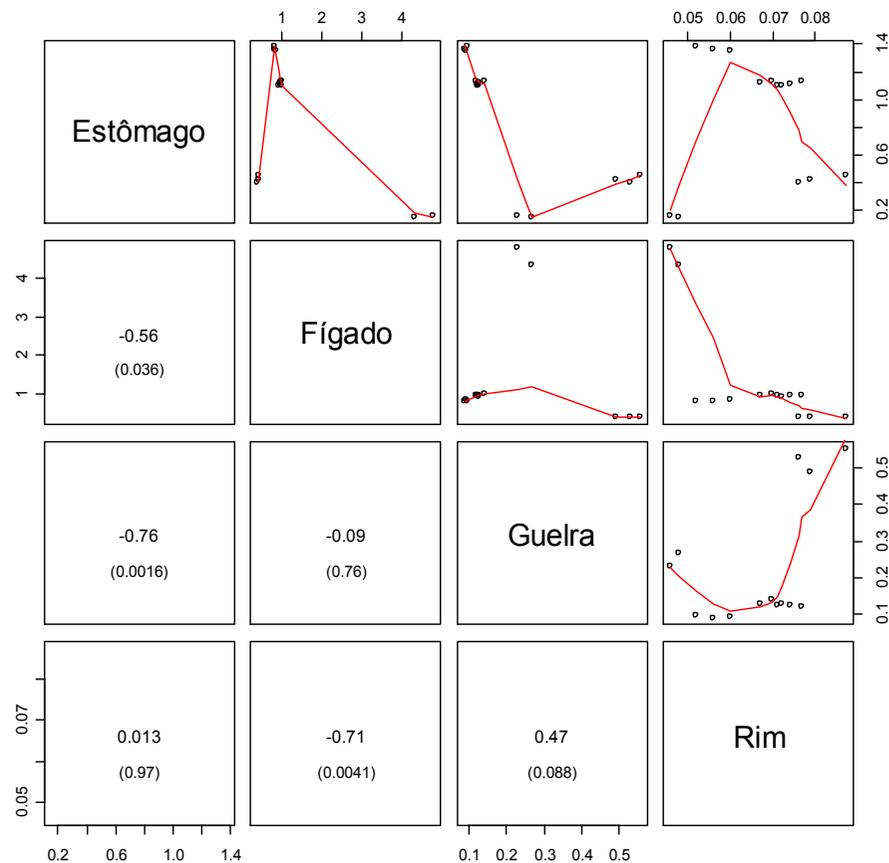


Figura 69 - Matriz scatterplots da correlação de Spearman e seus p-values correspondentes para a concentração de cádmio entre os tecidos analisados (N = 31).

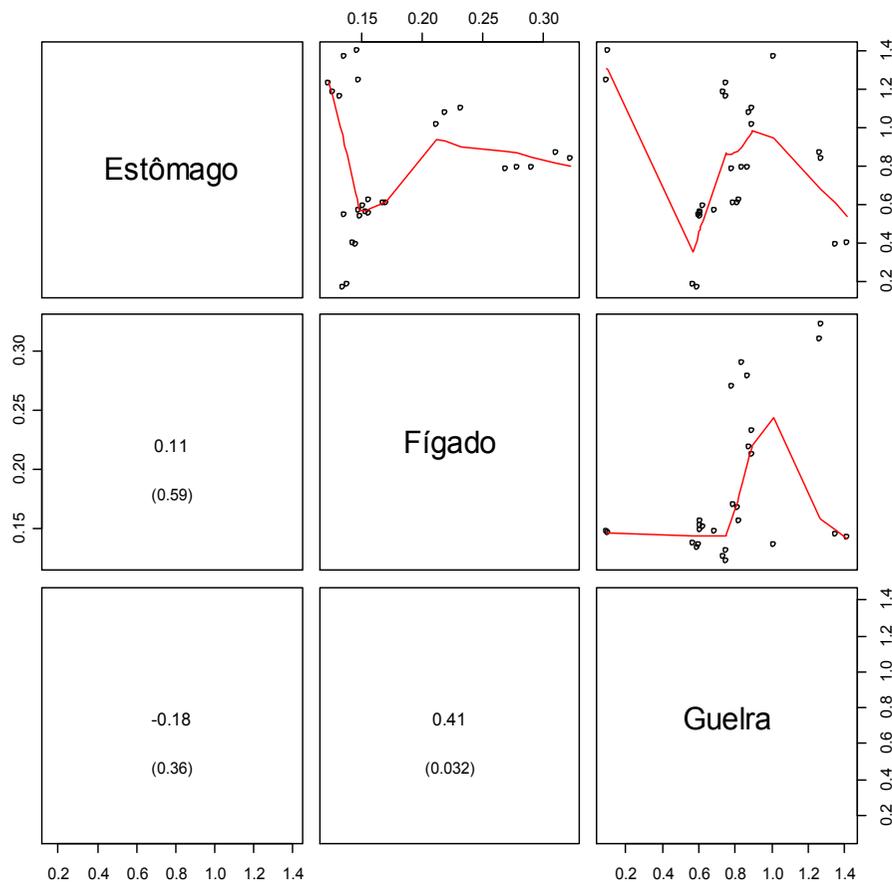


Figura 70 - Matriz scatterplots da correlação de Spearman e seus p-values correspondentes para a concentração de lítio entre os tecidos analisados (N = 31).

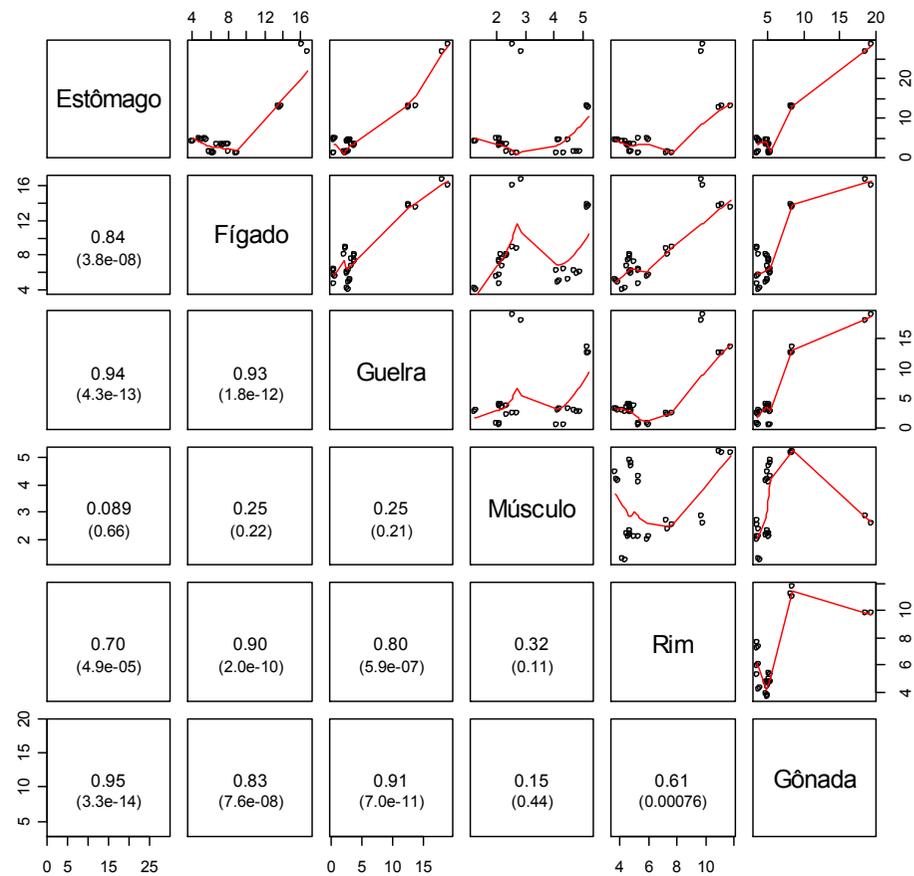


Figura 71 - Matriz scatterplots da correlação de Spearman e seus p-values correspondentes para a concentração de arsênio entre os tecidos analisados (N = 31).

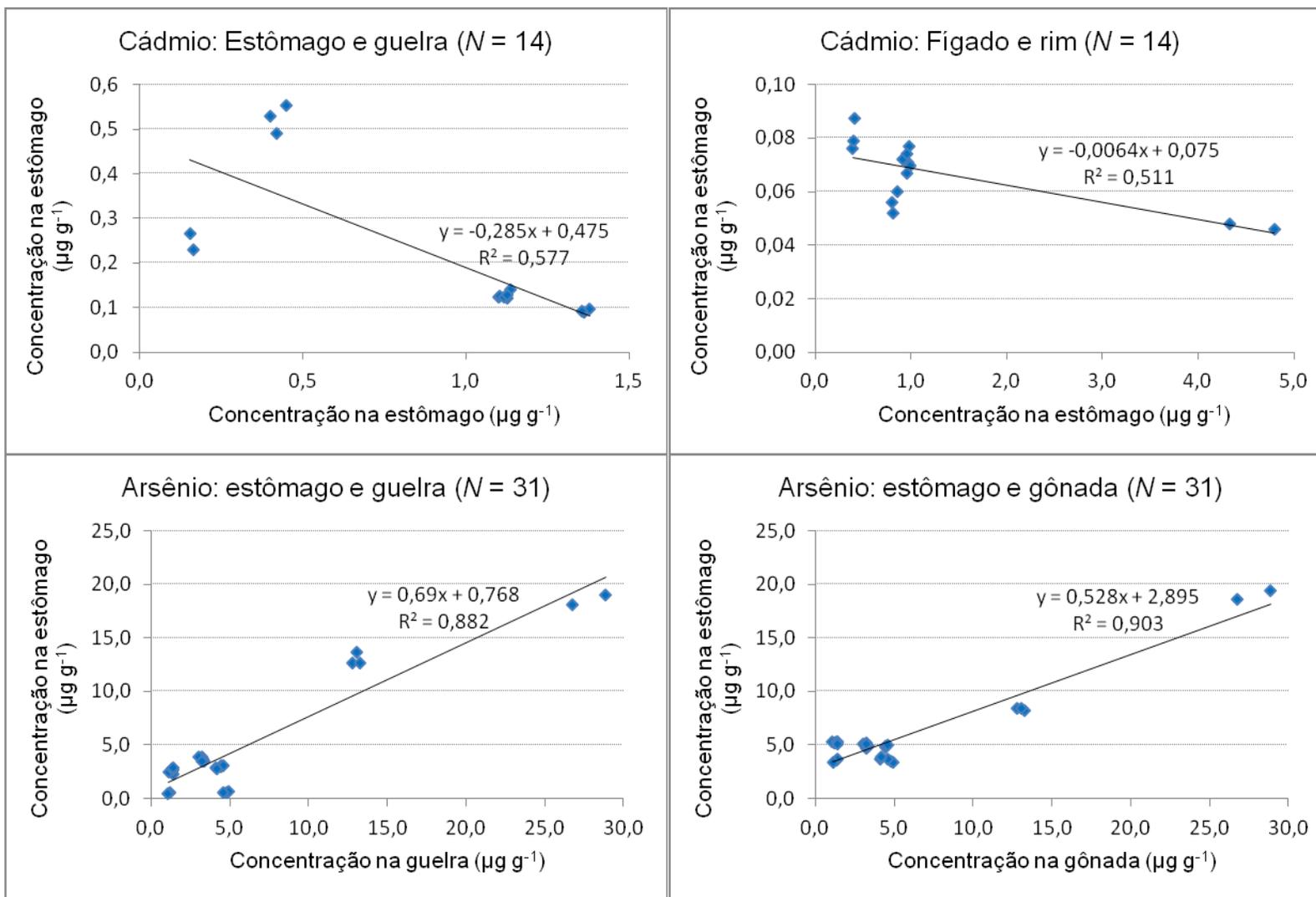


Figura 72 - Regressão Linear da correlação de tecidos com p-value relevante para a concentração do cádmio e lítio.

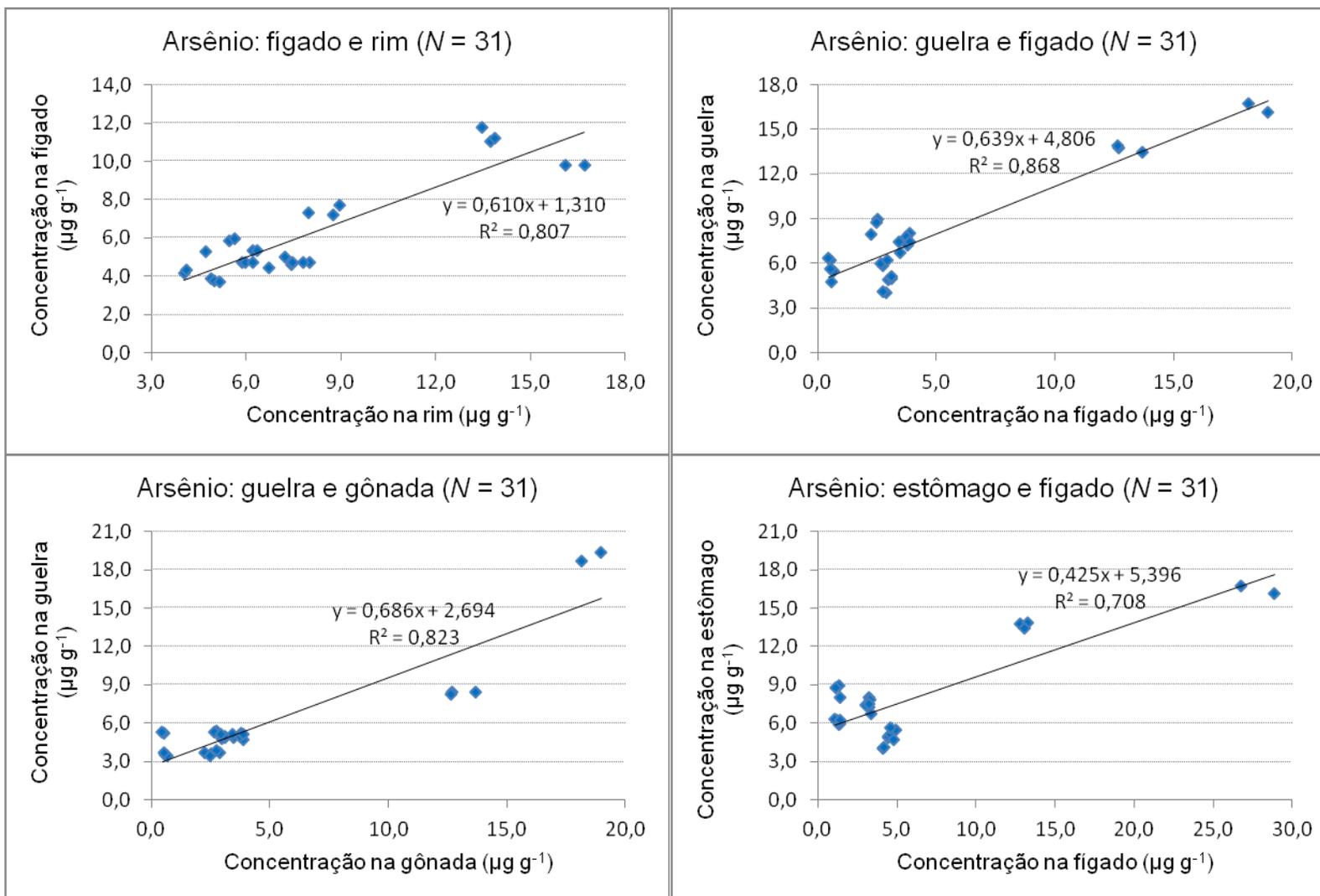


Figura 73 - Regressão Linear da correlação de tecidos com p-value relevante para a concentração do arsênio.

5.4 AVALIAÇÕES DO RISCO À SAÚDE HUMANA

No Brasil a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), pelo decreto nº 55.871, de 26 de março de 1965 e o Ministério da Saúde, pela Portaria 685 -980 estabelecem valores máximos permitidos em alimentos para os seguintes elementos químicos: Zn, Cu, Cr, Se, Ni, Pb, Cd, As.

De acordo com as concentrações encontradas nos tecidos de músculo analisados neste trabalho e os valores máximos estabelecidos pela legislação (Tabela 71), observou-se que os elementos zinco, cobre, níquel, chumbo e cádmio apresentaram concentrações muito abaixo dos limites toleráveis para alimentos.

Tabela 71 - Comparação das faixas de concentrações dos elementos químicos com os seus valores máximos permitidos pela legislação brasileira vigente ($\mu\text{g g}^{-1}$ peso úmido)

Elementos	Legislação Vigente*	Faixa de Concentração Encontrada
Zn	50,0	3,26 a 8,61
Cu	30,0	0,04 a 0,25
Cr	0,10	0,09 a 0,30
Se	0,30	0,17 a 0,50
Ni	5,0	< 0,005
Pb	2,0	0,019 a 0,022
Cd	1,0	< 0,001
As	1,0	0,48 a 1,19

* Decreto nº 55.871, de 26 de março de 1965 da ANVISA e a Portaria 685 - 980 do Ministério da Saúde

Entretanto, alguns músculos dos peixes analisados apresentaram concentrações de cromo, selênio e arsênio maiores que seus limites estabelecidos. O cromo apresentou concentrações 2 e 3 vezes acima desse limite para, respectivamente, os músculos das espécies *L. synagris* e *S. guachancho*.

Já as concentrações encontradas para o selênio foram acima do tolerável para consumo humano em 45% das amostras de músculos dos peixes coletados, sendo esses valores elevados encontrados nas espécies *C. latus*, *A. rhomboidalis*, *L. synagris* e *S. cavalla* coletados no verão 2010 – 2011. Além disso, todas as amostras coletadas no verão de 2011 – 2012 apresentaram concentrações muito próximas do limite permitido.

As concentrações de arsênio encontradas nos músculos apresentaram valores acima do tolerável em 20% das amostras analisadas (*L. synagris* e *S. guachancho*).

É importante ressaltar que, apesar das concentrações do cromo e arsênio superarem os limites estabelecidos pela legislação vigente em um percentual relativamente baixo das amostras (20%) e o selênio em quase a metade delas (45%), a presença desses elementos nos tecidos comestíveis dos peixes é preocupante, pois, sugere um indicativo de contaminação ambiental. Estudos complementares devem ser desenvolvidos visando a análise por especificação química destes elementos considerando que a toxicidade é dependente da espécie.

Vale ressaltar que esses elementos apresentaram concentrações consideradas altas em tecidos mais internos do peixe (fígado e rim, por exemplo), indicando que esses elementos estão disponíveis para o peixe e que eles, provavelmente, buscam a desintoxicação metabólica com a migração desses elementos para esses órgãos, acumulando altas concentrações em outros tecidos.

5.5 AVALIAÇÃO DA INTERAÇÃO DOS ELEMENTOS QUÍMICOS E MEDIDAS BIOMÉTRICAS NO ORGANISMO DOS PEIXES USANDO ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS

A análise exploratória de dados usando Análise de Componentes Principais (PCA) foi realizada para verificar a possível contribuição de fatores biométricos (tamanho do corpo e peso) na concentração dos elementos e para determinar quais os elementos que tem correlação entre si no organismo dos peixes investigados.

Os elementos Sb, Pb, Cd, Mo e Ni não foram incluídos nesta análise estatística, por apresentaram valores abaixo do LOQ na maioria das amostras. A partir da matriz de correlação dos autovalores e autovetores, o número de fatores significantes e o percentual da variância explicada para cada um deles foram calculados e estão listados na Tabela 72.

Tabela 72 - Total de variância explicada pela PCA

Componente	Autovalor	Variabilidade (%)	% Acumulada
1	4,796	34,255	34,255
2	3,059	21,847	56,102
3	2,003	14,305	70,407
4	0,879	6,282	76,689
5	0,744	5,315	82,003
6	0,630	4,501	86,505
7	0,436	3,116	89,621
8	0,376	2,685	92,306
9	0,315	2,252	94,558
10	0,251	1,796	96,354
11	0,197	1,409	97,762
12	0,124	0,886	98,649
13	0,114	0,817	99,465
14	0,075	0,535	100,000

A análise desses autovalores foi seguida pela aplicação da rotação Varimax com normalização Kaiser para verificar possíveis variações nos resultados. A comparação dos autovalores encontrados mostrou que ambos os autovalores (normalizados e não normalizados) e suas contribuições correspondentes, a partir do % acumulativo da variância, não mudaram significativamente.

A análise dos dois componentes principais (PC1 e PC2), explicam, respectivamente, 34,25% e 21,85% e os pontos de ordenadas para cada variável são esboçados na Figura 74. Os dois principais componentes (PC1 e PC2) explicaram 56,10% da variância observada.

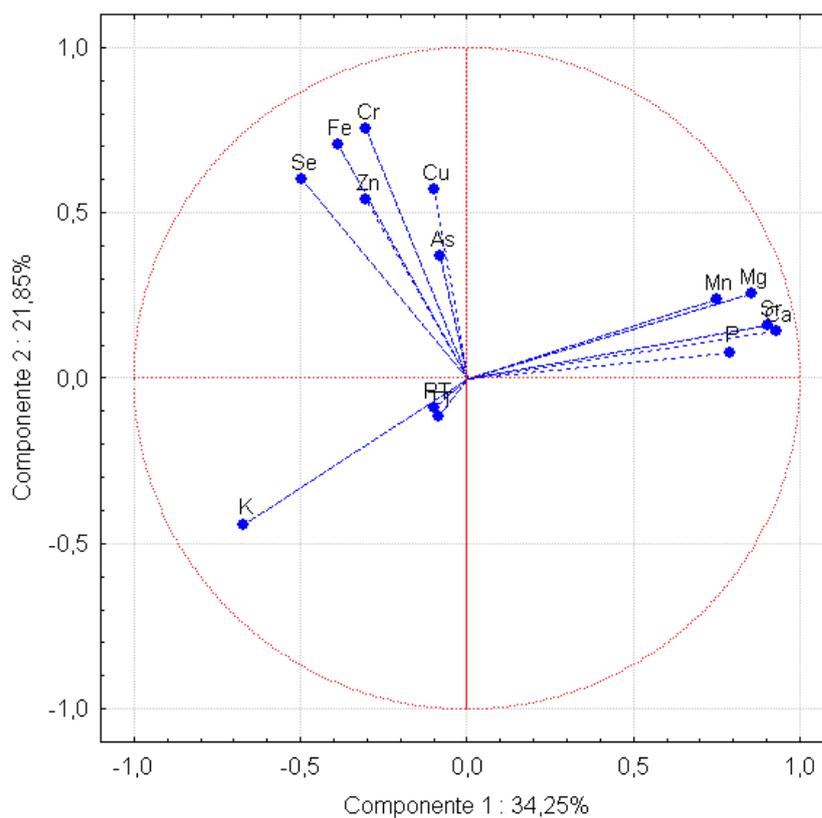


Figura 74 - Análise do Componente Principal (PCA - two way) para os elementos químicos e medidas biométricas.

Entretanto, a variabilidade da variância é mais bem explicada, considerando-se os autovalores > 1 e analisando a PCA dos três primeiros componentes principais (PCA - *three way*). Dessa forma, eles explicam 70,4% da variância dos dados (Figura 75).

O primeiro componente principal (PC1) explicou a mais alta quantidade de variância (34,25%), onde esteve positivamente relacionado com os elementos Ca, Mg, Sr, Mn, P e negativamente relacionado com o K (Figura 74), apresentando associações significativas entre os seguintes pares de elementos (Tabela 73): Mg – Ca ($r = 0,84$); Sr – Ca ($r = 0,92$); P – Ca ($r = 0,70$); K – Ca ($r = -0,63$); Mn – Ca ($r = 0,67$); Sr – Mg ($r = 0,81$); K – Mg ($-0,66$); P – Sr ($0,67$); K – Sr ($0,64$).

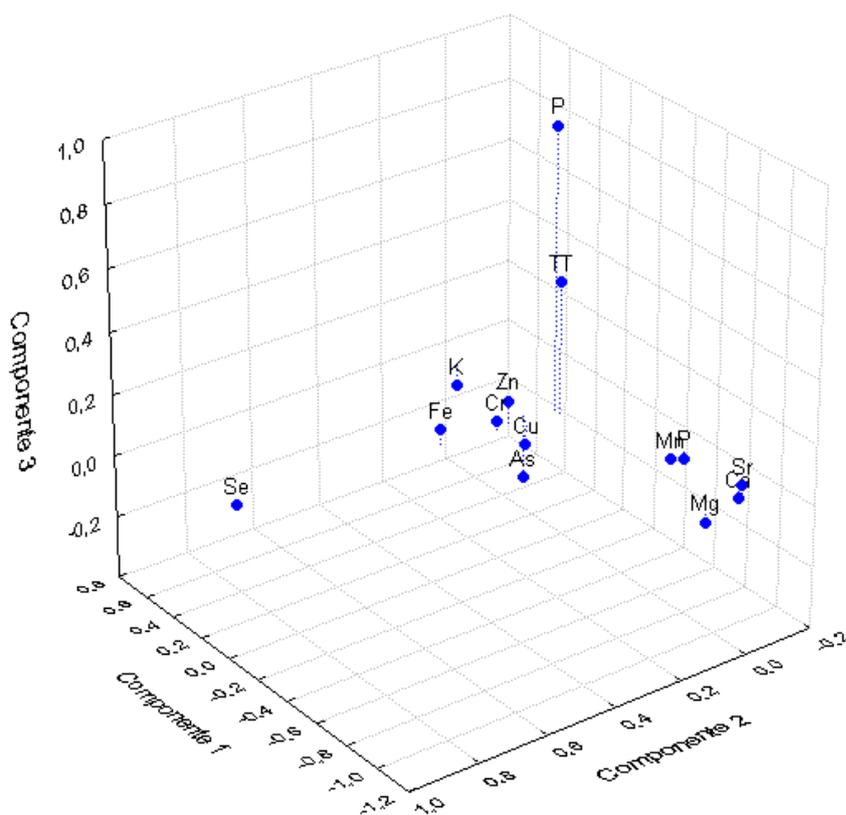


Figura 75 - Análise do Componente Principal (PCA - *three way*) para os elementos químicos e medidas biométricas

O segundo componente principal (PC2) explicou 21,85% da variância total dos dados e esteve positivamente relacionado com os elementos Fe, Se e Cr, apresentando associações significativas entre Se – Fe ($r = 0,64$) e Cr – Fe ($r = 0,64$).

O terceiro componente principal (PC3) explicou 14,30% da variância total dos dados e explicam apenas as medidas biométricas (tamanho do corpo e peso corporal), ambos apresentando relação positiva e significativa ($r = 0,72$).

Dessa forma, os resultados da PCA, demonstraram não haver correlação entre as medidas biométricas e os demais elementos químicos. Ela revela também, fortes associações entre pares de macroatômicos, especialmente envolvendo o cálcio (Tabela 73).

Tabela 73 - Análise de Correlação Multielementar reportado pelo PCA (p < 0,05)

	TT*	PT**	Ca	Mg	Sr	P	K	Fe	Zn	Cu	Mn	Se	Cr	As
TT	1,00													
P	0,72	1,00												
Ca	-0,04	-0,06	1,00											
Mg	-0,02	-0,11	0,84	1,00										
Sr	0,00	-0,01	0,92	0,81	1,00									
P	-0,14	-0,09	0,71	0,55	0,67	1,00								
K	-0,04	-0,05	-0,63	-0,66	-0,64	-0,52	1,00							
Fe	0,18	0,13	-0,21	-0,14	-0,18	-0,26	-0,05	1,00						
Zn	0,05	0,17	-0,16	-0,09	-0,15	-0,21	-0,08	0,41	1,00					
Cu	-0,05	-0,15	-0,07	0,04	-0,07	-0,08	-0,21	0,27	0,11	1,00				
Mn	-0,11	-0,05	0,67	0,68	0,63	0,55	-0,48	-0,10	-0,14	0,06	1,00			
Se	0,00	0,01	-0,32	-0,22	-0,31	-0,32	0,14	0,64	0,36	0,29	-0,22	1,00		
Cr	-0,07	0,05	-0,16	-0,09	-0,12	-0,16	-0,04	0,64	0,51	0,31	-0,00	0,46	1,00	
As	-0,45	-0,43	-0,14	-0,09	-0,11	0,12	-0,12	0,05	0,01	0,36	-0,04	0,21	0,17	1,00

*TT: Tamanho corporal Total; ** PT: Peso corporal total.

6. CONCLUSÕES

Os macroelementos Ca, Mg, P e K foram determinados em todos os tecidos analisados e os resultados mostraram que o músculo do peixe é uma ótima fonte de fósforo e potássio para a dieta alimentar humana. Em geral, para todos os tecidos, a ordem de distribuição para esses macroelementos foi a seguinte: $P > K > Ca > Mg > Sr$, sendo as guelras o tecido com maior tendência de bioacumular esses macroelementos.

Os elementos traço essenciais Fe, Zn, Sr, Cu, Mn, Se, Cr, Ni e Mo também foram determinados em todos os tecidos analisados e os valores encontrados foram semelhantes a resultados de pesquisas reportados para várias espécies de outras regiões do mundo.

Para os elementos traço tóxicos, tais como As, Cd, Li, Pb e Sb, verificou-se limites detectáveis nos músculos apenas para chumbo e arsênio e, nas gônadas, apenas arsênio. O antimônio apresentou valores abaixo do LOQ em todas as amostras de tecidos.

A ordem de distribuição dos elementos traço essenciais não apresentaram uma tendência bem definida. Mas, foi verificado que ferro e zinco foram os elementos que apresentaram maiores concentrações em todos os tecidos das espécies em análise. Enquanto que para os elementos traço tóxicos arsênio e lítio foram os elementos com maiores concentrações.

Também não se observou tendência bem definida do tecido que apresentou maior tendência de bioacumular os elementos traço essenciais e tóxicos. Entretanto,

para a maioria dos elementos essenciais, fígado e rim foram os tecidos de maior bioacumulação. Para os elementos traço tóxicos, foi o estômago e as guelras.

A correlação pareada e regressão linear entre os tecidos, para o mesmo elemento, demonstrou que os macroatomados tendem a não apresentar associação entre as concentrações dos diversos tecidos. Os elementos zinco, cobre, manganês e níquel, assim como cromo e arsênio apresentaram muitas correlações significativas, demonstrando haver associação das concentrações desses elementos entre os tecidos dos peixes.

Em geral, foi verificado que, apesar dos dois períodos de coleta terem sido no mesmo período sazonal (verão de 2010 – 2011 e verão de 2011 – 2012) houve variação significativa nas concentrações dos elementos, em boa parte dos tecidos, entre os dois períodos amostrais.

A análise multivariada, PCA – *two way* e PCA – *three way* explicaram 56,10% e 70,5%, respectivamente, da variância dos dados amostrais analisados. Elas demonstraram não haver correlação entre as medidas biométricas e os demais elementos químicos. Elas revelam também, fortes associações entre os seguintes pares de elementos: Mg – Ca ($r = 0,84$); Sr – Ca ($r = 0,92$); P – Ca ($r = 0,70$); K – Ca ($r = -0,63$); Mn – Ca ($r = 0,67$); Sr – Mg ($r = 0,81$); K – Mg ($-0,659$); P – Sr ($0,67$); K – Sr ($0,64$), Se – Fe ($r = 0,64$) e Cr – Fe ($r = 0,63$).

Grande parte dos valores encontrados, nos músculos, para os elementos Cu, Pb, Cd, As, Cr, Ni, Se e Zn estão abaixo dos valores limítrofes estabelecidos pela ANVISA, exceto para cromo, arsênio e selênio em algumas espécies de peixes.

A presença de níveis maiores que o tolerável, nos músculos, para cromo e arsênio e a evidência de bioacumulação desses e de outros elementos tóxicos, tais como chumbo, níquel e cádmio revelam a necessidade de mais estudos visando a

análise de especiação química, além de um programa de monitoramento na região da Baía de Todos os Santos, para se verificar a necessidade de prováveis ações remediadoras.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDALLAH, M. A. *Trace element levels in some commercially valuable fish species from coastal waters of Mediterranean Sea, Egypt.* Journal of Marine System, 73, p. 114–122, 2008.

AGÊNCIA DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA - ANVISA, BRASIL. Decreto nº 55871, de 26 de março de 1965. Disponível online em: <http://elegis.bvs.br/leisref/public/showAct.php?id=22>. Acessado em 28 de março de 2012.

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR). *Chromium*. Disponível em : <http://www.atsdr.cdc.gov>. Acesso em: 12 de abril de 2012.

AGUSA, T., KUNITO, T., A., S., MONIRITH, I., KAN-ATIKLAP, S., IWATA, H., et al. *Exposure assessment for trace elements from consumption of marine fish in Southeast Asia.* Environmental Pollution, 145, p. 766-777, 2007.

AKESSON, A., LUNDTH, T., VAHTER, M., BJELLERUP, P., LIDFELDT, J., NERBRAND, C., SAMSIOE, G., STRÖMBERG, U., SKERFVING, S. *Tubular and Glomerular Kidney Effects in Swedish Women with Low Environmental Cadmium Exposure.* Environmental and Health Perspective, 113, p. 1627–1631, 2005.

AKHTER, P., BALOCH, N.Z., MOHAMMAD, D., ORFI, S.D., AHMAD, N. *Assessment of strontium and calcium levels in Pakistani diet.* Journal of Environmental Radioactivity, 73, p. 247–256, 2004.

ALBERTS B, BRAY D, LEWIS J, RAFF M, ROBERTS K, WATSON JD. *Molecular Biology of the Cell.* ed 3. New York: Garland Publishing. 1994.

ALHAS, E., OYMAK, A., AKIN, H. K. *Heavy metal concentrations in two barb, *Barbus xanthopterus* and *Barbus rajanorum mystaceus* from Atatürk Dam Lake, Turkey.* Environmental Monitoring and Assessment, 148, p. 11–18, 2009.

ALLEN, P. J., WEBB, M. A. H., CURETON, E., BRUCH, R. M., BARTH, C. C., PEAKE, S. J., ANDERSON, W. G. *Calcium regulation in wild populations of a freshwater cartilaginous fish, the lake sturgeon *Acipenser fulvescens*.* Comparative Biochemistry and Physiology, Part A, 154, p. 437–450, 2009.

ALLINSON, G., SALZMAN, S. A., TUROCZY, N., NISHIKAWA, M., AMARASINGHE, U. S., NIRBADHA, K. G. S., SILVA, S. S. *Trace Metal Concentrations in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) in Three Catchments, Sri Lanka.* Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 82, p. 389–394, 2009.

AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS – ACGIH. TLVs and BEIs. ACGIH, Cincinnati, OH, USA. 2003.

ANAN, Y., KUNITO, T., TANABE, S., MITROFANOV, I., AUBREY, D. G. *Trace element accumulation in fishes collected from coastal waters of the Caspian Sea*. Marine Pollution Bulletin, 51, p. 882–888, 2005.

ARSLAN, Z., SECOR, D. H. *High resolution micromill sampling for analysis of fish otoliths by ICP-MS: Effects of sampling and specimen preparation on trace element fingerprints*. Marine Environmental Research, 66, p. 364–371, 2008.

ASANTE, K. A., AGUSA, T., MOCHIZUKI, H., RAMU, K., INOUE, S., KUBODERA, T., TAKAHASHI, S., SUBRAMANIAN, A., TANABE, S. *Trace elements and stable isotopes ($d^{13}C$ and $d^{15}N$) in shallow and deep-water organisms from the East China Sea*. Environmental Pollution, 156, p. 862–873, 2008.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. A.O.A.C. Official Methods of Analysis, 17 ed. Washington. 2000.

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY - ATSDR. *CERCLA priority list of hazardous substances*. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Division of Toxicology and Environmental Medicine 1600 Clifton Road NE. Atlanta, GA 30333, US. 2006.

AZEVEDO, J. S., FERNANDEZ, W. S., FARIAS, L. A., FÁVARO, D. T., BRAGA, E. S. *Use of *Cathorops spixii* as bioindicator of pollution of trace metals in the Santos Bay, Brazil*. Ecotoxicology, 18, p. 577–586, 2009.

BADOLATO, E. S. G.; CARVALHO, J. B.; AMARAL MELLO, M. R. P.; TAVARES, M.; CAMPOS, N.C.; AUED-PIMENTEL, S.; MORAIS, C. *Composição centesimal, de ácidos graxos e valor calórico de cinco espécies de peixes marinhos nas diferentes estações do ano*. Revista do Instituto Adolfo Lutz, 54, p. 27-35, 1994.

BANG, A., GROKJAER, P., LORENZEN, B. *The relation between concentrations of ovarian trace elements and the body size of Atlantic cod Gadus morhua*. Oxford Journals, p. 1191- 1197, 2008.

BATVARI, B. P., KAMALA-KANNAN, S., SHANTI, K., KRISHNAMOORTHY, R., LEE, K. J., JAYAPRAKASH, M. *Heavy metals in two fish species (Carangoides malabaricus and Belone stronglurus) from Pulicat Lake, North of Chennai, Southeast Coast of India*. Environment and Monitoring Assessment, 145, p. 167-175, 2008.

BERG, J.M.; TYMOCZKO, J.L.; STRYER, L. *Bioquímica*. Editora Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, 1059 p. 2004.

BERVOETS, L., BLUST, R., VERHEYEN, R. *Accumulation of metals in the tissues of three spined stickleback (Gasterosteus aculeatus) from natural fresh waters*. Ecotoxicology and Environmental Safety, 48(2), p. 117–127, 2001.

BESSER, J.M.; CANFIELD, T.J.; LAPOINT, T.W. *Bioaccumulation of Organic and Inorganic Selenium in a Laboratory Food Chain*. Environmental Toxicology and Chemistry, 12 (1), p. 57-72, 1993.

BLIGH, E.G.; DYER, W.J. *A rapid method of total lipid extraction and purification*. Canadian Journal of Biochemistry and Physiology, 37, p. 911-017, 1959.

BRASIL, MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria no. 685/98, SVS/MS, Diário Oficial da União, 28/8/98, republicado em 29/9/98, e Tabela II, Aditivos Acidentais do Decreto no. 55.871/65, de 26/3/65, referente a alimentos não contemplados na Portaria 685/98.

BRIM, M. S., ALAM, S. K., JENKINS, L. G. *Organochlorine pesticides and heavy metals in muscle and ovaries of Gulf coast striped bass (Morone saxatilis) from the Apalachicola River, Florida, USA*. Journal of Environmental Science and Health, Part B, Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wates, 36, p. 15-270, 2001.

BRITO, D.F. Toxicologia Humana e Geral, Livraria Atheneu, 2ª ed., Rio de Janeiro, 53p.1988.

BURGER, J., GOCHFELD, M., JEITNER, C., BURKER, S., STAMM, T. *Metal levels in flathead sole (Hippoglossoides elassodon) and great sculpin (Myoxocephalus polyacanthocephalus) from Adak Island, Alaska: Potential risk to predators and fishermen*. Environmental Research, 103, p. 62–69, 2007.

BURY, N. R., WALKER, P. A., GLOVER, C. N. *Nutritive metal uptake in teleost fish*. The Journal of Experimental Biology, 206, p. 11-23, 2003.

CAMPBELL, M. K. *Bioquímica*: Tradução de Henrique B. Ferreira. 3. ed. - Porto Alegre: Artmed Editora, 752 p. 2000.

CANLI, M. e ATLI, G. *The relationship between heavy metal (Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Zn) levels and the size of six Mediterranean fish species*. *Environmental Pollution*, 121, p. 129–136, 2003.

CARNEIRO, A. A. O. *Um biossusceptômetro supercondutor AC para quantificar ferro hepático*. Tese (Doutorado em física aplicada à medicina e biologia). Universidade de São Paulo (USP). São Paulo. 2001.

CHECKI, R., NOËL, L., MILLOUR, S., VASTEL, C., KADAR, A., SIROT, V., LEBLANC J., GUÉRIN, T. *Calcium, magnesium, sodium and potassium levels in foodstuffs from the second French Total Diet Study*. *Journal of Food Composition and Analysis*, 25, p. 97–107, 2012.

CHEUNG, K. C., LEUNG, H. M., WONG, M. H. *Metal Concentrations of Common Freshwater and Marine Fish from the Pearl River Delta, South China*. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 54, p. 705–715, 2008.

CIARDULLO, S., AURELI, F., CONI, E., GUANDALINI, E., IOSI, F. R., RUFO, G., et al. *Bioaccumulation Potential of Dietary Arsenic, Cadmium, Lead, Mercury, and Selenium in Organs and Tissues of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) as a Function of Fish Growth*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56, p. 2442–2451, 2008.

COETZEE, L., DU PREEZ, H. H., VAN VUUREN, J. H. *Metal concentrations in Clarias gariepinus and Labeo umbratus from the Olifants and Klein Olifants River, Mpumalanga, South Africa: zinc, copper, manganese, lead, chromium, nickel, aluminium and iron.* Water SA, 28, p. 433-448, 2002.

CORDELL D, DRANGERT J. O., WHITE, S. *The story of phosphorus: global food security and food for thought.* Global and Environmental Change, 19, p. 292-305, 2009.

CORREIA, P. R. *Determinação Simultânea de manganês/selênio e cobre/zinco em soro sanguíneo por espectrometria de absorção atômica com atomização eletrotérmica.* Dissertação de mestrado (Mestrado em Química Analítica). Instituto de Química. USP. 2001

COWAN, J. A., OHYAMA, T., HOWARD, K., RAUSCH, J. W., COWAN, S. M. L., GRICE, S. F. J. *Metal-ion stoichiometry of the HIV-1 RT ribonuclease H domain: evidence for two mutually exclusive sites leads to new mechanistic insights on metal-mediated hydrolysis in nucleic acid biochemistry.* Journal of Biological Inorganic Chemistry, 5, p. 67-74, 2000.

COZZOLINO, S.M. F. *Biodisponibilidade de nutrientes.* Barueri, São Paulo: Manole, 878p.2005.

CROSS, H.S., DEBIEC, H. AND PETERLIK, M. *Mechanism and regulation of intestinal phosphate absorption.* Miner. Electrolyte Metab. 16, p. 115–124, 1990.

CULIOLI, J., CALENDINI, S., MORI, C., ORSINI, A. *Arsenic accumulation in a freshwater fish living in a contaminated river of Corsica, France*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 72, p. 1440–1445, 2009.

DALMAN, O., D. A., BALCI, A. *Determination of heavy metals (Cd, Pb) and trace elements (Cu, Zn) in sediments and fish of the Southeastern Aegean Sea (Turkey) by atomic absorption spectrometry*. *Food Chemistry*, 95, p. 157–162, 2006.

DAS, Y. K., AKSOY, A., BASKAYA, R., DUYAR, H. A., GUVENC, D., BOZ, V. *Heavy Metal Levels of Some Marine Organisms Collected in Samsun and Sinop Coasts of Black Sea, in Turkey*. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 8, p. 496-499, 2009.

DEMIREL, S., TUZEN, M., SARACOGLU, S., SOYLAK, M. *Journal of Hazardous Materials*, 152, p. 1020–1026, 2008.

DHANEESH, K. V., GOPI, M., GANESHAMURTHY, R., KUMAR, T. T. A., BALASUBRAMANIAN, T. *Bio-accumulation of metals on reef associated organisms of Lakshadweep Archipelago*. *Food Chemistry*, 131, p.985–991, 2012.

DURAL, M., GÖKSU, M. Z., ÖZAK, A. A. *Investigation of heavy metal levels in economically important fish species captured from the Tuzla lagoon*. *Food Chemistry*, 102, p. 415–421, 2007.

EDMONDS, J. S., FRANCESCONI, K. A. *Arsenic in seafoods: human health aspects and regulations*. Marine Pollution Bulletin, 27, p. 665–674, 1993.

EDMONDS, J. S., FRANCESCONI, K. A. Arsenic in seafoods: human health aspects and regulations, Mar. Pollut. Bull. 27 (1993) 665–674. *Pesch GC, Steward NE. Cadmium toxicity to three species of estuarine invertebrates*. Marine Environmental Research, 3, p. 145–55, 1980.

ERSOY, B., CELIK, M. *Essential elements and contaminants in tissues of commercial pelagic fish from the Eastern Mediterranean Sea*. Journal of the Science of Food and Agriculture, 89, p. 615-1621, 2009.

ESPAÑA, M. S., RODRÍGUEZ, E. M., ROMERO, C. D. *Application of Chemometric Studies to Metal Concentrations in Molluscs from the Strait of Magellan (Chile)*. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 52, p. 519–524, 2007.

ESPINOZA-QUIÑONES, F. R., MÓDENES, A. N., PALÁCIO, S. M., SZYMANSKI, N., WELTER, R. A., RIZZUTTO, M. A., BORBA, C. E., KROUMOV, A. D. *Evaluation of trace element levels in muscles, liver and gonad of fish species from São Francisco River of the Parana ´ Brazilian state by using SR-TXRF technique*. Applied Radiation and Isotopes, 68, p. 2202–2207, 2010.

FALCÓ, G., LLOBET, J. M., BOCIO, A., DOMINGO, J. L. Daily Intake of Arsenic, Cadmium, Mercury, and Lead by Consumption of Edible Marine Species. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 54, p. 6106–6112, 2006.

FALLAH, A. A., SAEI-DEHKORDI, S., NEMATOLLAHI, A., JAFARI, T. *Comparative study of heavy metal and trace element accumulation in edible tissues of farmed and wild rainbow trout (Oncorhynchus mykiss) using ICP OES technique*. *Microchemical Journal*, 98, p. 275-279, 2011.

FANG, J. K., WU, A. K., SHIN, P. P. *Metal concentrations in green-lipped mussels (Perna viridis) and rabbitfish (Siganus oramin) from Victoria Harbour, Hong Kong after pollution abatement*. *Marine Pollution Bulletin*, 56, p. 1486–1512, 2008.

FERNANDES, D., BEBIANNO, M. J., PORTE, C. *Hepatic levels of metal and metallothioneins in two commercial fish species of the Northern Iberian shelf*. *Science of the Total Environment*, 391, p. 159-167, 2008a.

FERNANDES, C., FERNANDES, A. F., CABRAL, D., SALGADO, M. A. *Heavy metals in water, sediment and tissues of Liza saliens from Esmoriz–Paramos lagoon, Portugal*. *Environmental and Monitoring Assessment*, 136, p. 267–275, 2008b.

FIDAN, A. F., CIGERCI, I. H., KONUK, M., KÜÇÜKKURT, I., ASLAN, R., DÜNDAR, Y. *Determination of some heavy metal levels and oxidative status in Carassius carassius L., 1758 from Eber Lake*. *Environmental Monitoring and Assessment*, 147, p. 35–41, 2008.

FISK, A., HOBSON, K. A., NORSTROM, R. J. *Influence of chemical and biological factors on trophic transfer of persistent organic pollutants in the Northwater Polynya marine food web.* Environmental Science and Technology, 35, p. 732–738, 2001.

FOOD AND NUTRITION BOARD, I. *Institute of Medicine, Dietary Reference Intakes for vitamin C, vitamin E, Selenium and Carcinoids 2000.* New York: National Academic Press. 2000.

FRANÇA, S., VINAGRE, C., CAÇADOR, I., CABRAL, H. N. *Heavy metal concentrations in sediment, benthic invertebrates and fish in three salt marsh areas subjected to different pollution loads in the Tagus Estuary (Portugal).* Marine Pollution Bulletin, 50, p. 993-1018, 2005.

FRANCO, G. *Tabela de Composição Química dos Alimentos.* 8. ed. Ed. Atheneu, 230p. 1987.

GATLIN, D.M., WILSON, R.P. *Dietary zinc requirement of fingerling channel catfish.* Journal of Nutrition, 113, p. 630–635, 1983.

GOYER, R. A. *Nutrition and metal toxicity.* The American Journal of Clinical Nutrition, 61, p. 646-650, 1995.

GUÉRIN, T., CHEKRI, R., VASTEL, C., SIROT, V., VOLATIER, J., LEBLANC, J., NOEL, L. *Determination of 20 trace elements in fish and other seafood from the French market.* Food Chemistry, 127, p. 934-942, 2011.

GUNER, U. *Freshwater crayfish Astacus leptodactylus (Eschscholtz, 1823) accumulates and depurates copper.* Environmental and Monitoring Assessment, 133, p. 365–369, 2007.

HAMILTON, S. T., MEHRLE, P. M. *Metallothionein in Fish: Review of Its Importance in Assessing Stress from Metal Contaminants.* Transactions of the American Fisheries Society, 115, p. 596-609, 1986.

HANSEN, M., THILSTED, S. H., SANDSTROM, B., KONGSBAK, K., LARSEN, T., JENSEN, M., SORENSEN, S. S. *Calcium absorption from small soft-boned fish.* Journal of Trace Elements in Medicine and Biology, 12 (3), p. 148–154, 1998.

HAS-SCHÖN, E., BOGUT, I., RAJKÓVIC, V., BOGUT, S., CACIC, M., HORVATIC, J. *Heavy Metal Distribution in Tissues of Six Fish Species Included in Human Diet, Inhabiting Freshwaters of the Nature Park “Hutovo Blato” (Bosnia and Herzegovina).* Archive of Environmental Contamination and Toxicology, 54, p. 75–83, 2008.

HODSON, P.V. e HILTON, J.W. *The nutritional requirements and toxicity to fish of dietary and waterborne selenium.* Ecology Bulletin, 35, p. 335-340, 1983.

HOWARTH, R., RAMAKRISHNA, K., Nutrient Management. IN: CHOPRA, K., LEEMANS, R., KUMAR, P., SIMONS, H. (Eds.), *Millennium Ecosystem Assessment (MA).* Island Press, Washington, DC. 2005.

IKEM, A., EGIEBOR, N. *Assessment of trace elements in canned fishes (mackerel, tuna, salmon, sardines and herrings) marketed in Georgia and Alabama (United States of America)*. *Journal of Food Composition and Analysis*, 18(8), pp. 771-787. 2005.

IKEM, A., EGILLA, J. *Trace element content of fish feed and bluegill sunfish (*Lepomis macrochirus*) from aquaculture and wild source in Missouri*. *Food Chemistry*, 110, p. 301–309, 2008.

IKEMOTO, T., TU, N. P. C., IWATA, A., OMORI, K., TANABE, S., TUYEN, B. C., TAKEUCHI, I. *Biomagnification of Trace Elements in the Aquatic Food Web in the Mekong Delta, South Vietnam Using Stable Carbon and Nitrogen Isotope Analysis*. *Archive of Environmental and Contamination Toxicology*, 54, p. 504–515, 2008.

INSTITUTE OF MEDICINE. (2005). *Dietary Reference Intakes for Water, Potassium, Sodium, Chloride, and Sulfate*. National Academy Press, Washington, DC Disponível em: http://www.nap.edu/openbook.php?record_id=10925&page=1. Acessado em 08 de junho de 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Disponível em: www.ibge.gov.br/censo2010/. Acessado em 22 de julho de 2012.

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER - IARC. (2004). *Some Drinking-Water Disinfectants and Contaminants, Including Arsenic*, 84IARC, Geneva.

ISLAM, M. S., TANAKA, M. *Impacts of pollution on coastal and marine ecosystems including coastal and marine fisheries and approach for management: a review and synthesis.* Marine Pollution Bulletin, 48, p. 624-649, 2004.

EDMONDS, J. S., FRANCESCONI, K. A. *Arsenic in seafoods: human health aspects and regulations, Mar. Pollut. Bull. 27 (1993) 665–674. Pesch GC, Steward NE. Cadmium toxicity to three species of estuarine invertebrates. Marine Environmental Research, 3, p. 145–55, 1980.*

JABEEN, F., CHAUNDHRY, A. S. *Environmental impacts of anthropogenic activities on the mineral uptake in Oreochromis mossambicus from Indus River in Pakistan.* Environmental Monitoring Assessment, 166, p. 641–651, 2010.

JACQUAMET, L., SUN, Y., HATFIELD, J., GU, W., CRAMER, S. P., CROWDER, M. W., LORIGAN, G. A., VICENT, J. B., LATOUR, J. *Characterization of Chromodulin by X-ray Absorption and Electron Paramagnetic Resonance Spectroscopies and Magnetic Susceptibility Measurements.* Journal of the American Chemical Society, 125, p. 774–780, 2003.

JODRAL-SEGADO, A. M., NAVARRO-ALARCÓN, M., SERRANA, H. L., LÓPEZ-MARTINEX, M. C. *Magnesium and calcium contents in foods from SE Spain: influencing factors and estimation of daily dietary intakes.* The Science of the Total Environment, 312, p. 47–58, 2003.

KAMUNDE, C.; GROSELL, M.; HIGGSAND, D.; WOOD, C. M. *Copper metabolism in actively growing rainbow trout (Oncorhynchus mykiss): interactions between dietary and waterborne copper uptake*. The Journal of Experimental Biology, 205, p. 279–290, 2002.

KARADEDE, A. H. *Heavy Metal Concentrations in Water, Sediment, Fish and Some Benthic Organisms from Tigris River, Turkey*. Environmental and Monitoring Assessment, 131, p. 323–337, 2007.

KARGIN, F., COGUN, H. *Metal interactions during accumulation and elimination of Zinc and Cadmium in tissues of the freshwater fish Tilapia nilotica*. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 63, p. 511–519, 1999.

KAZI, T. G., JAMALI, M. K., ARAIN, M. B., AFRIDI, H. I., JALBANI, N., SARFRAZ, R. A., et al. *Evaluation of an ultrasonic acid digestion procedure for total heavy metals determination in environmental and biological samples*. Journal of Hazardous Materials, 161, p. 1391–1398, 2009.

KESKIN, Y., BASKAYA, R., ÖZYARAL, O., YURDUN, T., LÜLECI, N. E., HAYRAN, O. *Cadmium, Lead, Mercury and Copper in Fish from the Marmara Sea, Turkey*. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 78, p. 258–261, 2007

KLAVINS, M., POTAPOVICS, O., RODINOV, V. *Heavy Metals in Fish from Lakes in Latvia: Concentrations and Trends of Changes*. Bulletin of Environmental and Contamination Toxicology, 82, p. 96–100, 2009.

KOJADINOVIC, J., POTIER, M., CORRE, M., COSSON, R. P., BUTAMANTE, P. *Bioaccumulation of trace elements in pelagic fish from the Western Indian Ocean*. Environmental Pollution, 146, p. 548-566, 2007.

KRAUSE. *Alimentos, Nutrição e Dietoterapia*. 9. ed. São Paulo: Ed. Roca, 207p. 1988.

LABONNE, M., MORIZE, E., KULBICKI, M., PONTON, D., MAREC, L. *Otolith chemical signature and growth of Chaetodon speculum in coastal areas of New Caledonia*. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 78, p. 493-504, 2008.

LAUWERYS, R. *Toxicologia Industrial e Intoxicaciones Profesionales*. Barcelona, Spain: Masson S.A. 1994.

LAVILLA, I.; VILAS, P.; BENDICHO, C. *Fast determination of arsenic, selenium, nickel and vanadium in fish and shellfish by electrothermal atomic absorption spectrometry following ultrasound-assisted extraction*. Food Chemistry, 106, p. 403–409, 2008.

LEAKEY, C. D. B., ATTRILL, M. J. FITZSIMONS, M. F. *Multi-element otolith chemistry of juvenile sole (Solea solea), whiting (Merlangius merlangus) and*

European seabass (Dicentrarchus labrax) in the Thames Estuary and adjacent coastal regions. Journal of Sea Research, 61, p. 268–274, 2009.

LEMLY, A.D. *Ecosystem recovery following selenium contamination in a freshwater reservoir.* Ecotoxicology and Environmental Safety, 36, p. 275-281, 1997.

LEMLY, A.D. *Teratogenic effects of selenium in natural populations of freshwater fish.* Ecotoxicology and Environmental Safety, 26, p. 181-204, 1993.

LIU, C., KROEZE, C., HOEKSTRA, A. Y., GERBENS-LEENES, W. *Past and future trends in grey water footprints of anthropogenic nitrogen and phosphorus inputs to major world rivers.* Ecological Indicators, 18, p. 42–49, 2012.

LOHER, T., WISHNIOWSKI, S., MARTIN, G. B. *Elemental chemistry of left and right sagittal otoliths in a marine fish Hippoglossus stenolepis displaying cranial asymmetry.* Journal of Fish Biology, 73, p. 870–887, 2008.

LÓPEZ-GARCÍA, I.; BRICEÑO, M.; HERNÁNDEZ-CÓRDOBA, M. *Non-chromatographic screening procedure for arsenic speciation analysis in fish-based baby foods by using electrothermal atomic absorption spectrometry.* Analytica Chimica Acta, 699(1), p. 11-17, 2011.

LUOMA, S., BRYAN, G. A. *A Statistical assessment of the trace metal in oxidized estuarine sediments employing chemical extractants.* Science Total Environmental, 17, p. 165-196, 1981.

MAGES, M., BANDOW, N., KÜSTER, E., BRACK, W., TÜMPLING, W. *Zinc and cadmium accumulation in single zebrafish (Danio rerio) embryos — A total reflection X-ray fluorescence spectrometry application*. *Spectrochimica Acta Part B*, 63, pp. 1443–1449. 2008.

MAIA, E. L. *Otimização da metodologia para caracterização de constituintes lipídicos e determinação da composição em ácidos graxos e aminoácidos de peixes de água doce*. Tese de doutorado (Doutorado em Engenharia de alimentos). Universidade Estadual de Campinas. UNICAMP. Campinas. 1992.

MANUTSEWEE, N., AEUNGMAITREPIROM, W., VARANUSUPAKUL, P., IMYIM, A. *Determination of Cd, Cu, and Zn in fish and mussel by AAS after ultrasound-assisted acid leaching extraction*. *Food Chemistry*, 101, p. 817–824, 2007.

MARIJIC, V. F., RASPOR, B. *Metal exposure assessment in native fish, *Mullus barbatus L.*, from the Eastern Adriatic Sea*. *Toxicology Letters*, 168, p. 292–301, 2007.

MATTA, J., MILAD, M., MANGER, R., TOSTESON, T. *Heavy metals, lipid peroxidation, and cigateratoxicity in the liver of the Caribben barracuda (*Sphyraena barracuda*)*. *Biological Trace Element Research*, 70, p. 69-79, 1999.

MATTUSCH, J., WENNRICH, R. *Novel analytical methodologies for the determination of arsenic and other metalloids species in solids, liquids and gases*. *Mikrochimica Acta*, 151, p. 137–139, 2005.

MCCALL, K. T., HUANG, C., FIERKE, C. A. *Function and Mechanism of Zinc Metalloenzymes*. The American Society for Nutrition Sciences, 130, p. 1437-1446, 2000.

MCCOY, C. P., O'HARA, T. M., BENETT, L. W., BOYLE, C. R. *Liver and kidney concentrations of zinc, copper and cadmium in Channel catfish (*Ictalurus punctatus*): Variations due to size, season and health status*. Veterinary and Human Toxicology, 37, p. 11-15, 1995.

MENDIL, D., ULUÖZLÜ, Ö. D. *Determination of trace metal levels in sediment and five fish species from lakes in Tokat, Turkey*. Food Chemistry, 101, p. 739–745, 2007.

MEUCCI, V., LASCHI, S., MINUNNI, M., PRETTI, C., INTORRE, L., SOLDANI, G., et al. *An optimized digestion method coupled to electrochemical sensor for the determination of Cd, Cu, Pb and Hg, in fish by square wave anodic stripping voltametry*. Talanta, 77, p. 1143-1148, 2009.

MILLOUR, S., NOËL, L., CHECKRI, R., VASTEL, C., KADAR, A., SIROT, V., LEBLANC, J., GUÉRIN, T. *Strontium, silver, tin, iron, tellurium, gallium, germanium, barium and vanadium levels in foodstuffs from the Second French Total Diet Study*. Journal of Food Composition and Analysis, 25, p. 108–129, 2012.

MOMMSEN, T. P., WALSH, P. *Vitellogenesis and oocyte assembly*. Fish Physiology, 11A, p. 347–406, 1988.

MOORE, J. W., RAMAMOORTHY, S. *Heavy Metals in Natural Waters: Applied Monitoring and Impact Assessment*. New York: Springer. 1984.

MOREDA-PIÑEIRO, J., ALONSO-RODRÍGUES, E., LÓPEZ-MAHÍA, P., MUNIATEGUI-LORENZO, S., PRADA-RODRÍGUES, D., MOREDA-PIÑEIRO, A., et al. *Development of a new sample pre-treatment procedure based on pressurized liquid extraction for the determination of metals in edible seaweed*. *Analytica Chimica Acta*, 598(1), p. 95-102, 2007.

NEVES, R. C. F., MORAES, P. M., SALEH, M. A. D., LOUREIRO, V. R., SILVA, F. A., BARROS, M. M., PADILHA, C. C. F., JORGE, S. M. A., PADILHA, P. M. *FAAS determination of metal nutrients in fish feed after ultrasound extraction*. *Food Chemistry*, 113, p. 679–683, 2009.

NIELSEN, F.H. *Ultra trace minerals*. In: *Shils, M.E., Young, V.R. (Eds.), Modern Nutrition in Health and Disease*. Lea and Febiger, Philadelphia, p. 278–291, 1988.

OGAWA, M. DE; MAIA, L.E. *Manual de Pesca: Ciência e Tecnologia do Pescado*. São Paulo, Livraria Varela, 430 p. 1999.

OLIVEIRA, R. *Determinação de Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos em biota da Baía de Todos os Santos*. Dissertação de mestrado (Mestrado em Química Analítica), Instituto de química, UFBA, Salvador. 2003.

ÖZAN, T. S. e KIR, I. *Seasonal variations of heavy metals in some organs of carp (Cyprinus carpio L., 1758) from Beyşehir Lake (Turkey)*. *Environment Monitoring and Assessment*, 138, p. 201–206, 2008.

OZTURK, M., OZOZEN, G., MINARECI, O., MINARECI, E. *Determination of Heavy Metal in Fish, Water and Sediments of Avsar Dam Lake in Turkey*. *Iranian Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 6, p. 73-80, 2009.

PAIVA, F.A. *Avaliação de fontes de selênio para ovinos. Tese de doutorado (Doutorado em Zootecnia e Engenharia de Alimentos)*. Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, USP. 2006.

PAPAGIANNIS, I., KAGALOU, I., LEONARDOS, J., PETRIDIS, D., KALFAKAKOU, V. *Copper and zinc in four freshwater fish species from Lake Pamvotis (Greece)*. *Environmental International*, 30, p. 357–362, 2004.

PESCH, G. e STEWART, N. E. *Cadmium toxicity to three species of estuarine invertebrates*. *Marine Environmental Research*, 3, p. 145-156, 1980.

PETROPULU, M. O.; VARSAMIS, J.; PARISSAKIS, G. *Speciation of arsenobetaine in marine organisms using a selective leaching/digestion procedure and hydride generation atomic absorption spectrometry*. *Analitica Chimica – Acta*, 337, p. 323-342, 1997.

PHILLIPS, D. *The chemistries and environmental fates of trace metals and organochlorines in aquatic ecosystems*. Marine Pollution Bulletin, 31(4-12), p. 193–200, 1995.

PRAGER JC. *Environmental contaminant reference databook*, vol. 1. New York: Van Nostrand Reinhold. 1995.

PRASAD, S. A. *Discovery and importance of zinc in human nutrition*. Federation Proceedings, 43, p. 2829–2834, 1984.

PTASHYNSKI, M. D., PEDLAR, R. M., EVANS, R. E., BARON, C. L., KLAVERKAMP, J. F. *Toxicology of dietary nickel in lake whitefish (Coregonus clupeaformis)*. Aquatic Toxicology, 58, p. 229–247, 2002.

RAINBOW, P. *Biomonitoring of heavy metal availability in the marine environment*. Marine Pollution Bulletin, 31, p. 183–192, 1995.

RALLE, M., LUTSENKO, S. *Quantitative imaging of metals in tissues*. Biometals, 22, p. 197-205, 2009.

RAO, L. M. e PADMAJA, G. *Bioaccumulation of heavy metals in M. cyprinoids from the harbor waters of Visakhapatnam*. Bulletin of pure and applied sciences, 19(2), p. 77-85, 2000.

RAUF, A., JAVED, M., UBAIDULAH, M. *Heavy metal levels in three major carps (Catla catla, Labeo rohita and Cirrhina mrigala) from the river Ravi, Pakistan.* Pakistan Veterinary Journal, 29, p. 24-26, 2009.

REDDY, M. L., REIF, J. S., BACHAND, A., RIDGWAY, S. H. *Opportunities for using Navy marine mammals to explore associations between organochlorine contaminants and unfavorable effects on reproduction.* Science Total and Environmental, 274, p. 171–182, 2001.

REIS, P. A., ALMEIDA, M. R. *Matrix importance in animal material pre-treatment for metal determination.* Food Chemistry, 107, p. 1294-1299, 2008.

RESNICK L. *The cellular ionic basis of hypertension and allied clinical conditions.* Prog Cardiovascular Disturb, 42, p. 1–22, 1999.

REYES, L. H., MAR, J. L. G., RAHMAN, G. M., SEYBERT, B., FAHRENHOLDZ, T., KINGSTON, S. *Simultaneous determination of arsenic and selenium species in fish tissues using microwave-assisted enzymatic extraction and ion chromatography–inductively coupled plasma mass spectrometry.* Talanta, 78, pp. 983–990. 2009.

REYNDERS, H., BERVOETS, L., GELDERS, M., COEN, W. M., BLUST, R. *Accumulation and effects of metals in caged carp and resident roach along a metal pollution gradient.* Science of the Total Environment, 391(1), p. 82-85, 2008.

ROBINSON, D. A. *Calculation of the Dielectric Properties of Temperate and Tropical Soil Minerals from Ion Polarizabilities using the Clausius–Mosotti Equation*. 68, pp. 1780-1785, 2004.

ROCHA, A.J.D. *Perfil Analítico do Chumbo. Rio de Janeiro, DNPM, Brasil*. Departamento Nacional de Pesquisa Mineral, 8, p. 1-2, 1973.

ROY, P.K., WITTEN, P.E., HALL, B.K., LALL, S.P. *Effects of dietary phosphorus on bone growth and mineralization of vertebrae in haddock (*Melanogrammus aeglefinus* L.)*. *Fish Physiology and Biochemistry*, 27, p. 35–48, 2002.

SADIQ, M., ZAIDI, T. H., HODA, A., MIAN, A. A. *Heavy metal of health significance in comonly consumed shrimps in the eastern province of Saudi Arabia*. *Journal Environmental Science and Health*, 29, p. 313-319, 1992.

SAWASDEE, B., KÖHLER, H. R., TRIEBSKORN, R. *Histopathological effects of copper and lithium in the ramshorn snail, *Marisa cornuarietis* (Gastropoda, Prosobranchia)*. *Chemosphere*, 85, p. 1033–1039, 2011.

SCHMITT, C. J., BRUMBAUGH, W. G., MAY, T. W. *Concentrations of Cadmium, Cobalt, Lead, Nickel, and Zinc in Blood and Fillets of Northern Hog Sucker (*Hypentelium nigricans*) from Streams Contaminated by Lead–Zinc Mining: Implications for Monitoring*. *Archive of Environmental Contamination and Toxicology*, 56, p. 509–524, 2009.

SCHREUDER, J. J., BIERVLIET, J. D., VELDE, E. T., HAVE, K. T., DIJIK, A. D., MEYNE, N. G., BAAN, J. *Systolic and diastolic pressure-volume relationships during cardiac surgery*. Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia, 5, p. 539-545, 1991.

SILVA, E. *Avaliação da distribuição de metais, selênio e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) em tecidos do camarão Litopnaeus vannamei (Boone, 1931) cultivados no Estado da Bahia*. Dissertação de mestrado (Mestrado em Química Analítica). Instituto de Química. UFBA . 2007.

SIVAPERUMAL, P. S. *Heavy metal concentrations in fish, shellfish and fish products from internal markets of India vis-a-vis international standards*. Food Chemistry, 102, p. 612–620, 2007.

STRYDOM, C., ROBINSON, E., PRETORIUS, J. M., WHITCUTT, J., MARX, M. S. *The effect of selected metals on central metabolic pathways in biology: a review*. Water S.A., 32, p. 543-554, 2006.

SZPILMAN, M. *Peixes marinhos do Brasil: guia prático de identificação*. Ed. Mauad. 288p. 2000.

TAVARES, T.M., ROCHA, V.C., PORTE, C., BARCELÓ, D., ALBAIGÉS, J. *Application of the mussel Watch concept in studies of hidrocarbons, PCBs and DDT in the Brazilian Bay Todos os Santos (Bahia)*. Marine Pollution. Bulletin, 19, p. 575-578, 1988.

TEPE, Y., TÜRKMEN, M., TÜRKMEN, A. *Assessment of heavy metals in two commercial fish species of four Turkish seas*. Environmental Monitoring and Assessment, 146, p. 277–284, 2008.

TERRA, B. F., ARAUJO, F. G., CALZA, C. F., LOPES, R. T., TEIXEIRA, T. P. *Heavy Metal in Tissues of Three Fish Species from Different Trophic Levels in a Tropical Brazilian River*. Water Air Soil Pollution, 187, p. 275–284, 2008.

THOMAS, D. G., BROWN, M. W., SHURBEN, D., SOLBE, J. F., CRYER, A., KAY, J. *A comparison of the sequestration of cadmium and zinc in the tissues of rainbow trout (Salmo gairdneri) following exposure to the metals singly or in combination*. Comparative Biochemical and Physiology, 82C, p. 52-62, 1985.

TOUYZ, R. M. *Role of magnesium in the pathogenesis of hypertension*. Molecular Aspects of Medicine, 24, p. 107–136, 2003.

TRIEBSKORN, R., TELCEAN, I., CASPER, H., FARKAS, A., SANDU, C., STAN, G., COLARESCU, O., DORI, T., KÖHLER, H. *Monitoring pollution in River Mureş, Romania, part II: Metal accumulation and histopathology in fish*. Environmental Monitoring and Assessment, 141, p. 177–188, 2008.

TSALTAS, E., KONTIS, D., BOULOUGOURIS, V., PAPADIMITRIOU, G. N. *Lithium and cognitive enhancement: leave it or take it?* Psychopharmacology, 202, p. 457–476, 2009.

TÜRKMEN, M., TÜRKMEN, A., TEPE, Y., ATES, A., GÖKKUS, K. *Determination of metal contaminations in sea foods from Marmara, Aegean and Mediterranean seas: Twelve fish species.* Food Chemistry, 108, p. 794–800, 2008a.

TÜRKMEN, A., TEPE, Y., TÜRKMEN, M. *Metal Levels in Tissues of the European Anchovy, *Engraulis encrasicolus* L., 1758, and Picarel, *Spicara smaris* L., 1758, from Black, Marmara and Aegean Seas.* Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 80, p. 521–525, 2008b.

TÜRKMEN, M., TÜRKMEN, A., TEPE, Y., ATES, A. *Determination of metals in fish species from Aegean and Mediterranean seas.* Food Chemistry, 113, p. 233–237, 2009a

TÜRKMEN, A., TEPE, Y., TÜRKMEN, M., MUTLU, E. *Heavy Metal Contaminants in Tissues of the Garfish, *Belone belone* L., 1761, and the Bluefish, *Pomatomus saltatrix* L., 1766, from Turkey Waters.* Bulletin Environmental Contamination and Toxicology, 82, p. 70-74, 2009b.

TUZEN, M. *Toxic and essential trace elemental contents in fish species from the Black Sea, Turkey.* Food and Chemical Toxicology, 47, p. 1785–1790, 2009.

ULUOZLU, O. D., TUZEN, M., MENDİL, D., SOYLAK, M. *Trace metal content in nine species of fish from the Black and Aegean Seas, Turkey.* Food Chemistry, 104, p. 835–840, 2007.

ULUTURHAN, E., KUCUKSEZGIN, F. *Heavy metal contaminants in Red Pandora (Pagellus erythrinus) tissues from the Eastern Aegean Sea, Turkey.* Water Research, 41, p. 1185– 1192, 2007.

UYVAL, K., EMRE, Y., KÖSE, E. *The determination of heavy metal accumulation ratios in muscle, skin and gills of some migratory fish species by inductively coupled plasma-optical emission spectrometry (ICP OES) in Beymelek Lagoon (Antalya/Turkey).* Microchemical Journal, 90, p. 67-70, 2008.

VIANA, Z. C. V. *Avaliação da concentração de metais, selênio e composição centesimal em músculos de peixes consumidos na cidade de Salvador, Estado da Bahia.* Tese de doutorado (Doutorado em Química). Universidade Federal da Bahia. UFBA. Salvador, Bahia. 2008.

VIELMA, J., LALL, S. P. *Control of phosphorus homeostasis of Atlantic salmon (Salmo salar) in fresh water.* Fish Physiology and Biochemistry, 19, p. 83-93, 1998.

VISNJIC-JEFTIC, Z., JARIC, I., JOVANOVIC, L., SKORIC, S., SMEDEREVALIC, M., NIKCEVIC, M., LENHARDT, M. *Heavy metal and trace element accumulation in muscle, liver and gills of the Pontic shad (Alosa immaculata Bennet 1835) from the Danube River (Serbia).* Microchemical Journal, 95, p. 341–344, 2010.

VITEK, T., SPURNY, P., MARES, J., ZIKOVÁ, A. *Heavy Metal Contamination of the Loučka River Water Ecosystem.* Acta Veterinaria Brno, 76, p. 149–154, 2007.

WAALKES, M. P. (2000). *Cadmium carcinogenesis in review*. Journal of Inorganic Biochemistry, 79, p. 241–244, 2000.

WALTHER, B. D., THORROLD, S. R. *Water, not food, contributes the majority of strontium and barium deposited in the otoliths of a marine fish*. Marine Ecology Progressive Serie, 311, p. 125–130, 2006.

WATANABE, K.H., LIN, H.I., BART Jr, H.L., MARTINAT, P., MEANS, J.C., KUNAS, M.L., GRIMM, D.A. *Bayesian estimation of Kinetic rates constants in a food-web model of polycyclic aromatic hidrocarbon bioacumulation*. Ecology modelling, 181, p. 229-246, 2004.

WATANABE, T., KIRON, V., SATOH, S. *Trace minerals in fish nutrition*. Aquaculture, 151, p. 185–207, 1997.

WORLD HEALTH ORGANISATION – WHO. (2010). *Strontium and Strontium Compounds*. Disponível online em: In: <http://www.who.int/ipcs/publications/cicad/cicad77.pdf>. Acessado em 12 de março de 2012.

YILDIRIM, Y., GONULALAN, Z., NARIN, I. *Evaluation of trace heavy metal levels of some fish species sold at retail in Kayseri, Turkey*. Environmental Monitoring and Assessment, 149, p. 223–228, 2009.

YILMAZ, A. B. e DOGAN, M. *Heavy metals in water and in tissues of himri (Carasobarbus luteus) from Orontes (Asi) River, Turkey.* Environmental Monitoring and Assessment, 144, p. 437–444, 2008.

YILMAZ, A. B., SANGÜN, M. K., YAGLIOGLU, D., TURAN, C. *Metals (major, essential to non-essential) composition of the different tissues of three demersal fish species from _ Iskenderun Bay, Turkey.* Food Chemistry, 123, p. 410–415, 2010.

ZEYNALI, F., TAJIK, H., ASRI-REZAIE, S., MESHKINI, S., FALLAH, A. A. *Determination of copper, zinc and iron levels in edible muscle of three commercial fish species from iranian coastal waters of the Caspian Sea.* Journal of Animal and Veterinary Advances, 8, p. 1285-1288, 2009.

ZHOU, J. L., SALVADOR, S. M., LIU, Y. P., SEQUEIRA, M. *Heavy metals in the tissues of dolphins (Delphinus delphis) stranded on the Portuguese coast.* Science and Total Environment, 273, p. 61-76, 2001.