

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA



Programa de Pós-Graduação
em Química



Influência espaço-temporal e fisiológica na absorção de nutrientes
e elementos tóxicos por *Eichhornia crassipes* visando
o uso adequado da sua biomassa: o caso do Rio Apodi/Mossoró-RN

Daniel Freitas Freire Martins

Dissertação de Mestrado
Natal/RN, dezembro de 2009

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Daniel Freitas Freire Martins

Influência espaço-temporal e fisiológica na absorção de nutrientes e elementos tóxicos por
Eichhornia crassipes visando o uso adequado da sua biomassa: o caso do Rio Apodi/Mossoró

- RN

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Química da Universidade Federal do Rio Grande do Norte como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Química.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Maria de Fátima Vitória de Moura.

Co-orientador: Prof^o. Dr. Luiz Di Souza.

Natal – RN

2009

Divisão de Serviços Técnicos

Catálogo da Publicação na Fonte. UFRN / Biblioteca Setorial de Química

Martins, Daniel Freitas Freire.

Influência espaço-temporal e fisiológica na absorção de nutrientes e elementos tóxicos por *Eichhornia crassipes* visando o uso adequado da sua biomassa: o caso do Rio Apodi/Mossoró-RN. Daniel Freitas Freire Martins. Natal, RN, 2009. 148 f.

Orientadora: Maria de Fátima Vitória de Moura

Co-orientador: Luiz Di Souza

Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Ciências Exatas e da Terra. Programa de Pós-Graduação em Química.

1. Química Analítica – Dissertação. 2. Macrófitas Aquáticas – Rio Apodi/Mossoró – Dissertação. 3. *Eichhornia crassipes* – Rio Apodi/Mossoró – Dissertação. 4. Agente fitorremediador – Rio Apodi/Mossoró – Dissertação. I. Moura, Maria de Fátima Vitória de. II. Souza, Luiz Di. III. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. IV. Título.

RN/UFRN/BSE- Química

CDU 543

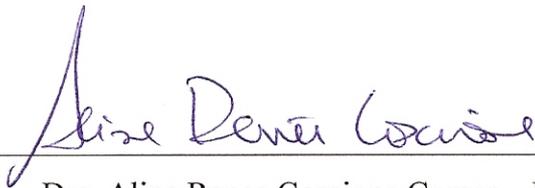
DANIEL FREITAS FREIRE MARTINS

**INFLUÊNCIA ESPAÇO-TEMPORAL E FISIOLÓGICA NA ABSORÇÃO DE
NUTRIENTES E ELEMENTOS TÓXICOS POR *Eichhornia crassipes* VISANDO O
USO ADEQUADO DA SUA BIOMASSA: O CASO DO RIO APODI/MOSSORÓ - RN**

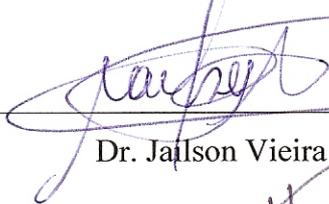
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Química da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, em cumprimento às exigências para obtenção do título de Mestre em Química.

Aprovada em: 15 de dezembro de 2009.

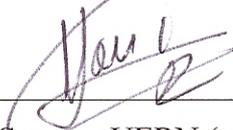
Comissão Examinadora:



Dra. Aline Renee Coscione Gomes – IAC



Dr. Jailson Vieira de Melo – UFRN



Dr. Luiz Di Souza – UERN (co-orientador)

Aos meus pais, Manoel Levi e Maria Dailva, por todo incentivo e esforço diário para que eu conquistasse todos os meus objetivos e sonhos.

À minha vida, Danyela Moura, por todo amor, apoio, confiança e companheirismo, tornando todos os momentos ainda mais belos de serem vividos.

AGRADECIMENTOS

Esta dissertação significa a união de todos os meus esforços com os de muitas pessoas que sempre confiaram em meu trabalho e progresso. Tudo que fiz tem um pouco de muitos, aos quais tenho a agradecer:

A Deus por ter estado sempre ao meu lado em todos os momentos através da minha fé.

Aos meus sobrinhos Deivison e Wendelfy, a minha irmã Emanuelle, aos meus cunhados Joseildo e Vyctor, ao meu sogro e sogra Valdir e Dalva, e ao meu grande e eterno amigo Ronilson, por todo apoio e companheirismo ao longo da realização deste trabalho.

À minha orientadora professora Dr^a. Maria de Fátima Vitória de Moura por todo o ensinamento, amizade e confiança que sempre demonstrou ter, contribuindo diretamente para o meu crescimento e amadurecimento acadêmico.

Ao meu co-orientador professor Dr. Luiz Di Souza que sempre esteve ao meu lado desde a graduação, sendo responsável em grande parte por todas as conquistas que obtive, através de seus ensinamentos, apoio, confiança e amizade.

A todos os professores e técnicos do curso de Química da UERN e da Pós-graduação em Química da UFRN pelo conhecimento e apoio a mim transmitidos.

À professora Dr^a. Káthia Maria Barbosa e Silva pela ajuda na realização do tratamento estatístico e demais discussões.

Ao professor Dr. Ramiro Gustavo Valera Camacho e professora Dr^a. Maria Iracema Bezerra Loiola pela identificação da planta em estudo.

Ao professor Dr. José Francismar de Medeiros pelo apoio nas medidas de área foliar.

Aos professores Dr. Jailson Vieira de Melo, Dr. Djalma Ribeiro da Silva e Dr^a. Suely Souza Leal de Castro pela disponibilidade no uso de alguns equipamentos.

Ao meu amigo e companheiro de trabalho Alriberto Germano (Cérebro), pela ajuda durante as colheitas e análises e pelos momentos de descontração.

Às técnicas de laboratório da UFRN, Rina, Aécia e Emili, pela força na realização de parte das análises necessárias, sempre me recebendo com bastante atenção.

Ao técnico de laboratório da UERN, Thiago Mielli, pela amizade e apoio na realização de parte das análises necessárias.

Aos colegas do grupo LAQUANAP por todos os momentos vividos neste período e que serão inesquecíveis.

Aos meus alunos do estágio docência, por contribuírem ainda mais para o meu crescimento profissional.

Ao Conselho Nacional de desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pelo apoio financeiro concedido.

Muitos podem parecer, mas poucos são o que
achamos ser.

(Daniel Freitas)

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo determinar a quantidade de nutrientes e elementos tóxicos em macrófitas aquáticas da espécie *Eichhornia crassipes* presentes no Rio Apodi/Mossoró - RN e verificar possibilidades viáveis do uso da biomassa produzida, tomando como base a influência espaço-temporal e fisiológica na absorção dos nutrientes pelas plantas. Para isto, determinou-se a: Área foliar, Massa foliar úmida, Massa foliar seca, Umidade real, Umidade aparente, Cinzas, Nitrogênio total, Proteína bruta, Cálcio, Magnésio, Potássio, Fósforo total, Sódio, Ferro, Cobre, Manganês, Zinco, Níquel, Cobalto, Alumínio, Cádmio, Chumbo e Cromo total em diferentes épocas, 2 pontos de colheita e 2 partes das plantas (folhas e raízes). Os resultados obtidos mostram que os níveis de nutrientes, proteína bruta e elementos tóxicos presentes no tecido vegetal da *Eichhornia crassipes* são influenciados pela variabilidade espacial, temporal e fisiológica. De forma geral, em virtude dos valores máximos obtidos na matéria seca para nitrogênio total (4,4088 g/100g), proteína bruta (27,5549 g/100g), fósforo total (0,642 g/100g), cálcio (1,444 g/100g), magnésio (0,732 g/100g), potássio (7,51 g/100g), cobre (4,4279 mg/100g), manganês (322,668 mg/100g), sódio (1,39 g/100g), ferro (194,169 mg/100g), e zinco (3,5836 mg/100g), constatou-se a possibilidade de utilização da biomassa da *Eichhornia crassipes* para diversos fins como, na alimentação animal, produção de derivados destinados à alimentação humana, fertilizantes orgânicos, fabricação de tijolos de baixo custo, e peças artesanais. Para todas estas aplicações é necessário um controle contínuo dos níveis dessas substâncias no tecido vegetal. Tomando como base os níveis de nutrientes e proteína bruta, as plantas mais jovens (0 Mês) seriam as mais indicadas para terem a sua biomassa utilizada. Por outro lado, um fator que contribui para a utilização das plantas maiores (6 meses), são os níveis de elementos tóxicos que se apresentam significativamente pequenos ou abaixo do limite de detecção. Portanto, estudos posteriores quantificando a biomassa produzida/m² em 0 e 6 meses são necessários para uma escolha mais correta em relação à melhor época de colheita.

PALAVRAS-CHAVE: Macrófitas Aquáticas. *Eichhornia crassipes*. Agente fitorremediador. Rio Apodi/Mossoró.

ABSTRACT

This study aims to determine the amount of nutrients and toxic elements in aquatic macrophytes of species *Eichhornia crassipes* present in River Apodi/Mossoró - RN and check some of the possibilities of using the biomass produced, based on the influence of space - temporal and physiological absorption of nutrients by plants. For this, was determined: Leaf area, Leaf wet mass, Leaf dry mass, Real humidity, Apparent humidity, Ash, Total nitrogen, Crude protein, Calcium, Magnesium, Potassium, Total phosphorus, Sodium, Iron, Copper, Manganese, Zinc, Nickel, Cobalt, Aluminum, Cadmium, Lead and Total chromium at different times, 2 sampling points and 2 parts of plants (leaves and roots). The results show that the levels of nutrients, protein and toxic elements present in plant tissue of *Eichhornia crassipes* are influenced by spatial, temporal and physiological variability. In general, because the maximum values in the dry matter for total nitrogen (4.4088 g/100g), crude protein (27.5549 g/100g), total phosphorus (0.642 g/100 g), calcium (1.444 g/100g), magnesium (0.732 g/100 g), potassium (7.51 g/100 g), copper (4.4279 mg/100g), manganese (322.668 mg/100g), sodium (1.39 g/100g), iron (194.169 mg/100g) and zinc (3.5836 mg/100g), there was the possibility of using biomass of *Eichhornia crassipes* for various purposes such as in food animal, products production for human consumption, organic fertilizers, fabrication of brick low cost, and crafts. For all these applications requires a control of the levels of substances in plant tissue. Based on the levels of nutrients and crude protein, the younger plants (0 Month) would be best to have their biomass used. Moreover, one factor that contributes to the use of larger plants (6 Months), the levels of toxic elements which have significantly small or below the detection limit. Therefore, further studies quantifying the biomass produced/m² at 0 and 6 months are needed for a more correct choice for the best time of harvest.

KEY-WORDS: Aquatic Macrophytes. *Eichhornia crassipes*. Phytoremediator Agent. River Apodi/Mossoró.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Bacia Hidrográfica do Rio Apodi/Mossoró. Fonte: Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Rio Grande do Norte.....	29
Figura 2	Formas biológicas das macrófitas aquáticas. 1 – Anfíbia, 2 – Emergente, 3 – Flutuante fixa, 4 – Flutuante livre, 5 – Submersa fixa, 6 – Submersa livre, 7 – Epífita. Fonte: Gonçalves, 2006.....	34
Figura 3	Ponto 1 e sua respectiva coordenada geográfica, localizado em um canal (Dix – Huit Rosado) derivado no Rio Apodi/Mossoró no centro de Mossoró, RN.....	50
Figura 4	Ponto 2 e sua respectiva coordenada geográfica, localizado no leito principal do Rio Apodi/Mossoró no centro de Mossoró, RN.....	50
Figura 5	Imagem das macrófitas aquáticas colhidas em agosto de 2008.....	51
Figura 6	Divisão estrutural da <i>Eichhornia crassipes</i> . 1 – Flor, 2 – Limbo, 3 – Pecíolo, 4 – Rizoma, 5 – Raiz. Fonte: Gonçalves, 2006.....	51
Figura 7	Dados climatológicos da cidade de Mossoró em 2008. Fonte: INMEP.....	67
Figura 8	Dados climatológicos da cidade de Mossoró em 2009. Fonte: INMEP.....	67
Figura 9	Espécime utilizado na identificação taxonômica.....	68
Figura 10	Variação da área foliar em função das diferentes épocas e pontos de colheita.....	69
Figura 11	Variação da massa foliar úmida em função das diferentes épocas e pontos de colheita.....	70
Figura 12	Variação da massa foliar seca em diferentes épocas e pontos de colheita.....	70
Figura 13	Variação da umidade real em diferentes épocas e pontos de colheita.....	72
Figura 14	Variação da umidade aparente em diferentes épocas, pontos de colheita e partes das plantas.....	73

Figura 15	Variação do teor de cinzas em diferentes épocas, pontos de colheita e partes das plantas.....	74
Figura 16	Valores de nitrogênio total em diferentes épocas, pontos de colheita e partes das plantas.....	75
Figura 17	Valores de proteína bruta em diferentes épocas, pontos de colheita e partes das plantas.....	76
Figura 18	Valores de fósforo total em diferentes épocas, pontos de colheita e partes das plantas.....	78
Figura 19	Valores de manganês em diferentes épocas, pontos de colheita e partes das plantas.....	78
Figura 20	Valores de cobre em diferentes épocas, pontos de colheita e partes das plantas.....	79
Figura 21	Valores de potássio em diferentes épocas, pontos de colheita e partes das plantas.....	79
Figura 22	Valores de sódio em diferentes épocas, pontos de colheita e partes das plantas.....	81
Figura 23	Valores de ferro total em diferentes épocas, pontos de colheita e partes das plantas.....	81
Figura 24	Valores de cálcio em diferentes épocas, pontos de colheita e partes das plantas.....	83
Figura 25	Valores de zinco em diferentes épocas, pontos de colheita e partes das plantas.....	83
Figura 26	Valores de magnésio em diferentes épocas, pontos de colheita e partes das plantas.....	84
Figura 27	Valores de níquel em diferentes épocas, pontos de colheita e partes das plantas.....	85
Figura 28	Valores de alumínio em diferentes épocas, pontos de colheita e partes das plantas.....	86
Figura 29	Valores de cobalto em diferentes épocas, pontos de colheita e partes das plantas.....	87
Figura 30	Valores de cromo total em diferentes épocas, pontos de colheita e partes das plantas.....	88

Figura 31	<i>Eichhornia crassipes</i> em diferentes estágios de desenvolvimento.....	90
Figura 32	Imagem do Ponto 1 na quarta colheita (6 Meses).....	91
Figura 33	Imagem do Ponto 2 na quarta colheita (6 Meses).....	92
Figura 34	Animais utilizando as macrófitas aquáticas como alimento próximo a um dos pontos de colheita.....	93
Figura 35	Curva padrão para o cobre.....	115
Figura 36	Curva padrão para o cádmio.....	115
Figura 37	Curva padrão para o cromo total.....	116
Figura 38	Curva padrão para o níquel.....	116
Figura 39	Curva padrão para o cobalto.....	117
Figura 40	Curva padrão para o chumbo.....	117
Figura 41	Curva padrão para o zinco.....	118
Figura 42	Curva padrão para o manganês.....	118
Figura 43	Curva padrão para o ferro.....	119
Figura 44	Curva padrão para o cálcio.....	119
Figura 45	Curva padrão para o magnésio.....	120
Figura 46	Curva padrão para o alumínio.....	120
Figura 47	Curva padrão para o fósforo.....	121

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1	Elementos considerados macro e micronutrientes.....	41
Tabela 2	Nutrientes e elementos benéficos às plantas e suas funções no tecido vegetal.....	42
Tabela 3	Reagentes utilizados nas análises e seus respectivos fabricantes.....	47
Tabela 4	Equipamentos utilizados nas análises.....	48
Tabela 5	Condições de leitura das amostras por Espectrofotometria de Absorção Atômica.....	58
Tabela 6	Condições de leitura das amostras por Espectrofotometria de Emissão de Chama.....	59
Tabela 7	Condições de operação do ICP-OES.....	61
Tabela 8	Condições de leitura das amostras por ICP-OES.....	61
Tabela 9	Limites de detecção e quantificação das técnicas utilizadas na determinação dos elementos propostos.....	122
Tabela 10	Médias e desvios padrões das determinações de área foliar (AF) em cm ² para diferentes épocas e locais de colheita.....	123
Tabela 11	Médias e desvios padrões das determinações de massa foliar úmida (MFU) em gramas (g) para diferentes épocas e pontos de colheita.....	124
Tabela 12	Médias e desvios padrões das determinações de massa foliar seca (MFS) em gramas (g) para diferentes épocas e pontos de colheitas.....	125
Tabela 13	Médias e desvios padrões das Umidades (%) em diferentes pontos e épocas de colheitas.....	126
Tabela 14	Médias e desvios padrões da umidade aparente (%) em diferentes épocas, pontos de colheitas e partes das plantas.....	127
Tabela 15	Médias e desvios padrões das determinações de cinzas (%) em diferentes épocas, pontos de colheitas e partes das plantas.....	128
Tabela 16	Média e desvio padrão das determinações de Nitrogênio Total (g/100g) em diferentes épocas, pontos e partes da planta.....	129
Tabela 17	Média e desvio padrão das determinações de Proteína Bruta (g/100g) em diferentes épocas, pontos e partes da planta.....	130
Tabela 18	Média e desvio padrão de Fósforo Total (g/100g) em diferentes épocas, pontos de colheita e partes da planta.....	131

Tabela 19	Média e desvio padrão de Manganês (mg/100g) em diferentes épocas, pontos de colheita e partes da planta.....	132
Tabela 20	Média e desvio padrão de Cobre (mg/100g) em diferentes épocas, pontos de colheita e partes da planta.....	133
Tabela 21	Média e desvio padrão de Potássio (g/100g) em diferentes épocas, pontos de colheita e partes da planta.....	134
Tabela 22	Média e desvio padrão de Sódio (g/100g) em diferentes épocas, pontos de colheita e partes da planta.....	135
Tabela 23	Média e desvio padrão de Ferro total (mg/100g) em diferentes épocas, pontos e partes da planta.....	136
Tabela 24	Média e desvio padrão de Cálcio (g/100g) em diferentes épocas, pontos de colheita e partes da planta.....	137
Tabela 25	Média e desvio padrão de Magnésio (g/100g) em diferentes épocas, pontos de colheita e partes da planta.....	138
Tabela 26	Média e desvio padrão de Zinco (mg/100g) em diferentes épocas, pontos e partes da planta.....	139
Tabela 27	Média e desvio padrão de Níquel (mg/100g) em diferentes épocas, pontos de colheita e partes da planta.....	140
Tabela 28	Média e desvio padrão de Alumínio (mg/100g) em diferentes épocas, pontos de colheita e partes da planta.....	141
Tabela 29	Média e desvio padrão de Cobalto (mg/100g) em diferentes épocas, pontos de colheita e partes da planta.....	142
Tabela 30	Média e desvio padrão de cromo total (mg/100g) em diferentes épocas, pontos e partes da planta.....	143
Tabela 31	Média e desvio padrão de Cádmio (mg/100g) em diferentes épocas, pontos e partes da planta.....	144
Tabela 32	Média e desvio padrão de Chumbo (mg/100g) em diferentes épocas, pontos e partes da planta.....	145
Tabela 33	Quantidade de substâncias presentes em alguns alimentos destinados ao consumo humano em 100g.....	147
Tabela 34	Ingestão diária recomendada para adultos (Resolução RDC nº 269, de 22 de setembro de 2005).....	148

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADP – Difosfato de adenosina

AF – Área foliar

Al – Alumínio

ATP – Trifosfato de adenosina

B – Boro

C – Carbono

Ca – Cálcio

Cd – Cádmio

Cl – Cloro

cm – Centímetro

Co – Cobalto

CoA – Co-enzima A

CO₂ – Dióxido de carbono

Cr – Cromo

Cs – Césio

Cu – Cobre

C. V. – Coeficiente de variação

DNT – Dinitrotolueno

DP – Desvio padrão

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Fe – Ferro

Fe(OH)₃ – Hidróxido de ferro III

Fe₂O₃ – Óxido de ferro III

g – Grama

H – Hidrogênio

HCl – Ácido clorídrico

Hg – Mercúrio

H₂O – Água

H₂O₂ – Peróxido de hidrogênio

H₂PO₄⁻ – Dihidrogenofosfato

H₂SO₄ – Ácido sulfúrico

H₃BO₃ – Ácido bórico
IBP – Programa Internacional de Biologia
ICP-OES – Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado
IDR – Ingestão Diária Recomendada
INMET – Instituto Nacional de Meteorologia
K – Potássio
KH₂PO₄ – Dihidrogenofosfato de potássio
km – Quilômetro
km² – Quilômetro quadrado
LD – Limite de detecção
LQ – Limite de quantificação
Mg – Magnésio
Mn – Manganês
MFS – Massa foliar seca
MFU – Massa foliar úmida
m³ – Metro cúbico
m² – Metro quadrado
mg L⁻¹ – Miligrama por litro
mg kg⁻¹ – Miligrama por quilograma
mL – Mililitro
M – Molar
Mo – Molibdênio
N – Nitrogênio
Na – Sódio
N-amoniaco – Nitrogênio amoniacal
NaOH – Hidróxido de sódio
NH₄⁺ – Amônio
Ni – Níquel
nm – Nanômetro
N-nitrato – Nitrogênio na forma de nitrato
N-nitrito – Nitrogênio na forma de nitrito
NO₃⁻ – Nitrato
O – Oxigênio
P – Fósforo

Pb – Chumbo

RNA – Ácido ribonucléico

S – Enxofre

Se – Selênio

Si – Silício

SOD – Superóxido dismutase

Sr – Estrôncio

TACO – Tabela Brasileira de Composição de Alimentos

TNT – Trinitrotolueno

UV-Vis – Ultravioleta-Visível

U – Urânio

VO_3^{2-} – Vanadato

Zn – Zinco

% C – Teor de cinzas em porcentagem

% UA – Umidade aparente em porcentagem

$\mu\text{g RE}$ – micrograma retinol

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	22
1.1	JUSTIFICATIVA.....	24
1.2	OBJETIVOS.....	25
1.2.1	Geral	25
1.2.2	Específicos	25
2	REVISÃO DA LITERATURA	28
2.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	28
2.1.1	Bacia Hidrográfica do Rio Apodi/Mossoró	28
2.2	AMBIENTES AQUÁTICOS.....	30
2.3	MÉTODOS DE TRATAMENTO DE AMBIENTES POLUÍDOS.....	30
2.3.1	Fitorremediação	31
2.3.1.1	Macrófitas Aquáticas.....	32
2.3.1.2	Eichhornia crassipes.....	34
2.3.1.3	Aplicação.....	34
2.4	NUTRIÇÃO MINERAL.....	39
2.5	TÉCNICAS ANALÍTICAS UTILIZADAS.....	42
2.5.1	Espectroscopia de Absorção Atômica	42
2.5.2	Espectroscopia de Emissão em Chama	42
2.5.3	Espectroscopia de Absorção Molecular no UV-Vis	43
2.5.4	Espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES)	44
3	MATERIAIS E MÉTODOS	46
3.1	MATERIAIS.....	46
3.1.1	Reagentes	46
3.1.2	Vidrarias e utilitários	46
3.1.3	Equipamentos	47
3.2	MÉTODOS.....	47
3.2.1	Identificação	48
3.2.2	Colheita das amostras	48

3.2.3	Tratamento das amostras.....	50
3.2.4	Determinação da área foliar.....	51
3.2.5	Determinação da massa foliar úmida e seca.....	51
3.2.6	Determinação da umidade real.....	51
3.2.7	Preparação das amostras.....	52
3.2.8	Determinação da umidade aparente.....	52
3.2.9	Determinação das cinzas.....	53
3.2.10	Determinação de Nitrogênio total e Proteína bruta.....	53
3.2.11	Digestão seca.....	56
3.2.12	Determinação de Mg, Mn, Fe e Al.....	57
3.2.13	Determinação de Ca.....	58
3.2.14	Determinação de Na e K.....	59
3.2.15	Determinação de Cu, Zn, Cd, Pb, Cr, Ni e Co.....	59
3.2.16	Determinação de Fósforo total.....	60
3.2.17	Limite de detecção e quantificação.....	62
3.2.18	Análise estatística.....	62
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	65
4.1	CARACTERIZAÇÃO BIOLÓGICA.....	67
4.1.1	Identificação.....	67
4.1.2	Área foliar (AF), massa foliar úmida (MFU) e massa foliar seca (MFS).....	68
4.1.3	Umidade real e umidade aparente.....	70
4.2	CARACTERIZAÇÕES QUÍMICAS.....	72
4.2.1	Cinzas.....	72
4.2.2	Nitrogênio Total e Proteína Bruta.....	74
4.2.3	Fósforo Total, Potássio, Cobre e Manganês.....	76
4.2.4	Sódio e Ferro total.....	79
4.2.5	Cálcio, Magnésio e Zinco.....	81
4.2.6	Níquel e Alumínio.....	84
4.2.7	Cobalto, Cromo Total, Cádmio e Chumbo.....	86
4.3	DISCUSSÃO GERAL.....	88
4.4	OPÇÕES DE USO DA BIOMASSA.....	91
5	CONCLUSÕES.....	99
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	101

REFERÊNCIAS.....	103
APÊNDICE A – Curvas Padrão dos elementos.....	115
APÊNDICE B – Dados das análises realizadas em diferentes pontos, épocas de colheita e partes da <i>Eichhornia crassipes</i>.....	122
ANEXO A.....	147
ANEXO B.....	148

INTRODUÇÃO

1 INTRODUÇÃO

Água limpa e de boa qualidade é um produto precioso, em especial, no semi-árido brasileiro, onde este recurso é escasso. No estado do Rio Grande do Norte, a Bacia Hidrográfica do Rio Apodi/Mossoró, que se estende desde a nascente no município de Luiz Gomes, localizado na Serra do Major, até a foz, entre os municípios de Grossos e Areia Branca, tem um curso de 210 km de extensão. Esta bacia ocupa 14.276 km² (26,8% do Estado), e possui vazão de cerca de 360 milhões de m³/ano, sendo o mais importante recurso hídrico superficial de toda a região oeste-potiguar (MARTINS et al, 2008a).

Mesmo em uma dimensão menor que no passado, o rio continua desempenhando papel chave no desenvolvimento econômico da região, o que pode ser constatado pelas atividades agrícolas em suas margens, pelas micro-empresas ribeirinhas, pela pesca e outras atividades econômicas, sendo todas elas comuns em locais onde há descarte de efluentes sem tratamento (MARTINS et al, 2008b).

Apesar da importância que o rio apresenta para a região, suas águas têm sofrido bastante com os efeitos negativos que surgiram com o desenvolvimento desordenado das cidades presentes em todo o seu curso, constatando-se trechos com altíssimo nível de eutrofização como, por exemplo, os que cortam as cidades de Pau dos Ferros e Mossoró.

Em virtude de casos como esse, é que vem se tentando desenvolver métodos cada vez mais eficazes de despoluição de ambientes aquáticos. Por necessitarem de altas concentrações de nutrientes para seu desenvolvimento, macrófitas aquáticas são utilizadas na recuperação de rios e lagos poluídos. Elas são amplamente estudadas por serem causadoras de vários problemas e, paralelamente, por contribuírem de forma benéfica para a recuperação destes ambientes.

As macrófitas aquáticas da espécie *Eichhornia crassipes*, utilizadas neste trabalho, são plantas aquáticas flutuantes da família *Pontederiaceae* bastante comuns em regiões de clima tropical que se reproduzem principalmente por estolões, caules que crescem lateralmente. No Brasil, esta espécie ocorre tanto em ecossistemas aquáticos naturais como em ambientes aquáticos impactados por atividades antrópicas, onde apresentam elevada taxa de crescimento e produzem grandes quantidades de biomassa (CARDOSO et al, 2003).

A utilização destas plantas em ambientes muito poluídos pode trazer diversos prejuízos aos usos múltiplos de rios, lagos e represas, dificultando a navegação e a captação de água, prejudicando a geração de energia elétrica, comprometendo as atividades de lazer,

bloqueando o fluxo de água em canais de irrigação, e contribuindo para a diminuição de oxigênio dissolvido na água, podendo causar a eutrofização do corpo aquático (HENRY-SILVA et al, 2008; VELINI et al, 2005; CARVALHO et al, 2005; NEGRISOLI et al, 2006).

No entanto, por possuírem alta capacidade de absorção de nutrientes, são bastante utilizadas no tratamento de rios e lagos poluídos/contaminados, efluentes industriais, da aquicultura e diversos outros materiais poluentes (DINARDI et al, 2003; LIN et al, 2002; HENRY-SILVA e CAMARGO, 2008; Maine et al, 2006).

A estimativa mundial para os gastos com tratamento para despoluição ambiental gira em torno de 25 a 30 bilhões de dólares ao ano (DINARDI et al, 2003). Já o tratamento de ambientes aquáticos poluídos por meio de macrófitas aquáticas apresenta baixo custo e deixa a possibilidade de reciclagem da biomassa produzida que pode, dependendo de sua qualidade, ser utilizada como ração animal, fertilizante, geração de energia (biogás ou queima direta), produção de etanol, fabricação de papel, extração de proteínas para uso em rações, produção de concentrado protéico para alimentação humana, produção de materiais de construção ecológicos, artesanato, etc. (FARIA, 2002; HENRY-SILVA et al, 2006; VERMA et al, 2007; BARBIERI et al, 2004; BORTOLOTTO e GUARIM NETO, 2005; MISHIMA et al, 2008).

O aproveitamento das macrófitas para qualquer uso depende da determinação de várias propriedades físico-químicas típicas para a aplicação que se pretende, dos teores de poluentes acumulados e constatação que os mesmos não desobedecem à legislação.

Cabe destacar que as condições do local estudado produzem as macrófitas naturalmente, eliminando ao mesmo tempo, o custo de seu cultivo e um dos problemas ambientais atual da cidade, que é o de remover estas plantas durante grande parte do ano. Desta forma, além de contribuir para a melhoria da qualidade das águas do Rio Apodi/Mossoró, dependendo de sua composição, as macrófitas aquáticas poderiam ser utilizadas pela população, por exemplo, para a alimentação de seus animais.

1.1 JUSTIFICATIVA

Nos últimos anos têm-se verificado uma enorme atenção às questões ambientais, principalmente, a poluição das águas, de forma que muitos estudiosos vêm apresentando trabalhos relacionados a este tema (SOUZA e TUNDISI, 2000; BONNET et al, 2008; GRÜTZMACHER et al, 2008). No entanto, um dos grandes problemas que se enfrenta, na maioria das vezes, é o alto custo exigido para a despoluição desses ambientes utilizando métodos convencionais, já que a solução necessita aliar eficiência tecnológica com viabilidade econômica.

A bacia do Rio Apodi/Mossoró apresenta uma grande variedade de riquezas naturais e é utilizada em atividades agropecuárias, na recreação, pesca, dessedentação de animais, dentre várias outras atividades que a destaca como um importante recurso hídrico superficial para a região oeste-potiguar (MARTINS et al, 2008b).

No entanto, vários pontos da bacia, como por exemplo, a cidade de Mossoró, vem sofrendo constantemente com a grande quantidade de lixo e efluentes jogados em suas águas. Estas ações estão causando problemas, como alto índice de eutrofização de alguns trechos, identificado pela presença de grandes quantidades de macrófitas que crescem desordenadamente.

A utilização de macrófitas aquáticas para a recuperação de ambientes aquáticos poluídos/contaminados por fonte doméstica, agrícola ou industrial, mostra-se bastante eficiente. Entretanto, em locais com alto índice de poluição, estas plantas se desenvolvem com extrema velocidade, produzindo grande quantidade de biomassa, sendo necessário um intenso trabalho de controle para que não ocorra a eutrofização total daquele ambiente (CARDOSO et al, 2003).

Outra questão preocupante é a utilização destas macrófitas para a alimentação de animais criados ao longo do rio e utilizados como fonte de alimento e renda principalmente pela comunidade ribeirinha, sem que as mesmas saibam o risco que estas plantas podem trazer a saúde dos mesmos e da própria população.

Vários trabalhos de monitoramento vêm sendo realizados em todo o curso do Rio Apodi/Mossoró (MARTINS et al, 2008a; MARTINS et al, 2008b; DANTAS et al, 2009). Porém, não existem trabalhos que tratem de questões relacionadas à descontaminação de suas águas.

Sendo assim, este trabalho inicia estudos que mostrem formas de se diminuir a poluição do rio, contribuindo diretamente para a melhoria da qualidade de suas águas, e de forma indireta à melhoria da qualidade de vida da população.

Cabe destacar que, a aplicação de macrófitas para a recuperação de rios temporários ainda não foi bem estudada, sendo que a comprovação de sua eficiência seria uma inovação tecnológica importante para a região.

Se a esta possibilidade, for possível aliar alguma forma economicamente viável de utilização da biomassa produzida, certamente se teria uma atividade de suma importância para o desenvolvimento e melhoria do padrão de vida das pessoas da região. Além disso, contribuiria para minimizar a poluição do rio e melhorar o desempenho de outras atividades econômicas comuns neste ambiente.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Geral

Determinar a quantidade de nutrientes e elementos tóxicos em macrófitas aquáticas da espécie *Eichhornia crassipes* presentes no Rio Apodi/Mossoró e verificar possibilidades viáveis do uso da biomassa produzida, tomando como base a influência espaço-temporal e fisiológica na absorção dos nutrientes pelas plantas.

1.2.2 Específicos

Determinar nas macrófitas aquáticas da espécie *Eichhornia crassipes* presentes no Rio Apodi/Mossoró:

- a área foliar, massa foliar úmida, massa foliar seca, umidade real, umidade aparente e cinzas;

- a quantidade de macronutrientes (cálcio, magnésio, potássio, fósforo e nitrogênio total) absorvidos;
- o teor de proteína bruta presente nas mesmas;
- a quantidade de micronutrientes (ferro, cobre, manganês, zinco, níquel e cobalto) absorvidos;
- a quantidade de elementos benéficos (sódio e alumínio);
- os níveis de elementos tóxicos (cádmio, chumbo e cromo total) presentes no tecido vegetal.

REVISÃO DA LITERATURA

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

2.1.1 Bacia Hidrográfica do Rio Apodi/Mossoró

A bacia hidrográfica do Rio Apodi/Mossoró é a segunda maior do Estado, ocupando uma área de 14.271 km² o que corresponde a 26,8% do território. Estende-se desde a nascente no município de Luiz Gomes, localizado na Serra do Major, até a foz, entre os municípios de Grossos e Areia Branca, compreendendo um curso de 210 km de extensão (**Figura 1**) (MARTINS et al, 2008a e b).

Com o surgimento das primeiras comunidades em suas margens, o Rio Apodi/Mossoró passou a ser utilizado na dessedentação de animais, na navegação, interligando os municípios de Mossoró e Areia Branca, e para o próprio consumo humano (OLIVEIRA e QUEIROZ, 2008). Segundo Martins et al (2008a e b) e Dantas et al (2009), apesar dos níveis de contaminação que vêm sendo evidenciados através de diversos trabalhos de monitoramento, as suas águas possuem uma grande variedade de riquezas naturais e é utilizada em atividades agropecuárias, na recreação, na pesca, na dessedentação de animais, na navegação, como agente diluidor, dentre várias outras atividades.

O Rio Apodi/Mossoró corta diversos municípios do Estado como Pau dos Ferros, Apodi, Felipe Guerra, Governador Dix-Sept Rosado e Mossoró, destacando-se como o mais importante recurso hídrico superficial de toda a região oeste. Os seus principais afluentes são os Rios do Carmo, Upanema e Umarí, os Riachos Pitombeira, Tapuio, Grande e Bonsucesso, e o Córrego Apodi (NUNES, 2006).

O represamento de suas águas possibilitou a construção de duas grandes barragens no Estado do Rio Grande do Norte: a barragem de Santa Cruz do Apodi, localizada no Município de Apodi, com capacidade para armazenar 600.000.000 m³ de água, sendo considerada a segunda maior do Estado; e a barragem de Umarí no Município de Upanema com capacidade para acumular 200.000.000 m³, garantindo o abastecimento para uso humano e para a agricultura de toda a região (NUNES, 2006).

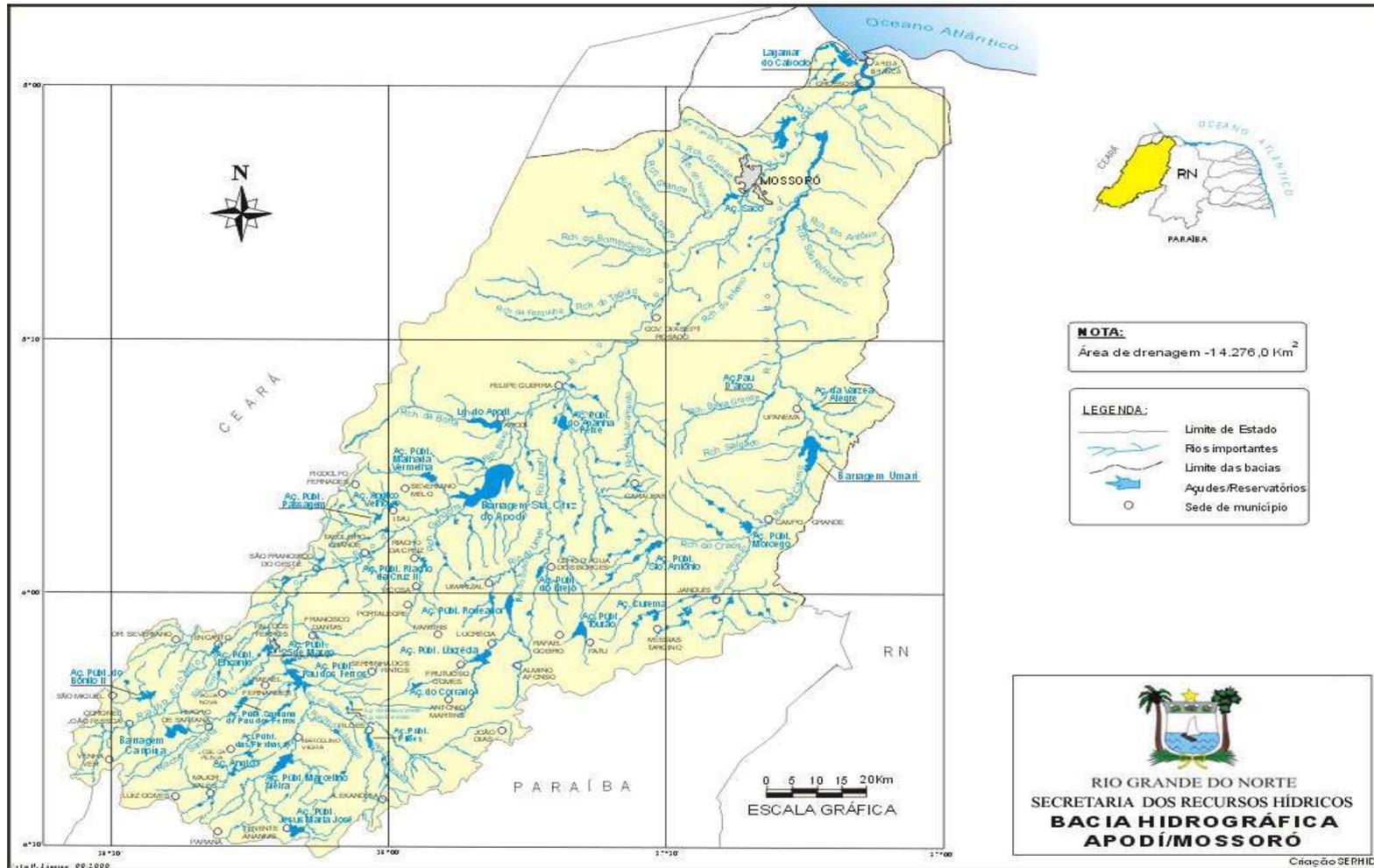


Figura 1 – Bacia Hidrográfica do Rio Apodi/Mossoró.
 Fonte: Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Rio Grande do Norte.

2.2 AMBIENTES AQUÁTICOS

Os ambientes aquáticos apresentam grande diversidade e compreendem vários tipos de ecossistemas, como lagos, rios, estuários e oceanos, tendo sua composição química alterada constantemente em função, principalmente, da sua dinamicidade (COSTA e OLIVI, 2008). No entanto, têm-se verificado um aumento da influência de outros fatores em sua composição.

A ação antropogênica é um dos fatores que tem contribuído significativamente para a alteração das características físicas, químicas e biológicas dos ecossistemas aquáticos. O lançamento de efluentes domésticos, agrícolas e industriais sem tratamento adequado em rios e lagos pode provocar diversos problemas, como a eutrofização do ambiente, e a morte de peixes e outros seres vivos.

Segundo Rörig et al (2007) a urbanização é uma das grandes responsáveis por vários tipos de alterações nos ecossistemas. Já para Castro (2008), além desta, a poluição das águas continentais é reflexo dos crescimentos industriais e econômicos, ampliados pelo descuido e falta de preparo das empresas, governos e da própria população.

A poluição destes ambientes além de diminuir a qualidade das águas, afeta diretamente a vida de todas as espécies, sejam vegetais ou animais, que habitam e dependem daquele ecossistema para a sua sobrevivência. Desta forma, qualquer ação causadora de um desequilíbrio ambiental pode provocar a diminuição e até a extinção de espécies nativas, e o desenvolvimento desenfreado de espécies estranhas àquele ambiente, desencadeando o surgimento de diversos outros problemas.

2.3 MÉTODOS DE TRATAMENTO DE AMBIENTES POLUÍDOS

Em virtude da grande quantidade de problemas ambientais, principalmente, em ambientes terrestres e aquáticos, têm-se tentado desenvolver métodos cada vez mais eficazes de recuperação destes locais.

A preocupação com a recuperação de áreas poluídas é bastante recente, no entanto, pode-se encontrar diversos métodos convencionais de tratamento destes ambientes como, por exemplo: a remediação por lodos ativados, técnica que necessita de um pré-tratamento por sistemas físico-químicos (adsorção, coagulação e/ou precipitação); e alternativos, como a

biorremediação, que consiste no uso de organismos vivos para a remoção ou redução de poluentes no ambiente (GAYLARDE et al, 2005). Dentro da biorremediação, a fitorremediação destaca-se como uma das técnicas mais estudadas. Segundo Jadia e Fulekar (2009) esta técnica consiste basicamente no uso de plantas para a recuperação ou estabilização de ambientes poluídos.

Em virtude do alto custo exigido na recuperação de áreas poluídas pela maioria das técnicas convencionais de tratamento, a fitorremediação tem-se mostrado bastante viável em função, principalmente, do seu baixo custo e alta eficiência na recuperação destes ambientes (XIA e MA, 2005).

2.3.1 Fitorremediação

A fitorremediação, como mencionado anteriormente, é uma técnica de biorremediação que consiste no uso de plantas para recuperar total ou parcialmente a qualidade de um ambiente impactado. De acordo com Raskin e Ensley (2001), a fitorremediação é uma tecnologia emergente que visa proporcionar um tratamento barato, suave e seguro, aplicável a ambientes contaminados.

Para isso, as plantas podem remediar ambientes poluídos através de alguns mecanismos principais como:

- a) Fitoextração: neste processo, as plantas absorvem os contaminantes pelas raízes, onde são armazenados ou transportados e acumulados nas partes aéreas. De acordo com Oliveira et al (2007), a fitoextração tem sido uma das técnicas mais utilizadas para a fitorremediação de solos contaminados, devido, principalmente, a alta eficiência e o baixo custo exigido;
- b) Fitovolatilização: é o mecanismo no qual as plantas transformam o poluente em uma forma volátil, eliminando-o assim, para a atmosfera (VALITUTTO, 2004). Esta técnica é bastante utilizada para recuperação de ambientes contaminados com As, Se e Hg, onde os mesmos são transformados em forma voláteis e eliminados através do tecido das folhas (OLIVEIRA et al, 2007).
- c) Fitodegradação: os poluentes são degradados ou transformados em moléculas mais simples pela própria planta através de enzimas específicas. Dentre elas podem-se

- destacar as nitroreduases, responsáveis pela degradação dos compostos nitroaromáticos, e as desalogenases, que degradam solventes clorados e pesticidas.
- d) Rizodegradação: nesta técnica o contaminante é degradado na região rizosférica pela ação de bactérias e fungos. As plantas, por sua vez, podem alterar o ambiente geoquímico da rizosfera a fim de proporcionar condições ideais para o crescimento e desenvolvimento de fungos e bactérias que irão atuar diretamente no processo de degradação dos contaminantes orgânicos (SUSARLA et al, 2002).
- e) Fitoestabilização: é uma técnica de remediação que estabiliza os poluentes e evita a exposição dos mesmos através da erosão, lixiviação, suprimindo a migração dos contaminantes nas águas subterrâneas. De acordo com Prasad e Freitas (2003), diferentemente de outras técnicas, o objetivo da fitoestabilização não é o de remover os contaminantes do ambiente, mas sim, estabilizá-los e reduzir os riscos para a saúde humana e para o ambiente.
- f) Rizofiltração: este processo é aplicado para a remediação de ambientes aquáticos. Nele, as plantas absorvem e concentram os metais nas suas raízes e brotos. Segundo Prasad e Freitas (2003), a maioria dos pesquisadores acredita que as plantas para fitorremediação devem acumular metais apenas nas raízes. Para Dushenkov et al (1995), a translocação dos metais para as folhas diminuiria a eficiência da rizofiltração. No entanto, alguns outros defendem que a eficiência do processo pode ser aumentada com a translocação dos metais para a parte aérea das plantas (ZHU et al, 1999).

Diante do mencionado, é possível recuperar ambientes poluídos por diversos tipos de substâncias como, por exemplo, metais (Pb, Zn, Cu, Ni, Hg, Se), compostos inorgânicos (NO_3^- , NH_4^+), elementos radioativos (U, Cs, Sr), hidrocarbonetos derivados de petróleo, pesticidas e herbicidas, explosivos (TNT, DNT), dentre várias outras (COUTINHO e BARBOSA, 2007; OVERALL e PERRY, 2004; LESAGE et al, 2007; SOARES et al, 2007).

A fitorremediação apresenta diversas vantagens por exigir, principalmente, baixos investimentos e custos de operação; abranger uma grande quantidade de poluentes; ser aplicável *in situ* e em grande escala; e ainda apresentar uma boa aceitação pela população. No entanto, a resolução dos problemas de poluição com o uso da fitorremediação se dá em longo prazo; o crescimento e desenvolvimento das plantas dependem do clima e do ambiente de cultivo; e sem o manejo adequado, as plantas podem apresentar crescimento desordenado em

ambientes altamente poluídos, podendo causar prejuízos ainda maiores, tornando esta técnica inviável em algumas situações.

Portanto, para que a fitorremediação seja aplicada em uma determinada área, alguns padrões devem ser considerados, como o tipo de poluente presente naquele ambiente, sua concentração, e a capacidade fitorremediadora da espécie de planta a ser utilizada (COUTINHO e BARBOSA, 2007). Este último é de fundamental importância tendo em vista que uma determinada espécie pode ser capaz de absorver em maior quantidade um tipo de substância do que outra espécie. Desta maneira, pode-se obter melhores taxas de remoção dos poluentes em menor tempo.

Desta forma, pode-se encontrar uma grande diversidade de espécies com capacidade de serem utilizadas na recuperação de ambientes poluídos. No caso do presente trabalho, onde o local estudado consiste num ambiente aquático, encontra-se na literatura diversos trabalhos que comprovam a eficiência de uma infinidade de espécies de macrófitas aquáticas utilizadas no tratamento destes ambientes (Ver item 2.3.1.3), aliando eficiência e baixo custo de aplicação.

2.3.1.1 Macrófitas Aquáticas

Macrófitas aquáticas são vegetais que, com o decorrer do processo evolutivo, retornaram do ambiente terrestre para o aquático. Segundo o Programa Internacional de Biologia (IBP), macrófita aquática é a denominação mais adequada para caracterizar vegetais que habitam desde brejos até ambientes verdadeiramente aquáticos (ESTEVES, 1998).

Pode-se encontrar, nos mais diversos ambientes aquáticos, uma grande variedade de formas biológicas de macrófitas, indo desde plantas anfíbias até epífitas (**Figura 2**).

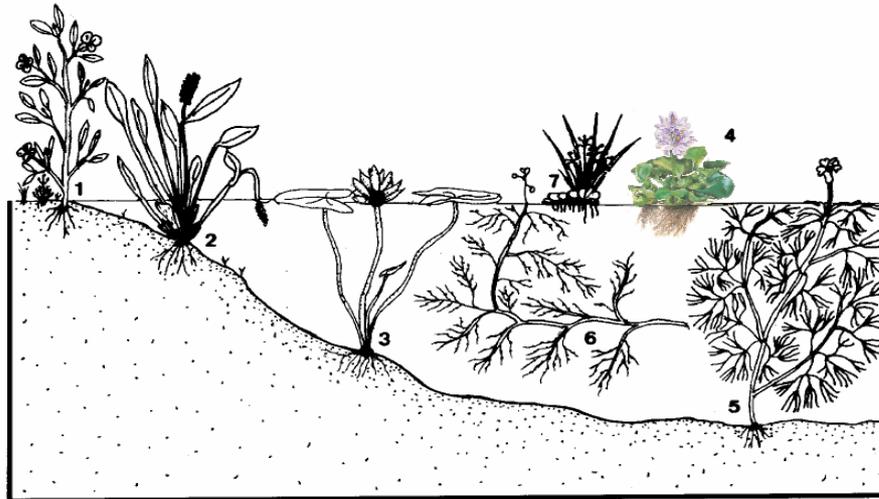


Figura 2 – Formas biológicas das macrófitas aquáticas. 1 – Anfíbia. 2 – Emergente. 3 – Flutuante fixa. 4 – Flutuante livre. 5 – Submersa fixa. 6 – Submersa livre. 7 – Epífita. Fonte: Gonçalves, 2006.

De acordo com Thomaz e Bini (2003) as macrófitas aquáticas flutuantes, estudadas neste trabalho, se encontram, frequentemente, em ambientes eutrofizados, ou seja, com elevados níveis de nutrientes, apresentando altos valores de biomassa e cobrindo toda a lâmina d'água.

Estas macrófitas absorvem do meio grande quantidade de poluentes como, nitrogênio e fósforo, utilizando-os para o seu crescimento e desenvolvimento. Por este motivo, são bastante utilizadas no tratamento e recuperação de lagos e rios poluídos, efluentes industriais, efluentes da carcinicultura, dentre vários outros (NEGRISOLI et al, 2006; MARTINS et al, 2007; GOULET et al, 2005; HENRY-SILVA e CAMARGO, 2008; MANGABEIRA et al, 2004).

Entre as espécies utilizadas em processos de fitorremediação, algumas se destacam por sua alta capacidade de remoção de diferentes classes de substâncias. As macrófitas aquáticas da espécie *Eichhornia crassipes* estudadas neste trabalho, tem-se apresentado como uma opção viável para aplicação da técnica, tendo em vista os bons resultados obtidos por vários pesquisadores (Ver item 2.3.1.3).

2.3.1.2 *Eichhornia crassipes*

As macrófitas aquáticas da espécie *Eichhornia crassipes*, utilizadas neste trabalho, são plantas aquáticas flutuantes (**Figura 2**) da família *Pontederiaceae* bastantes comuns em regiões de clima tropical. É usualmente conhecida como aguapé, camalote, mureré da Amazônia, jacinto de água e lírio de água, variando de acordo com a região em que é encontrada (CASTRO, 2008).

Sua reprodução pode ocorrer de duas maneiras: por estolões, caules que crescem lateralmente; ou então sexualmente, por meio de sementes. Segundo Castro (2008), duas plantas podem gerar 1200 plantas-filha em apenas 4 meses. Devido a essa grande capacidade de reprodução, principalmente em ambientes ricos em nutrientes, esta espécie de macrófita é responsável por diversos problemas, especialmente, na navegação e captação de água, na geração de energia elétrica, atividades de lazer, diminuição do oxigênio dissolvido e no bloqueio do fluxo de água em canais de irrigação (HENRY-SILVA et al, 2008; VELINI et al, 2005; CARVALHO et al, 2005; NEGRISOLI et al, 2006).

No entanto, com o manejo adequado, elas podem propiciar diversas vantagens aos ambientes em que estão inseridas. Ultimamente, muitos pesquisadores tem se dedicado ao estudo do comportamento da *Eichhornia crassipes* na presença de diversas classes de poluentes e de outras espécies de plantas aquáticas, verificando assim a sua capacidade de absorção de diferentes poluentes do meio, e os efeitos das interações entre as mesmas no processo de fitorremediação.

2.3.1.3 Aplicação

O uso de macrófitas aquáticas na recuperação de ambientes aquáticos tem se expandido bastante em todo o mundo. Isto pode ser constatado pelos inúmeros trabalhos encontrados na literatura. No Brasil, o estudo destas plantas como um potencial fitorremediador tem se intensificado bastante nos últimos anos, em função, principalmente, do seu baixo custo e da ampla aplicabilidade nos mais diversos grupos de substâncias.

Tendo isto em vista, Mishra e Tripathi (2008) testaram a eficácia de três espécies de macrófitas aquáticas (*Pistia stratiotes*, *Spirodela Polyrrhiza* e *Eichhornia crassipes*) na

remoção de Fe, Zn, Cu, Cr e Cd em três diferentes concentrações de cada elemento (1,0, 2,0 e 5,0 mg L⁻¹) no decorrer de 15 dias. Os resultados obtidos pelos autores revelam uma alta taxa de remoção de todos os nutrientes, chegando a valores maiores que 90% no decorrer dos 15 dias de experimento. Segundo os mesmos, a maior taxa de remoção foi atingida no 12º dia, diminuindo um pouco a partir daí, indicando a liberação dos metais na água. Das três espécies, a *Eichhornia crassipes* se destacou pelo maior potencial fitorremediador, obtendo valores de remoção que variaram de 77 a 95% no 12º dia de incubação. Outro fator também observado, foi que as maiores porcentagens de remoção em todas as espécies ocorreram naquelas cultivadas em soluções de 2,0 mg L⁻¹. Desta forma, observa-se claramente a influência da concentração dos metais na capacidade de fitorremediação das macrófitas estudadas, bem como a variação da mesma em diferentes espécies. Em virtude do mencionado, deve-se destacar a importância de se conhecer o ambiente a ser tratado e as concentrações dos poluentes ali presentes, para que se possa, ao final, se obter os melhores resultados.

Pesquisas a respeito da absorção de nitrato por cinco espécies de macrófitas (*Phragmites australis*, *Commelina communis*, *Pennisetum purpureum*, *Ipomoea aquática*, *Pistia stratiotes*) em ambientes aquáticos também deixaram bastante claro os bons resultados obtidos com o uso dessas plantas como agentes fitorremediadores, bem como a necessidade de métodos alternativos como este para a resolução de problemas de poluição/contaminação devido, especialmente, ao custo necessário para se obter resultados positivos (LIN et al, 2002).

O acúmulo de poluentes inorgânicos por macrófitas aquáticas também foi estudado nos reservatórios de Santana e Vigário, que são reservatórios formados a partir da água proveniente do Rio Paraíba do Sul em Barra do Pirai - RJ. Neste caso, foram utilizadas quatro espécies de macrófitas (*Salvinia auriculata*, *Pistia stratiotes*, *Eichhornia crassipes* e *Eichhornia azurea*), onde se pôde constatar a eficiência das mesmas na retirada de diversos micronutrientes. No entanto, a bioacumulação, com relação a alguns metais, variou de uma espécie para outra, mostrando assim a necessidade de maiores cuidados ao se implantar trabalhos de descontaminação de ambientes aquáticos, para que erros relacionados à escolha da espécie a ser utilizada não ocorram. Além disso, os autores ressaltam a necessidade em dar um destino final à biomassa produzida, ficando bastante clara a preocupação dos mesmos quanto ao tempo de exposição das macrófitas ao ambiente, para que problemas maiores sejam evitados (DINARDI et al, 2003).

A contaminação por metais e o estado nutricional do Rio Cachoeira na Bahia – Brasil foi determinado através da análise do tecido vegetal de duas espécies de macrófitas aquáticas, *Eichhornia crassipes* e *Pistia stratiotes*, em sete locais ao longo do rio. Para isto, os autores determinaram o teor de cobre, alumínio, cromo, nitrogênio e fósforo em ambas as espécies. A partir dos resultados obtidos, os autores puderam constatar que os níveis de metais pesados aumentaram no sentido da jusante, principalmente nas raízes das plantas. Já os teores de nitrogênio e fósforo na água e no tecido vegetal tiveram um grande aumento a jusante da cidade de Itabuna. Diante do mencionado, os comportamentos apresentados foram atribuídos aos produtos agrícolas, industriais e urbanos utilizados em toda a região (KLUMPP et al, 2002).

Tendo em vista o alto potencial fitorremediador apresentado por macrófitas aquáticas, Vardanyan e Ingole (2006) analisaram a capacidade de absorção de 14 metais pesados por 45 macrófitas pertencentes a 8 famílias, em duas diferentes localidades (36 no Lago Sevan, Armênia, e 9 no Lago Carambolim, Old Goa, Índia). De acordo com os autores, a maior parte dos metais pesados se acumulou em maior quantidade nas raízes, o que é de se esperar tendo em vista a não essencialidade dos mesmos ao desenvolvimento das plantas. Outro fato observado é que a ocorrência de metais pesados nas plantas foi maior em macrófitas presentes no Lago Sevan, revelando, desta forma, a variabilidade na capacidade de remoção e recuperação de ambientes poluídos com diferentes características.

A geração de efluentes pelas indústrias é um dos fatores preocupantes em todo o processo produtivo. A tendência atual é de reduzir ao máximo os efeitos negativos causados ao meio ambiente proveniente deste tipo de material. Com base no mencionado, alguns pesquisadores têm dedicado seu tempo ao estudo do processo de recuperação destes efluentes com macrófitas aquáticas.

Henry-Silva e Camargo (2006) avaliaram a eficiência de três espécies de macrófitas aquáticas (*Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes* e *Salvinia molesta*) no tratamento de efluentes de tanques de cultivo de tilápias do Nilo. O trabalho consistiu no uso de três tanques para cada espécie de macrófita, e três tanques de controle, ou seja, sem plantas. As amostras foram coletadas da água de abastecimento, do efluente do viveiro com as tilápias do Nilo, e dos efluentes tratados com as macrófitas, onde foram determinados: turbidez, nitrogênio total, nitrogênio dissolvido, N-amoniaco, N-nitrato, N-nitrito, fósforo total e fósforo dissolvido. Os resultados obtidos mostram que houve uma melhoria na qualidade dos efluentes tratados com as três espécies de macrófitas aquáticas. No entanto, as maiores taxas de remoção de fósforo, nitrogênio e turbidez, alcançado ao longo de 14 semanas, foram obtidas com o uso da

Eichhornia crassipes e *Pistia stratiotes*. Além disso, a avaliação da biomassa final mostrou maiores valores para a *Eichhornia crassipes* quando comparada com as outras duas espécies. Desta forma, os autores destacam que, se o objetivo do trabalho, além de recuperar os efluentes, for de utilizar a biomassa como, por exemplo, alimento animal ou produção de biogás, a *Eichhornia crassipes* é a espécie mais indicada tendo em vista o maior ganho de biomassa. Porém, se este não for o objetivo do trabalho, a *Pistia stratiotes* se apresenta como a espécie mais indicada para uso no tratamento destes tipos de efluentes.

Alguns fatores podem influenciar na capacidade de absorção de substâncias pelas macrófitas aquáticas. Tendo isto em vista, a influência do fotoperíodo na absorção de nutrientes por macrófitas aquáticas foi investigada por Petrucio e Esteves (2000). Os autores quantificaram os teores de nitrogênio total, amoniacal, nitrato, fósforo total e solúvel na água, na presença da *Eichhornia crassipes* e *Salvinia auriculata*, submetidas a dois fotoperíodos diferentes. Os resultados obtidos mostraram uma superioridade na redução de todos os nutrientes pela *Eichhornia crassipes* em relação à *Salvinia auriculata*. Além disso, o aumento do fotoperíodo refletiu num aumento dos percentuais médios de redução de nutrientes por ambas as espécies. Desta forma, os autores destacam que a combinação adequada de temperatura e intensidade luminosa propicia um aumento na capacidade de remoção de nutrientes. Espera-se, portanto, que em alguns períodos do ano como, por exemplo, no verão, as macrófitas apresentem maiores taxas de crescimento e de absorção de nitrogênio e fósforo.

Outro fator que também pode influenciar na absorção de alguns elementos por plantas aquáticas é o estado nutricional do ambiente em que as mesmas são cultivadas. Por este motivo, a capacidade de remoção de ferro pela *Eichhornia crassipes* em diferentes condições nutricionais foi avaliada por Jayaweera et al (2008). O experimento foi realizado em 15 semanas após a aclimação das plantas por uma semana em tanques de fibra de vidro com diferentes concentrações de nitrogênio total e fósforo total, e águas residuárias sintéticas contendo $9,27 \text{ mg L}^{-1}$ de Fe. Além destes, também foi montado um tanque controle contendo ferro na ausência de outros nutrientes. Desta forma, os autores puderam constatar que a remoção de ferro ocorreu em grande parte devido à fitorremediação, principalmente, através do processo de rizofiltração e precipitação química de Fe_2O_3 e $\text{Fe}(\text{OH})_3$ seguido de floculação e sedimentação, e que as plantas cultivadas apenas na presença de ferro, foram as que apresentaram maior potencial fitorremediador, com um acúmulo de $6,707 \text{ mg kg}^{-1}$ de Fe considerando o peso seco na 6ª semana de cultivo. Portanto, pôde-se constatar que o cultivo do aguapé sob condições pobres em nutrientes é ideal para remover Fe de águas residuais, com um tempo de retenção hidráulica de cerca de 6 semanas.

Em trabalho semelhante, Henry-Silva et al (2008) avaliaram o efeito de diferentes concentrações de nitrogênio e fósforo no crescimento de três espécies de macrófitas aquáticas (*Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes* e *Salvinia molesta*). As plantas foram cultivadas em tanques com fluxo contínuo de efluentes provenientes da cultura de tilápias do Nilo, e coletadas mensalmente em locais com as mais altas concentrações e mais baixas concentrações de nutrientes. Com os resultados obtidos, os autores puderam constatar que a *Eichhornia crassipes* teve um maior ganho de biomassa quando comparado com as duas outras espécies, e no final do experimento, tanto esta, como a *Pistia stratiotes*, apresentou maior crescimento de biomassa na presença de maiores concentrações de nutrientes do que em menores concentrações. Já a biomassa da *Salvinia molesta* no final do experimento, não apresentou diferença nos dois níveis de concentração. Desta maneira, fica bastante clara a influência dos níveis de nutrientes no crescimento de algumas espécies de macrófitas aquáticas, onde os mesmos acabam sendo fatores limitantes e imprescindíveis na escolha de espécies a serem utilizadas como agentes fitorremediadores de ambientes aquáticos.

Contudo, apesar dos benefícios apresentados com o uso destes agentes na recuperação de ambientes impactados, os mesmos podem se não aplicados de forma correta, causar diversos prejuízos.

Em ambientes contaminados por mercúrio, estudos revelam que a situação dos mesmos pode ser bastante agravada devido à formação do metilmercúrio, que aumenta a dispersão do mercúrio pelo ambiente, ocasionado principalmente pela presença da macrófita *Eichhornia crassipes* (MAURO et al, 1999). Esse composto é formado em ambientes contendo estas plantas devido à intensa atividade microbiana em suas raízes e a produção de compostos húmicos e fúlvicos que favorecem a metilação. Por isso, torna-se indispensável antes da implantação de procedimentos de descontaminação como estes, um estudo sobre toda a área, a fim de identificar quais os poluentes responsáveis pelo problema e a partir daí determinar qual metodologia utilizar.

A acumulação de mercúrio em macrófitas aquáticas também foi estudada por Molisani et al (2006). Neste estudo, os autores determinaram a concentração de Hg em cinco espécies de macrófitas aquáticas (*Elodea densa*, *Sagittaria montevidensis*, *Salvinia auriculata*, *Pistia stratiotes* e *Eichhornia crassipes*) coletadas em duas represas abastecidas com águas da transposição do Rio Paraíba do Sul, sudeste do Brasil. Segundo Molisani e colaboradores, em geral, as maiores concentrações do analito se encontraram nas macrófitas flutuantes, e nas raízes de todas as espécies, tendo em vista que o transporte raiz-folha é dificultado em função da não essencialidade do metal ao organismo das mesmas, fato esse que também foi

observado e discutido por outros estudiosos, tanto para o mercúrio como para outros elementos. No entanto, os autores chamam a atenção para a mobilidade do mercúrio que pode ser ampliada pela má administração da biomassa produzida.

Em virtude do mencionado, trabalhos como este, onde se tem a possibilidade de conhecer o comportamento destes agentes fitorremediadores frente a variações temporais, espaciais e fisiológicas, e a partir daí, se propor as melhores formas de aproveitamento da biomassa, são cada vez mais necessários, principalmente em ambientes ainda pouco explorados, como é o caso do Rio Apodi/Mossoró.

2.4 NUTRIÇÃO MINERAL

Todos os seres vivos absorvem do meio em que estão inseridos substâncias que serão utilizadas na sua constituição, mantendo o metabolismo, crescimento e desenvolvimento.

Existem diversos elementos essenciais às plantas que devem estar presentes no ambiente em que são cultivadas (**Tabela 1**). Alguns deles são exigidos em maiores quantidades e são denominados macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, C, H e O), outros que são exigidos em pequenas quantidades, denominam-se micronutrientes (B, Cl, Se, Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni e Zn) (Malavolta, 2008). No entanto, é completamente errônea a idéia de que os macronutrientes por serem essenciais em maiores quantidades são mais importantes que os micronutrientes. Os dois grupos de nutrientes são igualmente importantes, pois a sua falta irá causar prejuízos no crescimento e desenvolvimento do vegetal.

Segundo Kerbauy (2004) para que os elementos minerais sejam considerados essenciais eles têm que obedecer a três critérios:

- a) Um elemento pode ser considerado essencial quando, na sua ausência, a planta não consegue completar o seu ciclo de vida;
- b) O elemento possui função específica, não podendo ser substituído;
- c) O elemento deve estar ligado diretamente ao metabolismo do vegetal, fazendo parte de um constituinte essencial.

Tabela 1: Elementos considerados macro e micronutrientes.

Nutrientes	Metais	Não metais
Macronutrientes	K, Ca e Mg	C, H, O, N, P e S
Micronutrientes	Fe, Mn, Zn, Cu, Mo, Co e Ni	B, Cl e Se

Fonte: Adaptada de Malavolta, 2008.

Há ainda outros elementos que não são considerados essenciais a todas as plantas, mas, em determinados grupos, desempenham funções indispensáveis à vida das mesmas, sendo, portanto, considerados elementos benéficos (Si, Na, Al) (KERBAUY, 2004).

Segundo Malavolta (2008), pode ser que a lista de nutrientes considerados essenciais e benéficos venha a aumentar ou não. Para isso é necessário que estudos refinados a respeito da contribuição de outros elementos para o desenvolvimento das plantas sejam realizados a fim de se obter novas informações a respeito destas.

Todos estes nutrientes desempenham funções vitais à planta, promovendo benefícios ou malefícios dependendo da presença ou ausência dos mesmos no tecido vegetal. No entanto, quando se faz uma análise química completa do tecido vegetal, pode-se encontrar, além dos nutrientes e elementos benéficos, elementos tóxicos às plantas, como Cr, Cd, Pb e Hg. Segundo Prado (2008), mesmo em baixas concentrações no ambiente, estes elementos podem apresentar alto potencial maléfico, acumulando-se na cadeia trófica e diminuindo o crescimento, podendo levar até a morte da planta.

Vale destacar que qualquer elemento, quer seja essencial ou benéfico, quando em altas concentrações no ambiente em que as plantas são cultivadas, pode tornar-se tóxico às mesmas, causando diversos prejuízos ao seu desenvolvimento.

A **Tabela 2** apresenta uma relação entre a presença de todos os nutrientes e elementos benéficos determinados neste trabalho e sua função nas plantas.

Tabela 2: Nutrientes e elementos benéficos às plantas e suas funções no tecido vegetal.

Elemento	Função
Nitrogênio	Composição de aminoácidos e proteínas; síntese de clorofila e algumas enzimas; estimula o crescimento das plantas; aumenta a utilização dos carboidratos disponíveis para a formação das células e do protoplasma.
Fósforo	Regulação da atividade de enzimas; liberação de energia do ATP e do fosfato de nucleotídeo de adenina; constituinte dos ácidos nucléicos; síntese de sacarose, fosfolipídios e celulose.
Potássio	Importante na expansão celular; economia de água; abertura e fechamento dos estômatos; ativação de enzimas.
Sódio	Capacidade de substituir o K em funções não específicas, como o K vacuolar, quando o suprimento deste é limitado.
Cálcio	Participa do crescimento da parte aérea e das pontas das raízes; redução do efeito catabólico das citocininas na senescência; regulação do nível de oxalato, fosfato, carbonato; como pectato, na lamela média, funciona como “cimento” entre células adjacentes.
Magnésio	Ocupa o centro do núcleo tetrapirrólico da clorofila; cofator das enzimas que transferem P entre ATP e ADP; fixação do CO ₂ ; estabilização dos ribossomas para a síntese de proteínas.
Cobalto	Parte da coenzima da vitamina B12 – fixação simbiótica do N; ativação da isomerase da metilmelonil CoA – síntese do núcleo pirrólico.
Cobre	Função estrutural em enzimas que podem reagir diretamente com o oxigênio molecular e catalisar preferencialmente processos terminais de oxidação; Proteínas contendo cobre são importantes nos processos da fotossíntese, da respiração, da desintoxicação dos radicais livres de superóxidos e da lignificação.
Ferro	Participante de reações de óxido-redução e de transferência de elétrons; componente de sistemas enzimáticos: oxidases do citocromo, catalases, peroxidases, SOD; papéis indiretos: síntese de clorofila e proteínas, controle da síntese de alanina, crescimento do meristema na ponta da raiz.
Manganês	Atua na fotólise da água, no processo de transferência de elétrons que catalisa a decomposição da molécula de H ₂ O; cofator para redutases de nitrito e hidroxilamina, oxidase de ácido indolacético, polimerase do RNA, fosfoquinase, fosfotransferases.
Níquel	Resistência de doenças (ferrugens); composição estrutural da uréase; formação de complexos estáveis com aminoácidos e ácidos orgânicos.
Zinco	Ativador de várias enzimas, podendo fazer parte da constituição de algumas delas; síntese do ácido indoloacético; síntese protéica e redução do nitrato.
Alumínio	Em baixas concentrações estimula o crescimento de algumas plantas.

Fonte : Adaptada de Malavolta (2008), Prado (2008), Kerbauy (2004).

2.5 TÉCNICAS ANALÍTICAS UTILIZADAS

Neste trabalho, foram utilizadas algumas técnicas espectroanalíticas para a determinação de vários elementos. Todas elas são discutidas a seguir, destacando-se os seus princípios básicos e algumas de suas peculiaridades.

2.5.1 Espectroscopia de Absorção Atômica

A Espectroscopia de Absorção Atômica é uma das técnicas mais difundidas e utilizadas na determinação de elementos traços nos mais diversos tipos de amostras, em virtude da sua alta simplicidade, efetividade, sensibilidade, robustez, baixos limites de detecção para vários elementos em diferentes tipos de amostras e principalmente por apresentar um custo relativamente baixo quando comparada com outras técnicas existentes (BORGES et al, 2005; SKOOG et a, 2008; FRESCHI et al, 2000).

Esta técnica fundamenta-se na absorção de radiação de frequência específica que é emitida por uma fonte espectral, onde a quantificação obedece aos princípios da lei de Lambert-Beer.

A solução da amostra, por sua vez, é aspirada, e ao entrar em contato com a chama, o elemento da amostra é convertido em vapor atômico, passando a chama a conter átomos do elemento. Alguns são termicamente excitados pela chama, mas a maioria permanece no estado fundamental. Estes átomos podem absorver radiação emitida por uma fonte feita a partir desse elemento. Os comprimentos de onda da radiação emitida pela fonte são os mesmos que os absorvidos pelos átomos presentes na chama (CHRISTIAN, 1994).

2.5.2 Espectroscopia de Emissão em Chama

Segundo Mendham et al (2002) hoje, são utilizados dois métodos principais de espectroscopia de emissão de chama: a fotometria de chama, que é usada, principalmente, na

determinação dos metais alcalinos; e um outro, realizado através da operação de um espectrofotômetro de absorção atômica de chama no modo de emissão.

Nesta técnica, as espécies metálicas são inseridas na chama e quantificadas a partir da quantidade de energia emitida, antecedida por processos físicos e químicos como, evaporação, vaporização e atomização. A energia fornecida pela chama é responsável pela excitação dos elétrons dos átomos presentes. Ao retornarem para o estado fundamental, parte da energia recebida é liberada na forma de radiação, em comprimentos de onda característicos de cada elemento (OKUMURA et al, 2004).

2.5.3 Espectroscopia de Absorção Molecular no UV-Vis

Nesta técnica espectroscópica, as absorções da radiação ultravioleta e visível pelas moléculas são visualizadas como bandas de absorção eletrônicas; onde, cada uma é formada por várias linhas discretas, e bem próximas entre si. Cada linha é originada através da transição de um elétron que se encontra no estado fundamental para um dos estados vibracionais e rotacionais que estão associados a cada estado excitado de energia eletrônica. (SKOOG et al, 2008).

Essas absorções dependem da estrutura eletrônica da molécula e a absorção dessa energia é quantizada, o que conduz a um estado de energia mais elevado. Conforme citado por Cienfuegos e Vaitsman (2000),

Desta forma, na determinação de um espectro de um determinado composto na região do UV-Vis deve-se medir sua intensidade e o comprimento de onda no qual a absorção foi máxima.

Além disso, é imprescindível a dissolução do analito em um solvente adequado. Segundo Skoog et al (2008), um solvente para a espectroscopia no ultravioleta/visível não deve absorver na mesma região do espectro na qual o analito absorve. Dentre os solventes utilizados, a água, etanol, hexano e ciclo-hexano são os mais comuns e indicados na determinação de diversas espécies moleculares.

2.5.4 Espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES)

A espectroscopia de emissão óptica é uma técnica que tem como base a emissão de radiação eletromagnética no ultravioleta e visível do espectro eletromagnético pelas espécies em estudo. Nesta técnica a energia necessária para a atomização, ionização e excitação do analito é fornecida por um plasma.

O plasma é um fluxo gasoso formado por íons, átomos e seus elétrons em estado altamente energizado mantido por um fluxo constante de argônio e pelo campo magnético gerado numa bobina de indução. Conforme citado em Cienfuegos e Vaitsman (2000).

A fonte de plasma possui alta estabilidade e diversas características que minimizam efeitos de interferências provocados pela formação de compostos estáveis. É ainda capaz de excitar vários elementos que não são excitados pelas técnicas convencionais de chama (BEZERRA JÚNIOR, 2008).

O ICP-OES é uma técnica de determinação multielementar que tem a vantagem de executar um grande número de determinações em um curto intervalo de tempo, além de possuir uma alta sensibilidade, fornecendo valores em até ppb. No entanto, um dos principais inconvenientes, é o alto custo exigido para obtenção e manutenção do equipamento.

MATERIAIS E MÉTODOS

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS

3.1.1 Reagentes

Os reagentes utilizados foram de grau analítico e estão listados na **Tabela 3**. Todas as soluções foram preparadas utilizando água destilada.

Tabela 3: Reagentes utilizados nas análises e seus respectivos fabricantes.

Item	Reagentes	Fabricante
1	Ácido sulfúrico P.A.	CRQ
2	Peróxido de hidrogênio P.A.	CAAL
3	Sulfato de sódio anidro	LABSYNTH
4	Sulfato de cobre pentahidratado	CAAL
5	Hidróxido de sódio	VETEC
6	Ácido nítrico	QUIMEX
7	Ácido clorídrico	FM
8	Ácido bórico	B. HERZOO
9	Azul de metileno	SYNTH
10	Vermelho de metila	VETEC
11	Dihidrogenofosfato de potássio P.A.	VETEC
12	Molibdato de amônio	QEEL Indústrias Químicas
13	Vanadato de amônio	VETEC

3.1.2 Vidrarias e utilitários

Neste trabalho foram empregados vidrarias e utilitários comuns de um laboratório de química analítica como: béqueres, erlenmeyers, buretas, bastões de vidro, tubos para digestão,

pipetas graduadas e volumétricas, balões volumétricos, funis de vidro, papel de filtro, sacos de papel, etc.

3.1.3 Equipamentos

Todos os equipamentos utilizados neste trabalho estão listados na **Tabela 4**, seguidos pela marca e modelo respectivamente.

Tabela 4: Equipamentos utilizados nas análises.

Item	Equipamentos	Marca/Modelo
1	Estufa com circulação forçada de ar	QUIMIS/Q-314M243
2	Medidor de área foliar de bancada	AREA METER/LI-COR 3100
3	Balança analítica	Tecnal/Mark 210 ^a
4	Bloco digestor	Tecnal/TE-040/25
5	Destilador de nitrogênio	Tecnal/TE 0363
6	Forno tipo mufla	EDG Equipamentos/EDG 3P-S
7	Chapa aquecedora	Ética Equip. Cient. S. A./208.3
8	Fotômetro de chama	QUIMIS/Q398M2
9	Espectrofotômetro de absorção molecular UV-Vis	SHIMADZU/UV-1650 PC
10	Espectrofotômetro de absorção atômica	Varian/SpectrAA 50
11	ICP-OES	Shimadzu/ICAP 6300
12	Liquidificador	Arno

3.2 MÉTODOS

Os métodos de análises utilizados foram de acordo com a metodologia prescrita no Manual de análise química de solos, plantas e fertilizantes da EMBRAPA (1999), as Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz (1985), e Standard Methods of APHA (1998), e estão descritos a seguir.

3.2.1 Identificação

Duas amostras de macrófitas aquáticas foram colhidas aleatoriamente e levadas, uma, ao laboratório de biologia da UFRN (Universidade Federal do Rio Grande do Norte), e outra, ao laboratório de biologia de UERN (Universidade do Estado do Rio Grande do Norte), onde foram submetidas à identificação taxonômica e armazenadas em local específico (SOUZA e LORENZI, 2008; GONÇALVES e LORENZI, 2007).

3.2.2 Colheita das amostras

Foram realizadas 4 colheitas em dois diferentes pontos localizados no trecho do Rio Apodi/Mossoró que corta a cidade de Mossoró (Ponto 1 – Canal de Tricotomização, próximo a Honda, e Ponto 2 - Leito principal, próximo a barragem do Geo), estrategicamente escolhidos em função dos fatores antropogênicos, características locais, etc. (**Figuras 3 e 4**).

As quatro colheitas ocorreram nos meses de agosto (0 Mês), outubro (2 Meses) e dezembro (4 Meses) de 2008, e fevereiro (6 Meses) de 2009. O mês de agosto de 2008 foi considerado o mês zero, pois foi onde se deu o início do trabalho de análise, em virtude de ter-se feito uso das plantas que nascem livremente no rio e da impossibilidade de se determinar o dia em que nasceram. No entanto, foi observado que as macrófitas existentes ainda eram bastante jovens (**Figura 5**).

Em todas as coletas foram colhidas sempre e aleatoriamente 32 plantas de cada ponto, armazenando-as em sacos plásticos, devidamente identificados, com um pouco de água dos próprios locais. Após este processo, as mesmas foram levadas ao laboratório de físico-química da UERN para limpeza e tratamento prévio.



Figura 3 - Ponto 1 e sua respectiva coordenada geográfica, localizado canal de tricotomização do Rio Apodi/Mossoró no centro de Mossoró, RN.



Figura 4 - Ponto 2 e sua respectiva coordenada geográfica, localizado no leito principal do Rio Apodi/Mossoró no centro de Mossoró, RN.



Figura 5 – Imagem das macrófitas aquáticas colhidas em agosto de 2008.

3.2.3 Tratamento das amostras

As amostras foram separadas em folhas (limbo + pecíolo) e raízes (**Figura 6**), lavadas com água da torneira e enxaguadas exaustivamente com água destilada. Após este processo, elas foram secas com papel higiênico e submetidas às determinações quantitativas. Vale salientar que todas as determinações foram realizadas sempre em triplicata.



Figura 6 – Divisão estrutural da *Eichhornia crassipes*. 1 – Flor. 2 – Limbo. 3 – Pecíolo. 4 – Rizoma. 5 – Raiz.
Fonte: Gonçalves, 2006.

3.2.4 Determinação da área foliar

Para a determinação da área foliar média levou-se apenas o seu limbo ao Laboratório de Irrigação e Drenagem da UFRSA (Universidade Federal Rural do Semi-árido) para a medição. A medida foi feita utilizando o aparelho de medição de área foliar de bancada AREA METER/LI-COR 3100, previamente calibrado, de acordo com o manual do aparelho. Vale ressaltar que considerou-se a área foliar como sendo apenas a área do limbo. Para a determinação da área foliar média as 32 plantas foram divididas em 8 repetições com 4 plantas cada.

3.2.5 Determinação da massa foliar úmida e seca

As folhas *in natura* (limbo) foram pesadas em balança analítica a fim de se obter a massa foliar antes da desidratação, cujo valor foi obtido da média de triplicatas. A partir daí foram colocadas em sacos de papel e secas em estufa com circulação de ar forçado a 60°C até peso constante (7 dias) de acordo com a metodologia recomendada pela Embrapa. Após a desidratação, as folhas foram pesadas para a obtenção da massa foliar após desidratação, cujo valor foi obtido a partir da média de triplicatas. Para estas determinações as 32 plantas foram divididas em 8 repetições com 4 plantas cada.

3.2.6 Determinação da umidade real

Este procedimento foi realizado em conjunto com a determinação da massa foliar *in natura* e seca das macrófitas. Para isto, além do limbo, o pecíolo e as raízes também foram submetidos ao mesmo processo inicial de pesagem, *in natura* e após a perda da umidade (desidratação), ocorrida com sete dias de aquecimento a 60°C. Para a determinação da umidade média as 32 plantas foram divididas em 8 repetições com 4 plantas cada.

3.2.7 Preparação das amostras

Depois de secas, as folhas (limbo + pecíolo) e raízes foram trituradas separadamente em liquidificador com lâminas de aço inoxidável e armazenadas em frascos de plástico, previamente lavados e secos, para posterior análise. Obteve-se quantidade de material suficiente para se utilizar aproximadamente 0,5 g de amostras em todas as análises, exceto para a primeira colheita, em que o tamanho das plantas foi inferior ao das demais; dessa maneira, obteve-se pouco material e se utilizou aproximadamente 0,1 g de amostras nas análises.

3.2.8 Determinação da umidade aparente

Esta análise foi realizada com o objetivo de se identificar a quantidade de água reabsorvida pelo material após seis meses de estocagem, tendo em vista que o teor de cinzas de todas as colheitas foi determinado após este período. O procedimento realizado está descrito a seguir:

- a) Pesou-se $0,1000 \pm 0,0001$ g ou $0,5000 \pm 0,0001$ g de material em cadinho tarado (Massa úmida);
- b) Levou-se o cadinho com o material à estufa na temperatura de $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ onde permaneceu por duas horas;
- c) Retirou-se os cadinhos e armazenou-se em dessecador até atingir a temperatura ambiente;
- d) Pesou-se os cadinhos, repetindo-se os itens b, c e d até obter peso constante.
- e) Descontou-se a peso da tara do cadinho para obter a massa de água perdida e obter a massa seca;
- f) Calculou-se a umidade aparente para cada amostra utilizando a Equação 1:

$$\%UA = [(Massa \acute{U}mida - Massa Seca) \times 100] \div Massa \acute{U}mida$$

Equação 1

Onde, a massa úmida e massa seca representam, respectivamente, a massa utilizada das folhas (limbo + pecíolo) ou das raízes úmidas e a massa das folhas ou raízes secas após 2 horas a 105°C.

3.2.9 Determinação das cinzas

Os teores de cinzas nas amostras de *Eichhornia crassipes* foram determinados de acordo com o procedimento descrito a seguir:

- a) Após o procedimento de determinação da umidade aparente, colocou-se os cadinhos na mufla na temperatura de 550 °C, onde permaneceram por duas horas;
- b) Transcorrido este tempo, esperou-se a temperatura da mufla reduzir até aproximadamente 100 °C;
- c) Retirou-se os cadinhos e armazenou-se em dessecador até atingir a temperatura ambiente;
- d) Pesou-se os cadinhos, repetindo-se os itens a, b, c e d até obter peso constante;
- e) Descontou-se o peso da tara do cadinho para obter a massa de cinzas;
- f) Calculou-se o teor de cinzas para cada amostra utilizando a Equação 2.

$$\%C = (Massa\ das\ cinzas \times 100) \div Massa\ Seca$$

Equação 2

Onde, a massa das cinzas é a massa do resíduo após calcinação das folhas ou raízes por duas horas a 550 °C, e a massa seca é a massa do resíduo após desidratação, conforme obtido no item 3.2.8.

3.2.10 Determinação de Nitrogênio total e Proteína bruta

O Método usado para a determinação de nitrogênio total e proteína bruta foi o método de Kjeldahl (EMBRAPA, 1999). Este se constitui essencialmente em três etapas de análise

distintas: digestão, destilação e titulação. No processo de digestão, a matéria orgânica presente na amostra é decomposta, sob aquecimento, utilizando-se ácido sulfúrico concentrado e uma mistura de catalisadores (sulfato de cobre + sulfato de sódio). Neste processo, todo o nitrogênio presente na amostra é transformado em um sal de amônio.

Em seguida, no processo de destilação, o íon amônio presente no sal formado reage com o íon hidróxido que, sob aquecimento, libera amônia que é recebida numa solução saturada de ácido bórico.

A próxima etapa consiste de uma titulação em que o íon borato que foi deslocado da reação da amônia com ácido bórico é titulado com uma solução padrão de ácido clorídrico. A partir daí, a quantidade de nitrogênio presente na amostra é determinada através do volume medido de ácido clorídrico padrão gasto na titulação. (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008). Os procedimentos detalhados referentes a essas três etapas estão descritos a seguir:

- **Digestão com $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2$**

- a) Transferiu-se aproximadamente $0,1000 \pm 0,0001$ g de material da primeira colheita, e $0,5000 \pm 0,0001$ g das outras amostras para um tubo digestor e adicionou-se 1g da mistura de sais de sulfato de sódio com sulfato de cobre (10:1), 3 mL de H_2SO_4 98% e 1 mL de H_2O_2 30%;
- b) Colocou-se no bloco digestor, aqueceu-se lentamente até 350°C e manteve-se até a obtenção de um líquido viscoso, azulado.

- **Destilação e titulação**

- a) Conectou-se o tubo digestor no destilador de nitrogênio;
- b) Conectou-se na extremidade do destilador um erlenmeyer de 250 mL contendo 25 mL de H_3BO_3 2% e 3 gotas da mistura de indicador azul de metileno 0,2% e vermelho de metila 0,2%. Após a conexão do erlenmeyer adicionou-se 10 mL de NaOH 40% ao tubo do digestor;

- c) Abriu-se a torneira do vapor de água para aquecimento e destilou-se até obter-se cerca de 45 mL no erlenmeyer. A coloração da solução de ácido bórico passa de azul para verde;
- d) Titulou-se com solução padrão de HCl 0,105 mol/L. No ponto final da titulação a coloração inicial azul é recuperada;
- e) Anotou-se o volume gasto de HCl na titulação;
- f) Calculou-se a concentração de nitrogênio total em g/100g utilizando a Equação 3:

$$N \text{ total } \left(\frac{g}{100g} \right) = [(V \times C \times MM) \times 100] \div M$$

Equação 3

Onde,

N total (g/100g) = concentração de nitrogênio total em g/100 g;

V = Volume gasto de HCl na titulação em litros.

C = Concentração do HCl em mol/L.

MM = Massa molar do nitrogênio em g/mol.

M = Massa utilizada da amostra em gramas.

Como o teor de nitrogênio presente nas proteínas é de aproximadamente 16%, a determinação destas é realizada através da multiplicação do teor de nitrogênio presente na amostra por um fator empírico igual a 6,25 de acordo com a Equação 4 (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008.).

$$Proteína \text{ bruta } \left(\frac{g}{100g} \right) = N \text{ total } \left(\frac{g}{100g} \right) \times 6,25$$

Equação 4

3.2.11 Digestão seca

A digestão seca é uma das mais antigas técnicas utilizadas para análise de plantas. Nesta técnica a matéria orgânica do tecido vegetal é calcinada em uma mufla elétrica a uma temperatura que pode variar de 450°C a 550°C. O resultado deste processo é a obtenção de um resíduo inorgânico que posteriormente é dissolvido em uma solução de ácido diluído. Através deste método é possível determinar os seguintes analitos presentes na solução obtida: Al, B, Cd, Ca, Cr, Co, Fe, K, Cu, Mg, Mn, Mo, Na, P, Ni, Se, Zn, Pb, S e Si (EMBRAPA, 1999).

As principais vantagens deste método estão na sua simplicidade de execução, praticidade, possibilidade de determinação de uma grande variedade de analitos, e na não poluição do ambiente com vapores tóxicos. Já a principal desvantagem está no tempo necessário para concluir todo o processo, tendo em vista a necessidade de preparação dos cadinhos através do mesmo procedimento aplicado às amostras (EMBRAPA, 1999).

Os analitos determinados neste trabalho utilizando este método de digestão foram: Ca, Mg, P, Na, Mn, K, Fe, Al, Cu, Zn, Cd, Pb, Cr, Ni e Co.

- **Procedimento experimental**

- a) Transferiu-se aproximadamente $0,1000 \pm 0,0001$ g ou $0,5000 \pm 0,0001$ g de amostra para cadinho de porcelana e colocou-se na mufla elétrica;
- b) Aumentou-se gradativamente a temperatura até 500°C, manteve-se por 3 horas e desligou-se;
- c) Após esfriar adicionou-se 25 mL de solução de ácido clorídrico $1,0 \text{ mol L}^{-1}$, filtrou-se, diluiu-se para 100 mL em balão volumétrico e armazenou-se em frasco plástico para posterior análise;

3.2.12 Determinação de Mg, Mn, Fe e Al

As análises de magnésio, manganês, ferro e alumínio foram realizadas por espectrofotometria de absorção atômica utilizando um equipamento da Varian, modelo SpectrAA 50, nas condições de leitura descritas na **Tabela 5**.

Tabela 5: Condições de leitura das amostras por Espectrofotometria de Absorção Atômica.

Elemento	Comprimento de onda (nm)	Largura da fenda (nm)	Tipo de chama	Corrente da lâmpada (mA)
Mg	202,6	1,0	Ar/Acetileno	4
Mn	403,1	0,2	Ar/Acetileno	5
Fe	248,3	0,2	Ar/Acetileno	5
Al	309,3	0,5	N ₂ O/Acetileno	10

As amostras foram previamente diluídas por um fator de 5 vezes, sendo adicionados os supressores, quando necessário, de acordo com o manual do equipamento, a fim de eliminar ao máximo o erro devido a interferências na análise.

Foram preparadas soluções padrão em 5 concentrações diferentes de cada elemento para a construção das curvas analíticas, cujos padrões foram preparados conforme indicado para cada elemento a partir de soluções de 1000 mg L⁻¹ (**Apêndice A, Figuras 42 a 46**).

Os resultados obtidos em mg L⁻¹ foram transformados em g/100g de matéria seca para o magnésio, e em mg/100g de matéria seca para manganês, ferro e alumínio através das Equações 5 e 6 respectivamente:

$$C \left(\frac{g}{100g} \right) = C (mg/L) \div [M \times 100]$$

Equação 5

$$C \left(\frac{mg}{100g} \right) = [C (mg/L) \times 10] \div M$$

Equação 6

Onde,

C (g/100g) = Concentração do analito em g/100 g;

C (mg/100 g) = Concentração do analito em mg/100 g;

C (mg L⁻¹) = concentração do analito em mg L⁻¹;

M = Massa utilizada da amostra em gramas.

3.2.13 Determinação de Ca

As análises do teor de cálcio nas amostras foram realizadas por espectrofotometria de emissão de chama, utilizando o mesmo equipamento citado no item 3.2.13, nas condições descritas na **Tabela 6**.

Tabela 6: Condições de leitura das amostras por Espectrofotometria de Emissão de Chama.

Elemento	Comprimento de onda (nm)	Largura da fenda (nm)	Tipo de chama	Corrente da lâmpada (mA)
Ca	422,7	0,1	N ₂ O/Acetileno	10

Foram preparadas 5 soluções padrão com diferentes concentrações para a construção das curvas analíticas (**Apêndice A, Figura 39**), e as amostras foram previamente submetidas ao mesmo processo descrito no item 3.2.12.

Os resultados obtidos em mg L⁻¹ de cálcio foram transformados em g/100g de matéria seca utilizando a Equação 7:

$$C \left(\frac{g}{100g} \right) = C (mg/L) \div [M \times 100]$$

Equação 7

Onde,

C (g/100 g) = Concentração do analito em g/100 g;

C (mg L^{-1}) = concentração do analito em mg L^{-1} ;

M = Massa utilizada da amostra em gramas.

3.2.14 Determinação de Na e K

Estes dois elementos foram analisados por fotometria de chama, utilizando um equipamento da QUIMIS modelo Q398M2. Para a determinação da concentração de sódio e potássio nas amostras, as mesmas foram diluídas 10 ou 100 vezes, dependendo da concentração especificada para cada elemento. As soluções padrão utilizadas na calibração do equipamento foram de 0,0 e 10,0 mg L^{-1} de sódio e potássio, usando nitrato de sódio e potássio como substância padrão.

Os resultados obtidos em mg L^{-1} de sódio e potássio foram transformados em $\text{g}/100\text{g}$ de matéria seca utilizando a Equação 8:

$$C \left(\frac{\text{g}}{100\text{g}} \right) = C (\text{mg}/\text{L}) \div [M \times 100]$$

Equação 8

Onde,

C ($\text{g}/100 \text{ g}$) = Concentração do analito em $\text{g}/100 \text{ g}$;

C (mg L^{-1}) = concentração do analito em mg L^{-1} ;

M = Massa utilizada da amostra em gramas.

3.2.15 Determinação de Cu, Zn, Cd, Pb, Cr, Ni e Co

Todos estes elementos foram analisados por Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES), de acordo com o método USEPA 6010C, utilizando um equipamento da Shimadzu modelo ICAP 6300, nas condições de operação e leitura descritas na **Tabela 7** e **Tabela 8**, respectivamente:

Tabela 7: Condições de operação do ICP-OES.

Potência do plasma	1150 W
Gás refrigerante	4,0 L min ⁻¹
Gás auxiliar	0,5 L min ⁻¹
Visão	Axial
Nebulizador	V-Groove
Pressão do nebulizador	0,16 μPa

Tabela 8: Condições de leitura das amostras por ICP-OES.

Elementos	Comprimento de onda (nm)
Cd	214,1
Cu	327,3
Co	231,1
Cr	359,3
Ni	216,5
Pb	220,3
Zn	206,2

Foram preparadas curvas analíticas por meio da diluição de soluções padrão, marca Specsol®, de 1000 mg L⁻¹ de cada analito dependendo da concentração especificada para cada elemento (**Apêndice A, Figuras 35 a 41**).

Os resultados obtidos em mg L⁻¹ de cobre, zinco, cádmio, chumbo, cromo total, níquel e cobalto foram transformados em g/100g de matéria seca utilizando a Equação 9:

$$C \left(\frac{mg}{100g} \right) = [C (mg/L) \times 10] \div M$$

Equação 9

Onde,

C (mg/100 g) = Concentração do analito em mg/100 g;

C (mg L⁻¹) = concentração do analito em mg L⁻¹;

M = Massa utilizada da amostra em gramas.

3.2.16 Determinação de Fósforo total

A quantidade de fósforo total presente na *Eichhornia crassipes* foi determinada por Espectrofotometria de Absorção Molecular com amarelo de vanadato. Neste método de determinação do fósforo total o ânion H_2PO_4^- reage com MoVO_4^{2-} e VO_3^{2-} em meio ácido, dando origem a um complexo de coloração amarela que absorve luz na região de 420 nm (EMBRAPA, 1999). Este método é o mais utilizado para a análise de fósforo em amostras vegetais, apresentando como principal vantagem a estabilidade de sua coloração, sendo a intensidade da mesma proporcional à concentração de fósforo na amostra.

Para a determinação da concentração de fósforo na amostra preparou-se uma curva analítica utilizando-se como padrão primário o dihidrogenofosfato de potássio (KH_2PO_4) P.A. (Apêndice A, Figura 47).

- **Procedimento experimental:**

- Adicionou-se 10 mL da solução obtida após a digestão seca num tubo de 50 mL;
- Adicionou-se 4 mL da mistura de reagentes (mistura de partes iguais de solução de molibdato de amônio 5% e solução de vanadato de amônio 0,25%);
- Após 5 minutos, efetuou-se a leitura no espectrofotômetro de absorção molecular UV-Vis a 420 nm.
- Calculou-se a concentração de fósforo total na amostra em mg/100 g de matéria seca utilizando a Equação 10.

$$C \left(\frac{\text{mg}}{100\text{g}} \right) = [C (\text{mg}/\text{L}) \times 10] \div M$$

Equação 10

Onde,

C (mg/100 g) = Concentração do analito em mg/100 g;

C (mg L⁻¹) = concentração do analito total em mg L⁻¹;

M = Massa utilizada da amostra em gramas.

3.2.17 Limite de detecção e quantificação

Os limites de detecção e quantificação foram determinados pelo método descrito em Standard Methods of APHA (1998) (**Apêndice I, Tabela 9**). Para o limite de detecção e quantificação utilizou-se as Equações 11 e 12 respectivamente:

$$LD \left(\frac{mg}{L} \right) = 3 \times DP$$

Equação 11

$$LQ \left(\frac{mg}{L} \right) = 10 \times DP$$

Equação 12

Onde, LD é o limite de detecção, LQ é o limite de quantificação, e DP é o desvio padrão de dez medidas do branco.

3.2.18 Análise estatística

Ao tentar avaliar se duas ou mais amostras diferem significativamente umas das outras em relação a alguma variável, têm-se o surgimento de um problema comum na estatística, porém, passível de resolução através do uso da análise de variância. Este método estatístico é em sua essência, baseado na decomposição da variação total existente entre um conjunto de observações, em algumas partes que podem ser atribuídas a causas conhecidas, e em outras, a causas desconhecidas ou não passíveis de controle (FERREIRA, 1991).

Quando se deseja estudar dois grupos de tratamentos ao mesmo tempo, utiliza-se os experimentos em parcelas subdivididas (FERREIRA, 1991). Neste caso, as parcelas são os pontos de colheitas das plantas, que são divididas em subparcelas, por exemplo, partes da planta, épocas de colheita, podendo ser distribuídas em qualquer tipo de delineamento estatístico. No presente trabalho foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado, que é um dos mais utilizados neste tipo de análise estatística.

Além disso, para extrair conclusões a respeito de uma ou mais populações torna-se necessário o uso de testes de hipótese. Dentre os testes existentes, utilizou-se o teste de Tukey. Este, por sua vez, é usado na análise de variância para comparar se há ou não diferenças entre duas médias de tratamentos.

Portanto, para este trabalho, realizou-se a análise de variância por parcelas subdivididas, utilizando o delineamento inteiramente casualizado e o teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade, através do programa ESTAT – Sistema para Análises Estatísticas V. 2.0, fornecido pelo Pólo computacional/Departamento de Ciências Exatas da UNESP – FCAV – Campus de Jaboticabal. Este *software* foi utilizado com o objetivo de identificar as diferenças entre as médias dos parâmetros medidos em diferentes épocas de colheita, pontos de colheita e partes da planta, assim como as possíveis interações existentes entre estas três condições.

REULTADOS E DISCUSSÃO

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para um melhor entendimento quanto à absorção dos nutrientes e elementos tóxicos pela *Eichhornia crassipes* agruparam-se todas as propriedades de acordo com o seu comportamento frente às variações temporais, espaciais e para duas diferentes partes da planta (raiz e folha). Este comportamento não é uniforme dentro dos grupos, podendo assim apresentar diferenças, provavelmente, devido à fisiologia da planta, as características próprias de cada local e as condições climáticas.

Tendo em vista que, as explicações para esses comportamentos são semelhantes nos diversos grupos de substâncias, este capítulo está organizado de forma que, primeiro se apresenta os resultados para todos os parâmetros, agrupando-os, sempre que possível, para conjuntos de comportamentos semelhantes, analisando-os detalhadamente e fazendo-se comparações com dados da literatura, em seguida se analisa estas explicações de forma geral, e, por fim, faz-se conjecturas a respeito dos possíveis usos da biomassa em função desses resultados.

Para isto é necessário conhecer as características de cada local, épocas de colheita e pelo menos, superficialmente, as condições climáticas que alteram o fluxo e volume de água nos dois locais, fato que foi observado visualmente na hora das colheitas.

Desta maneira, os dois pontos apresentaram características diferenciadas, sendo o ponto 1 um canal, e o ponto 2 o leito principal do rio. No ponto 1, o fluxo de água e o seu volume são bastante reduzidos, verificando-se ainda o lançamento de efluentes de grande parte da região próxima a este local diretamente em suas águas (esgoto a céu aberto). Já no ponto 2, as características foram opostas àquelas encontradas no ponto 1, havendo um fluxo contínuo e em volume significativamente maior de água (**Figuras 3 e 4**). Neste ponto os efluentes gerados em suas proximidades eram, na sua maioria, recolhidos e direcionados a uma lagoa de sedimentação localizada após a zona urbana e longe do ponto de colheita, onde ocorre o processo de decantação seguido do retorno das águas ao rio.

As mudanças climáticas que ocorreram durante o período de realização do trabalho contribuíram, possivelmente, para alterações no volume de água. A diminuição deste provoca o aumento das concentrações dos poluentes presentes no rio, em função do aumento relativo dos efluentes nele descartados. A primeira colheita foi realizada após o período chuvoso e início do período seco, onde o rio apresentava-se com grande volume de água. A segunda e terceira colheita ocorreu no período mais seco da região, com os menores volumes de água

presentes no mesmo. Já a última colheita se caracterizou pelo final do período seco e início das primeiras chuvas, reiniciando o ciclo anual deste comportamento (**Figuras 7 e 8**).



Figura 7 – Dados climatológicos da cidade de Mossoró em 2008. Fonte: INMEP.

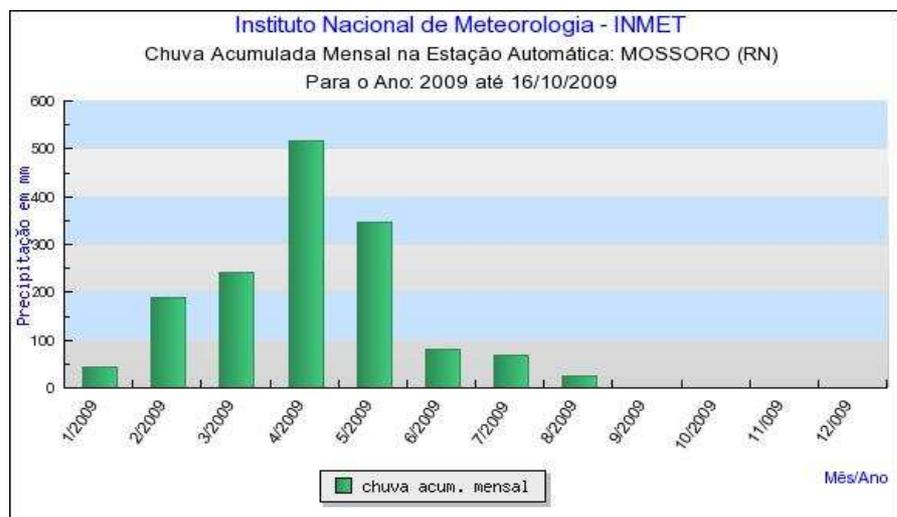


Figura 8 – Dados climatológicos da cidade de Mossoró em 2009. Fonte: INMEP.

Uma análise detalhada e particularizada para os grupos de comportamento semelhantes e para todos os elementos e análises feitas é fornecida a seguir.

4.1 CARACTERIZAÇÃO BIOLÓGICA

4.1.1 Identificação Taxonômica

Inicialmente, um espécime da macrófita aquática foi colhido de forma aleatória e identificado como sendo da espécie *Eichhornia crassipes* e pertencente à família *Pontederiaceae* (SOUZA e LORENZI, 2008; GONÇALVES e LORENZI, 2007). Em seguida, caracterizou-se esta espécie como uma erva ereta, com 27 a 30 cm de comprimento e caule curto e estolonífero. As folhas em rosetas, membranáceas, com 4,4 - 5,5 x 4,0 - 4,2 cm, sub-rotundas, com base atenuada, ápice arredondado a ligeiramente obtuso e longo - pecioladas. Os pecíolos inflados com cerca de 5,5 - 19,5 cm de comprimento. Inflorescências espiciformes com 12 - 15 cm de comprimento e 6 - 12 flores. Pedúnculo com 13 - 17 cm de comprimento. Flores andróginas com 2,5 - 4 cm de comprimento, solitárias, sésseis, zigomorfas, com 6 tépalas arroxeadas, 6 estames de diferentes tamanhos, epipétalos, anteras oblongas com 2,5 x 0,5 mm, ovário súpero com cerca de 4,5 x 2,0 mm, ovóide, estiletos com cerca de 23 mm de comprimento e estigma capitado.

Vale destacar que alguns destes dados quantitativos apresentados irão variar de uma planta para outra em função do seu estágio de desenvolvimento. Neste caso, os valores apresentados são referentes a um exemplar colhido aleatoriamente em um dos pontos (**Figura 9**) na primeira colheita (0 mês de idade).



Figura 9 – Espécime utilizado na identificação taxonômica.

4.1.2 Área foliar (AF), massa foliar úmida (MFU) e massa foliar seca (MFS)

Estas propriedades são fundamentais na interpretação dos resultados do trabalho, pois, a partir da mudança destas variáveis, pode-se acompanhar a capacidade da planta em absorver nutrientes e outras substâncias (poluentes ou não) presentes no local estudado em função do seu tamanho ou estágio de desenvolvimento.

Desta forma, para a AF e MFU (**Figuras 10 e 11**), os pontos estudados (1 e 2) apresentaram valores diferentes em distintas épocas de colheita. Estas aumentaram com o tempo de crescimento tendendo à constância apenas na última colheita, dado pelo tempo de vida das plantas de 0 a 6 meses e exposição das macrófitas ao ambiente nas quais estavam inseridas. Deve-se destacar que esta tendência é comprovada nos testes estatísticos (**Apêndice B, Tabelas 10 e 11**). Este comportamento já foi observado anteriormente para a *Eichhornia crassipes* em trabalho realizado por Henry-Silva e Camargo (2005) em plantas cultivadas em unidades experimentais com fluxo de água contínuo proveniente de viveiros de reprodutores de camarão de água doce.

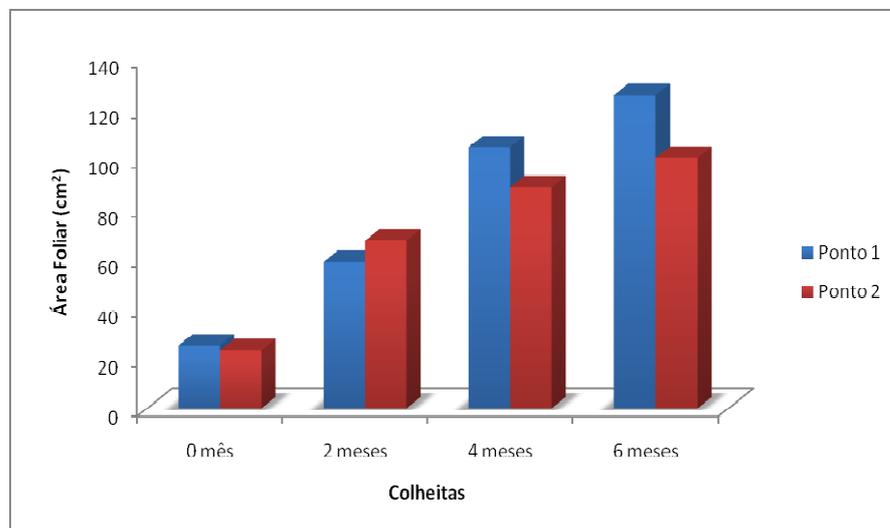


Figura 10 – Variação da área foliar em função das diferentes épocas e pontos de colheita.

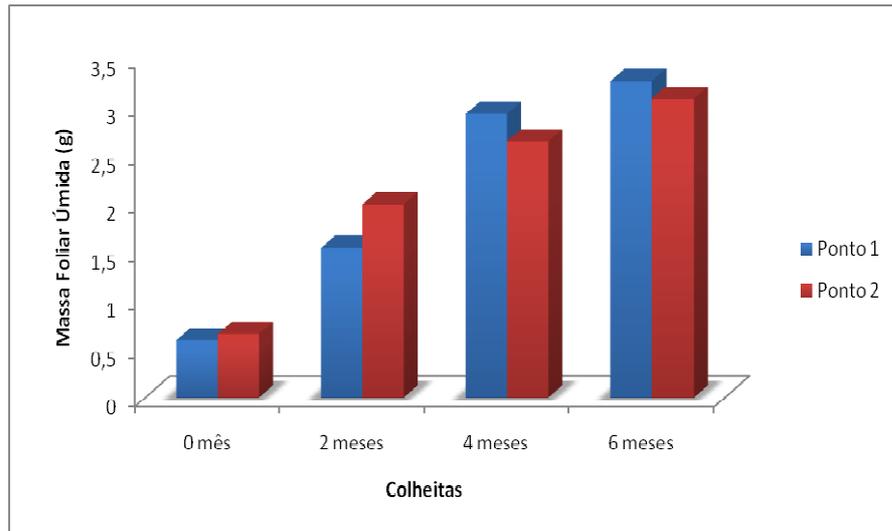


Figura 11 – Variação da massa foliar úmida em função das diferentes épocas e pontos de colheita.

Já para a MFS, observou-se que os efeitos de interação entre parcelas (pontos de colheita) e subparcelas (épocas de colheita) não foram significativos em nível de 5 % de probabilidade (**Apêndice B, Tabela 12**), embora os gráficos induzam a se pensar num comportamento que está aumentando com o crescimento das plantas (**Figura 12**). Desta forma, avaliou-se o comportamento desta propriedade apenas através da média geral dos tratamentos. Neste caso, pôde-se constatar que os valores maiores se encontraram na terceira e quarta colheita, apresentando o mesmo comportamento dos valores de área foliar e massa foliar úmida.

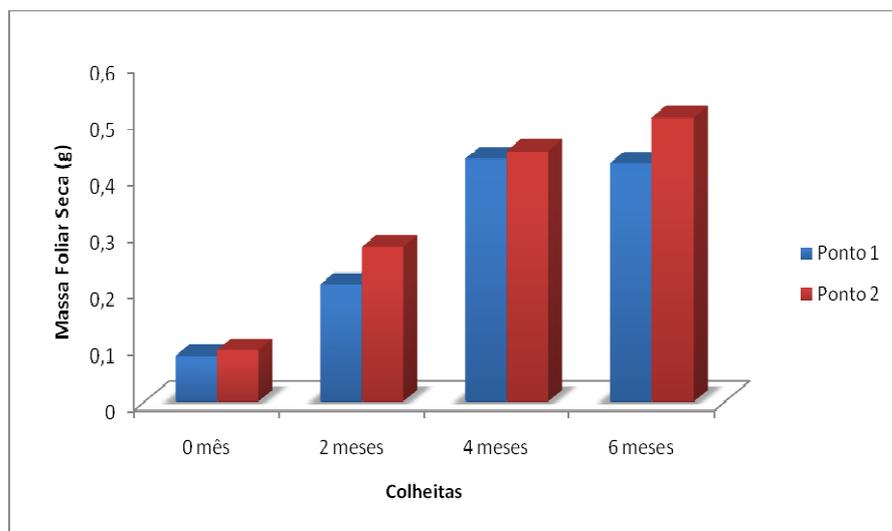


Figura 12 – Variação da massa foliar seca em diferentes épocas e pontos de colheita.

Levando em consideração a variabilidade espacial, a área foliar apresentou valores que diferem entre si apenas na terceira e quarta colheita (**Figura 10**).

Para a MFU, com exceção da segunda época, não houve diferenças significativas entre os dois pontos de colheita (**Figura 11**). Devemos destacar que este parâmetro não é um indicador seguro porque pode ser influenciado por vários fatores que não podem ser controlados no experimento, como por exemplo, as condições climáticas do dia da colheita, a perda de umidade que as plantas sofrem até a sua pesagem no laboratório. Porém, mesmo assim, os dados apresentaram boa correlação.

Em relação à MFS, o ponto 2 apresentou em todo o tempo uma maior quantidade desta, comportamento esperado e contrário aos outros parâmetros discutidos. Este, muito provavelmente, se deve a maior absorção neste ponto de elementos de alta massa molecular.

Desta forma, a relação existente entre essas três propriedades não é diretamente proporcional. Fatores como quantidade de água e nutrientes presentes nas folhas podem provocar comportamentos diferentes em cada propriedade, dependendo das características próprias do ponto analisado e da época de colheita.

Portanto, a partir destes resultados e dos obtidos para os nutrientes e elementos tóxicos absorvidos pelas macrófitas, provavelmente, pode-se identificar qual o local mais apropriado para o cultivo da planta, bem como, o melhor tamanho e época de colheita para utilização da sua biomassa.

4.1.3 Umidade real e umidade aparente

Os dados obtidos para umidade real e umidade aparente não foram submetidos à análise estatística a fim de diferenciar um ponto do outro, ou as quatro épocas de colheita, tendo em vista que o conhecimento da quantidade média destas propriedades é uma informação relevante para o objetivo do trabalho (**Apêndice B, Tabelas 13 e 14**). Esta propriedade está submetida, assim como a MFU, a variáveis que não podem ser bem controladas a ponto de produzirem informações com variações detectadas apenas a nível estatístico.

As medidas do conteúdo de água nas plantas foram feitas, como recomendado, apenas nas folhas ou em partes da folha (FERRI et al, 1985). Isto é coerente, pois as raízes estão submersas na água e os dados de umidade obtidos não seriam os valores reais presentes nas

estruturas internas das mesmas, podendo gerar erros experimentais. Desta forma, para esta propriedade, foi analisada somente a parte aérea da *Eichhornia crassipes*.

Observou-se que, para ambos os pontos, o teor médio de umidade real presente nas plantas é de aproximadamente 92 % (**Figura 13**). Estes resultados estão de acordo com a literatura, sendo apenas um pouco maiores que os encontrados para as partes verdes da maioria das plantas, as quais têm um teor médio de água entre 80 e 90 %, variando de acordo com as condições do ambiente (FERRI et al, 1985).

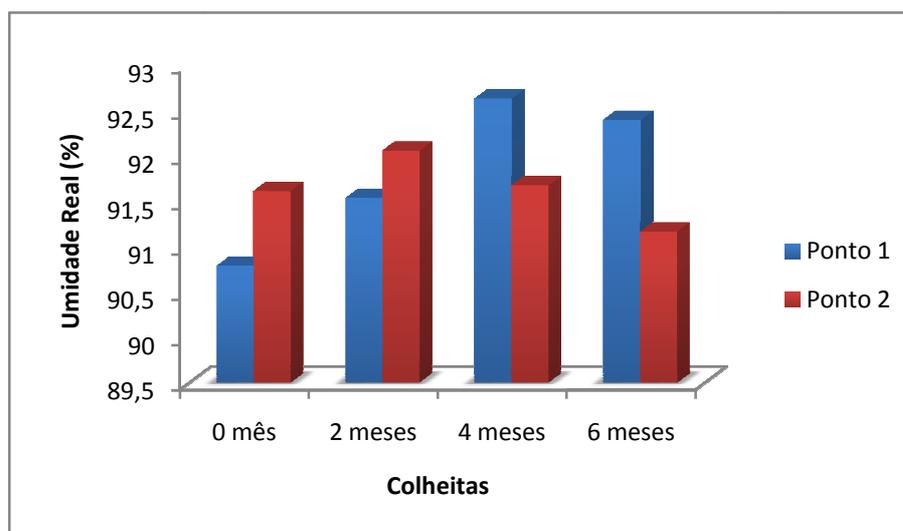


Figura 13 – Variação da umidade real em diferentes épocas e pontos de colheita.

O conhecimento deste parâmetro é de grande importância, principalmente, quando se tenta propor uma forma de utilização do material em estudo, pois, dependendo da quantidade de água, torna-se necessária a realização de processos físicos ou mecânicos que a elimine do material. Isto significaria maior custo para produção do mesmo, fator economicamente importante para sua viabilidade.

Após a desidratação e trituração, as amostras ficaram armazenadas em frascos plásticos previamente lavados e secos até a realização das análises de cinzas. Por este motivo, foi determinada a quantidade de umidade reabsorvida pelas folhas e raízes neste intervalo de tempo. Esta foi denominada umidade aparente.

Os resultados obtidos (**Figura 14**) mostraram que, nas folhas e raízes, o teor médio de umidade aparente é de aproximadamente 10 % e 8 %, respectivamente, em ambos os pontos. Esta diferença se deve a reabsorção de água ocorrida durante a estocagem. Para os casos em que se utilizaram as amostras após este tempo de armazenamento, a massa inicial considerada foi a determinada após a desidratação.

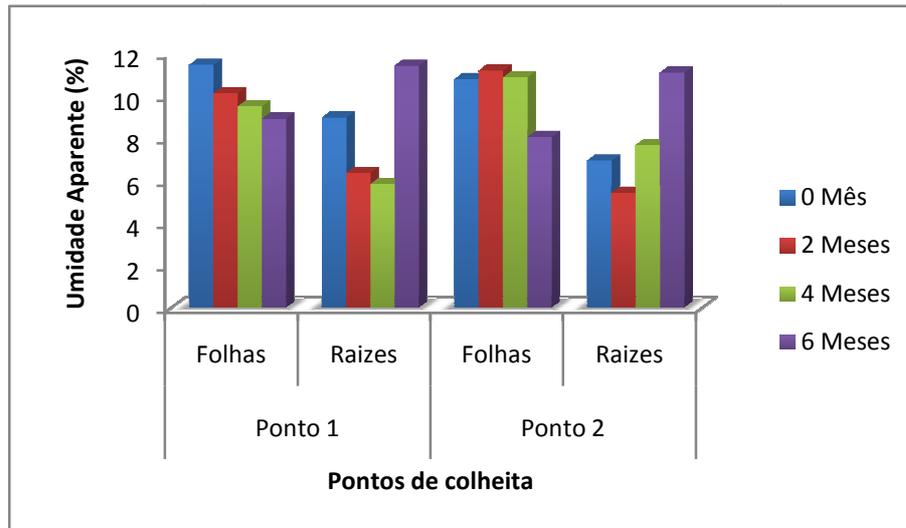


Figura 14 – Variação da umidade aparente em diferentes épocas, pontos de colheita e partes das plantas.

4.2 CARACTERIZAÇÕES QUÍMICAS

4.2.1 Cinzas

A determinação do teor de cinzas fornece informações relevantes a respeito da presença de componentes inorgânicos na amostra, possibilitando assim uma avaliação geral quanto à absorção destas substâncias pelas macrófitas em cada ponto, época de colheita e partes das plantas.

Os dados mostraram comportamentos diferenciados para as quantidades de cinzas presentes nas folhas e raízes nos dois pontos em todas as épocas de colheita, exceto nas folhas do ponto 2 que mostraram resultados iguais nas três primeiras (**Figura 15**).

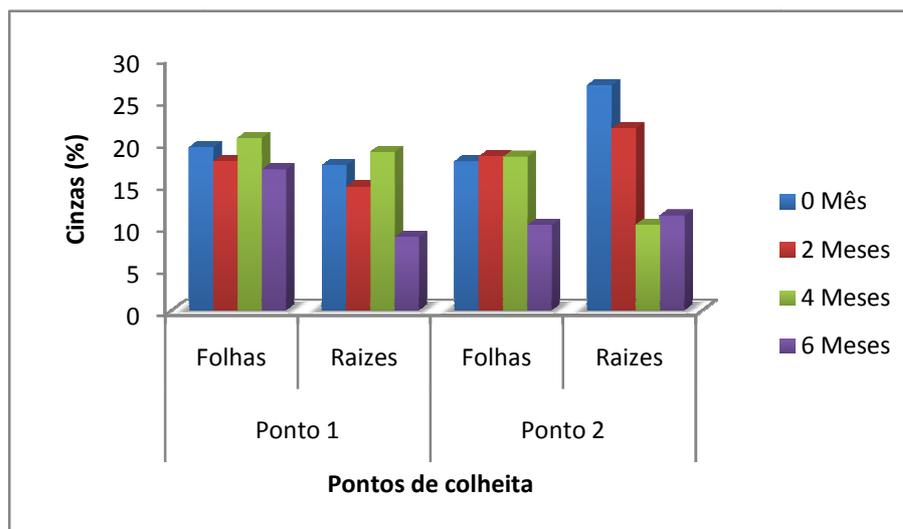


Figura 15 – Variação do teor de cinzas em diferentes épocas, pontos de colheita e partes das plantas.

Em relação à variabilidade espacial observaram-se os seguintes comportamentos:

- nas folhas, os resultados não apresentaram diferenças para a primeira e segunda colheita. Nas outras, os valores no ponto 1 são maiores que no ponto 2.
- nas raízes, os resultados foram diferentes em todas as épocas de colheitas, sendo os valores do ponto 2 sempre maiores que os do ponto 1, exceto na terceira colheita.

Comparando as diferentes partes da planta, observou-se que geralmente, no ponto 1, as folhas são mais ricas em compostos inorgânicos do que as raízes, enquanto que, no ponto 2, as raízes apresentaram quantidades bem maiores destes componentes, exceto na terceira colheita.

Levando em consideração as médias totais (**Apêndice B, Tabela 15**), as maiores quantidades de cinzas se encontraram nas folhas das plantas no ponto 1 e nas raízes das plantas no ponto 2, e em ambos os pontos diminuíram com o crescimento das mesmas.

Sabe-se que, dependendo do ambiente em que as plantas foram cultivadas, estes valores podem apresentar alterações bastante significativas, causada pela presença ou deficiência de compostos inorgânicos no meio. Fato este já observado por Rodriguez (1997), que obteve valores máximos de cinzas na *Eichhornia crassipes* iguais a 35,8%. Por outro lado, em estudos realizados por Mishima et al (2006) na *Eichhornia crassipes*, foram encontrados níveis bem próximos aos obtidos no presente trabalho (16,5 % nas folhas e 15,6 % nas raízes).

4.2.2 Nitrogênio Total e Proteína Bruta

Quanto aos valores de nitrogênio total presentes nas folhas da *Eichhornia crassipes* nos pontos 1 e 2 pôde-se observar que a quantidade desse nutriente diminuiu da primeira para a quarta colheita, tendendo a valores bem próximos aos encontrados nas raízes (**Figura 16 e Apêndice B, Tabela 16**). O mesmo comportamento se seguiu para os níveis de proteína bruta, já que este parâmetro é diretamente proporcional ao nitrogênio total (**Figura 17 e Apêndice B, Tabela 17**).

Para as raízes, o mesmo comportamento foi observado, porém, em menor intensidade. A única exceção ocorreu para o ponto 2 no mês de dezembro de 2008 (4 meses), onde houve um aumento da quantidade de nitrogênio total quando comparada com a colheita anterior, devido, provavelmente, ao aumento da concentração de nitrogênio no meio, provocado pela diminuição do volume de água neste período (**Figura 7**).

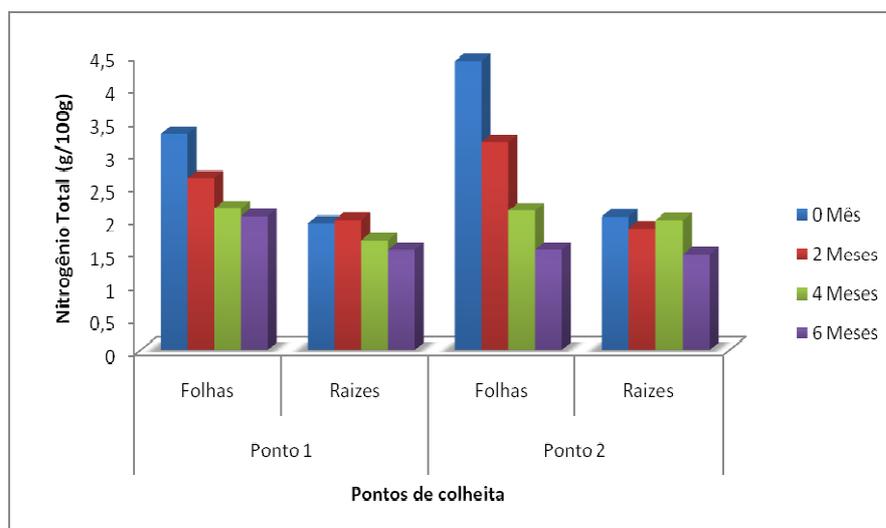


Figura 16 – Valores de nitrogênio total em diferentes épocas, pontos de colheita e partes das plantas.

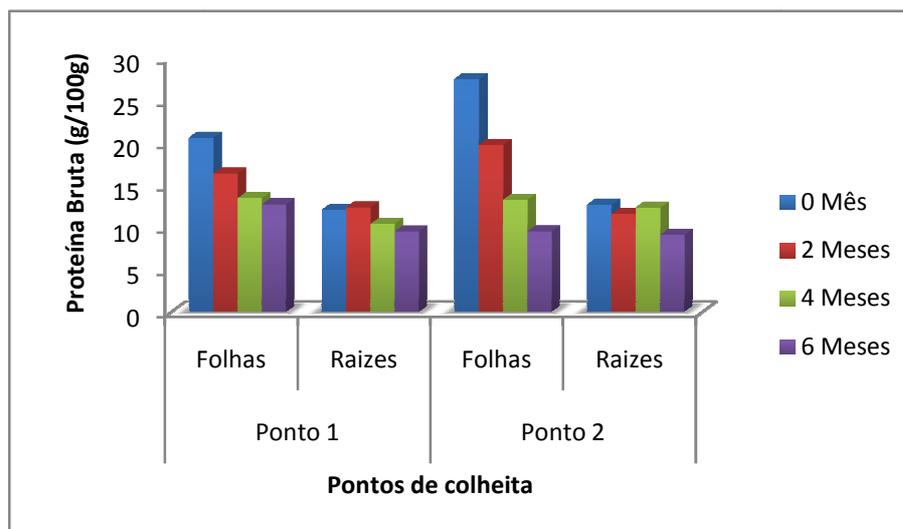


Figura 17 – Valores de proteína bruta em diferentes épocas, pontos de colheita e partes das plantas.

Em relação à variabilidade espacial observaram-se diferenças significativas tanto para folhas como para raízes. Nas três primeiras colheitas, os maiores valores encontrados foram para o ponto 2 nas folhas, comportamento que se inverte na última colheita. Este comportamento, provavelmente, se deve ao fato de a última colheita está influenciada pelas primeiras chuvas que diluem a concentração desse nutriente, principalmente, no leito principal do rio (ponto 2) fazendo com que as concentrações no ponto 1, neste momento, sejam maiores. Para as raízes não se observou nenhum comportamento característico com os valores sendo próximos e constantes nos dois pontos, exceto na terceira colheita onde foram maiores no ponto 2. Esta constância indica que existem nutrientes acima da quantidade que a planta necessita no meio, para o seu desenvolvimento, sendo estes retirados pelas raízes independentemente do seu tamanho.

Comparando os valores de nitrogênio total e proteína bruta presentes nas folhas com os valores encontrados nas raízes, pôde-se constatar que estas apresentaram níveis bem menores em ambos os pontos.

De maneira geral, constatou-se que os maiores valores de nitrogênio total e proteína bruta se encontraram nas folhas e nas plantas menores, diminuindo à medida que elas crescem. Com respeito à espacialidade, as plantas do ponto 2 apresentaram maiores teores que as do ponto 1.

A quantidade de nitrogênio também foi determinada em quatro macrófitas aquáticas presentes no reservatório de Salto Grande em Americana – SP (MARTINS et al, 2003). Segundo os autores, as quantidades de nitrogênio encontradas na *Eichhornia crassipes* foram em média 1,809 g/100g. Estes resultados são menores que os obtidos para as folhas, porém

bem próximos aos obtidos nas raízes da *Eichhornia crassipes* utilizadas no presente trabalho. Como o autor não fez referência à parte da planta analisada nem a sua idade, supõe-se que o mesmo utilizou a planta adulta sem dividi-la em folhas e raízes, o que explicaria a diferença observada.

Em estudos realizados por Henry-Silva e Camargo (2002) utilizando três diferentes espécies de macrófitas aquáticas flutuantes no tratamento de efluentes de aquicultura, observou-se que os valores de proteína foram de aproximadamente 7,2 % na *Eichhornia crassipes*, 8,8 % na *Pistia stratiotes* e 8,7 % na *Salvinia molesta*. Todos estes resultados são menores que os obtidos neste trabalho utilizando a *Eichhornia crassipes* presente no Rio Apodi/Mossoró. Apesar das variações nas capacidades de absorção existentes entre diferentes espécies, a disponibilidade de nitrogênio no ambiente para absorção pela planta também é um fator limitante. Outro fator que pode ter influenciado nos teores de proteína é a não distinção entre folhas e raízes. Como o teor deste componente é bem menor nas raízes, a análise conjunta de ambas provavelmente irá causar um efeito de diluição devido à pequena concentração encontrada nas mesmas.

Outro fator importante é o tamanho da macrófita usada, já que, como apresentado anteriormente, o teor de proteína diminui com o crescimento da planta. Como os trabalhos citados visavam verificar a capacidade de extração de poluentes, é provável que tenham analisado as plantas no final do seu ciclo de vida, portanto com o menor nível de proteínas.

4.2.3 Fósforo Total, Potássio, Cobre e Manganês

De acordo com os dados obtidos para estes quatro elementos (**Apêndice B, Tabela 18, 19, 20 e 21**) verificou-se claramente a influência temporal em ambos os pontos de colheita. Para as folhas e raízes das plantas presentes nos pontos 1 e 2 observou-se um aumento da concentração de fósforo total, manganês e cobre até a segunda ou terceira colheita seguida de um decréscimo (**Figuras 18, 19 e 20**). Para o potássio, apenas as folhas apresentaram este comportamento. Já para os níveis de potássio nas raízes constatou-se um crescente aumento a partir da segunda colheita (**Figura 21**).

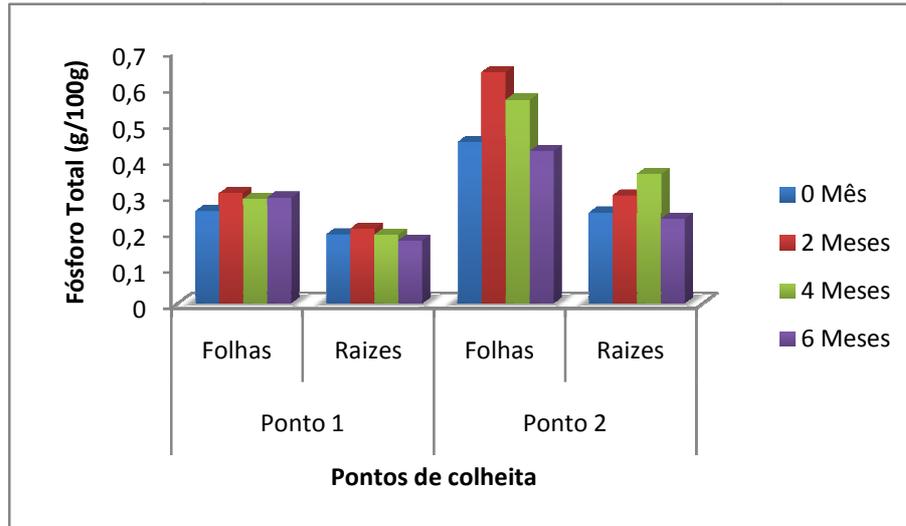


Figura 18 – Valores de fósforo total em diferentes épocas, pontos de colheita e partes das plantas.

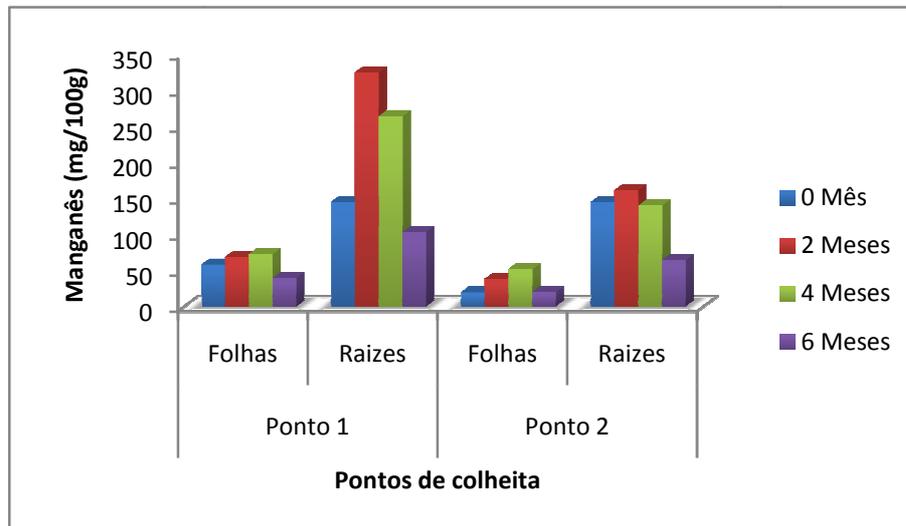


Figura 19 – Valores de manganês em diferentes épocas, pontos de colheita e partes das plantas.

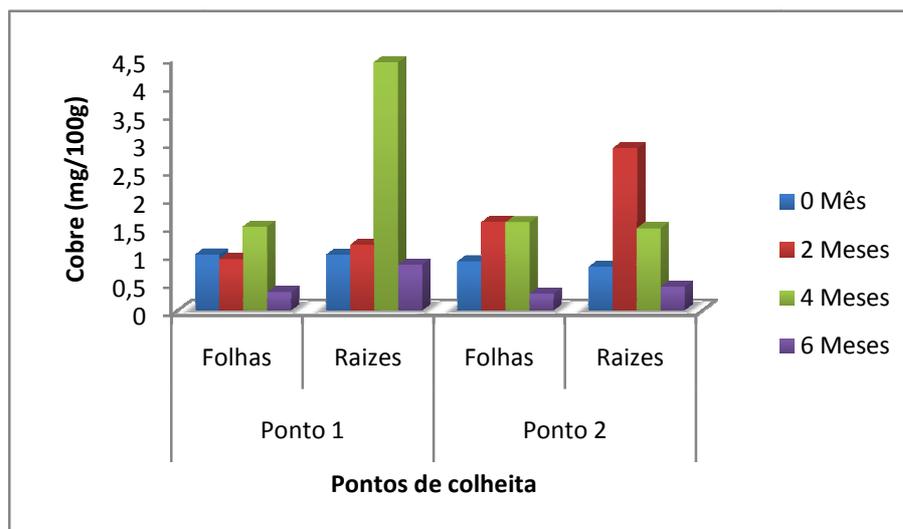


Figura 20 – Valores de cobre em diferentes épocas, pontos de colheita e partes das plantas.

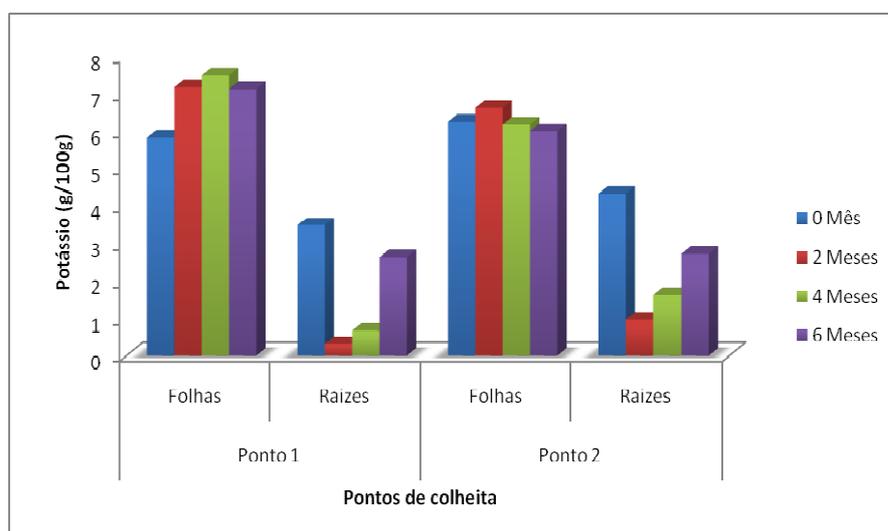


Figura 21 – Valores de potássio em diferentes épocas, pontos de colheita e partes das plantas.

Em relação à variabilidade espacial, os quatro parâmetros apresentaram um comportamento bastante diferenciado. Para o fósforo total, as maiores concentrações se encontraram no ponto 2, tanto para as folhas como para as raízes. Já o manganês, apresentou os maiores valores no ponto 1, para ambas as partes da planta. O cobre, por sua vez, encontrou-se em quantidades bem próximas para as folhas, nos dois pontos, mas nas raízes, se destacou o ponto 1. Para o potássio, verificou-se que o ponto 1 apresentou as maiores concentrações desse elemento nas folhas, enquanto que o ponto 2 possuiu maiores valores nas raízes.

Comparando a quantidade de fósforo total e potássio nas diferentes partes da planta constatou-se para os dois pontos, o mesmo comportamento apresentado para nitrogênio total e

proteína bruta, onde os maiores resultados se encontraram nas folhas e não nas raízes. Já para o cobre e o manganês foi observado o comportamento inverso.

O teor de fósforo total na *Eichhornia crassipes* foi determinado como sendo 0,24 % por Henry-Silva e Camargo (2005), resultado bem próximo ao encontrado neste trabalho.

Em estudos realizados por Zhou et al (2007), foi determinada a taxa de remoção e recuperação de potássio pela *Eichhornia crassipes*. Os resultados mostraram que a maior taxa de remoção de potássio após tratamento com HCl foi de 69,7 %. Este comportamento geral pode ser claramente visualizado no presente trabalho tendo em vista a elevada concentração deste nutriente no tecido vegetal.

Quanto ao cobre, estudos revelaram uma alta eficiência da *Eichhornia crassipes* na remoção deste nutriente de soluções com diferentes concentrações, variando de 86 a 95% (MISHRA e TRIPATHI, 2008). A partir destes dados e dos valores apresentados nesse trabalho pode-se constatar que o uso desta espécie de macrófita para a recuperação de ambientes contaminados por cobre pode ser uma alternativa bastante viável.

A concentração deste nutriente determinada na *Eichhornia crassipes* utilizada no tratamento de efluentes de aquicultura foi de 2,583 mg/100g (HENRY-SILVA e CAMARGO, 2006). Valor este que é próximo aos obtidos em algumas partes da planta e épocas de colheita deste trabalho.

A concentração de manganês também foi estudada pelos mesmos autores, que encontraram valores médios presentes na macrófita de 123,333 mg/100 g. Comparando com os dados apresentados na **Tabela 19**, pode-se observar que estes variam de quantidades menores até quantidades bem superiores ao obtido por Henry-Silva e Camargo (2006), dependendo também da parte da planta analisada e da época de colheita.

4.2.4 Sódio e Ferro total

As concentrações de sódio e ferro total na planta em estudo foram alteradas consideravelmente em função da variabilidade temporal (**Apêndice B, Tabelas 22 e 23**). Nas folhas e nas raízes, em ambos os pontos, as quantidades tenderam a diminuir com o crescimento das macrófitas, sofrendo, em alguns casos, um leve aumento da primeira para a segunda colheita ou apenas na última (**Figuras 22 e 23**). Exceção a este comportamento geral

ocorreu para o sódio nas raízes onde houve uma diminuição da primeira para a segunda colheita seguida de um constante aumento a partir desta.

Em relação à variabilidade espacial, observou-se um comportamento variado onde, nas folhas, o ponto 1 apresentou maiores concentrações que o ponto 2, exceto na terceira colheita. Nas raízes, o comportamento se inverte onde, o ponto 2 apresentou as maiores concentrações em todas as épocas de colheita, exceto na terceira.

Quanto ao ferro, não houve diferença de concentração nas folhas nos dois pontos. Já para as raízes, o comportamento é bem variado e dependente da época de colheita.

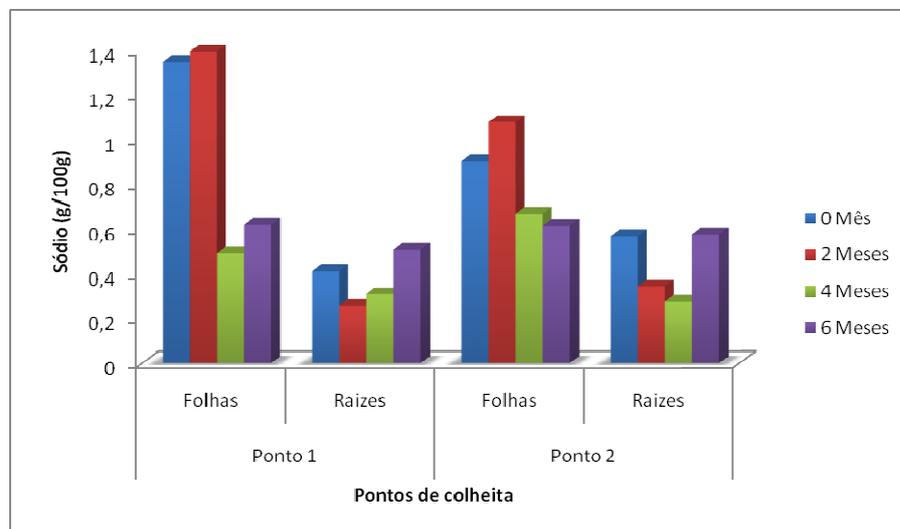


Figura 22 – Valores de sódio em diferentes épocas, pontos de colheita e partes das plantas.

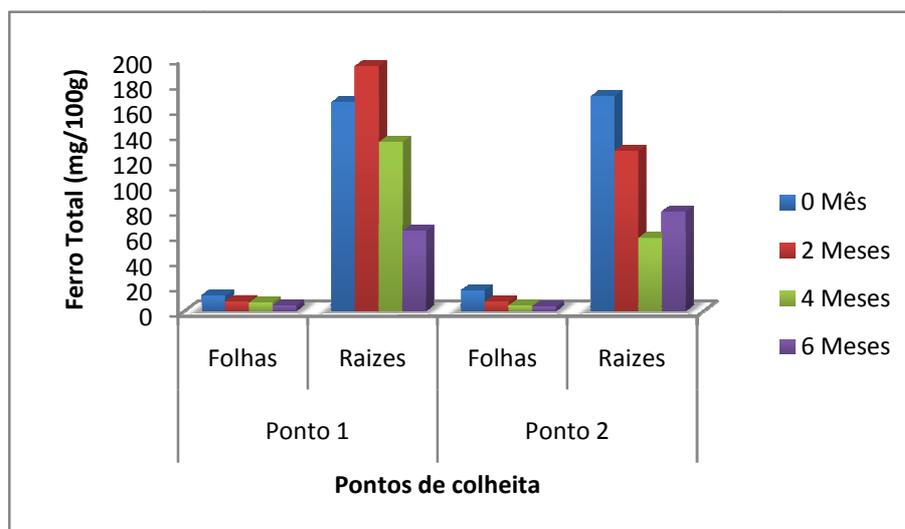


Figura 23 – Valores de ferro total em diferentes épocas, pontos de colheita e partes das plantas.

Considerando as diferentes partes da *Eichhornia crassipes*, observou-se que as folhas apresentaram-se mais ricas em sódio que as raízes em ambos os pontos, provavelmente, devido a sua semelhança ao potássio, podendo até substituí-lo em algumas funções exercidas por este na própria planta. Para o ferro total constatou-se que as maiores concentrações estão presentes nas raízes nos dois pontos de colheita.

As concentrações dos nutrientes sejam eles essenciais em grande ou pequena quantidade aos organismos vivos, variam intensamente em cada um deles. Pode-se encontrar desta forma, uma grande variação nas concentrações de sódio e ferro nos mais diferentes tipos de alimento, sendo estas concentrações as grandes limitadoras do uso dos mesmos para determinados fins.

A quantidade de sódio também foi determinada por Barbieri et al (2004) em macrófitas aquáticas da espécie *Eichhornia crassipes* cultivadas em viveiros de piscicultura. As mesmas apresentaram valores médios de 0,34 % nas folhas e 0,46 % nas raízes, portanto, bem próximos aos obtidos nesse trabalho.

Fazendo-se um comparativo entre os resultados de ferro apresentados na **Tabela 22** e os apresentados na literatura, em média, 542,5 mg/100g, observa-se que os mesmos são bem menores (HENRY-SILVA e CAMARGO, 2006). Fato esperado tendo em vista que, dependendo do local em que as macrófitas estejam inseridas e da época de colheita, as concentrações podem variar significativamente.

4.2.5 Cálcio, Magnésio e Zinco

Neste trabalho, tomando por base a variável época de colheita, verificou-se que a concentração de cálcio em ambos os pontos e partes da planta, e de zinco apenas nas folhas, tenderam a diminuir com o crescimento da macrófita, podendo ser este comportamento alterado em algumas colheitas (**Figuras 24 e 25**, e **Apêndice B, Tabelas 24 e 26**). No ponto 1, a concentração de zinco nas raízes diminuiu da primeira para a segunda colheita e cresceu em seguida até a quarta. No ponto 2 não se observou nenhuma correlação com o tamanho da planta.

Assim como no cálcio e zinco, a absorção de magnésio pela planta também foi bastante influenciada pela variabilidade temporal (**Figura 26**, e **Apêndice B, Tabela 25**). No ponto 1, as concentrações presentes nas folhas das macrófitas aumentaram até a terceira

colheita e diminuíram para um valor bem menor que o inicial. No ponto 2, observou-se o comportamento contrário com os valores diminuindo em função do seu tempo de crescimento.

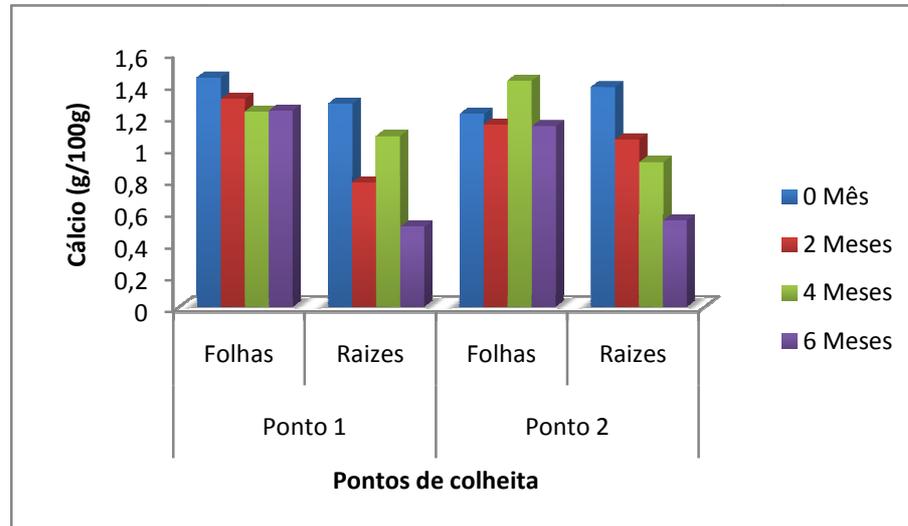


Figura 24 – Valores de cálcio em diferentes épocas, pontos de colheita e partes das plantas.

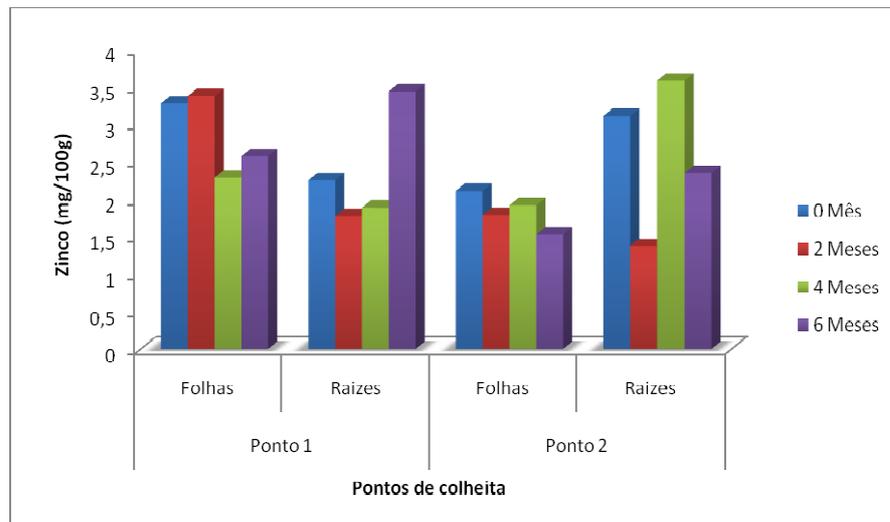


Figura 25 – Valores de zinco em diferentes épocas, pontos de colheita e partes das plantas.

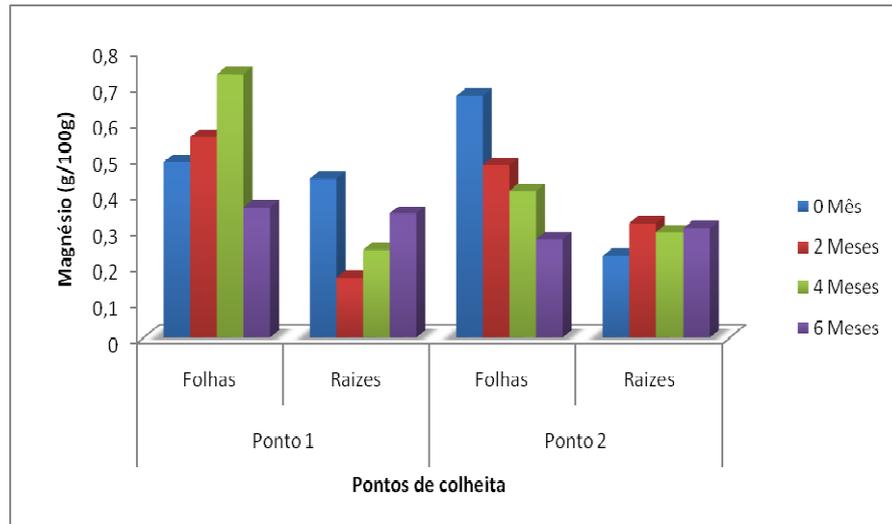


Figura 26 – Valores de magnésio em diferentes épocas, pontos de colheita e partes das plantas.

Nas raízes das plantas presentes no ponto 1, houve uma diminuição da concentração de magnésio da primeira para a segunda colheita seguida por um aumento até a última. Já no ponto 2, os valores aumentaram da primeira para a segunda e se mantiveram praticamente constantes até a quarta colheita.

Em relação à variabilidade espacial, o comportamento apresentado é variado para os três nutrientes, não se observando nenhuma padronização dos mesmos.

A semelhança também se seguiu para a quantidade destes nutrientes nas duas partes da planta, com exceção do zinco. As folhas se apresentaram mais ricas em cálcio e magnésio do que as raízes. Quanto ao zinco, as folhas, em geral, possuem maiores concentrações do que as raízes no ponto 1, sendo este comportamento invertido no ponto 2.

Henry-Silva e Camargo (2006) também determinaram o teor de cálcio, magnésio e zinco em macrófitas aquáticas da espécie *Eichhornia crassipes* cultivadas em efluentes da aquicultura, e encontraram os seguintes valores, respectivamente, 1,51 %, 3916,67 mg/kg, e 81,83 mg/kg. Os dados de cálcio e magnésio encontrados são bem próximos aos apresentados nas **Tabelas 24** e **25**. Já os teores de zinco foram maiores do que os encontrados nas plantas presentes no Rio Apodi/Mossoró.

Martins et al (2003) determinaram a quantidade destes três nutrientes na *Eichhornia crassipes* presentes no reservatório da usina hidrelétrica de Salto Grande, em Americana – SP. Os autores encontraram teores de cálcio iguais a 11,55 g/kg, magnésio, 2,93 g/kg, e zinco, 187,00 mg/kg. Mais uma vez, os teores de cálcio e magnésio ficaram bem próximos, sendo maiores ou menores dependendo da parte da planta analisada e da época de colheita, e os teores de zinco, inferiores aos encontrados pelos autores.

4.2.6 Níquel e Alumínio

De acordo com os dados obtidos para os dois parâmetros (**Apêndice B, Tabelas 27 e 28**) constataram-se mudanças significativas em função da variabilidade temporal (**Figuras 27 e 28**). Tanto as concentrações de níquel quanto as de alumínio, nas folhas e raízes, tenderam a diminuir drasticamente com o crescimento da planta, ou seja, quanto maiores as macrófitas aquáticas, menores as quantidades destes dois elementos no tecido vegetal.

Alguns valores fugiram ao comportamento geral apresentado, como o aumento do Ni nas folhas da segunda colheita no ponto 1 e o aumento do Al nas raízes da terceira colheita, devido provavelmente, a alta capacidade de absorção da planta no estágio inicial de desenvolvimento.

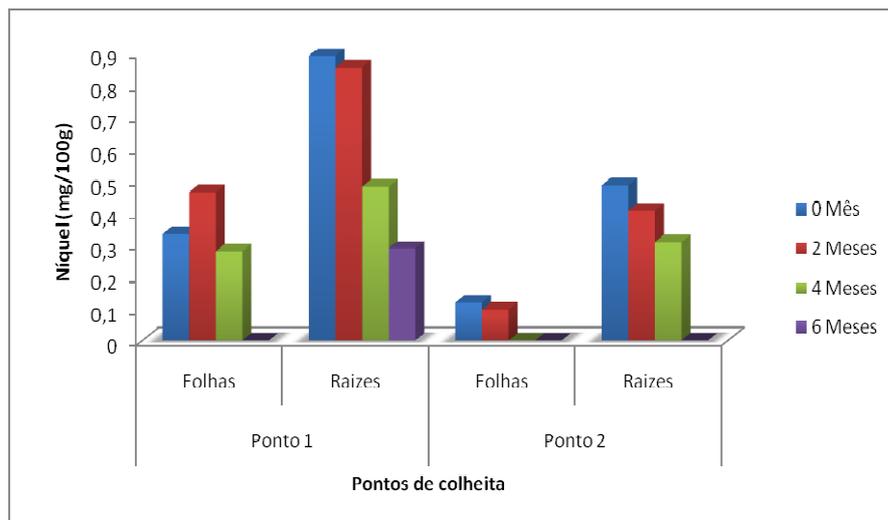


Figura 27 – Valores de níquel em diferentes épocas, pontos de colheita e partes das plantas.

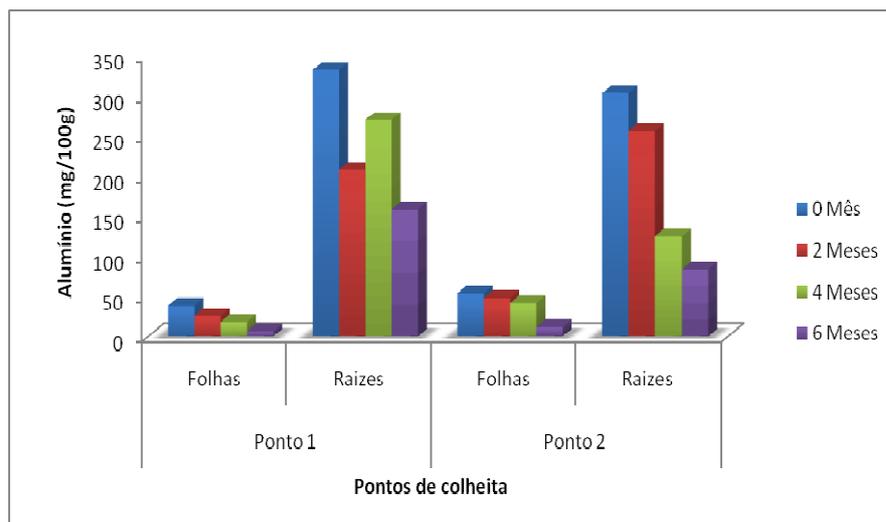


Figura 28 – Valores de alumínio em diferentes épocas, pontos de colheita e partes das plantas.

Levando-se em consideração a variabilidade espacial, as maiores concentrações de níquel se encontraram no ponto 1, tanto para as folhas como para as raízes. Já para o alumínio, as raízes apresentaram no ponto 1 concentrações superiores as do ponto 2, exceto na segunda colheita, em que estas são menores.

Comparando-se as partes analisadas da *Eichhornia crassipes*, níquel e alumínio apresentaram o mesmo comportamento, em que as maiores concentrações se encontraram nas raízes das macrófitas.

Os teores desses elementos também foram determinados nesta espécie por Martins et al (2003), onde os mesmos encontraram, respectivamente, 88,09 mg/kg e 4,15 g/kg. Os valores de alumínio se encontraram bem próximos aos encontrados nas folhas das macrófitas (**Tabela 28**) em algumas épocas de colheita, e os de níquel foram bem maiores que os encontrados nas macrófitas presentes no Rio Apodi/Mossoró (**Tabela 27**).

Klumpp et al (2002) também determinou alumínio nas folhas e raízes da *Eichhornia crassipes* presente em sete localidades ao longo do Rio Cachoeira na Bahia – Brasil, concluindo que em todos os pontos de colheita, a concentração deste metal foi bem maior nas raízes do que nas folhas. Comportamento esse que também foi observado no presente trabalho.

4.2.7 Cobalto, Cromo Total, Cádmio e Chumbo

Levando em consideração os dados apresentados (**Apêndice B, Tabelas 29, 30, 31 e 32**) observou-se que nas folhas, nos pontos 1 e 2, as concentrações dos quatro elementos ficaram abaixo do limite de detecção da técnica utilizada, em todas as épocas de colheita.

Nas raízes, foram detectados e quantificados apenas cobalto e cromo total (**Figuras 29 e 30**) com ambos não apresentando nenhum comportamento padrão com o crescimento das plantas.

Estes resultados tornam maior a possibilidade de utilização da biomassa, tendo em vista que o cromo total, cádmio e chumbo são metais indesejáveis em qualquer organismo devido a sua toxidez em concentrações elevadas e as suas características típicas de bioacumulação.

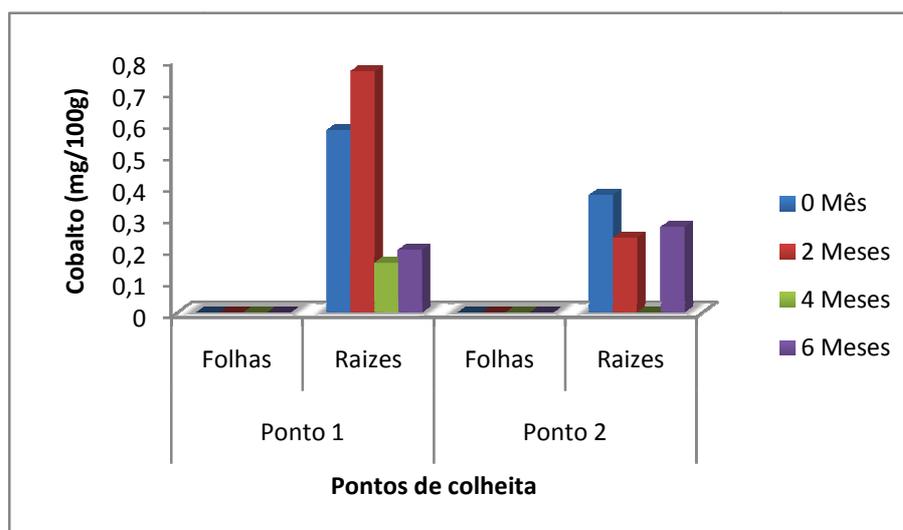


Figura 29 – Valores de cobalto em diferentes épocas, pontos de colheita e partes das plantas.

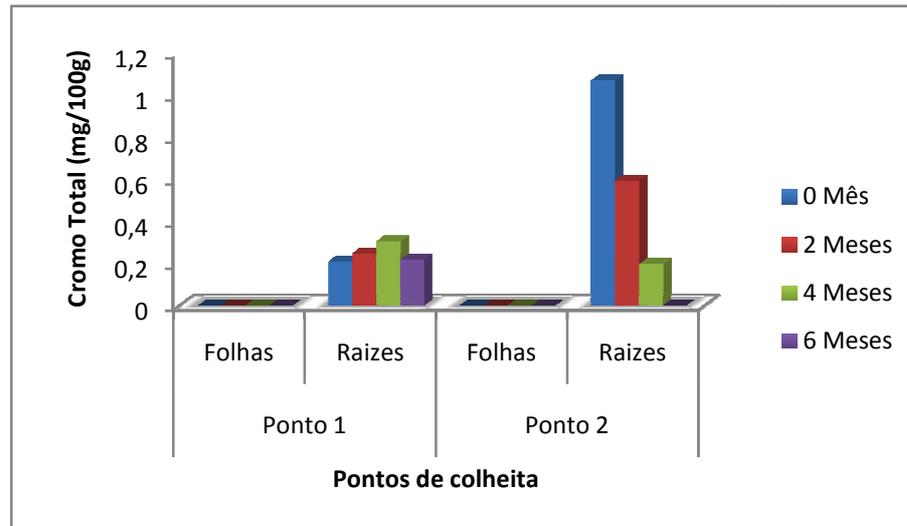


Figura 30 – Valores de cromo total em diferentes épocas, pontos de colheita e partes das plantas.

Considerando os diferentes pontos de colheita, observa-se que as maiores concentrações de cobalto se encontram no ponto 1, exceto para a quarta colheita. O cromo total não apresenta um padrão observável nas suas concentrações, variando de um ponto para outro, dependendo da época de colheita.

Comparando as partes das macrófitas, os valores mais elevados de cobalto e cromo total se encontraram nas raízes, já que nas folhas os mesmos se encontraram abaixo do limite de detecção da técnica utilizada.

Para cádmio e chumbo, os dados encontrados estão abaixo do limite de detecção. No entanto, esta informação é de fundamental importância, tendo em vista o objetivo do trabalho.

Martins et al (2003) determinaram os níveis de cobalto, cromo e chumbo nesta mesma espécie de macrófita aquática. Segundo os mesmos, os teores presentes no tecido vegetal foram, respectivamente, 5,35 mg/kg, 76,19 mg/kg, e 0,00 mg/kg. Diante do apresentado, observou-se que há uma semelhança entre estes valores de cobalto e chumbo e os apresentados nas **Tabelas 29 e 32**. No entanto, os teores de cromo encontrados pelos autores foram bem superiores aos obtidos nas macrófitas colhidas no Rio Apodi/Mossoró sendo, mais uma vez, confirmada a influência do local de cultivo na quantidade de nutrientes presentes nestas plantas.

O comportamento encontrado por Klumpp et al (2002) para o alumínio também foi observado para as concentrações de cromo no tecido vegetal. Devido a não essencialidade deste elemento para o desenvolvimento das plantas, as maiores concentrações foram encontradas nas raízes.

Mishra e Tripathi (2008) testaram a taxa de remoção de cádmio em três macrófitas aquáticas, dentre elas, a *Eichhornia crassipes*. Os resultados obtidos mostraram que esta espécie foi a que apresentou as melhores taxas de remoção para este elemento, variando de 77 a 85 % dependendo da concentração utilizada, mostrando assim, o potencial fitorremediador desta espécie em relação ao cádmio.

4.3 DISCUSSÃO GERAL

Diante do apresentado e tomando como base a variabilidade temporal, pôde-se observar, de forma geral, que para os nutrientes fósforo total, manganês e cobre nas folhas e raízes em ambos os pontos de colheita, e magnésio nas folhas no ponto 1 houve um aumento das suas concentrações da primeira até a segunda ou terceira colheita, seguido por um decréscimo nas últimas (**Figuras 18, 19, 20 e 26**). Para os nutrientes potássio e sódio observou-se o mesmo comportamento nas folhas em ambos os pontos (**Figuras 21 e 22**), e para o ferro total, nas raízes no ponto 1 (**Figura 23**).

Este comportamento pode ser explicado pelas alterações fisiológicas que ocorrem com o desenvolvimento da planta e pela presença destes nutrientes na água. Da primeira para a segunda ou terceira colheita, as plantas estavam em estágio de desenvolvimento, o que pode ser constatado pelo aumento de seu tamanho (**Figura 10**). Neste período as plantas possuem alta capacidade de absorção de nutrientes do meio. Com a maturidade das macrófitas, esta capacidade de absorção é reduzida, refletindo-se no decréscimo dos níveis de nutrientes no tecido vegetal (Quarta colheita) (ROSA e SILVA, 1997).

Alguns destes nutrientes tiveram sua concentração reduzida com o tempo de crescimento da planta (Cálcio; Níquel; Alumínio; Zinco e ferro apenas nas folhas; Magnésio nas folhas no ponto 2). Os níveis de nutrientes presentes em ambos os pontos estão em constantes modificações devido às características dos próprios locais como, o fluxo de água, volume, localização, sendo também influenciados pelo descarte de efluentes e pluviosidade. Estes fatores, aliados à competitividade e maturidade da planta, provavelmente foram as causas deste comportamento.

Para os teores de nitrogênio total e proteína bruta, ocorreu a diminuição com o crescimento da planta em ambos os pontos, o que provavelmente se deve a três fatores:

- a) à própria fisiologia da planta, onde com a sua maturidade os níveis de nutrientes absorvidos tendem a diminuir;
- b) à competição existente entre as macrófitas, pois, como falta espaço lateral devido à grande quantidade existente, elas tendem a crescer verticalmente, fato também verificado por alguns estudiosos (HENRY-SILVA e CAMARGO, 2005). Desta forma, o pecíolo se desenvolve bem mais que o limbo (**Figura 31**). Como o teor de proteína é bem menor no pecíolo, ocorre um efeito de diluição, ou seja, quanto maiores forem as plantas, menores serão os teores de proteína no tecido vegetal (ROSA e SILVA, 1997);



Figura 31 – *Eichhornia crassipes* do Rio Apodi/Mossoró em diferentes estágios de desenvolvimento.

- c) aos níveis de nitrogênio presentes na água, já que os nutrientes absorvidos pelas macrófitas são provenientes do meio em que foram cultivadas.

Alguns nutrientes apresentaram também um comportamento diferenciado, aumentando suas concentrações a partir da terceira ou quarta colheita (Sódio e Zinco nas raízes; Ferro nas raízes no ponto 2; Magnésio nas raízes no ponto 1). Estes pontos são afetados diretamente pela diminuição do volume e fluxo de água em épocas de seca (terceira e quarta colheita). Desta forma, a tendência é que o volume de água seja reduzido, causando o aumento da concentração de nutrientes no meio, o que afeta, conseqüentemente, a quantidade dos mesmos no tecido vegetal, e como a planta já atingiu a maturidade eles tendem a se acumular nas raízes.

Outros, não apresentaram nenhum comportamento padrão (Cinzas em todas as épocas e pontos de colheitas; Nitrogênio total, proteína bruta e zinco nas raízes no ponto 2 e terceira colheita; Cobalto e cromo total nas raízes). As alternâncias destes valores estão relacionadas com as variações das concentrações de compostos inorgânicos no ambiente, devido, especialmente, ao lançamento de efluentes, que podem ocorrer em diferentes quantidades em épocas e locais distintos, agravadas pela fisiologia da planta que também os absorve de forma distinta de acordo com sua idade. Conforme o mencionado, os pontos se encontram em locais com fluxos e volumes de água diferenciados (canal derivado e leito principal) e recebendo cargas de efluentes diferentes em função da densidade demográfica e estruturas de “saneamento” nestas regiões da cidade.

Em relação à variabilidade espacial, observou-se que as diferenças existentes nos tamanhos das plantas e nos níveis de nutrientes (Área foliar; Cinzas; Fósforo total; Potássio; Sódio; Ferro; Cálcio, Magnésio, Zinco, Níquel, Alumínio; Nitrogênio total; Proteína bruta; Cobre; Manganês; Cobalto e Cromo total nas raízes) presentes na *Eichhornia crassipes* nos pontos 1 e 2 se devem, provavelmente, à variação na quantidade de substâncias presentes nos dois locais, e que estariam biodisponíveis para serem utilizadas pelas macrófitas como fonte de energia para o seu desenvolvimento no período em que foram colhidas (CASTRO et al, 2009).

Outros fatores a serem considerados são a competitividade das plantas pelos nutrientes, visto que a densidade das mesmas por m² é visualmente diferente nos dois locais analisados, como pode ser comprovado pelas **Figuras 32 e 33**, e o fator climático (pluviosidade e luminosidade).



Figura 32 – Imagem do ponto 1 na quarta colheita (6 Meses).



Figura 33 – Imagem do ponto 2 na quarta colheita (6 Meses).

Comparando as diferentes partes das plantas, observou-se que, em geral, os macronutrientes e elementos benéficos ao desenvolvimento das mesmas se encontraram em maiores concentrações nas folhas do que nas raízes (Nitrogênio total; Proteína bruta; Fósforo total; Potássio; Sódio; Cálcio; Magnésio). A sua essencialidade é um fator predominante para que o processo de transporte de nutrientes das raízes às folhas seja facilitado.

Já os micronutrientes se apresentaram em maiores concentrações nas raízes (Cobre; Manganês; Ferro; Cobalto; Zinco no ponto 2;). Isso ocorreu, provavelmente, devido à elevada concentração dos mesmos na água do rio. Como as plantas necessitam de apenas uma pequena quantidade para o seu desenvolvimento, a tendência é que eles sejam absorvidos pela planta e se acumulem na parte radicular, em função da quantidade biodisponível.

Os elementos considerados não essenciais tenderam a se acumular nas raízes, apesar de serem encontrados também nas folhas (Níquel; Alumínio; Cromo total). Dependendo da sua concentração no ambiente em que as macrófitas estejam inseridas, eles acabam competindo com os nutrientes essenciais ao desenvolvimento da planta e são absorvidos e transportados no tecido vegetal.

4.4 OPÇÕES DE USO DA BIOMASSA

De acordo com os dados obtidos para todos os elementos e substâncias presentes no tecido vegetal da *Eichhornia crassipes* pode-se fazer um comparativo dos teores de cada

componente com os apresentados em tabelas de composição de alimentos, Normas e Resoluções vigentes, a fim de se identificar possíveis usos para a biomassa produzida.

Levando em consideração os teores de diversas substâncias em alimentos de origem vegetal apresentados na Tabela Brasileira de Composição de Alimentos – TACO em 100 gramas de material seco (**Anexo A, Tabela 33**), pode-se constatar que:

- a) comparando os valores de proteína bruta presente nas amostras de *Eichhornia crassipes* com os apresentados na **Tabela 33** pode-se observar que a planta em questão apresenta níveis bem maiores que os alimentos considerados ricos em proteína. Esta informação é de grande relevância tendo em vista, por exemplo, a necessidade dos criadores da região em alimentarem seus animais em épocas de seca e a falta de fontes de alimentos vegetais nesta época, em função da característica semi-árida da região. Vale destacar que a população já utiliza estas plantas na alimentação animal (**Figura 34**). No entanto, esta ação pode se tornar um risco a saúde dos animais e das próprias pessoas que se alimentam destes, pois, para o seu uso como alimento é necessária a determinação contínua de diversos nutrientes e elementos tóxicos que podem estar, ou não, presentes no tecido vegetal.



Figura 34 – Animais utilizando as macrófitas aquáticas como alimento próximo a um dos pontos de colheita.

- b) as quantidades de fósforo nas raízes se encontram bem próximas aos teores presentes em alguns dos alimentos considerados (**Anexo A, Tabela 32**), e as de fósforo nas

folhas, e de cinzas, potássio, cobre, manganês, sódio, ferro, cálcio, magnésio e zinco nas folhas e raízes são superiores aos valores médios dos mesmos.

De acordo com a Resolução RDC nº 269, de 22 de setembro de 2005, que regulamenta a ingestão diária recomendada (IDR) de proteína, vitaminas e minerais (**Anexo B, Tabela 34**), a quantidade de proteína diária que deve ser ingerida por pessoas adultas, é de 50 g. Fazendo um comparativo entre este valor e os demais apresentados, os níveis deste nutriente por 100 g de matéria seca presente na *Eichhornia crassipes* são os que mais se aproximam do valor recomendado. Desta forma, conclui-se que se a quantidade dos outros elementos danosos à saúde humana, presentes nestas plantas forem baixos, elas poderiam ser utilizadas na fabricação de um concentrado protéico destinado a sua alimentação.

As quantidades de fósforo total, potássio, cobre, manganês e ferro no tecido vegetal, confirmam a viabilidade da sua utilização ou de derivados seus para alimentação, tendo em vista que apenas uma pequena quantidade de material supriria a necessidade diária destes nutrientes no organismo humano. As quantidades de cálcio, magnésio e zinco que devem ser ingeridas diariamente por um ser humano adulto é de, respectivamente, 1000 mg, 260 mg e 7 mg. Desta forma, observa-se que tanto as quantidades de cálcio como as de magnésio presentes em 100 g de material seco estão bem próximas ou superiores aos valores exigidos pela resolução.

Cabe destacar que mesmo que os outros elementos, danosos estejam em altas concentrações, o seu uso pode ser viabilizado pela sua retirada do concentrado protéico.

Entre os elementos que podem trazer algum prejuízo à saúde humana estão o zinco e o cromo que se apresentaram em quantidades superiores às permitidas, sendo necessário maior cuidado com os seus usos.

Portanto, para que se possa destinar esse material à alimentação humana, devem-se desenvolver formas de reduzir os teores destes elementos no produto final.

A exposição ocupacional ao cromo (Cr^{6+}) provoca, nos seres humanos, dermatite, perfuração do septo nasal, úlceras nas mãos e braços, inflamação da laringe e do fígado, e bronquite. Além disso, o cromo na forma de cromato causa carcinoma broncogênico (HODGSON, 2004).

Segundo a Instrução Normativa Nº 152, de 11 de outubro de 2004, que aprova o regulamento técnico sobre fixação de parâmetros e das características mínimas dos suplementos minerais destinados a bovinos, o teor mínimo de fósforo, cobre e manganês na

mistura final, para bovinos leiteiros em lactação, é de respectivamente, 7,3 g/100g, 65 mg/100g e 100 mg/100g.

A concentração de fósforo e cobre presente na *Eichhornia crassipes* é bem menor que o mínimo exigido para os suplementos minerais, e a de manganês se encontra bem próxima ou até um pouco superior. Desta forma, para que a planta estudada possa ser utilizada, é necessário que junto com a mesma, sejam também utilizadas outras formas de alimento que venham a suprir a necessidade de fósforo e cobre no organismo do animal ou que estes elementos sejam incorporados ao suplemento feito com a mesma.

Deve-se lembrar que o fósforo é o segundo elemento mineral em maior quantidade no organismo dos bovinos. O mesmo desempenha diversas funções, consideradas, vitais ao animal como formação óssea, metabolismo energético, componentes de ácidos nucleicos, ativação enzimática, síntese de fosfolipídios e proteínas, armazenagem de energia, dentre outras (HADDAD e ALVES, 2008).

Em relação ao manganês, o mesmo atua principalmente na ativação de diversas enzimas. A deficiência de manganês é bastante conhecida nas aves, sendo responsável por algumas doenças caracterizadas por alterações esqueléticas. No entanto, poucos casos relacionados à deficiência deste nutriente em bovinos foram identificados (TOKARNIA et al, 2000).

Quanto ao potássio, a Instrução Normativa em questão não faz nenhuma referência, tornando-se necessários estudos relacionados ao mesmo para que o animal não venha a sofrer danos a sua saúde proveniente de uma maior ou menor quantidade de potássio em seu alimento.

Ele está presente nos ossos em pequenas quantidades, correspondendo a valores menores que 50 mg/kg. Apresenta-se ainda em concentrações de cerca de 4g/kg nos músculos, 3,5 g/kg no tecidos nervosos e secretórios, e 200 mg/kg no soro e fluidos (VÉRAS et al, 2001).

Os vários tipos de nutrientes essenciais ao organismo animal estão distribuídos de forma variável no corpo. O sódio, por exemplo, está presente principalmente nos fluidos extracelulares, desempenhando diversas funções como a regulação da pressão osmótica e do equilíbrio ácido-base, bem como no processo de absorção de nutrientes (PAULINO et al, 2004).

O ferro, por sua vez, é de fundamental importância em muitas reações bioquímicas e é componente de várias enzimas, como por exemplo, aquelas envolvidas no transporte de elétrons e na ativação e transporte de oxigênio. Deve-se considerar que o excesso e a

deficiência de ferro podem causar morte celular. Desta forma, torna-se extremamente necessário o controle dos seus níveis no organismo (ALMEIDA et al, 2007).

Segundo a Instrução Normativa Nº 152, de 11 de outubro de 2004, a quantidade mínima de magnésio, zinco e cobalto que deve estar presente no suplemento mineral destinado a bovinos leiteiros em lactação é de, respectivamente, 1,5 g/100g, 0,25 g/100g e 2,5 mg/100g. Já o cálcio tem que obedecer a uma relação de 1:1 até 7:1 com a quantidade de fósforo presente no suplemento.

Tendo isto em vista, pode-se constatar que os teores de zinco se encontram de acordo com a Instrução Normativa em vigor. No entanto, os teores de cálcio, magnésio e cobalto se encontram abaixo do mínimo necessário para que o alimento possa ser utilizado na fabricação de um suplemento mineral. Diante do mencionado, torna-se necessário, no caso do uso desta biomassa na produção de um suplemento alimentar, a compensação dos níveis apresentados através de outro material que possua cálcio, magnésio e cobalto em sua composição na concentração desejável.

Há uma estimativa de que o zinco seja um componente essencial de mais de 200 sistemas enzimáticos no organismo de um animal superior, sendo essencial na transformação do retinol em vitamina A e na mobilização desta vitamina no fígado (HADDAD e ALVES, 2008.).

Cerca de 70% do magnésio presente no organismo animal se encontra nos ossos, em concentrações de aproximadamente 2 g de magnésio por kg de material fresco, numa relação de Ca : Mg de 55 : 1. Os músculos apresentam cerca de 190 mg/kg. Apenas 1% do magnésio presente no organismo bovino se encontra associado aos espaços extracelulares (VÉRAS, et al, 2001).

Já o cálcio é o mineral que se encontra em maior quantidade no seu organismo, estando envolvido na formação dos ossos e dentes, na contração muscular, coagulação sanguínea e ativação de sistemas enzimáticos (HADDAD e ALVES, 2008).

O cobalto é um dos micronutrientes que mais frequentemente se encontram em estados de deficiência no organismo dos bovinos. Quando os ruminantes necessitam de serem mudados periodicamente de ambiente para que possam sobreviver, apresentando perda de apetite, emagrecimento e anemia progressiva, são fortes indícios da deficiência deste nutriente (TOKARNIA et al, 2000).

Já o níquel e alumínio tiveram sua essencialidade ao organismo animal, comprovada com base em resultados obtidos em relação ao crescimento dos mesmos a partir de estudos realizados em escala de laboratório (HADDAD e ALVES, 2008).

Tendo isto em vista, e o fato de não ter-se encontrado neste trabalho tabelas que padronizem estes elementos, deve-se ter bastante cautela ao se utilizar alimentos que contenham em sua composição quantidades significativas tanto de alumínio como de níquel, para que problemas à saúde do animal ou dos seres humanos não venham a ocorrer.

Ultimamente alguns autores têm considerado o cromo como um elemento essencial ao processo metabólico dos bovinos, devendo, portanto, estar presente na sua alimentação (TOKARNIA et al, 2000).

Quanto ao cádmio e chumbo, não há, dentre as normas e resoluções abordadas, informações a respeito dos mesmos quanto a sua necessidade e sim quanto sua toxicidade. A maior preocupação quanto a estes metais se deve ao fato dos mesmos serem bioacumulativos.

A acumulação de cádmio ocorre principalmente nos rins e no fígado, onde a exposição prolongada pode provocar diversos problemas, dentre eles, a doença Itai-Itai, encontrada em determinadas áreas do Japão (HODGSON, 2004).

A exposição prolongada ao chumbo pode provocar diversos problemas, como por exemplo, os renais, e alguns que afetam o sistema nervoso, levando ao retardo mental e até mesmo a cegueira. As formas de contaminação por chumbo são inalação e ingestão. No entanto, estima-se que aproximadamente 20 % da quantidade total de chumbo presente no organismo humano se dá através da contaminação por inalação (HODGSON, 2004).

Além das formas de utilização da biomassa produzida citadas anteriormente, a mesma ainda pode ser utilizada para diversos outros fins, tendo em vista os altos níveis de nutrientes.

A fabricação de fertilizantes orgânicos simples seria uma opção viável, considerando as quantidades de nitrogênio, fósforo e potássio encontradas, e a grande facilidade de crescimento da planta que produz em média 1 tonelada/ha/dia, dependendo do local de cultivo (MEDEIROS et al, 1999).

De acordo com a Instrução Normativa Nº 25 de 23 de julho de 2009, que aprova as Normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura, o teor de umidade máxima e de nitrogênio mínima que devem estar presentes em tortas vegetais e em outros fertilizantes orgânicos simples é de, respectivamente, 40% e 0,5%.

Comparando os valores de umidade com os apresentados na *Eichhornia crassipes*, verifica-se a necessidade de redução do teor de água no tecido vegetal, que pode ser

realizada por meio de técnicas físicas ou mecânicas. O teor de nitrogênio presente na macrófita em estudo é bem maior tanto nas folhas como nas raízes em todas as épocas e pontos de colheita, tornando viável a utilização deste material como fertilizante. No entanto, a presença de alguns elementos tóxicos como alumínio e cromo requer um maior controle quanto a sua aplicação, tendo em vista a possibilidade de absorção pelas plantas cultivadas a partir do uso deste material.

Outra forma de utilização da *Eichhornia crassipes* é na fabricação de tijolos utilizados na construção civil. Esta forma de aproveitamento da biomassa eliminaria os problemas advindos da presença de elementos tóxicos, haja vista que os mesmos seriam incorporados (Estabilização) nos materiais de construção, possibilitando, ainda, a construção de habitações de baixo custo (FARIA, 2002).

Segundo Bortolotto e Guarim Neto (2005), ainda pode-se utilizar estas macrófitas na fabricação de peças artesanais. Fato este verificado pelos autores em uma comunidade do distrito de Albuquerque em Corumbá – MS.

Se este procedimento fosse adotado com as plantas presentes no Rio Apodi/Mossoró, além de retirarem diversos poluentes presentes no ambiente aquático, as plantas ainda serviriam de fonte de renda, melhorando tanto a qualidade das águas como a qualidade de vida da população.

CONCLUSÕES

5 CONCLUSÕES

A partir da análise dos resultados obtidos neste trabalho, chegou-se as seguintes conclusões:

Os níveis de nutrientes, proteína bruta e elementos tóxicos presentes no tecido vegetal das macrófitas aquáticas da espécie *Eichhornia crassipes* foram significativamente influenciados pela variabilidade temporal, espacial e fisiológica. Pôde-se constatar grandes diferenças na quantidade de todos os analitos nas diferentes épocas e pontos de colheita, influenciadas principalmente pelos diferentes tamanhos das plantas, características locais e pelo clima.

Além disso, constataram-se diferenças entre os níveis de nutrientes, proteína bruta e elementos tóxicos presentes nas folhas e nas raízes da macrófita estudada (fisiologia). Em geral, os macronutrientes e proteína bruta se apresentaram em maiores concentrações nas folhas, enquanto que os micronutrientes foram encontrados em quantidades superiores nas raízes, comportamento já esperado, e explicado em função da essencialidade dos mesmos ao desenvolvimento das plantas.

Os elementos tóxicos, por não exercerem nenhuma função benéfica ao desenvolvimento da *Eichhornia crassipes*, se encontraram em maiores concentrações na parte radicular. No caso do cádmio e chumbo, todos os valores se encontraram abaixo do limite de detecção da técnica utilizada, em ambas as partes das plantas. Fato este de grande importância, tendo em vista a necessidade de se dar um destino final à biomassa produzida.

De forma geral, pôde-se então constatar que os maiores teores de nutrientes, proteína bruta e elementos tóxicos se encontraram nas plantas menores, e foram diferentes nos dois pontos de colheita.

Tomando como base os níveis de nutrientes e proteína bruta presentes na *Eichhornia crassipes*, as plantas colhidas na primeira época (0 Mês) seriam as mais indicadas para terem a sua biomassa utilizada para algum fim. Por outro lado, um fator que contribui para a utilização das plantas colhidas no período referente a 6 meses, são os níveis de elementos tóxicos que se apresentaram menores ou abaixo do limite de detecção do instrumento utilizado. Estudos posteriores quantificando a biomassa produzida/m² em 0 e 6 meses são necessários para uma escolha mais correta.

De acordo com estas observações, torna-se possível a utilização da biomassa da *Eichhornia crassipes* presente no Rio Apodi/Mossoró, nos dois trechos estudados, para

diversos fins, desde que se tenha um controle contínuo dos níveis das substâncias no tecido vegetal bem como a realização de análises microbiológicas no mesmo.

Assim, as macrófitas aquáticas estudadas podem ser utilizadas na:

- a) fabricação de suplementos minerais destinados à alimentação animal considerando os maiores valores de manganês e zinco que foram, respectivamente, 322,668 mg/100g e 3,5836 g/100g. Em relação aos outros nutrientes, torna-se necessária a complementação dos mesmos através de outros alimentos que contenham níveis adequados;
- b) na produção de derivados destinados à alimentação humana em virtude da quantidade máxima obtida de proteína bruta (27,5549 g/100g) e de alguns minerais como fósforo (0,642 g/100g), cálcio (1,444 g/100g), magnésio (0,732 g/100g), potássio (7,51 g/100g), cobre (4,4279 mg/100g), manganês (322,668 mg/100g), sódio (1,39 g/100g), ferro (194,169 mg/100g) e zinco (3,5836 mg/100g);
- c) na fabricação de fertilizantes orgânicos simples devido ao teor de nitrogênio total encontrado nas macrófitas, atingindo um máximo de 4,4088 g/100g. O inconveniente que se encontra no uso destas plantas na fabricação de fertilizantes está na grande quantidade de água presente no tecido vegetal (Valor máximo igual a 92,6367 %);
- d) na fabricação de peças artesanais e de tijolos de baixo custo, tendo em vista que a utilização das plantas para este fim eliminaria os problemas que poderiam ser causados devido à presença de alguns elementos tóxicos no tecido vegetal.

Como já foi mencionado, existem diversas outras formas de utilização da biomassa produzida. No entanto, as cinco formas discutidas no decorrer desse trabalho, são as que mais se enquadram na realidade e necessidade da região.

Portanto, os resultados obtidos mostram que o uso das macrófitas aquáticas da espécie *Eichhornia crassipes* favoreceria a melhoria da qualidade das águas do Rio Apodi/Mossoró, refletindo-se na melhoria da qualidade de vida da população.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Tendo em vista os resultados e conclusões obtidos, é interessante que se tenha uma continuidade deste trabalho através das propostas apresentadas. Portanto, sugere-se:

- a) Conhecer a relação entre quantidade de biomassa produzida/m² e nutrientes no tecido vegetal;
- b) Realizar análises microbiológicas do material estudado;
- c) Produzir um concentrado protéico destinado à alimentação humana;
- d) Desenvolver um suplemento mineral destinado a alimentação bovina ou de outros animais, como peixes e camarões;
- e) Produzir fertilizantes orgânicos a serem utilizados na agricultura da região;
- f) Desenvolver tijolos de baixo custo;
- g) Implantar trabalhos de conscientização ambiental nas comunidades ribeirinhas, oferecendo cursos de artesanato, possibilitando o desenvolvimento de peças a partir da *Eichhornia crassipes*.

REFERÊNCIAS

REFERÊNCIAS

ALVES, E.; CARDOSO, L. R.; SCRAVONI, J.; FERREIRA, L. C.; BOARO, C. S. F.; CATANEO, A. C. Avaliações fisiológicas e bioquímicas de plantas de aguapé (*Eichhornia crassipes*) cultivadas com níveis excessivos de nutrientes. **Planta Daninha**, v. 21, p. 27-35, 2003. Ed. Especial. Disponível em: <<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sciarttext&pid=S0100-83582003000400005>>. Acesso em: 01 jul 2009.

ALMEIDA, R. F.; LOPES, E. L.; NUNES, R. C.; MATOS, M. P. C.; SOBESTIANSKY, J.; FIORAVANTI, M. C. S.; OLIVEIRA, A. P. A.; RUFINO, L. M. Metabolismo do ferro em suínos recebendo dietas contendo fitase, níveis reduzidos de fósforo inorgânico e sem suplemento micromineral e vitamínico. **Ciência Rural**, v. 37, n. 4, p. 1097-1103, Jul/Ago, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cr/v37n4/a29v37n4.pdf>>. Acesso em: 09 out 2009.

APHA – American Public Health Association. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 18 th ed. Washington: APHA. 1992.

BARBIERI, R.; CARIDADE, E. O.; ALMEIDA, I. C. S.; BEZERRA, D. S.; DINIZ, S. C. C. S. Conteúdo de proteína, cinzas e sais minerais de plantas herbáceas utilizadas como forrageiras em tanques de piscicultura (Vitória do Mearim, MA). **Boletim do Laboratório de Hidrobiologia**, v. 17, p. 43 – 47, 2004. Disponível em: <http://www.labohidro.ufma.br/upload_art/vol17_artigo05.pdf>. Acesso em: 11 dez 2007.

BEZERRA JÚNIOR, R. B. **Apostila de Espectrometria de Emissão Atômica por Plasma ICP-OES**. São Paulo: PerkinElmer do Brasil Ltda.. Disponível em: <www.perkinelmer.com.br>. Acesso em: 05 dez 2008.

BONNET, B. R. P.; FERREIRA, L. G.; LOBO, F. C. Relações entre qualidade da água e uso do solo em Goiás: uma análise à escala da bacia hidrográfica. **Revista Árvore**, v. 32, n. 2, p. 311 – 322, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rarv/v32n2/a14v32n2.pdf>>. Acesso em: 23 jun 2009.

BORGES, D. L. G.; CURTIUS, A. J.; WELZ, B.; HEITMANN, U. Fundamentos da espectrometria de absorção atômica de alta resolução com fonte contínua. **Revista Analytica**, n. 18, Ago/Set, 2005. Disponível em: <http://www.revistaanalytica.com.br/analytica/ed_anteriores/18/art02.pdf>. Acesso em: 03 jul 2009.

BORTOLOTTI, I. M.; GUARIM NETO, G. Uso do camalote, *Eichhornia crassipes* (mart.) Solms, Pontederiaceae, para confecção de artesanato no Distrito de Albuquerque, Corumbá, MS, Brasil. **Acta Bot. Bras**, v.39, n. 2, abr./jun, 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/abb/v19n2/26228.pdf>>. Acesso em: 19 mar 2008.

BRASIL. 2009. Instrução Normativa, Nº 25/09. Disponível em: <<http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis-consulta/consultarLegislacao.do?operacao=visualizar&id=20542>>. Acesso em: 23 set 2009.

_____. 2004. Instrução Normativa, Nº 152/04. Disponível em: <<http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis-consulta/consultarLegislacao.do?jsessionid=c0a802ca30d66e3f8784b0da4dc9b4ecbb72dc4a9f94.e3uQb3aPbNeQe3yNa3qLa3yMe0?operacao=visualizar&id=9551>>. Acesso em: 24 abr 2008.

_____. 2005. Resolução RDC, Nº 269/05. Disponível em: <<http://e-legis.bvs.br/leisref/public/showAct.php?id=18828>>. Acesso em: 23 jul 2008.

CARDOSO, L. R.; MARTINS, D.; TERRA, M. A. Sensibilidade a herbicidas de acessos de aguapé coletados em reservatórios do Estado de São Paulo. **Planta Daninha**, v.21, p. 61 – 67, 2003. Edição Especial. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pd/v21nspe/a09v21ns.pdf>>. Acesso em: 29 jan 2009.

CARVALHO, F. T.; VELINI, E. D.; NEGRISOLI, E.; ROSSI, C. V. S. Eficácia do Carfentrazone-Ethyl no controle de plantas aquáticas latifoliadas em caixas d'água. **Planta Daninha**, v. 32, n. 2, p. 305 – 310, 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pd/v23n2/24958.pdf>>. Acesso em: 29 jan 2009.

CASTRO, R. M. **Estudo comparativo das perdas d'água em mesocosmos colonizados ou não por aguapé (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms-Laubach)**. 2008. 77 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônomicas da UNESP – Campus de Botucatu, Universidade Estadual Paulista, São Paulo.

CIENFUEGOS, F.; VAITSMAN, D. **Análise instrumental**. Rio de Janeiro: Interciência.. 2000.

COSTA, C. R.; OLIVI, P.; BOTTA, C. M. R.; ESPINDOLA, E. L. G. A toxicidade em ambientes aquáticos: Discussão e métodos de avaliação. **Química Nova**, v. 31, n. 7, p. 1820-1830, 2008. Disponível em: <<http://quimicanova.sbq.org.br/qn/qnol/2008/vol31n7/37-RV07485.pdf>>. Acesso em: 25 set 2009.

COUTINHO, H. D.; BARBOSA, A. R. Fitorremediação: Considerações gerais e características de utilização. **Silva Lusitana**, v. 15, n. 1, p. 103-107, 2007. Disponível em: <http://www.scielo.oces.mctes.pt/scielo.php?pid=S0870-63522007000100008&script=sci_arttext>. Acesso em: 03 jul 2009.

DANTAS, T. C. M.; OLIVEIRA, T. M. B. F.; PAIVA, W. D. A.; BARBOSA, A. R. S.; SOUZA, L. D.; CASTRO, S. S. L. Determinação do índice de estado trófico dos açudes da Bacia hidrográfica Apodi/Mossoró – RN. In: ENCONTRO NACIONAL DE QUÍMICA ANALÍTICA, 15, 2009, Salvador - BA. **Anais...** Salvador: Sociedade Brasileira de Química, 2009.

DINARDI, A. L.; FORMAGI, V. M.; CONEGLIAN, C. M. R.; BRITO, N. N.; DRAGONI SOBRINHO, G.; TONSO, S.; PELEGRINI, R. Fitorremediação. In: Fórum de Estudos Contábeis, 3, 2003. Rio Claro – SP. **Anais...** Rio Claro: Faculdades Interligadas Claretianas, 2003.

DUSHENKOV, V.; KUMAR P.B.A.N.; MOTTO, H. and RASKIN, I. Rhizofiltration: the use of plants to remove heavy metals from aqueous streams. **Environmental Science and Technology**, vol. 29, p. 1239-1245, 1995.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa, 1999.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de limnologia**. Rio de Janeiro: Interciência, 1998. 602p.

FARIA, O. B. **Utilização de macrófitas aquáticas na produção de adobe**: um estudo de caso no reservatório de Salto Grande (Americana – SP). 2002. 224 f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo.

FERREIRA, P. V. **Estatística Experimental aplicada à agronomia**. Maceió – AL: EDUFAL, 1991.

FRESCHI, G. P. G.; DAKUZAKU, C. S.; GOMES NETO, J. A.; MORAES, M. Espectrometria de absorção atômica multielementar simultânea com atomização eletrotérmica em forno de grafite – Uma revisão da técnica e aplicações. **Eclética Química**, v. 25, p. 52 - 59, 2000. Disponível em:

<http://www.revistaanalytica.com.br/analytica/ed_antteriores/05/5%20Art%20Espectro.pdf>.

Acesso em: 03 jul 2009.

GAYLARDE, C. C.; BELLINASSO, M. L.; MANFIO, G. P. Biorremediação: Aspectos biológicos e técnicos da biorremediação de xenobióticos. **Biotecnologia, Ciência e Desenvolvimento**, n. 34, Jan/Jun, 2005. Disponível em:

<http://www.biotecnologia.com.br/revista/bio34/biorremediacao_34.pdf>. Acesso em: 23 jul 2009.

GONÇALVES, C. V. **Alometria foliar, biomassa e fitoacumulação de cromo em *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms**. 2006. 76 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Instituto de Biociência, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre - RS.

GONÇALVES, E. G.; LORENZI, H. **Morfologia vegetal: organografia e dicionário ilustrado de morfologia das plantas vasculares**. São Paulo: Instituto Plantarum de estudos da Flora, 2007.

GOULET, R. R.; LALONDE, J. D.; MUNGER, C.; DUPUIS, S.; DUMONT-FRENETTE, G.; PRÉMONT, S.; CAMPBELL, P. G. C. Phytoremediation of effluents from aluminium smelters: A study of Al retention in mesocosms containing aquatic plants. **Water Research**, 39, p. 2291-2300, 2005. Disponível em:

<http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V73-4GCX03Y-1&user=687335&rdoc=1&fmt=&orig=search&sort=d&docanchor=&view=c&searchStrId=1130419497&rerunOrigin=google&acct=C000037878&version=1&urlVersion=0&userid=687335&md5=a6fafb6744087e48f8d6ff473a7d4fff>. Acesso em: 29 mar 2008.

GRÜTZMACHER, D. D.; GRÜTZMACHER, A. D.; AGOSTINETTO, D.; LOECK, A. E.; ROMAN, R.; PEIXOTO, S. C.; ZANELLA, R. Monitoramento de agrotóxicos em dois

mananciais hídricos no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 6, p. 632 – 637, 2008. Disponível em:

<<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v12n6/v12n06a10.pdf>>. Acesso em: 23 jun 2009.

HADDAD, C. M.; ALVES, F. V.; Novos conceitos e tecnologias na suplementação mineral de bovinos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE NUTRIÇÃO ANIMAL, Fortaleza – CE, 2008. **Anais...** Fortaleza/CE : Associação dos médicos veterinários do Estado do Ceará, 2008.

HENRY-SILVA, G. G.; CAMARGO, A. F. M. Composição química de macrófitas aquáticas flutuantes utilizadas no tratamento de efluentes de aquicultura. **Planta Daninha**, v. 24, n. 1, p. 21-28, 2006. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/pd/v24n1/a03v24n1.pdf>>. Acesso em: 15 abr 2009.

HENRY-SILVA, G. G.; CAMARGO, A. F. M.; PEZZATO, L. E. Digestibilidade aparente de macrófitas aquáticas pela tilápia-do-nylo (*Oreochromis niloticus*) e qualidade da água em relação às concentrações de nutrientes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, n. 3, p. 1 – 7, 2006. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/rbz/v35n3/30052.pdf>>. Acesso em: 15 abr 2009.

HENRY-SILVA, G. G.; CAMARGO, A. F. M.; PEZZATO, L. E. Growth of free-floating aquatic macrophytes in different concentrations of nutrients. **Hydrobiologia**, v. 610, n. 1, p. 153 – 160, 2008. Disponível em:

<<http://www.springerlink.com/content/9532586384502274/fulltext.pdf>>. Acesso em: 15 abr 2009.

HENRY-SILVA, G. G.; CAMARGO, A. F. M. Interações ecológicas entre as macrófitas aquáticas flutuantes *Eichhornia crassipes* e *Pistia stratiotes*. **Hoenea**, v. 32, n. 3, p. 445-452, 2005. Disponível em:

<[http://www.ibot.sp.gov.br/HOEHNEA/volume32/HOEHNEA_32\(3\)_T_08.pdf](http://www.ibot.sp.gov.br/HOEHNEA/volume32/HOEHNEA_32(3)_T_08.pdf)>. Acesso em: 15 abr 2009.

HENRY-SILVA, G. G.; CAMARGO, A. F. M. Tratamento de efluentes da carcinicultura por macrófitas aquáticas flutuantes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. 2, p. 181 – 188, 2008. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/rbz/v37n2/02.pdf>>. Acesso em: 08 mar 2008.

HENRY-SILVA, G. G.; CAMARGO, A. F. M. Valor nutritivo de macrófitas aquáticas flutuantes (*Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes* e *Salvinia molesta*) utilizadas no tratamento de efluentes de aquicultura. **Acta Scientiarum**, v. 24, n. 2, p. 509-526, 2002. Disponível em: < <http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciBiolSci/article/view/2353/2297>>. Acesso em: 02 jun 2009.

HODGSON, E. **A Textbook of Modern Toxicology**. 3 ed. New Jersey: Wiley Interscience, 2004.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz: Métodos Químicos e Físicos para Análise de Alimentos**. São Paulo: O Instituto, 1985.

JADIA, C. D.; FULEKAR, M. H. Phytoremediation of heavy metals: Recent techniques. **African Journal of Biotechnology**, v.8, n. 6, p. 921-928, 2009. Disponível em:

<<http://www.academicjournals.org/AJB/PDF/pdf2009/20Mar/Jadia%20and%20Fulekar.pdf>>. Acesso em: 29 out 2009.

JAYAWEERA, M. W.; KASTURIARACHCHI, J. C.; KULARATNE, R. K. A.; WIJEYEKOON, S. L. J. Contribution of water hyacinth (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) grown under different nutrient conditions to Fe-removal mechanisms in constructed wetlands. **Journal of Environmental Management**, v. 87, p. 450-460, 2008. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6WJ7-4NBRFXS-1&_user=687335&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&_docanchor=&_view=c&_searchStrId=1130432886&_rerunOrigin=google&_acct=C000037878&_version=1&_urlVersion=0&_userid=687335&_md5=6277514f8c6d3e3c9a855538ea24072a>. Acesso em: 02 abr 2008.

KLUMPP, A.; BAUER, K.; FRANZ-GERSTEIN, C.; MENEZES, M. Variation of nutrient and metal concentrations in aquatic macrophytes along the River Cachoeira in Bahia (Brazil). **Environment International**, v. 28, p. 165-171, 2002. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V7X-45XT3BJ-1&_user=687335&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&_docanchor=&_view=c&_searchStrId=1130434208&_rerunOrigin=google&_acct=C000037878&_version=1&_urlVersion=0&_userid=687335&_md5=6673b1d82eee8943eb335389fc8968c8>. Acesso em: 08 abr 2008.

LESAGE, E.; MUNDIA, C.; ROUSSEAU, D. P. L.; VAN DE MOORTELE, A. M. K.; DU LAING, G.; MEERS, E.; TACK, F. M. G.; DE PAUW, N.; VERLOO, M. G. Sorption of Co, Cu, Ni and Zn from industrial effluents by the submerged aquatic macrophyte *Myriophyllum spicatum* L. **Ecological Engineering**, v. 30, p. 320-325, 2007. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6VFB-4NVSWVS-1&_user=687335&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&_docanchor=&_view=c&_searchStrId=1130435644&_rerunOrigin=google&_acct=C000037878&_version=1&_urlVersion=0&_userid=687335&_md5=f5260bc83c941a54a55089055cee2dbc>. Acesso em: 29 mar 2008.

LIN, Y.; JING, S.; WANG, T.; LEE, D. Effects of macrophytes and external carbon sources on nitrate removal from groundwater in constructed wetlands. **Environmental Pollution**, v. 119, n. 3, p. 413 – 420, Out 2002. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6VB5-44GHV23-6&_user=687335&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&_docanchor=&_view=c&_searchStrId=1130436931&_rerunOrigin=google&_acct=C000037878&_version=1&_urlVersion=0&_userid=687335&_md5=902fa24194998a3d59706ffb6df2e490>. Acesso em: 05 nov 2008.

MAINE, M. A.; SUÑE, N.; HADAD, H.; SÁNCHEZ, G.; BONETTO, C. Nutrient and metal removal in a constructed wetland for wastewater treatment from a metallurgic industry. **Ecological Engineering**, n. 26, p. 341-347, 2006. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6VFB-4K7166H-1&_user=687335&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&_docanchor=&_view=c&_searchStrId=1130436225&_rerunOrigin=google&_acct=C000037878&_version=1&_urlVersion=0&_userid=687335&_md5=f9c9ab211112b361502e3d523c9b94a3>. Acesso em: 08 abr 2008.

MALAVOLTA, E. O futuro da nutrição de plantas tendo em vista aspectos agrônômicos, econômicos e ambientais. **Informações agrônômicas**, n. 121, p. 1 - 10, Mar 2008. Disponível em:

<[http://www.ppic.org/ppiweb/brazil.nsf/87cb8a98bf72572b8525693e0053ea70/d20fb44d85259bf7032572530062870e/\\$FILE/Page1-10-121.pdf](http://www.ppic.org/ppiweb/brazil.nsf/87cb8a98bf72572b8525693e0053ea70/d20fb44d85259bf7032572530062870e/$FILE/Page1-10-121.pdf)>. Acesso em: 23 set 2008.

MANGABEIRA, P. A. O.; LABEJOF, L.; LAMPERTI, A.; ALMEIDA, A-A. F.; OLIVEIRA, A. H.; ESCAIG, F.; SEVERO, M. I. G.; SILVA, D. C.; SALOES, M.; MIELKE, M. S.; LUCENA, E. R.; MARTINS, M. C.; SANTANA, K. B.; GAVRILOV, K. L.; GALLE, P. LEVI-SETTI, R. Accumulation of chromium in root tissues of *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms. in Cachoeira river—Brazil. **Applied Surface Science**, v. 231-232, p. 497-501, 2004. Disponível em:

<http://journals.cambridge.org/download.php?file=%2FMAM%2FMAM10_S02%2FS1431927604883326a.pdf&code=94e9694975c7dcf39ea5704c1f57a0b3>. Acesso em: 08 abr 2008.

MARTINS, D.; COSTA, N. V.; TERRA, M. A.; MARCHI, S. R.; VELINI, E. D. Caracterização química das plantas aquáticas coletadas no reservatório de Salto Grande (Americana-SP). **Planta Daninha**, v. 21, p. 21 - 25, 2003. Edição especial. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-83582003000400004>. Acesso em: 26 mar 2008.

MARTINS, A. P. L.; REISSMANN, C. B.; FAVARETTO, N.; BOEGER, M. R. T.; OLIVEIRA, E. B. Capacidade da *Typha dominguensis* na fitorremediação de efluentes de tanques de piscicultura na Bacia do Iraí – Paraná. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 3, p. 324 - 330, Jun 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v11n3/a13v11n3.pdf>>. Acesso em: 08 mar 2008.

MARTINS, D. F. F.; SOUZA, R. B.; OLIVEIRA, T. M. B. F.; SOUZA, L. D.; CASTRO, S. S. L. Qualidade físico-química das águas da bacia do Rio Apodi/Mossoró: I - Variabilidade espacial. **Química no Brasil**, v. 2, n. 1, p. 61 – 74, 2008.

MARTINS, D. F. F.; SOUZA, L. D.; CASTRO, S. S. L. Qualidade físico-química das águas da bacia do Rio Apodi/Mossoró: II – Variabilidade temporal. **Química no Brasil**, v. 2, n. 2, p. 9 - 23, 2008.

MAURO, J. B. N.; GUIMARÃES, J. R. D.; MELAMED, R. Aguapé agrava contaminação por mercúrio. **Ciência Hoje**, v. 25, n. 150, p. 68 - 71, 1999. Disponível em: <http://www.unites.uqam.ca/gmf/caruso/doc/pdf/Mauro_1999.pdf>. Acesso em: 11 dez 2007.

MEDEIROS, R. M. L.; SRUR, A. U. O. S; PINTO, C. L. R. Estudo da biomassa de aguapé, para a produção do seu concentrado protéico. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 19, n. 2, Maio/Ago 1999. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-20611999000200013>. Acesso em: 28 set 2009.

MENDHAM, J.; DENNEY, R. C.; BARNES, J. D.; THOMAS, M. **Vogel: Análise Química Quantitativa**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.

MISHIMA, D.; TATEDA, M.; IKE, M.; FUJITA, M. Comparative study on chemical pretreatments to accelerate enzymatic hydrolysis of aquatic macrophyte biomass used in water purification processes. **Bioresource Technology**, n. 97, p. 2166 – 2172, 2006. Disponível em:

<http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V24-4HMNFJ-1&user=687335&rdoc=1&fmt=&orig=search&sort=d&docanchor=&view=c&searchStrId=1130462943&rerunOrigin=google&acct=C000037878&version=1&urlVersion=0&userid=687335&md5=bf530b1168c7088c1f86ef2dde3fd0ab>. Acesso em: 29 mar 2008.

MISHIMA, D.; KUNIKI, M.; SEI, K.; SODA, S.; IKE, M.; FUGITA, M. Ethanol production from candidate energy crops: Water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) and water lettuce (*Pistia stratiotes* L.). **Bioresource Technology**, n. 99, p. 2495 – 2500, 2008. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V24-4P00RXR-5&user=687335&rdoc=1&fmt=&orig=search&sort=d&docanchor=&view=c&searchStrId=1130463298&rerunOrigin=google&acct=C000037878&version=1&urlVersion=0&userid=687335&md5=e46592074d8fe930e52acd9a6c249b4b>. Acesso em: 02 abr 2008.

MISHRA, V. K.; TRIPATHI, B. D. Concurrent removal and accumulation of heavy metals by the three aquatic macrophytes. **Bioresource Technology**, v. 99, p. 7091 - 7097, 2008. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V24-4S02PS4-2&user=687335&rdoc=1&fmt=&orig=search&sort=d&docanchor=&view=c&searchStrId=1130464493&rerunOrigin=google&acct=C000037878&version=1&urlVersion=0&userid=687335&md5=63bdf823c244d9575deefccef52e6da>. Acesso em: 02 abr 2008.

MOLISANI, M. M.; ROCHA, R.; MACHADO, W.; BARRETO, R. C.; LACERDA, L. D. Mercury contents in aquatic macrophytes from two reservoirs in the Paraíba do Sul: Guandú river system, SE Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 66, n. 1, p. 101 - 107, Fev 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1519-69842006000100013&script=sci_arttext>. Acesso em: 26 mar 2008.

NEGRISOLI, E.; CORRÊA, M. R.; VELINI, E. D.; BRAVIN, L. F.; MARCHI, S. R.; CAVENAGHI, A. L.; ROSSI, C. V. S. Estudo da degradação da biomassa de três espécies de plantas aquáticas no reservatório da UHE de Americana-SP. **Planta Daninha**, v. 24, n. 2, p. 221 – 227, 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pd/v24n2/30444.pdf>>. Acesso em: 29 jan 2009.

NUNES, E. **Geografia Física do Rio Grande do Norte**. Natal-RN: Ed. Imagem gráfica, 2006.

OKUMURA, F.; CAVALHEIRO, E. T. G.; NÓBREGA, J. A. Experimentos simples usando fotometria de chama para ensino de princípios de espectrometria atômica em cursos de química analítica. **Química Nova**, v. 27, n. 5, p. 832 – 836, 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422004000500026>. Acesso em: 09 out 2009.

OLIVEIRA, D. M.; CARA, D. V. C.; XAVIER, P. G.; PAULA, M. S.; SOBRAL, L. G. S.; LIMA, R. B.; LOUREIRO, A. **Fitorremediação: o estado da arte**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2007.

OLIVEIRA, M. A.; QUEIROZ, R. A. C. A Poluição do Rio Mossoró (RN) e a Ação Intervencionista do Ministério Público. In: ENCONTRO NACIONAL DA ANPPAS, 4, 2008, Brasília. **Anais...** Brasília – DF: ANPPAS, 2008.

OVERALL, R. A.; PARRY, D. L. The uptake of uranium by *Eleocharis dulcis* (Chinese water chestnut) in the Ranger Uranium Mine constructed wetland filter. **Environmental Pollution**, v. 132, p. 307 – 320, 2004. Disponível em:

<http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6VB5-4CPDH86-8&_user=687335&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&_docanchor=&_view=c&_searchStrId=1130473124&_rerunOrigin=google&_acct=C000037878&_version=1&_urlVersion=0&_userid=687335&_md5=ec0a01d45b33d1c1da8dae15a9f1fa7b>. Acesso em: 29 mar 2008.

PAULINO, P. V. R.; COSTA, M. A. L.; VALADARES FILHO, S. C.; PAULINO, M. F.; VALADARES, R. F. D.; MAGALHÃES, K. A.; PORTO, M. O.; BARONI, C. E. S. Exigências Nutricionais de Zebuínos: Minerais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, n. 3, p. 770 – 780, 2004. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbz/v33n3/21498.pdf>>. Acesso em: 09 set 2009.

PETRUCIO, M. M.; ESTEVES, F. A. Influence of photoperiod on the uptake of nitrogen and phosphorus in the water by *Eichhornia crassipes* and *Salvinia auriculata*. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 60, n. 3, p. 373 - 379, Ago 2000. Disponível em:

<http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0034-71082000000300002&script=sci_arttext>. Acesso em: 08 mar 2008.

PRADO, R. M. **Manual de nutrição de plantas forrageiras**. Jaboticabal – SP: Editora FUNEP, 2008.

PRASAD, M. N. V; FREITAS, H. M. O. Metal hyperaccumulation in plants - Biodiversity prospecting for phytoremediation technology. **Electronic Journal of Biotechnology**, v. 6, n. 3, 2003. Disponível em: <<http://www.scielo.cl/pdf/ejb/v6n3/a07.pdf>>. Acesso em: 29 dez 2009.

RASKIN, I.; ENSLEY, B. Phytoremediation of Toxic Metals. Using Plants to Clean Up the Environment. **Plant Science**, v. 160, p. 1073 – 1075, 2001. Disponível em:

<http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6TBH-42RDSMC-16&_user=984649&_coverDate=04%2F30%2F2001&_alid=1153450944&_rdoc=2&_fmt=high&_orig=search&_cdi=5143&_sort=r&_docanchor=&_view=c&_ct=922&_acct=C000049827&_version=1&_urlVersion=0&_userid=984649&_md5=7d1c28d4b53d584c3922393b4ed2deb0>. Acesso em: 21 dez 2009.

RODRÍGUEZ, J. C. Valor nutritivo de la bora *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms en relación a su utilización como forraje. **Zootecnia tropical**, v. 15, n. 1, p. 51 – 65, 1997. Disponível em: <http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_ci/ZootecniaTropical/zt1501/texto/bora.htm>. Acesso em: 05 nov 2008.

RÖRIG, L. R.; TUNDISI, J. G.; SCHETTINI, C. A. F.; PEREIRA-FILHO, J.; MENEZES, J. T.; ALMEIDA, T. C. M.; URBAN, S. R.; RADETSKI, C. M.; SPERB, R. C.; STRAMOSK, C. A.; MACEDO, R. S.; CASTRO-SILVA, M. A.; PEREZ, J. A. A. From a water resource to a point pollution source: the daily journey of a coastal urban stream. **Braz. J. Biol.**, v. 67, n. 4, p. 597 – 609, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/bjb/v67n4/02.pdf>>. Acesso em: 25 set 2009.

ROSA, B.; SILVA, S. R. C. Produção e características químicas do capim-elefante (*Pennisetum purpureum Shum*) para ensilagem em diferentes idades de corte. **Anais da Esc. Agron. e Vet.**, v. 27, n. 2, p. 99 – 107, 1997. Disponível em:

<<http://www.revistas.ufg.br/index.php/pat/article/view/2974/3020>>. Acesso em: 02 jul 2009.

SILVA, F. F.; VALADARES FILHO, S. C.; ÍTAVO, L. C. V.; VELOSO, C. M.; VALADARES, R. F. D.; CECON, P. R.; PAULINO, P. V. R.; MORAES, E. H. B. K. Exigências Líquidas e Dietéticas de Energia, Proteína e Macroelementos Minerais de Bovinos de Corte no Brasil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, n. 2, p. 776 – 792, 2002. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbz/v31n2/10365.pdf>>. Acesso em: 09 set 2009.

SKOOG, D. A.; WEST, D. M.; HOLLER, F. J.; CROUCH, S. R. **Fundamentos de Química Analítica**. São Paulo: Cengage Learning, 2008. (Tradução da 8ª edição Norte-americana).

SOARES, D. C. F.; OLIVEIRA, E. F.; SILVA, G. D. F.; *Salvinia auriculata*: Aquatic bioindicator studied by instrumental neutron activation analysis (INAA). **Applied Radiation and Isotopes**, v. 66, p. 561 - 564, 2007. Disponível em:

<http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6TJ0-4R8WJSY-3&_user=687335&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&_docanchor=&_view=c&_searchStrId=1130482245&_rerunOrigin=google&_acct=C000037878&_version=1&_urlVersion=0&_userid=687335&md5=b39735edd3efb6d50f3c396ca8654a91>. Acesso em: 28 mar 2008.

SOUZA, V. C. & LORENZI, H. **Botânica Sistemática**: Guia ilustrado para identificação das famílias de Angiospermas da flora brasileira, baseado em APG II. 2. ed. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2008.

SOUZA, A. D. G.; TUNDISI, J. G. Hidrogeochemical comparative study of the Jaú and Jacaré-Guaçu river watersheds, São Paulo, Brasil. **Ver. Brasil. Biol.**, v. 60, n. 4, p. 563 – 570, 2000. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbbio/v60n4/3901.pdf>>. Acesso em: 26 jun 2009.

SUSARLA, S.; MEDINA, V. F.; MCCUTCHEON, S. C. Phytoremediation: An ecological solution to organic chemical contamination. **Ecological Engineering**, v. 18, p. 647 – 658, 2002. Disponível em:

<http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6VFB-45H992R-3&_user=984649&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&_docanchor=&_view=c&_searchStrId=1153444390&_rerunOrigin=google&_acct=C000049827&_version=1&_urlVersion=0&_userid=984649&md5=4cf032f1d021d516ff59b241f08a06ad>. Acesso em: 21 dez 2009.

Tabela brasileira de composição de alimentos / NEPA-UNICAMP. Versão II. 2ª ed., Campinas, SP: NEPA-UNICAMP, 2006. 113p. Disponível em:

<<http://www.unicamp.br/nepa/taco/>>. Acesso em: 30 jan 2009.

THOMAZ, S. M.; BINI, L. M. **Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas**. Maringá: Editora da Universidade Estadual de Maringá, 2003.

TOKARNIA, C. H.; DÖBEREINER, J.; PEIXOTO, P. V.; Deficiências minerais em animais de fazenda, principalmente bovinos em regime de campo. **Pesq. Vet. Bras.**, v. 20, n. 13, p. 127 – 138, Jul./Set 2000. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-736X2000000300007&script=sci_arttext>. Acesso em: 09 set 2009.

VALITUTTO, R. S. **Acumulação de poluentes inorgânicos por macrófitas aquáticas nos reservatórios de Santana e Vigário, Barra do Piraí-RJ**. 2004. 72 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Instituto de Química, Universidade Federal Fluminense, Niterói-RJ.

VARDANYAN, L. G.; INGOLE, B. S. Studies on heavy metal accumulation in aquatic macrophytes from Sevan (Armenia) and Carambolim (India) lake systems. **Environment International**, n. 32, p. 208 – 218, 2006. Disponível em: <http://drs.nio.org/drs/bitstream/2264/226/1/Environ_Int_32_208.pdf>. Acesso em: 29 mar 2008.

VELINI, E. D.; CORRÊA, M. R.; NEGRISOLI, E.; BRAVIN, L. F. N.; CAVENAGHI, A. L.; ROSSI, C. V. S.; SILVA, J. R. M. Estudo da decomposição de plantas aquáticas em função das quantidades depositadas, da umidade e do tipo de disposição no solo. **Planta Daninha**, v. 23, n. 2, p. 249 – 254, 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pd/v23n2/24951.pdf>>. Acesso em: 29 jan 2009.

VÉRAS, A. S. C.; VALADARES FILHO, S. C.; SILVA, J. F. C.; PAULINO, M. F.; CECON, P. R.; VALADARES, R. F. D.; FERREIRA, M. A.; PAULINO, P. V. R.; ROCHA, C. V. Composição Corporal e Requisitos Líquidos e Dietéticos de Macroelementos Minerais de Bovinos Nelore Não-Castrados. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 30, n. 3, p. 1106 – 1111, 2001. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbz/v30n3s1/5532.pdf>>. Acesso em: 09 set 2009.

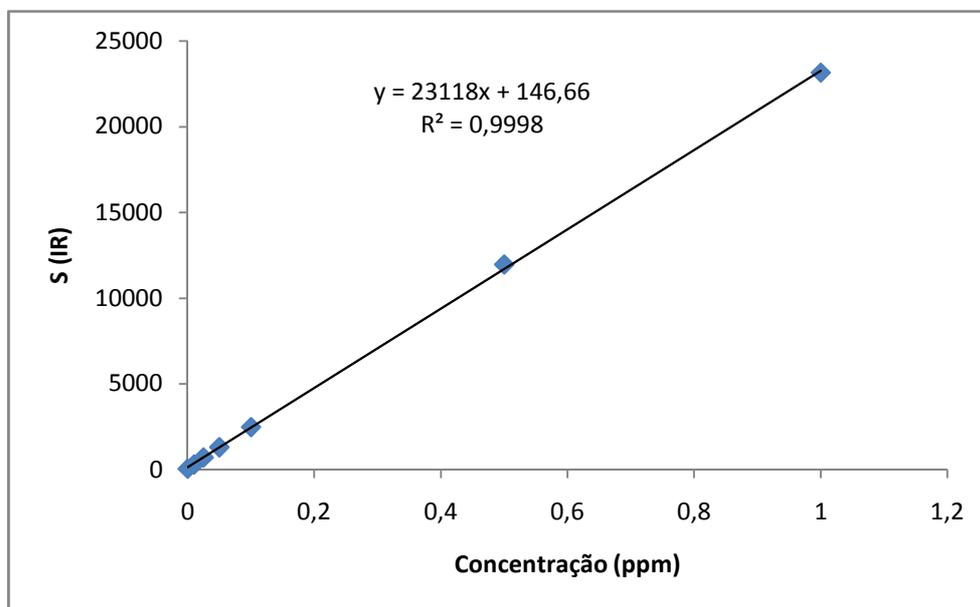
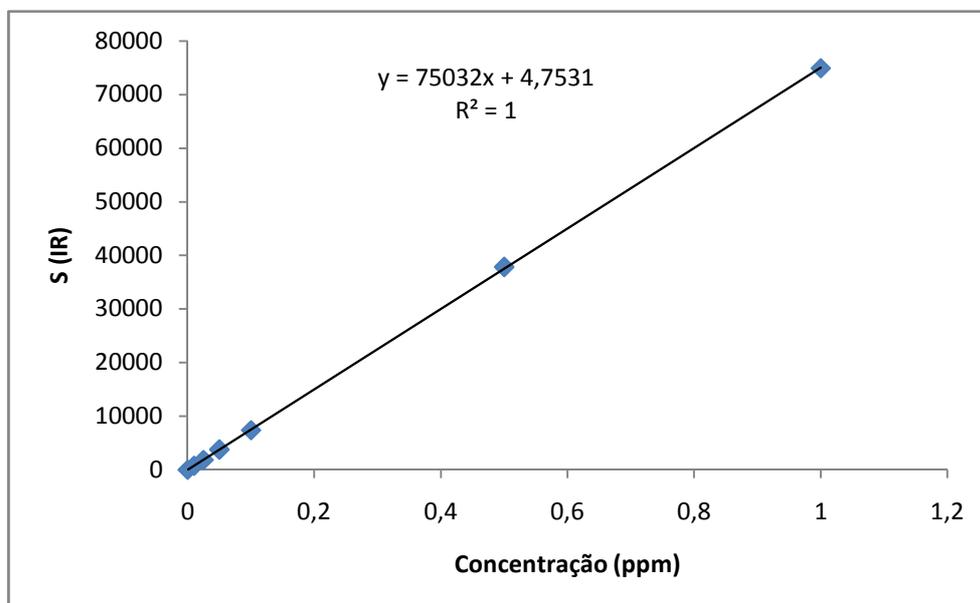
VERMA, V. K.; SINGH, Y. P.; RAI, J. P. N. Biogas production from plant biomass used for phytoremediation of industrial wastes. **Bioresource Technology**, v. 98, p. 1664 – 1669, 2007. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V24-4KCHD2M-4&_user=687335&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&_docanchor=&_view=c&_searchStrId=1130494433&_rerunOrigin=google&_acct=C000037878&_version=1&_urlVersion=0&_userid=687335&_md5=ec73beee73c96ebe8d91fe36f8eb57d0>. Acesso em: 02 abr 2008.

XIA, H.; MA, X. Phytoremediation of ethion by water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) from water. **Bioresource Technology**, v. 97, p. 1050 – 1054, 2006. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V24-4GGWG91-1&_user=687335&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&_docanchor=&_view=c&_searchStrId=1130495593&_rerunOrigin=google&_acct=C000037878&_version=1&_urlVersion=0&_userid=687335&_md5=9465b98f4e9cb854b435d620ec13adee>. Acesso em: 08 abr 2008.

ZHOU, W.; ZHU, D.; TAN, L.; LIAO, S.; HU, Z.; HAMILTON, D. Extraction and retrieval of potassium from water hyacinth (*Eichhornia crassipes*). **Bioresource Technology**, v. 98, p. 226 – 231, 2007. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V24-4HYMW19-1&_user=687335&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&_docanchor=&_view=c&_searchStrId=1130495819&_rerunOrigin=google&_acct=C000037878&_version=1&_urlVersion=0&_userid=687335&_md5=db929bdcd4b365748cb872fadacfa74c>. Acesso em: 02 abr 2008.

ZHU, Y.L.; ZAYED, A.M.; QUIAN, J.H.; DE SOUZA, M. and TERRY, N. Phytoaccumulation of trace elements by wetland plants: II. Water hyacinth. *Journal of Environmental Quality*, 1999b, v. 28, p. 339-344.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Curvas Padrão dos elementos.**Figura 35** - Curva padrão para o cobre.**Figura 36** - Curva padrão para o cádmio.

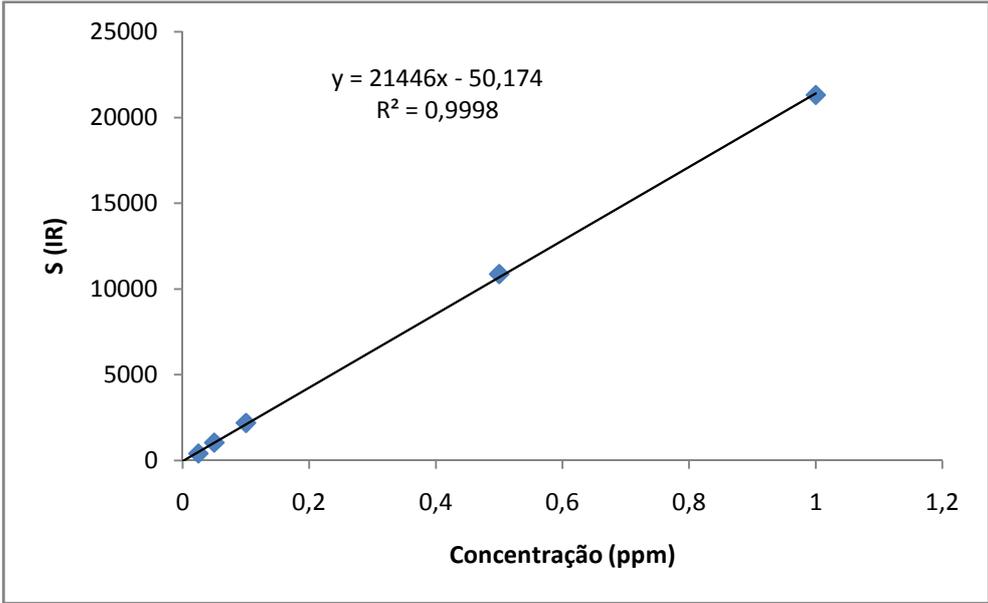


Figura 37 - Curva padrão para o cromo total.

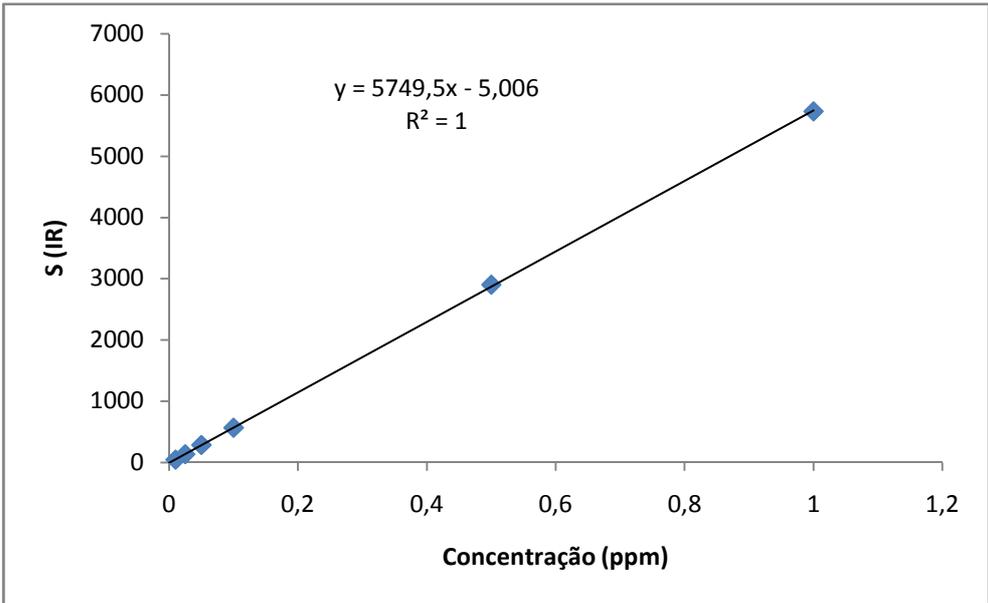


Figura 38 - Curva padrão para o níquel.

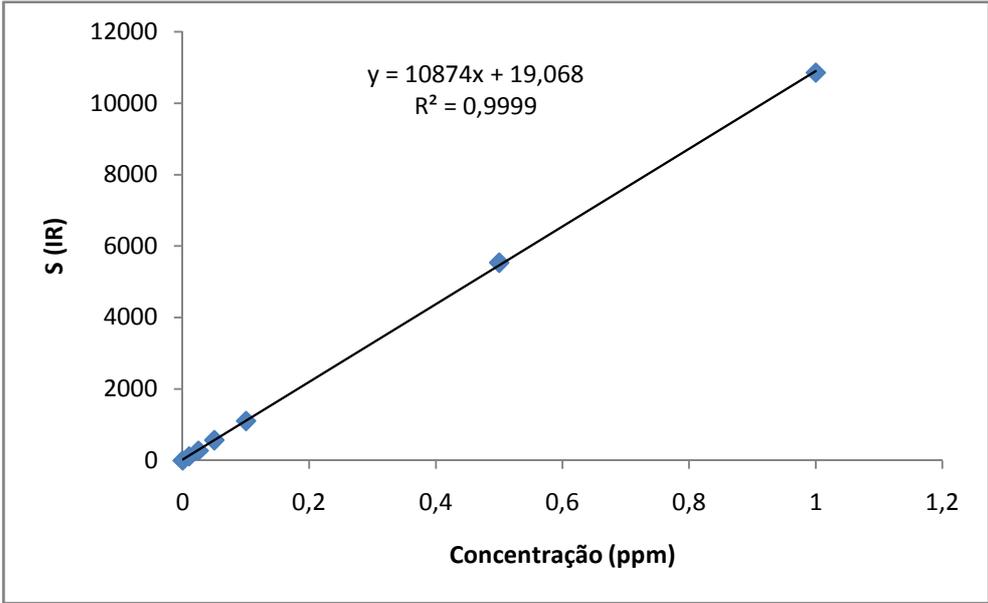


Figura 39 - Curva padrão para o cobalto.

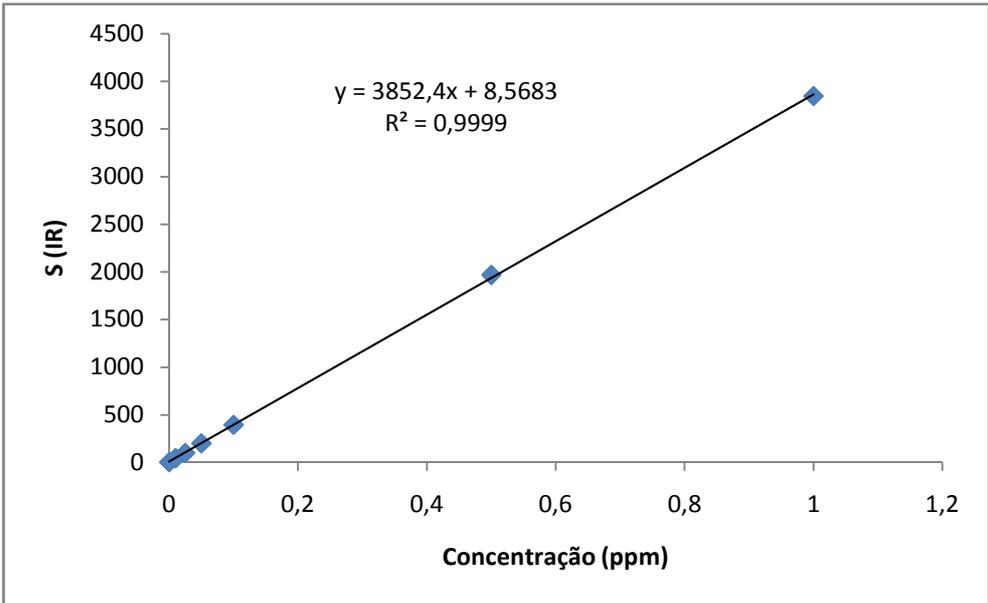


Figura 40 - Curva padrão para o chumbo.

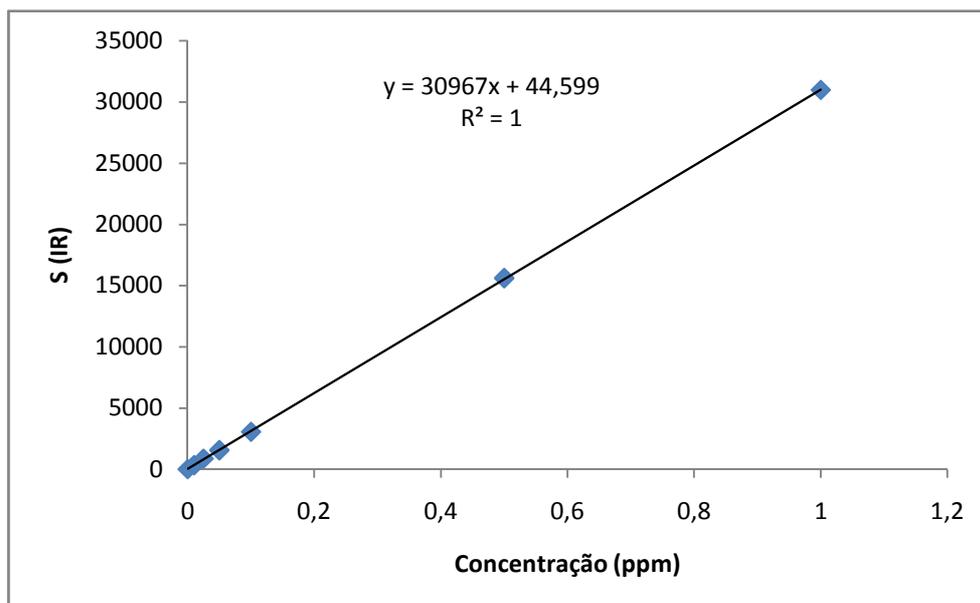


Figura 41 - Curva padrão para o zinco.

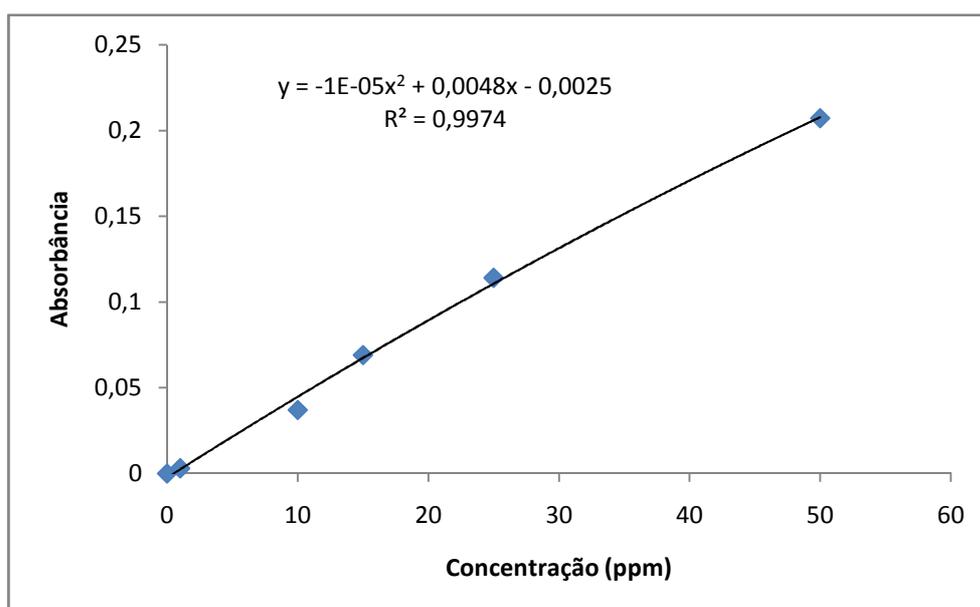


Figura 42 - Curva padrão para o manganês.

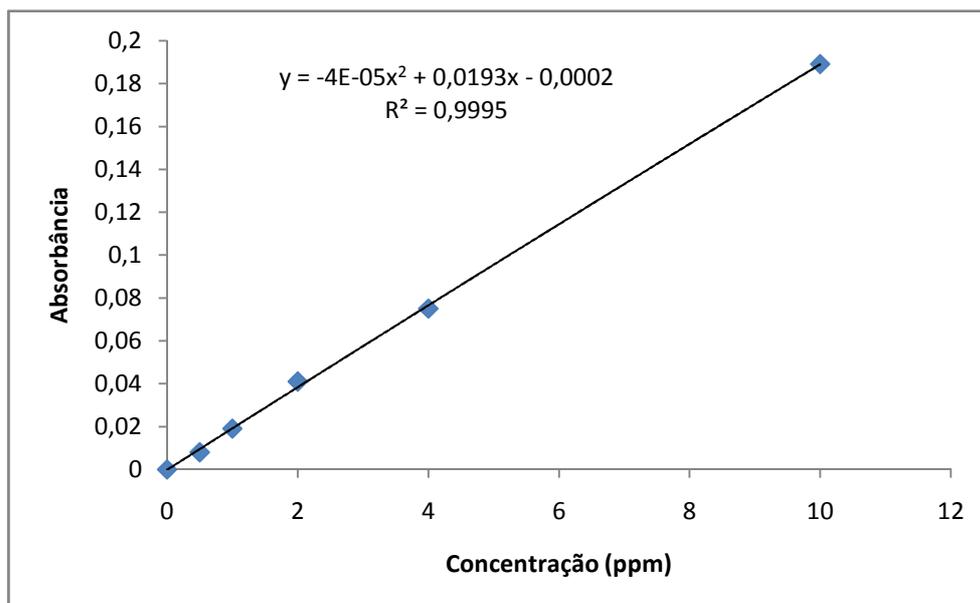


Figura 43 - Curva padrão para o ferro.

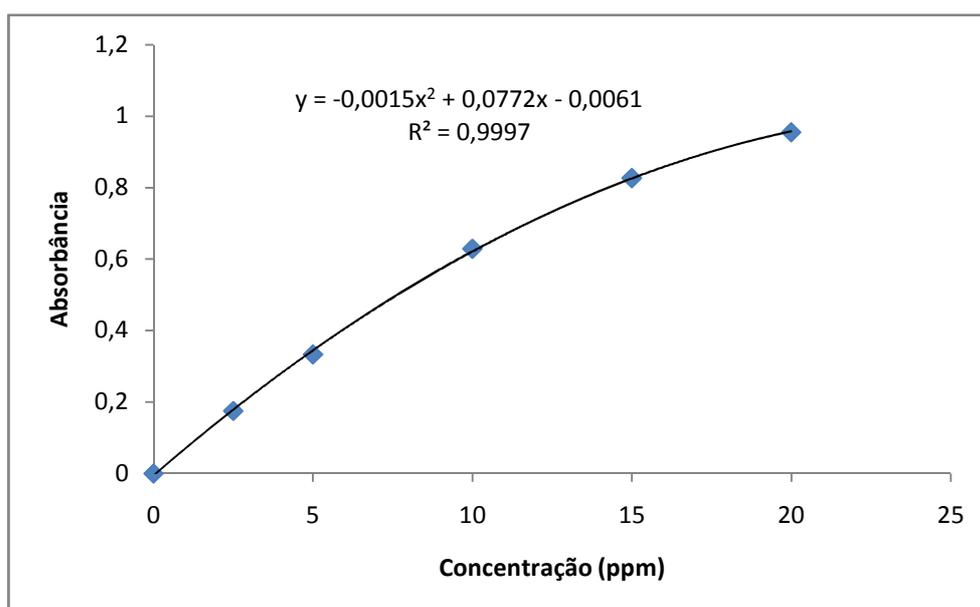


Figura 44 - Curva padrão para o cálcio.

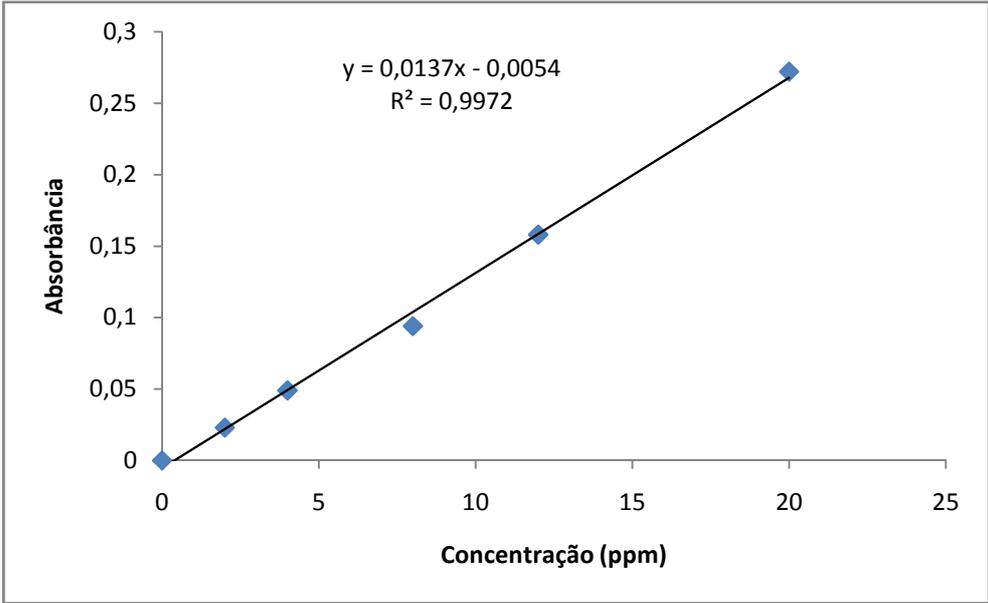


Figura 45 - Curva padrão para o magnésio.

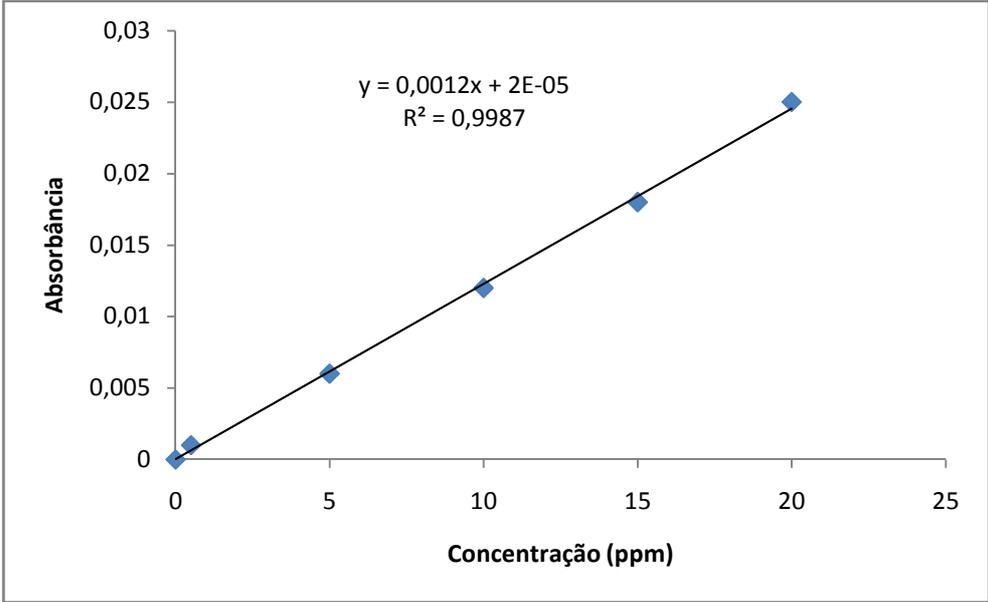


Figura 46 - Curva padrão para o alumínio.

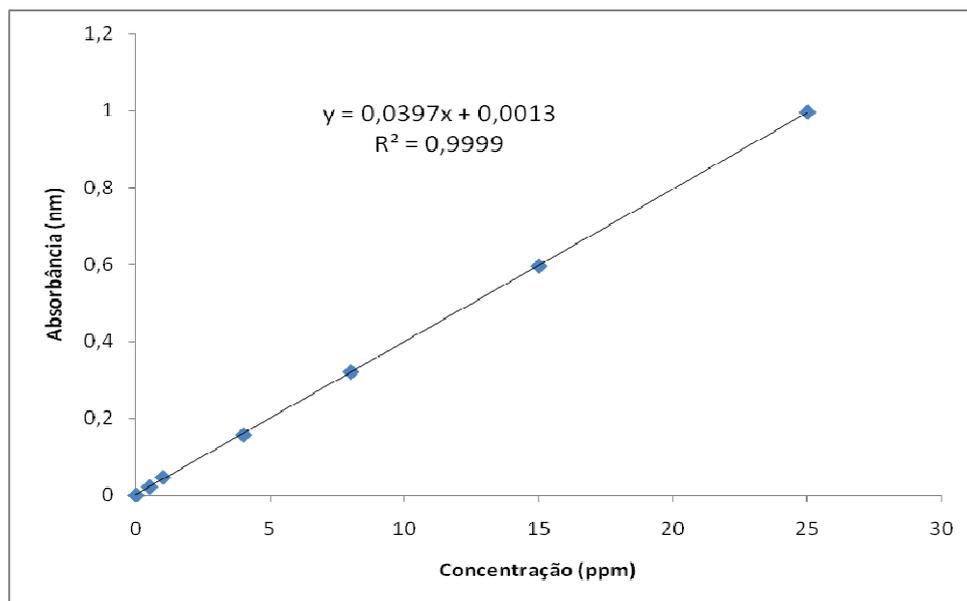


Figura 47 - Curva padrão para o fósforo.

APÊNDICE B – Dados das análises realizadas em diferentes pontos, épocas de colheita e partes da *Eichhornia crassipes*.

Tabela 9 – Limites de detecção e quantificação das técnicas utilizadas na determinação dos elementos propostos.

Elemento	LD (mg/L)	LQ (mg/L)	Elemento	LD (mg/L)	LQ (mg/L)
Cobre (Cu)	0,0012	0,0040	Sódio (Na)	0,01	0,03
Zinco (Zn)	0,0008	0,0027	Potássio (K)	0,01	0,03
Cádmio (Cd)	0,0010	0,0033	Cálcio (Ca)	0,055	0,183
Chumbo (Pb)	0,0007	0,0023	Magnésio (Mg)	0,038	0,126
Cromo total (Cr)	0,0010	0,0035	Manganês (Mn)	0,026	0,088
Níquel (Ni)	0,0005	0,0018	Ferro total (Fe)	0,070	0,235
Cobalto (Co)	0,0006	0,0019	Alumínio (Al)	0,148	0,494
Fósforo total (P)	0,003	0,008	-	-	-

LD = Limite de detecção; LQ = Limite de quantificação

Tabela 10 - Médias e desvios padrões das determinações de área foliar (AF) em cm² para diferentes épocas e locais de colheita.

Local	Épocas de colheita				Total
	0 Mês	2 Meses	4 Meses	6 Meses	
Ponto 1	25,09 ± 4,93 (aD)	58,67 ± 9,60 (aC)	104,60 ± 6,04 (aB)	125,55 ± 28,44 (aA)	78,45 (a)
Ponto 2	23,17 ± 2,79 (aC)	67,21 ± 6,01 (aB)	88,59 ± 9,87 (bA)	100,29 ± 14,00 (bA)	69,81 (b)
Total	24,13 (D)	62,94 (C)	96,54 (B)	112,92 (A)	

Coeficiente de variação (C. V.) Local = 20,26; C. V. Época = 16,02. As médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 11 - Médias e desvios padrões das determinações de massa foliar úmida (MFU) em gramas (g) para diferentes épocas e pontos de colheita.

Local	Épocas de colheita				Total
	0 Mês	2 Meses	4 Meses	6 Meses	
Ponto 1	0,5909 ± 0,1145 (aC)	1,5467 ± 0,3086 (bB)	2,9345 ± 0,2558 (aA)	3,2710 ± 0,5341 (aA)	2,0858 (a)
Ponto 2	0,6578 ± 0,1030 (aC)	1,9984 ± 0,2000 (aB)	2,6484 ± 0,4601 (aA)	3,0906 ± 0,6151 (aA)	2,0988 (a)
Total	0,6244 (D)	1,7726 (C)	2,7914 (B)	3,1808 (A)	

C. V. Local = 18,51; C. V. Época = 17,45. As médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 12 - Médias e desvios padrões das determinações de massa foliar seca (MFS) em gramas (g) para diferentes épocas e pontos de colheitas.

Pontos de colheita	Épocas de colheita				Total
	0 Mês	2 Meses	4 Meses	6 Meses	
Ponto 1	0,0809 ± 0,0172 (ns)	0,2080 ± 0,0364 (ns)	0,4306 ± 0,0371 (ns)	0,4230 ± 0,0730 (ns)	0,2856 (b)
Ponto 2	0,0913 ± 0,0187 (ns)	0,2745 ± 0,0221 (ns)	0,4448 ± 0,0667 (ns)	0,5034 ± 0,1099 (ns)	0,3285 (a)
Total	0,0861 (C)	0,2413 (B)	0,4377 (A)	0,4632 (A)	

C. V. Local = 16,06; C. V. Época = 19,18. (ns) = não significativo. As médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 13 - Médias e desvios padrões das Umidades (%) em diferentes pontos e épocas de colheitas.

Épocas de colheita	Ponto 1	Ponto 2
	Folhas	Folhas
0 Mês	90,7885 ± 3,0639	91,6151 ± 5,7893
2 Meses	91,5385 ± 7,5201	92,0611 ± 5,8217
4 Meses	92,6367 ± 7,3437	91,6784 ± 7,0646
6 Meses	92,4011 ± 4,7554	91,1682 ± 8,6240

Tabela 14 - Médias e desvios padrões da umidade aparente (%) em diferentes épocas, pontos de colheitas e partes das plantas.

Épocas de colheita	Ponto 1		Ponto 2	
	Folhas	Raizes	Folhas	Raizes
0 Mês	11,4591 ± 0,1618	8,9705 ± 0,6988	10,7884 ± 0,3216	6,9398 ± 0,4991
2 Meses	10,1198 ± 0,6041	6,3667 ± 0,3512	11,1910 ± 0,9396	5,4229 ± 0,3567
4 Meses	9,5010 ± 0,5928	5,8414 ± 0,2719	10,8723 ± 0,4634	7,6696 ± 0,1914
6 Meses	8,9188 ± 1,3413	11,4119 ± 0,6372	8,0598 ± 0,4664	11,0843 ± 0,0226

Tabela 15 - Médias e desvios padrões das determinações de cinzas (%) em diferentes épocas, pontos de colheitas e partes das plantas.

Épocas de colheita	Ponto 1		Ponto 2		Total
	Folhas	Raizes	Folhas	Raizes	
0 Mês	19,4324 ± 0,6100 (abB)	17,2988 ± 0,5705 (aB)	17,7420 ± 0,1940 (aB)	26,8199 ± 1,3546 (aA)	20.2371 (a)
2 Meses	17,769 ± 0,1216 (bcB)	14,7367 ± 0,3799 (bC)	18,3264 ± 0,2422 (aB)	21,6608 ± 0,6208 (bA)	17.9967 (b)
4 Meses	20,5390 ± 0,8751 (aA)	18,8735 ± 1,8308 (aAB)	18,2891 ± 0,3603 (aB)	10,2168 ± 0,3615 (dC)	16.9799 (c)
6 Meses	16,7864 ± 0,5254 (cA)	8,7176 ± 0,2283 (cC)	10,1633 ± 0,2157 (bC)	11,3043 ± 1,1885 (cB)	12.1843 (d)
Total	18,5225 (A)	14,9067 (C)	16,0440 (BC)	17,9248 (AB)	

C. V. Local = 6,34; C. V. Época = 3,45. As médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 16 - Média e desvio padrão das determinações de Nitrogênio Total (g/100g) em diferentes épocas, pontos e partes da planta.

Épocas de colheita	Ponto 1		Ponto 2		Total
	Folhas	Raizes	Folhas	Raizes	
0 Mês	3,2985 ± 0,0135 (aB)	1,9305 ± 0,0291 (aD)	4,4088 ± 0,0747 (aA)	2,0306 ± 0,0124 (aC)	2,9174 (a)
2 Meses	2,6190 ± 0,0651 (bB)	1,9785 ± 0,0152 (aC)	3,1649 ± 0,0117 (bA)	1,8522 ± 0,0153 (bD)	2,3937 (b)
4 Meses	2,1563 ± 0,0154 (cA)	1,6680 ± 0,0120 (bC)	2,1241 ± 0,0348 (cA)	1,9761 ± 0,0372 (aB)	1,9772 (c)
6 Meses	2,0383 ± 0,0002 (dA)	1,5245 ± 0,0104 (cBC)	1,5256 ± 0,0177 (dB)	1,4595 ± 0,0238 (cC)	1,6361 (d)
Total	2,5187 (B)	1,7750 (D)	2,8025 (A)	1,8281 (C)	

C. V. Local = 1,03; C. V. Época = 1,43. As médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 17 - Média e desvio padrão das determinações de Proteína Bruta (g/100g) em diferentes épocas, pontos e partes da planta.

Épocas de colheita	Ponto 1		Ponto 2		Total
	Folhas	Raizes	Folhas	Raizes	
0 Mês	20,6154 ± 0,0844 (aB)	12,0653 ± 0,1821 (aD)	27,5549 ± 0,4666 (aA)	12,6911 ± 0,0777 (aC)	18,2338 (a)
2 Meses	16,3688 ± 0,4070 (bB)	12,3655 ± 0,0952 (aC)	19,7805 ± 0,0730 (bA)	11,5761 ± 0,0953 (bD)	14,9606 (b)
4 Meses	13,4771 ± 0,0964 (cA)	10,4248 ± 0,0751 (bC)	13,2755 ± 0,2176 (cA)	12,3507 ± 0,2328 (aB)	12,3575 (c)
6 Meses	12,7392 ± 0,0013 (dA)	9,5282 ± 0,0649 (cBC)	9,5351 ± 0,1106 (dB)	9,1218 ± 0,1488 (cC)	10,2256 (d)
Total	15,7419 (B)	11,0938 (D)	17,5156 (A)	11,4256 (C)	

C. V. Local = 1,39; C. V. Época = 1,71. As médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 18 - Média e desvio padrão de Fósforo Total (g/100g) em diferentes épocas, pontos de colheita e partes da planta.

Épocas de colheita	Ponto 1		Ponto 2		Total
	Folhas	Raizes	Folhas	Raizes	
0 Mês	0,256 ± 0,001 (cB)	0,192 ± 0,003 (bC)	0,448 ± 0,003 (cA)	0,252 ± 0,001 (cB)	0,287 (c)
2 Meses	0,306 ± 0,002 (aB)	0,208 ± 0,005 (aC)	0,642 ± 0,002 (aA)	0,300 ± 0,001 (bB)	0,364 (a)
4 Meses	0,290 ± 0,003 (bC)	0,192 ± 0,001 (bD)	0,565 ± 0,004 (bA)	0,359 ± 0,008 (aB)	0,350 (b)
6 Meses	0,294 ± 0,007 (bB)	0,175 ± 0,001 (cD)	0,423 ± 0,004 (dA)	0,235 ± 0,003 (dC)	0,283 (c)
Total	0,287 (B)	0,192 (C)	0,520 (A)	0,285 (B)	

C. V. Local = 1,41; C. V. Época = 1,01. As médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 19 - Média e desvio padrão de Manganês (mg/100g) em diferentes épocas, pontos de colheita e partes da planta.

Épocas de colheita	Ponto 1		Ponto 2		Total
	Folhas	Raizes	Folhas	Raizes	
0 Mês	58,331 ± 8,119 (bB)	145,375 ± 0,220 (cA)	19,910 ± 1,042 (cC)	144,939 ± 5,527 (bA)	92,139 (c)
2 Meses	68,643 ± 1,211 (abC)	322,668 ± 5,502 (aA)	37,836 ± 2,812 (bD)	159,944 ± 4,583 (aB)	147,273 (a)
4 Meses	72,268 ± 3,760 (aC)	260,886 ± 9,895 (bA)	51,324 ± 2,906 (aD)	138,624 ± 0,028 (bB)	132,120 (b)
6 Meses	39,905 ± 1,208 (cC)	103,326 ± 2,116 (dA)	19,989 ± 0,848 (cD)	64,009 ± 1,715 (cB)	56,498 (d)
Total	60,240 (C)	209,060 (A)	31,850 (D)	126,879 (B)	

C. V. Local = 2,73; C. V. Época = 3,52. As médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 20 - Média e desvio padrão de Cobre (mg/100g) em diferentes épocas, pontos de colheita e partes da planta.

Épocas de colheita	Ponto 1		Ponto 2		Total
	Folhas	Raizes	Folhas	Raizes	
0 Mês	0,9989 ± 0,0013 (bA)	0,9962 ± 0,0204 (cA)	0,8747 ± 0,0576 (bAB)	0,7775 ± 0,0217 (cB)	0,9117 (c)
2 Meses	0,9158 ± 0,0232 (bD)	1,1715 ± 0,0435 (bC)	1,5779 ± 0,0612 (aB)	2,8901 ± 0,1821 (aA)	1,6107 (b)
4 Meses	1,4959 ± 0,0510 (aB)	4,4279 ± 0,1096 (aA)	1,5723 ± 0,0556 (aB)	1,4670 ± 0,0113 (bB)	2,2408 (a)
6 Meses	0,3292 ± 0,0148 (cB)	0,8218 ± 0,0394 (dA)	0,3029 ± 0,0125 (cB)	0,4271 ± 0,0734 (dB)	0,4703 (d)
Total	0,9320 (C)	1,8535 (A)	1,0578 (C)	1,3902 (B)	

C. V. Local = 7,97; C. V. = 3,66. As médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 21 - Média e desvio padrão de Potássio (g/100g) em diferentes épocas, pontos de colheita e partes da planta.

Épocas de colheita	Ponto 1		Ponto 2		Total
	Folhas	Raizes	Folhas	Raizes	
0 Mês	5,83 ± 0,19 (cA)	3,49 ± 0,11 (aC)	6,26 ± 0,08 (bA)	4,34 ± 0,07 (aB)	4,98 (a)
2 Meses	7,18 ± 0,04 (bA)	0,32 ± 0,01 (cD)	6,63 ± 0,21 (aB)	0,96 ± 0,03 (dC)	3,77 (d)
4 Meses	7,51 ± 0,22 (aA)	0,67 ± 0,01 (cD)	6,19 ± 0,17 (bB)	1,62 ± 0,04 (cC)	4,03 (c)
6 Meses	7,13 ± 0,10 (bA)	2,63 ± 0,08 (bC)	6,00 ± 0,03 (bB)	2,72 ± 0,09 (bC)	4,64 (b)
Total	6,97 (A)	1,77 (D)	6,27 (B)	2,42 (C)	

C. V. Local = 2,81; C. V. Época = 2,95. As médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 22 - Média e desvio padrão de Sódio (g/100g) em diferentes épocas, pontos de colheita e partes da planta.

Épocas de colheita	Ponto 1		Ponto 2		Total
	Folhas	Raizes	Folhas	Raizes	
0 Mês	1,35 ± 0,04 (aA)	0,41 ± 0,01 (bD)	0,90 ± 0,01 (bB)	0,57 ± 0,02 (aC)	0,81 (a)
2 Meses	1,39 ± 0,05 (aA)	0,26 ± 0,01 (dD)	1,08 ± 0,04 (aB)	0,34 ± 0,01 (bC)	0,76 (b)
4 Meses	0,49 ± 0,01 (cB)	0,31 ± 0,01 (cC)	0,67 ± 0,04 (cA)	0,28 ± 0,00 (cC)	0,44 (d)
6 Meses	0,62 ± 0,00 (bA)	0,51 ± 0,01 (aB)	0,61 ± 0,01 (dA)	0,58 ± 0,02 (aA)	0,58 (c)
Total	0,96 (A)	0,37 (D)	0,82 (B)	0,44 (C)	

C. V. Local = 4,04; C. V. Época = 2,46. As médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 23 - Média e desvio padrão de Ferro total (mg/100g) em diferentes épocas, pontos e partes da planta.

Épocas de colheita	Ponto 1		Ponto 2		Total
	Folhas	Raizes	Folhas	Raizes	
0 Mês	12,786 ± 0,266 (aB)	165,626 ± 5,298 (bA)	16,797 ± 0,652 (aB)	170,514 ± 3,762 (aA)	92,249 (a)
2 Meses	8,072 ± 0,744 (abC)	194,169 ± 2,048 (aA)	7,747 ± 0,092 (bC)	127,211 ± 3,362 (bB)	84,293 (b)
4 Meses	6,844 ± 0,086 (abC)	134,320 ± 1,190 (cA)	4,656 ± 0,086 (bC)	58,210 ± 1,947 (dB)	50,140 (c)
6 Meses	4,782 ± 0,018 (bC)	63,730 ± 3,439 (dB)	3,812 ± 0,155 (bC)	79,086 ± 1,241 (cA)	37,494 (d)
Total	8,121 (C)	139,088 (A)	8,317 (C)	139,088 (A)	

C. V. Local = 3,16; C. V. Época = 3,81. As médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 24 - Média e desvio padrão de Cálcio (g/100g) em diferentes épocas, pontos de colheita e partes da planta.

Épocas de colheita	Ponto 1		Ponto 2		Total
	Folhas	Raizes	Folhas	Raizes	
0 Mês	1,444 ± 0,025 (aA)	1,280 ± 0,022 (aBC)	1,214 ± 0,062 (bC)	1,383 ± 0,036 (aAB)	1,332 (a)
2 Meses	1,309 ± 0,057 (abA)	0,783 ± 0,009 (cC)	1,148 ± 0,080 (bB)	1,054 ± 0,005 (bB)	1,079 (c)
4 Meses	1,229 ± 0,036 (bB)	1,074 ± 0,060 (bC)	1,423 ± 0,062 (aA)	0,912 ± 0,044 (cD)	1,162 (b)
6 Meses	1,235 ± 0,031 (bA)	0,503 ± 0,004 (dB)	1,137 ± 0,043 (bA)	0,543 ± 0,015 (dB)	0,859 (d)
Total	1,318 (A)	0,913 (B)	1,236 (A)	0,965 (B)	

C. V. Local = 3,81; C. V. Época = 3,81. As médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 25 - Média e desvio padrão de Magnésio (g/100g) em diferentes épocas, pontos de colheita e partes da planta.

Épocas de colheita	Ponto 1		Ponto 2		Total
	Folhas	Raizes	Folhas	Raizes	
0 Mês	0,488 ± 0,007 (bB)	0,442 ± 0,028 (aB)	0,671 ± 0,026 (aA)	0,228 ± 0,018 (bC)	0,456 (a)
2 Meses	0,558 ± 0,045 (bA)	0,168 ± 0,021 (cD)	0,479 ± 0,022 (bB)	0,318 ± 0,006 (aC)	0,381 (b)
4 Meses	0,732 ± 0,008 (aA)	0,244 ± 0,020 (cC)	0,407 ± 0,014 (bB)	0,293 ± 0,044 (abC)	0,419 (ab)
6 Meses	0,363 ± 0,032 (cA)	0,345 ± 0,016 (bAB)	0,272 ± 0,019 (cB)	0,305 ± 0,018 (abAB)	0,319 (c)
Total	0,533 (A)	0,298 (C)	0,459 (B)	0,286 (C)	

C. V. Local = 2,80; C. V. Época = 7,07. As médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 26 - Média e desvio padrão de Zinco (mg/100g) em diferentes épocas, pontos e partes da planta.

Épocas de colheita	Ponto 1		Ponto 2		Total
	Folhas	Raizes	Folhas	Raizes	
0 Mês	3,2771 ± 0,0174 (aA)	2,2545 ± 0,1479 (bB)	2,1182 ± 0,0935 (aB)	3,1167 ± 0,1312 (bA)	2,6924 (a)
2 Meses	3,3846 ± 0,0657 (aA)	1,7812 ± 0,0355 (cB)	1,7940 ± 0,0203 (abB)	1,3753 ± 0,0912 (dC)	2,0894 (c)
4 Meses	2,2889 ± 0,2239 (bB)	1,8897 ± 0,0961 (bcC)	1,9183 ± 0,2391 (abBC)	3,5836 ± 0,1606 (aA)	2,4201 (b)
6 Meses	2,5769 ± 0,1266 (bB)	3,4441 ± 0,1645 (aA)	1,5346 ± 0,0759 (bC)	2,3502 ± 0,0871 (cB)	2,4942 (ab)
Total	2,9029 (A)	2,3223 (C)	1,8522 (D)	2,6188 (B)	

C. V. Local = 3,81; C. V. Época = 5,85. As médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 27 - Média e desvio padrão de Níquel (mg/100g) em diferentes épocas, pontos de colheita e partes da planta.

Épocas de colheita	Ponto 1		Ponto 2		Total
	Folhas	Raizes	Folhas	Raizes	
0 Mês	0,3329 ± 0,0116 (bC)	0,8899 ± 0,0237 (aA)	0,1180 ± 0,0016 (aD)	0,4851 ± 0,0121 (aB)	0,4582 (a)
2 Meses	0,4645 ± 0,0109 (aB)	0,8538 ± 0,0204 (bA)	0,0969 ± 0,0023 (aD)	0,4057 ± 0,0120 (bC)	0,4558 (a)
4 Meses	0,2777 ± 0,0022 (cC)	0,4808 ± 0,0127 (cA)	<LD	0,3083 ± 0,0109 (cB)	0,2683 (b)
6 Meses	<LD	0,2875 ± 0,0153 (dA)	<LD	<LD	0,0719 (c)
Total	0,2711 (C)	0,6297 (A)	0,0537 (D)	0,2996 (B)	

C. V. Local = 2,06; C. V. Época = 3,95. <LD = menor que o limite de detecção. As médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 28 - Média e desvio padrão de Alumínio (mg/100g) em diferentes épocas, pontos de colheita e partes da planta.

Épocas de colheita	Ponto 1		Ponto 2		Total
	Folhas	Raizes	Folhas	Raizes	
0 Mês	38,458 ± 0,755 (aC)	332,384 ± 8,856 (aA)	53,378 ± 1,338 (aC)	303,376 ± 15,904 (aB)	183,228 (a)
2 Meses	25,401 ± 1,988 (abC)	207,268 ± 16,622 (cB)	47,648 ± 2,129 (aC)	255,870 ± 22,946 (bA)	133,760 (b)
4 Meses	17,934 ± 4,259 (abC)	270,058 ± 19,767 (bA)	41,584 ± 2,074 (aC)	125,038 ± 1,619 (cB)	113,447 (c)
6 Meses	6,477 ± 0,729 (bC)	158,651 ± 4,960 (dA)	11,725 ± 1,330 (bC)	83,289 ± 0,643 (dB)	64,522 (d)
Total	22,068 (C)	242,806 (A)	38,189 (C)	191,894 (B)	

C. V. Local = 8,15; C. V. Época = 7,78. As médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 29 - Média e desvio padrão de Cobalto (mg/100g) em diferentes épocas, pontos de colheita e partes da planta.

Épocas de colheita	Ponto 1		Ponto 2		Total
	Folhas	Raizes	Folhas	Raizes	
0 Mês	<LD	0,5778 ± 0,0195 (bA)	<LD	0,3721 ± 0,0112 (aB)	0,4736 (a)
2 Meses	<LD	0,7646 ± 0,0209 (aA)	<LD	0,2375 ± 0,0012 (bB)	0,5011 (a)
4 Meses	<LD	0,1570 ± 0,0004 (cA)	<LD	<LD	0,0838 (c)
6 Meses	<LD	0,1982 ± 0,0009 (cB)	<LD	0,2706 ± 0,0096 (bA)	0,2326 (b)
Total	-	0,4269 (A)	-	0,2187 (B)	

C. V. Local = 3,77; C. V. Época = 4,84. <LD = menor que o limite de detecção. As médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 30 - Média e desvio padrão de cromo total (mg/100g) em diferentes épocas, pontos e partes da planta.

Épocas de colheita	Ponto 1		Ponto 2		Total
	Folhas	Raizes	Folhas	Raizes	
0 Mês	<LD	0,2091 ± 0,0140 (bB)	<LD	1,0699 ± 0,0297 (aA)	0,6387(a)
2 Meses	<LD	0,2474 ± 0,0130 (abB)	<LD	0,5935 ± 0,0247 (bA)	0,4204 (b)
4 Meses	<LD	0,3050 ± 0,0119 (aA)	<LD	0,1969 ± 0,0004 (cB)	0,2510 (c)
6 Meses	<LD	0,2186 ± 0,0003 (bA)	<LD	<LD	0,1093 (d)
Total	-	0,2450 (B)	-	0,4647 (A)	

C. V. Local = 6,79; C. V. Época = 4,74. <LD = menor que o limite de detecção. As médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 31 - Média e desvio padrão de Cádmio (mg/100g) em diferentes épocas, pontos e partes da planta.

Épocas de colheita	Ponto 1		Ponto 2	
	Folhas	Raizes	Folhas	Raizes
0 Mês	<LD	<LD	<LD	<LD
2 Meses	<LD	<LD	<LD	<LD
4 Meses	<LD	<LD	<LD	<LD
6 Meses	<LD	<LD	<LD	<LD

<LD = menor que o limite de detecção.

Tabela 32 - Média e desvio padrão de Chumbo (mg/100g) em diferentes épocas, pontos e partes da planta.

Épocas de colheita	Ponto 1		Ponto 2	
	Folhas	Raizes	Folhas	Raizes
0 Mês	<LD	<LD	<LD	<LD
2 Meses	<LD	<LD	<LD	<LD
4 Meses	<LD	<LD	<LD	<LD
6 Meses	<LD	<LD	<LD	<LD

<LD = menor que o limite de detecção.

ANEXOS

ANEXO A

Tabela 33 - Quantidade de substâncias presentes em alguns alimentos destinados ao consumo humano em 100g.

Alimento	Cinzas (g)	Proteína (g)	P (mg)	K (mg)	Cu (mg)	Mn (mg)	Na (mg)	Fe (mg)	Ca (mg)	Mg (mg)	Zn (mg)
Arroz, integral, cru ¹	1,2	7,3	251,0	173,0	0,07	2,99	2,0	0,9	8,0	110	1,4
Farinha, de trigo ¹	0,8	9,8	115,0	151,0	0,15	-	1,0	1,0	18,0	31,0	0,8
Mandioca, crua ¹	0,6	1,1	29,0	208,0	0,07	0,05	2,0	0,3	15,0	44,0	0,2
Alface, crespa, crua ¹	0,7	1,3	26,0	267,0	0,03	0,20	3,0	0,4	38,0	11,0	0,3
Batata, doce, crua ¹	0,9	1,3	36,0	340,0	0,11	0,18	9,0	0,4	21,0	17,0	0,2
Feijão, broto, cru ¹	0,5	4,2	75,0	189,0	0,17	0,19	2,0	0,8	14,0	25,0	0,6
<i>Eichhornia crassipes</i> , folha (Média) ²	17,3	16,6	403,5	6620,1	1,0	46,0	888,4	8,2	1277,2	496,1	2,4
<i>Eichhornia crassipes</i> , raiz (Média) ²	16,4	11,3	238,4	2091,6	1,6	168,0	405,5	139,1	938,8	291,9	2,5

Fonte: ¹Tabela brasileira de composição de alimentos – TACO. ²Valores médios obtidos neste trabalho.

ANEXO B

Tabela 34: Ingestão diária recomendada para adultos (Resolução RDC nº 269, de 22 de setembro de 2005).

Nutriente	Unidade	Valor	Nutriente	Unidade	Valor
Proteína (1)	G	50	Colina (1)	mg	550
Vitamina A (2) (a)	µg RE	600	Cálcio (2)	mg	1000
Vitamina D (2) (b)	µg	5	Ferro (2) (d)	mg	14
Vitamina C (2)	mg	45	Magnésio (2)	mg	260
Vitamina E (2) (c)	mg	10	Zinco (2) (e)	mg	7
Tiamina (2)	mg	1,2	Iodo (2)	µg	130
Riboflavina (2)	mg	1,3	Fósforo (1)	mg	700
Niacina (2)	mg	16	Flúor (1)	mg	4
Vitamina B6 (2)	mg	1,3	Cobre (1)	µg	900
Ácido fólico (2)	µg	240	Selênio (2)	µg	34
Vitamina B12 (2)	µg	2,4	Molibdênio (1)	µg	45
Biotina (2)	µg	30	Cromo (1)	µg	35
Ácido pantotênico (2)	mg	5	Manganês (1)	mg	2,3
Vitamina K (2)	µg	65	-	-	-

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)