

UNIVERSIDADE DE TRÁS-OS-MONTES E ALTO DOURO

**MÉTODOS DE FITORREMEDIAÇÃO E BIOMONITORIZAÇÃO COM
BASE EM MODELOS EXPERIMENTAIS APLICADOS AO ENSINO DAS
CIÊNCIAS**

DISSERTAÇÃO DE DOUTORAMENTO EM CIÊNCIAS DA TERRA E DA VIDA

CRISTINA GUERREIRO DE ALMEIDA CORDEIRO



Vila Real, 2012

Dissertação apresentada na Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD) para obtenção do grau de Doutor em Ciências da Terra e da Vida, de acordo com o Decreto-Lei n.º 74/2006 de 24 de março, com as alterações introduzidas pelos Decretos Lei n.º 107/2008 de 25 de junho e n.º 230/2009 de 14 de setembro.

Orientação:

Prof. Dr. Paulo Jorge de Campos Favas

Departamento de Geologia, Escola de Ciências da Vida e do Ambiente da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. João António Mendes Serra Pratas

Departamento de Ciências da Terra, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

Ao Vitor, à Rafa e ao Tomás pelo amor, dedicação e paciência demonstrados ao longo da vivência de todas as tarefas desta dissertação.

Aos meus Pais que estiveram sempre presentes e disponíveis para auxiliar os netos na minha ausência.

Com todo o amor de esposa, mãe e filha.

AGRADECIMENTOS

Quero deixar expresso um reconhecimento e agradecimento público, a todas as Pessoas e Instituições que de alguma forma contribuíram para a realização e concretização deste projeto:

- Ao Professor Doutor Paulo Jorge de Campos Favas, da UTAD, meu orientador, pelos seus ensinamentos, disponibilidade e paciência; assim como pela amizade e simpatia dispensadas;*
- Ao Professor Doutor João Pratas, da UC, meu co-orientador, pelos ensinamentos, disponibilidade e pelas sugestões propostas para o desenvolvimento desta dissertação; assim como pelo acolhimento no laboratório de geoquímica da UC;*
- Ao Ministério da Educação e Ciência pela atribuição, durante dois anos letivos, de Equiparação a Bolseiro;*
- À Fundação para a Ciência e Tecnologia pelo apoio financeiro do Projeto PTDC/CTE – GEX/66710/2006, financiado no âmbito do Programa Operacional Temático Fatores de Competitividade (COMPETE) e participado pelo Fundo Europeu FEDER;*
- A toda a comunidade da Escola Profissional de Agricultura e Desenvolvimento Rural de Carvalhais, pela disponibilidade, cooperação e profissionalismo. Destacando: a Prof.^a e amiga Helena Costa; aos meus alunos, que de forma voluntária, auxiliaram na construção dos modelos;*
- Ao Prof.^o Luís de Carvalho e ao técnico Carlos Matos, do Departamento de Química da UTAD, pelo apoio nas análises químicas das amostras de água, colhidas na Horta da Vilariça;*
- À Eng.^a. Fernanda Guimarães, do Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG), em S. Mamede de Infesta – Porto, pela sua disponibilidade na análise das lâminas delgadas na microsonda e pela paciência e simpatia nos ensinamentos processuais levados a cabo;*
- Às colegas Ana Brito, Natália Carvalho e Ângela Araújo, assim como aos alunos da Escola EB 3 e Secundária de Mirandela, que colaboraram de forma profissional na aplicação do projeto em sala de aula;*
- Ao Tito Azevedo, ao Márcio Silva e ao Álvaro Miranda por todo o apoio prestado (na preparação das lâminas delgadas, na construção e manutenção dos aquários, nas*

saídas de campo). Assim como na simpatia e preocupação revelados ao longo do trabalho;

- À Dr.^a Maria Gouveia da Câmara Municipal de Mirandela, pela gentileza na autorização de consulta de algum material cartografado da área estudada;*
- Aos médicos e especialistas Dr.^a Maria José Pestanas, Dr. Rodolfo Albuquerque e Dr. José Clemente pela orientação clínica e emocional;*
- À minha família:*
- Com especial carinho: à minha mãe, M.^a Isabel Almeida, e ao meu pai, António Almeida, pelo apoio e encorajamento;*
- Ao meu marido Vitor pela paciência, apoio e auxílio em várias tarefas deste projeto;*
- À minha Rafita e ao meu Tomás pelo amor e acompanhamento. Pelos muitos xicorções e abraços que me deram força e conforto;*
- Às minhas irmãs pelo encorajamento, em especial à Sofia, pela “hospedagem e momentos de relaxamento” nas semanas de trabalho laboratorial na UC;*
- Ao meu afilhado “Atónio Ajoia” pelos muitos beijinhos à “tia madinha kitina”!*
- À minha sogra pela gentileza e carinho com que aceitou este desafio;*
- À Ermelinda, ao Mark, ao Luke e ao Gian que apesar de longe no espaço, sempre mostraram carinho, curiosidade e preocupação nas várias etapas desta dissertação;*

A todos quantos tornaram possível a realização desta dissertação de doutoramento e que não foram mencionados as minhas desculpas pelo esquecimento.

ÍNDICE

ÍNDICE	I
ÍNDICE DE EQUAÇÕES.....	III
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IV
ÍNDICE DE FOTOGRAFIAS	VI
ÍNDICE DE TABELAS	VIII
SIMBOLOGIA E ABREVIATURAS.....	X
RESUMO	XIII
ABSTRACT	XV
1. INTRODUÇÃO.....	- 1 -
1.1. JUSTIFICAÇÃO DA ESCOLHA DO TEMA	- 3 -
1.1.1. INTERESSE TÉCNICO-CIENTÍFICO.....	- 3 -
1.1.2. INTERESSE CIENTÍFICO-PEDAGÓGICO	- 4 -
1.2. ESTRUTURA DA TESE.....	- 5 -
1.3. OBJETIVOS	- 6 -
1.4. FITORREMEDIAÇÃO	- 7 -
1.4.1. APLICAÇÕES TECNOLÓGICAS DE FITORREMEDIAÇÃO DE CONTAMINAÇÕES	- 8 -
1.5. ENQUADRAMENTO PEDAGÓGICO NO ENSINO DAS CIÊNCIAS.....	- 10 -
2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA	- 15 -
2.1. ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO	- 17 -
2.2. ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO E GEOMORFOLÓGICO	- 18 -
2.2.1. TECTÓNICA.....	- 19 -
2.2.2. CARACTERIZAÇÃO DAS LITOLOGIAS	- 23 -
2.3. DEPÓSITOS E MINERALIZAÇÕES DE URÂNIO.....	- 30 -
2.4. CARACTERIZAÇÃO DO CLIMA REGIONAL	- 32 -
2.5. SOLOS.....	- 38 -
2.6. COBERTURA VEGETAL E UTILIZAÇÃO DO SOLO.....	- 40 -
2.7. PROBLEMÁTICA AMBIENTAL DOS JAZIGOS DE URÂNIO.....	- 41 -
3. METODOLOGIA	- 45 -
3.1. TRABALHO DE CAMPO /AMOSTRAGEM	- 48 -
3.1.1.ROCHAS.....	- 48 -
3.1.2. ÁGUAS	- 49 -
3.1.3. PLANTAS AQUÁTICAS E SEDIMENTOS.....	- 50 -
3.2. TRATAMENTO DAS AMOSTRAS	- 51 -
3.2.1. ROCHAS E ÁGUAS	- 51 -
3.2.2. PLANTAS AQUÁTICAS E SEDIMENTOS.....	- 51 -
3.3. MÉTODOS ANALÍTICOS	- 53 -
3.3.1. ROCHAS.....	- 53 -
3.3.2. ÁGUAS	- 54 -
3.3.3. PLANTAS AQUÁTICAS E SEDIMENTOS.....	- 55 -
3.3.3.1. DETERMINAÇÃO DE URÂNIO POR FLUORIMETRIA.....	- 56 -

3.4.	ENSAIOS DE FITOFILTRAÇÃO – BIOACUMULAÇÃO DE URÂNIO	- 59 -
3.5.	ENSAIO DE FITOFILTRAÇÃO – INFLUÊNCIA DO PH.....	- 63 -
3.6.	MÉTODOS ESTATÍSTICOS UTILIZADOS	- 65 -
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	- 67 -
4.1	MATERIAIS AMOSTRADOS	- 69 -
4.1.1.	ROCHAS.....	- 69 -
4.1.2.	ÁGUAS SUPERFICIAIS.....	- 72 -
4.1.3.	SEDIMENTOS	- 85 -
4.1.4.	PLANTAS AQUÁTICAS.....	- 85 -
4.2.	ENSAIOS DE FITOFILTRAÇÃO – BIOACUMULAÇÃO DE URÂNIO	- 92 -
4.3.	ENSAIOS DE FITOFILTRAÇÃO – INFLUÊNCIA DO PH.....	- 98 -
5.	APLICAÇÃO PEDAGÓGICA	- 109 -
5.1.	RESULTADO DOS QUESTIONÁRIOS.....	- 112 -
5.2.	SAÍDA DE CAMPO.....	- 120 -
5.3.	ENSAIOS DE LABORATÓRIO EM CONTEXTO DE SALA DE AULA	- 122 -
5.4.	CONSTRUÇÃO DE MODELOS.....	- 126 -
6.	CONCLUSÕES.....	- 133 -
7.	BIBLIOGRAFIA	- 139 -
	ANEXOS	- 155 -
	ANEXO 1 – RESULTADOS ANALÍTICOS DAS AMOSTRAS DE ÁGUA COLHIDAS NA ÁREA DA HORTA DA VILARIÇA	- 157 -
	ANEXO 2 – VALORES DO FATOR DE TRANSFERÊNCIA (FT) PARA AS PLANTAS ENRAIZADAS E EMERSAS.....	- 158 -
	ANEXO 3 – VALORES DO FATOR DE BIOCONCENTRAÇÃO (FBA =[U] NA PLANTA/[U] NOS SOLO/SEDIMENTO) PARA AS PLANTAS COM ZONA RADICULAR.....	- 160 -
	ANEXO 4 – RESULTADOS DA CONCENTRAÇÃO DE U NAS AMOSTRAS DE PLANTAS COLHIDAS NA ÁREA ESTUDADA (HORTA DA VILARIÇA).	- 162 -
	ANEXO 5 - VALORES DE ÍNDICE DE TRANSLOCAÇÃO (IT) PARA AS PLANTAS ENRAIZADAS EMERSAS.	- 167 -
	ANEXO 6 - VALORES DO FATOR DE BIOCONCENTRAÇÃO (FBA =[U] NA PLANTA/[U] NA ÁGUA) PARA AS PLANTAS ESTUDADAS.	- 169 -
	ANEXO 7 – RESULTADOS DA CONCENTRAÇÃO DE U NAS AMOSTRAS DE SEDIMENTOS DA ÁREA ESTUDADA (HORTA DA VILARIÇA).	- 174 -
	ANEXO 8 – MONITORIZAÇÃO DE U NA ÁGUA DOS AQUÁRIOS E CORREÇÕES.....	- 175 -
	ANEXO 9 – RESULTADOS DA CONCENTRAÇÃO DE U NAS AMOSTRAS DE PLANTAS E BIVALVES DOS AQUÁRIOS A DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE U	- 179 -
	ANEXO 10 – VALORES DE FBA ([U] NO SER VIVO/[U] NA ÁGUA) PARA AS ESPÉCIES ESTUDADAS.....	- 206 -
	ANEXO 11 – RESULTADOS DA CONCENTRAÇÃO DE U NAS AMOSTRAS DE <i>FONTINALIS ANTIPYRETICA</i> E <i>ELODEA CANADENSIS</i> , TENDO EM CONTA AS VARIAÇÕES DA CONCENTRAÇÃO DO MEIO EM U E DE PH RESPECTIVAMENTE....	- 220 -
	ANEXO 12 - TABELA DE SIGNIFICÂNCIA PARA VALORES DE R. PARA N-2 GRAUS DE LIBERDADE	- 223 -
	ANEXO 13 – QUESTIONÁRIO DIAGNÓSTICO	- 224 -
	ANEXO 14 – RESULTADOS DA TAXA DE EXTRAÇÃO (TE) EM G/M ² PARA <i>FONTINALIS ANTIPYRETICA</i>	- 230 -

ÍNDICE DE EQUAÇÕES

Equação 3.1 – Concentração de U nas plantas e sedimentos	58
Equação 4.1 – Índice de translocação (IT)	88
Equação 4.2 – Fator de transferência (FT)	91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Mecanismos adotados pelas plantas no processo de fitorremediação em “wetlands”	9
Figura 2.1 – Localização geográfica da região estudada, representada na folha 118 (Castedo) da Carta Militar de Portugal à escala 1: 25 000	17
Figura 2.2 – Distribuição das unidades tectónicas na Península Ibérica	20
Figura 2.3 – Localização geográfico e enquadramento geológico da região estudada. Excerto da folha 11-C (Torre de Moncorvo) da Carta Geológica de Portugal, à escala 1: 50 000	24
Figura 2.4 – Valores mensais de precipitação nas estações meteorológicas da Junqueira e Folgares	33
Figura 2.5 - Valores mensais de temperatura nas estações meteorológicas da Junqueira e Folgares	34
Figura 2.6 – Diagrama termopluiométrico de Gaussen para as estações meteorológicas da Junqueira e Folgares	35
Figura 2.7 – Hidrotermogramas de Strahler (1981), para as estações meteorológicas da Junqueira e Folgares	37
Figura 2.8 – Excerto da Folha n.º 11 da Carta dos solos do Nordeste de Portugal, à escala 1: 100.000	39
Figura 3.1 – Localização das estações de amostragem na área da Horta da Vilariça.....	49
Figura 4.1 – Projeção das amostras de água no diagrama de Piper	73
Figura 4.2 – Diagrama de caixa para o pH	74
Figura 4.3 – Diagrama de caixa para o PO ₄ (mg/l) e para As (µg/l)	75
Figura 4.4 – Diagrama de caixa para o Cr (µg/l) e para U (µg/l)	75
Figura 4.5 – Diagrama de caixa para o Fe (µg/l) e para Cu (µg/l)	75
Figura 4.6 - Projeção das variáveis no primeiro plano fatorial (Eixo 1/Eixo 2), relativa às águas superficiais	80
Figura 4.7 - Projeção das variáveis no segundo plano fatorial (Eixo 1/Eixo 3), relativa às águas superficiais	80
Figura 4.8 - Projeção das variáveis no terceiro plano fatorial (Eixo 1/Eixo 4), relativa às águas superficiais	81
Figura 4.9 - Projeção das amostras no primeiro plano fatorial, relativa às águas superficiais	82
Figura 4.10 - Projeção das amostras e das variáveis no primeiro plano fatorial, relativa às águas superficiais.....	82
Figura 4.11 – Projeção das variáveis em suplementar no primeiro plano fatorial (Eixo 1/Eixo 2) relativa às águas superficiais	84
Figura 4.12 – Variação da concentração, em média, de U nos diferentes órgãos das plantas enraizadas emersas	89
Figura 4.13 – Variação da concentração, em média, de U nas espécies estudadas	95
Figura 4.14 – Taxas de extração de U em <i>Fontinalis antipyretica</i>	98

Figura 4.15 – Variação da concentração, em média, de U nas plantas <i>Elodea canadensis</i> e <i>Fontinalis antipyretica</i> em função da variação da concentração de U e do pH do meio	102
Figura 4.16 – Variação da concentração, em média, de U em <i>Elodea canadensis</i> , em função da variação de pH da água	104
Figura 4.17 – Variação da concentração, em média, de U em <i>Fontinalis antipyretica</i> , em função da variação de pH da água	105
Figura 5.1 – Excerto da carta geológica do distrito de Bragança, onde estão assinalados os principais jazigos minerais da região	121
Figura 5.2 – Exemplos de alguns gráficos elaborados pelos alunos	125
Figura 5.3 – Representação esquemática do primeiro modelo	126
Figura 5.4 – Representação esquemática do segundo modelo	127
Figura 5.5 – Representação esquemática do terceiro modelo	128
Figura 5.6 – Representação esquemática do quarto modelo	130
Figura 5.7 – Representação esquemática do quinto modelo	130

ÍNDICE DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 2.1 – Ocupação do solo, essencialmente olival e vinha (paisagem agrícola da região)	40
Fotografia 2.2 – Empreendimento hidroagrícola da região	41
Fotografia 3.1 – Valas resultantes dos estudos prévios de prospeção	48
Fotografia 3.2 – Lavagem das plantas com água corrente	52
Fotografia 3.3 – Secagem natural do material vegetal	52
Fotografia 3.4 – Sedimentos preparados para peneirar	53
Fotografia 3.5 – Peneiros em coluna	53
Fotografia 3.6 – Incineração do material vegetal e sedimentos (450° pelo menos 4 horas)	56
Fotografia 3.7 – Adição da solução de alumínio nas amostras incineradas	57
Fotografia 3.8 – Formação de duas fases após a adição de acetil acetato	57
Fotografia 3.9 – Transferência de 5ml da fase sobrenadante para um cadinho	57
Fotografia 3.10 – Queima à chama do sobrenadante colocado nos cadinhos	57
Fotografia 3.11 – Adição de HNO ₃ a 0,005%	57
Fotografia 3.12 – Preparação da solução para leitura no fluorímetro	58
Fotografia 3.13 – Aquários com base 30x17,5cm e 20cm de altura	59
Fotografia 3.14 – Aquários com 8ml de água da torneira e uma base de areia	60
Fotografia 3.15 – Adição de nitrato de urânio nos aquários	60
Fotografia 3.16 – Plantas aquáticas colocadas nos aquários	61
Fotografia 3.17 – Bivalve <i>Corbicula fluminea</i> O. F. Müller	62
Fotografia 3.18 – Montagem final do ensaio de fitofiltração	63
Fotografia 3.19 – Ensaio de fitofiltração – variação do pH do meio	64
Fotografia 4.1 – Observação microscópica de uma amostra de pegmatito da Horta da Vilariça (ampliação 63x; A com nicóis paralelos; B com nicóis cruzados)	70
Fotografia 4.2.- Fosfato hidratado de urânio do grupo da meta-torbernite (chernikovite)	70
Fotografia 4.3 – Fosfato hidratado de urânio próximo dos óxidos de ferro	71
Fotografia 4.4 – Fosfato de alumínio hidratado de urânio associados à albite	71
Fotografia 4.5 – Observação do aumento de espessura do caule em <i>Ranunculus trichophyllus</i>	94
Fotografia 5.1 – Ocorrência de <i>Ranunculus trichophyllus</i> no local de amostragem, durante a saída de campo com os alunos	121
Fotografia 5.2 – Recolha da planta aquática <i>Ranunculus trichophyllus</i> por parte dos alunos	122
Fotografia 5.3 – Monitorização de alguns parâmetros físico-químicos da água dos aquários	122
Fotografia 5.4 – Manutenção de <i>Ranunculus trichophyllus</i> em recipiente com água	123
Fotografia 5.5 – Preparação e montagem dos aquários	124
Fotografia 5.6 – Recolha de amostras de planta a partir dos aquários	124
Fotografia 5.7 – Amostras secas e prontas para análise da concentração de U	125

Fotografia 5.8 – Preparação e conclusão do modelo 1 em sala de aula	127
Fotografia 5.9 – Preparação e conclusão do modelo 2 em sala de aula	128
Fotografia 5.10 – Modelo 3 concluído	129
Fotografia 5.11 – Preparação e conclusão do modelo 4 em sala de aula	129
Fotografia 5.12 – Preparação e conclusão do modelo 5	131

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.1 – Orientações curriculares	11
Tabela 3.1 – Taxonomia das plantas colhidas para os aquários	62
Tabela 4.1 – Estatística descritiva dos parâmetros físico-químicos e químicos das águas superficiais (n = 15)	72
Tabela 4.2 – Matriz dos coeficientes de correlação de Pearson dos dados correspondentes às amostras de água (n = 15)	77
Tabela 4.3 – Valores próprios e variância explicada dos eixos fatoriais resultantes da ACP dos dados de amostras de águas superficiais.....	78
Tabela 4.4 – Coordenadas das variáveis ativas nos quatro eixos retidos resultantes da ACP dos dados de amostras de águas superficiais	78
Tabela 4.5 – Valores próprios e variância explicada dos eixos fatoriais resultantes da ACP dos dados de amostras de águas superficiais (projeção em suplementar)	83
Tabela 4.6 – Coordenadas das variáveis em suplementar nos eixos retidos resultantes da ACP dos dados de amostras de águas superficiais	83
Tabela 4.7 – Análise descritiva dos parâmetros estatísticos determinados nas amostras de sedimentos (n = 15)	85
Tabela 4.8 – Espécies de plantas aquáticas amostradas na Horta da Vilariça	86
Tabela 4.9 – Concentração de urânio nas plantas aquáticas (µg/kg em peso seco)	87
Tabela 4.10 – Análise descritiva dos valores do índice de translocação nas plantas aquáticas	88
Tabela 4.11 – Análise descritiva dos valores do fator de bioacumulação nas plantas	90
Tabela 4.12 – Análise descritiva do fator de transferência entre o sedimento e as plantas aquáticas	91
Tabela 4.13 – Análise descritiva do fator de bioacumulação entre o sedimento e as plantas aquáticas	92
Tabela 4.14 – Concentrações de urânio nas plantas aquáticas e bivalve (µg/kg em peso seco), obtidas nos ensaios de fitofiltração	93
Tabela 4.15 – Análise estatística dos valores de FBA para as espécies estudadas	96
Tabela 4.16 – Coeficiente de correlação entre a concentração de U na água dos aquários e a concentração de U nos seres vivos	97
Tabela 4.17 – Análise descritiva dos valores da taxa de extração em <i>Fontinalis antipyretica</i> (g/m ²)	98
Tabela 4.18 – Variação da concentração de U em duas plantas em relação à variação da concentração do meio e pH	100
Tabela 4.19 – Coeficientes de correlação entre a concentração de U na água e a concentração de U nas plantas, tendo em conta o pH da água	107
Tabela 4.20 – Coeficientes de correlação entre pH da água e a concentração de U nas plantas, tendo em conta a concentração de U da água	107
Tabela 4.21 – Coeficientes de correlação entre a concentração de U nas plantas e a concentração de U na água e o pH da água, considerando a globalidade das amostras ..	107

Tabela 5.1 – Respostas dos alunos à questão 1: “refere duas vantagens e duas desvantagens da utilização de urânio pelo Homem”	112
Tabela 5.2 – Respostas dos alunos à questão 2: “A partir da análise do texto, assinala a caneta os jazigos uraníferos do país, no mapa turístico de Portugal”	112
Tabela 5.3 – Respostas dos alunos à questão 3: “Refere de que natureza é o material rochoso onde se encontram os jazigos uraníferos do país”	113
Tabela 5.4 – Resposta dos alunos à questão 4: “Enumera quatro consequências, para a Natureza, que advêm da presença de mineralizações de urânio”	113
Tabela 5.5 – Respostas dos alunos à questão 5: “Assinala com uma cruz (X) aquelas que dizem respeito a soluções amigas do ambiente”	114
Tabela 5.6 – Respostas dos alunos à questão 6: “Das afirmações que se seguem assinala com um V as verdadeiras, e com um F as falsas”	115
Tabela 5.7 – Respostas dos alunos à questão 7: “Refere a designação atribuída ao processo de recuperação biológica posto em prática pelos investigadores portugueses” .	116
Tabela 5.8 – Respostas dos alunos à questão 8: “Enumera duas vantagens e duas desvantagens inerentes à técnica anteriormente descrita”	117
Tabela 5.9 – Respostas dos alunos à questão 7: “Refere a designação atribuída ao processo de recuperação biológica posto em prática pelos investigadores portugueses” (após implementação do projeto)	118
Tabela 5.10 - Respostas dos alunos à questão 8: “Enumera duas vantagens e duas desvantagens inerentes à técnica anteriormente descrita” (após implementação do projeto)	119

SIMBOLOGIA E ABREVIATURAS

ACP – Análise de Componentes Principais;

CEA – Concentração do Elemento na Zona Aérea;

CEAA - Concentração do Elemento Acumulado na Zona Aérea;

CEAR - Concentração do Elemento Acumulado na Zona Radicular;

CEF – Curso de Ensino e Formação;

CER - Concentração do Elemento na Zona Radicular;

CES - Concentração do Elemento no Solo/Sedimento;

COMPETE – Programa Operacional Fatores de Competitividade;

CXG – Complexo Xisto Grauváquico;

D – Deformação;

DNA – Ácido desoxirribonucleico;

E – Eixo;

EG – Monzogranito;

EGD – Granodiorito;

ET – Tonalito;

F – Falha;

FEDER – Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional;

EB – Ensino Básico;

EM – Estrada Municipal;

EN – Estrada Nacional;

FBA – Fator de Bioacumulação;

FT – Fator de Transferência;

G – Granito;

HV – Horta da Vilariça;

IP – Itinerário Principal;

IT – Índice de Translocação;

LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia;

OMS – Organização Mundial de Saúde;

P – População;

PROT – Programa de Reorganização e Ordenamento do Território;

PTDC – Nomenclatura atribuída aos projetos da Fundação para a Ciência e Tecnologia;

ROS – Espécies Reativas de Oxigénio;

SNIRH – Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos;

UC – Universidade de Coimbra;

UTAD – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro;

ZCI – Zona Centro-Ibérica;

? – Por esclarecer;

[] – Concentração.

RESUMO

A presente dissertação de doutoramento tem como principais objetivos: identificar plantas aquáticas e semiaquáticas bioindicadoras e/ou fitorremediadoras de urânio (U), na Horta da Vilariça; reproduzir laboratorialmente ensaios de fitofiltração de plantas aquáticas; construir modelos experimentais para aplicação em sala de aula, em diferentes disciplinas, lecionadas no ensino básico, secundário e profissional.

As águas superficiais analisadas, ainda que com tendência pouco mineralizada, apresentam, no entanto, concentrações apreciáveis em Fe, Na, Zn e Mn. Todas as amostras de água apresentam uma fácies hidroquímica bicarbonatada sódica. Refletem um caráter próximo da neutralidade, ligeiramente alcalinas, contrariando a normalidade em tipologia de rochas silicatadas. Algumas amostras de água revelaram valores anómalos em algumas concentrações, nomeadamente dos parâmetros químicos PO_4 , As, Cr, Fe, Cu e U, evidenciando fenómenos de contaminação.

Os dados hidroquímicos permitem evidenciar: a) a influência dos macroatómos correspondentes ao quimismo natural da água, nomeadamente Ca, HCO_3 , Na; b) a relação química entre o PO_4 e o elemento químico U (aos quais o Cr revela alguma afinidade), provenientes de minerais secundários de U, como sejam a chernikovite, o grupo da meta-autunite e a sabugalite, minerais confirmados através de microsonda eletrónica; c) o comportamento independente do Cu, que poderá estar associado à sulfatação das vinhas da região ou à alteração geoquímica de minerais secundário de U, como sejam os pertencentes ao grupo da meta-torbernite, presentes na área estudada.

As plantas que apresentam, em média, uma maior concentração de U nos seus tecidos são *Fontinalis antipyretica* e *Rorippa sylvestris* (zona aérea). Esta última é a única planta que apresenta valores de concentração de U, em média, superiores na zona aérea face à zona radicular, o que revela grande capacidade de translocação. Apresenta pois um índice de translocação elevado. As plantas que apresentam valores, em média, mais elevados do fator de bioacumulação são: *Scorpiurium deflexifolium*, *Fontinalis antipyretica*, *Rorippa nasturtium* (zona radicular) e *Rorippa Sylvestris* (zona aérea).

Os ensaios de fitofiltração evidenciam correlações positivas muito significativas, entre as concentrações de U presentes nas águas e acumuladas pelas diversas espécies

estudadas. Assim, as espécies testadas (*Fontinalis antipyretica*, *Callitriche stagnalis*, *Callitriche brutia*, *Elodea canadensis*, *Ranunculus trichophyllus*, *Rorippa nasturtium*) revelam grande potencial para ações de bioindicação deste tipo de contaminação. Também os ensaios realizados com a espécie *Fontinalis antipyretica*, interpretados em consideração com a sua taxa de biomassa, permitem verificar o seu potencial para ações de fitorremediação de águas contaminadas com U.

A aplicação pedagógica deste estudos no processo de ensino/aprendizagem por cooperação, entre grupos de alunos e grupos disciplinares de docência, tornou-se muito motivador para alunos e professores. De notar que os resultados finais tiveram uma auto e heteroavaliação muito positivas.

Os cinco modelos experimentais concebidos e construídos podem ser utilizados para a simulação de situações alternativas de contaminação e fitorremediação. Pelo que é possível, utilizando os modelos construídos, simular fenómenos de contaminação com um elemento químico ou combinações multielementares, e sistemas de fitorremediação em monocultura ou com combinações de diversas espécies, simulando condições mais próximas das naturais.

ABSTRACT

This doctoral dissertation has two main objectives: first to identify aquatic plants and semi-aquatic plants as bioindicators and phytoremediator of uranium (U), in Horta da Vilariça; second to reproduce laboratory tests for phytofiltration of aquatic plants and build experimental models for application in the classroom of different courses taught in elementary, secondary and vocational schools.

The surface water analyzed contained significant concentrations of Fe, Na, Zn and Mn even though there was little tendency of mineralization present. All water samples show a sodium bicarbonate hydrochemical facies. They reflect a character close to neutral; one that is slightly alkaline and also contradicting the normal typology of silicate rocks. Some water samples showed values of abnormal concentrations in chemicals such as PO₄, As, Cr, Fe, Cu and U indicating a contamination phenomenon.

The hydrochemical data indicates: a) the influence of the macro elements corresponding to the composition of natural water, in particular Ca, HCO₃, Na; b) the chemical relation of PO₄ and U (which shows some similarities to Cr), that come from secondary minerals related to U such as chernikovite, the group of meta-autunite and sabugalite and minerals confirmed by electronic microprobe; c) the independent behavior of Cu, which may be associated with sulfur dusting of the vineyards in the region or the geochemistry alteration of U secondary minerals such as those belonging to the group of meta-torbernite present in the studied area.

Plants that have, on average, a greater concentration of U in their tissues are *Fontinalis antipyretica* and *Rorippa sylvestris* (aerial zone). *Rorippa sylvestris* is the only plant that displays concentration values of U, on average, higher in the air area compared to against the root zone, which shows a great capacity for translocation. This shows an index of high translocation.

Plants that have values, on average, with high bioaccumulation factors are: *Scorpiarium deflexifolium*, *Fontinalis antipyretica*, *Rorippa nasturtium* (root zone) and *Rorippa sylvestris* (aerial zone).

The phytofiltration tests show a very significant positive correlations between U concentrations in water and accumulated by the various species. Thus, the tested species (*Fontinalis antipyretica*, *Callitriche stagnalis*, *Callitriche brutia*, *Elodea canadensis*,

Ranunculus trichophyllus, *Rorippa nasturtium*) show great potential for bioindication actions of this type of contamination. Also tests on the species *Fontinalis antipyretica*, interpreted with regard to their biomass rate, allow us to verify their potential for phytoremediation actions of U contaminated water.

The five experimental models that were created can be used for the simulation of alternative situations of contamination and phytoremediation. Therefore it is possible to use these models to simulate the phenomena of contamination with a chemical element, multi-element combinations and phytoremediation systems in monoculture or with combinations of various species, simulating conditions close to a natural state.

The application had a great impact in the processes of teaching and learning. As a result the collaboration among groups of students and teachers generated a high level of motivation. The final evaluation was very positive.

The teaching and learning process by cooperation among groups of students and teaching disciplinary groups became more motivating for students and teachers. The final results were self-evaluation and hetero-evaluation very positive.

1. INTRODUÇÃO

1.1. JUSTIFICAÇÃO DA ESCOLHA DO TEMA

O Doutorado em Ciências da Terra e da Vida engloba duas áreas fundamentais, uma de cariz técnico-científico e outra de interesse científico-pedagógico. Torna-se assim imperioso justificar o tema proposto, tendo em conta essa dualidade.

1.1.1. INTERESSE TÉCNICO-CIENTÍFICO

A seleção de espécies (plantas, líquenes, bivalves, fungos, bactérias, entre outras) para utilizar em ações de biorremediação de áreas contaminadas, ou de bioindicação de contaminação (áreas de exploração mineira, pedreiras, áreas industriais, linhas de água contaminadas, entre outras) é uma área da biogeoquímica em expansão, devido à crescente preocupação ambiental mundial. O estudo de métodos menos agressivos e naturais no combate e recuperação de zonas contaminadas é, certamente, uma mais-valia ecológica.

As áreas fortemente contaminadas são, na sua maioria, locais onde dificilmente surge o desenvolvimento de biodiversidade e processos edáficos. Podendo essas condições adversas perdurarem anos. Os problemas causados na Natureza vão desde a concentração deficiente em matéria orgânica, à concentração de elementos químicos de elevada toxicidade, à flutuação de parâmetros físico-químicos e biológicos (pH, temperatura, biodiversidade, ...).

Algumas espécies de seres vivos manifestam comportamentos, a diversos níveis, que podem ser interpretados como tradutores das condições ambientais, pelo que podem ser utilizadas em estratégias de bioindicação e biomonitorização ambiental (WITTIG, 1993; BARTELL, 2006; BURGER, 2006). Outras espécies são capazes de se adaptarem, através de vários mecanismos, às características adversas desses ambientes, desenvolvendo mecanismos fisiológicos e bioquímicos de resistência que, em alguns casos se traduzem na capacidade de descontaminar esses ambientes – biorremediação. Neste domínio, a utilização de espécies de plantas, e dos microrganismos que lhe estão associados, com a finalidade de remover, degradar ou isolar substâncias tóxicas do ambiente designa-se por fitorremediação (CHANEY *et al.*, 1997; ENSLEY, 2000; PRASAD, 2004; MENDEZ & MAIER, 2008).

Recentemente, tem tido um grande incremento o estudo de plantas aquáticas acumuladoras, com potencial de aplicação na fitorremediação de águas contaminadas e/ou na bioindicação de contaminantes aquáticos (PRASAD, 2004; RAI, 2009; UYSAL & TANER, 2009; PRATAS *et al.*, 2010; STOUT & NÜSSLEIN, 2010).

Como complemento dos trabalhos de campo, tem-se revelado de grande importância o desenvolvimento de testes laboratoriais, nomeadamente a elaboração de modelos experimentais que simulam sistemas ambientais, nos quais se pode modelar de forma análoga quer o comportamento dos contaminantes, quer das espécies vivas em estudo, obtendo informação, de forma controlada, sobre o potencial de aplicação destas espécies em esquemas de bioindicação e/ou fitorremediação (DUSHENKOV, 2003; KALIN *et al.*, 2005; MKANDAWIRE & DUDEL, 2005; PAULO *et al.*, 2006; PAULO & PRATAS, 2008).

1.1.2. INTERESSE CIENTÍFICO-PEDAGÓGICO

Com as sucessivas reformas do ensino das ciências é cada vez mais importante que os alunos tenham interesse por temáticas como a vida e os seres vivos, os processos e materiais naturais e tecnológicos, e a comunicação científica.

A Ciência é um motor de transformação que tem por missão formar cidadãos capazes de pensar em si e no mundo que o rodeia. Intervindo nos processos (questionando, raciocinando, resolvendo problemas, elaborando projetos), desenvolvendo a sua literacia científica e atuação como cidadãos responsáveis e interventivos (GARCIA, 2001; MEMBIELA, 2001; PEDROSA & MARTINS, 2001; SÁEZ & RIQUEARTS, 2001; SANTOS, 2001; FONTES, 2003).

O ensino das ciências deve permitir aos alunos: a) despertar a curiosidade e o interesse pelo mundo natural; b) compreender e proceder a investigação científica, aumentando a sua autoconfiança, autonomia e criatividade na abordagem de diversos temas; c) questionar o comportamento humano, o impacto da ciência e da tecnologia no ambiente e na sociedade em geral; d) intervir em discussões, interpretar dados e resultados, construir argumentos a partir das evidências; e) planear e realizar trabalhos ou projetos que exijam a intervenção de várias áreas científicas, tradicionalmente mantidas isoladas (Biologia, Geologia, Química, Física, Matemática, ...).

O trabalho proposto vai ao encontro destas preocupações, uma vez que se pretende: a) desenvolver modelos experimentais (de fácil utilização em laboratório), com a simulação de ribeiros contaminados; aquários, que pretendem simular “wetlands” ou tanques, com plantas selecionadas, bivalves, fungos e outros seres vivos de forma a testar métodos de descontaminação (biorremediação) e biomonitorização, entre outras simulações que surgirão com o desenrolar do estudo científico; b) elaborar protocolos experimentais adaptados à tipologia de ensino; c) produzir materiais didáticos utilizando as novas tecnologias, em formato digital, com atividades a desenvolver com os quadros interativos, entre outros; d) elaborar instrumentos de aferição de resultados recorrendo a grelhas de registo e à avaliação das aprendizagens dos alunos.

O trabalho proposto permite, ainda, fazer uma ponte entre as disciplinas de Biologia, Geologia, Química, Física, assim como disciplinas técnicas, ministradas nos cursos profissionais, relacionadas com sistemas ambientais, ecologia, fisiologia vegetal, recuperação ambiental, entre outras.

1.2. ESTRUTURA DA TESE

Esta dissertação está estruturada em sete capítulos.

O capítulo 1 é introdutório; nele são feitas as considerações gerais sobre a relevância do tema, quer do ponto de vista científico, quer do ponto de vista pedagógico. Neste capítulo são, também, enumerados os objetivos gerais do conjunto das diversas tarefas efetuadas.

Este capítulo contempla ainda algumas referências aos processos de fitorremediação descritos na bibliografia, às possíveis respostas das plantas a um ambiente com elevadas concentrações de contaminantes e às aplicações tecnológicas baseadas, essencialmente, em “wetlands” artificiais para a descontaminação ambiental.

O capítulo 2 é essencialmente de revisão bibliográfica. Caracteriza-se o local estudado sob o ponto de vista geográfico, geológico, geomorfológico, o clima e a utilização do solo. Neste capítulo dá-se, especialmente, ênfase às mineralizações de Urânio (U).

No capítulo 3 descrevem-se os métodos e técnicas utilizadas nos trabalhos de campo e laboratório, nomeadamente: amostragem de águas, sedimentos e plantas; o tratamento

laboratorial destas amostras; as determinações analíticas; e os ensaios laboratoriais de fitofiltração.

O capítulo 4 apresenta a análise dos resultados e a discussão dos mesmos, a partir dos dados obtidos nas diferentes metodologias e nos ensaios de fitofiltração.

O capítulo 5 descreve os trabalhos realizados com alunos do ensino básico, secundário e profissional. A aplicação concreta de desafios ecológicos, no âmbito do ensino técnico-científico, com o desenvolvimento de modelos aplicáveis em sala de aula ou em qualquer projeto de cariz ambiental e/ou tecnológico.

O capítulo 6 corresponde às conclusões gerais do trabalho e a sugestões para futuras pesquisas.

No capítulo 7 surgem listadas as referências bibliográficas.

1.3. OBJETIVOS

O desenvolvimento deste trabalho teve como objetivos gerais:

- a) Estudar métodos naturais de bioindicação e biomonitorização ambiental *in loco*, de forma a detetar áreas de contaminação, que servirão de base para a construção de modelos laboratoriais;
- b) Analisar o comportamento de algumas espécies (plantas, fungos, bivalves, entre outras), numa perspetiva de biorremediação (capazes de se adaptarem, através de vários mecanismos naturais, a situações adversas);
- c) Construir modelos experimentais que simulem condições ambientais de contaminação encontrados *in loco*; e permitam estudar a ação de espécies fitorremediadoras;
- d) Fomentar o desenvolvimento de metodologias que procurem criar um ambiente de aprendizagem, aberto e diversificado, através da realização de aulas práticas/laboratoriais no estudo de métodos de descontaminação (fitorremediação) e biomonitorização, adaptadas à realidade escolar e aos programas de diversas disciplinas;
- e) Desenvolver protocolos e modelos didáticos inovadores, aplicáveis a todos os níveis de ensino em função dos conteúdos lecionados em cada um dos níveis, e atendendo à diversidade dos alunos.

1.4. FITORREMEDIAÇÃO

Atualmente a investigação de índole ambiental direciona-se para a utilização de metodologias de recuperação ambiental de menor agressividade e naturais. Nestas novas metodologias inclui-se a fitorremediação, que visa a utilização direta de plantas *in situ* para remediação de contaminação de solos, sedimentos, águas superficiais e subterrâneas, através da remoção, degradação (metabolização), armazenamento e imobilização dos contaminantes (orgânicos ou inorgânicos, como os metais) (DIETZ & SCHNOOR, 2001; LASAT, 2002; MCGRATH & ZHAO, 2003; JOHNSON & HALLBERG, 2005; ANTOSIEWICZ *et al.*, 2008; MISHRA *et al.*, 2008; PENG *et al.*, 2008; DOWLING & DOTY, 2009; VYMAZAL, 2009; STOUT & NÜSSLEIN, 2010; VAMERALI *et al.*, 2010).

Segundo diversos autores (e.g. ENSLEY, 2000; DIETZ & SCHNOOR, 2001; CARDWELL *et al.*, 2002; PRASAD, 2004; ERNST, 2005; PAULO *et al.*, 2006; PAULO & PRATAS, 2008; PENG *et al.*, 2008; MISHRA *et al.*, 2008; STOUT & NÜSSLEIN, 2010; VAMERALI *et al.*, 2010; PRATAS *et al.*, 2012), na fitorremediação podem estar implícitos alguns processos que são classificados em função da atuação da planta sobre o poluente, destacando-se:

- a) A fitodegradação ou fitotransformação – os contaminantes, normalmente de natureza orgânica, são metabolizados por ação de enzimas produzidas nas plantas;
- b) A fitoestabilização – os contaminantes são incorporados na lenhina da parede celular das células das raízes ou ao húmus do solo por exsudação radicular, impedindo a mobilidade dos mesmos;
- c) A fitovolatilização – as plantas têm capacidade de absorver alguns elementos e volatilizá-los para a atmosfera;
- d) A fitoextração – os contaminantes são absorvidas pelas raízes das plantas e translocados e acumulados nas partes aéreas. As plantas hiperacumuladoras são as que revelam, à partida, maior potencial para esta técnica. Uma das variantes desta técnica é a fitofiltração / rizofiltração, que utiliza plantas aquáticas, semiaquáticas, algas e/ou sistemas radiculares de plantas terrestres, com a finalidade de remover do meio aquoso contaminantes e retê-los nos seus tecidos.

Segundo LASAT (2002) o sucesso da fitorremediação depende de alguns fatores: a extensão da contaminação do solo ou água; o tipo de contaminante; a biodisponibilidade (a

capacidade que um contaminante tem em ascender pela raiz); a habilidade que a planta tem em interceptar, absorver ou acumular o contaminante nos seus tecidos jovens; a luz, o pH, tipologia de solo (conjunto de fatores abióticos e climáticos).

Os métodos de fitorremediação são extremamente vantajosos, pois são técnicas que podem ser executadas *in situ* e são passivas; têm normalmente um baixo custo; apresentam um reduzido impacto ambiental; reduzem a dispersão dos contaminantes; a remoção de plantas e órgãos vegetais, assim como outros seres vivos que acumulam os elementos tóxicos, é geralmente fácil; o processo é facilmente controlado e monitorizado sem utilização de equipamentos muito sofisticados (GLASS, 2000; DIETZ & SCHNOOR, 2001; PRASAD, 2004; PAULO *et al.*, 2006; MISHRA *et al.*, 2008; PAULO & PRATAS, 2008; PRATAS *et al.*, 2010, 2012).

No entanto, todos os métodos que impliquem descontaminação não são na sua totalidade inócuos, e como técnica recente ainda apresenta algum défice de conhecimento sobre a morfofisiologia dos mecanismos envolvidos, quer das plantas, quer de outros organismos. Estas técnicas de fitorremediação apresentam, pois, algumas desvantagens ou limitações, das quais se destacam: o fator tempo, atendendo a que são processos muito lentos (no caso da fitorremediação de solos e sedimentos); as áreas têm de permitir a técnica de cultivo; normalmente um ser vivo é seletivo para um contaminante específico; surgem, atualmente, espécies vegetais com interesse na fitorremediação, mas ainda há um longo caminho a travar; a possibilidade de alguns elementos tóxicos poderem circular ao longo de vários níveis tróficos, via cadeia alimentar; o problema do desconhecimento da toxicidade e biodisponibilidade dos produtos de degradação, que advém da matéria orgânica resultante dos organismos utilizados na fitorremediação (GLASS, 2000; DIETZ & SCHNOOR, 2001; PRASAD 2004; PAULO *et al.*, 2006; MISHRA *et al.*, 2008; PAULO & PRATAS, 2008; PRATAS *et al.*, 2010, 2012).

1.4.1. APLICAÇÕES TECNOLÓGICAS DE FITORREMEDIAÇÃO DE CONTAMINAÇÕES

A escolha de uma metodologia de remediação ambiental, que vise reduzir os problemas de contaminação, é condicionada por múltiplos critérios, nomeadamente: a caracterização da área contaminada (geologia, recursos hídricos, vegetação, ...); a tipologia e concentração de contaminantes nos vários ambientes naturais; a escolha criteriosa de tecnologias de

remediação e sua repercussão no presente e futuro próximo; a eficácia ambiental das tecnologias a implementar, a fim de evitar um agravamento ambiental; entre outros.

Segundo WALKER *et al.* (2007) existem quatro fatores que controlam os poluentes, nomeadamente os metais pesados, e que influenciam diretamente o método de biomonitorização ou de descontaminação; são eles: a localização, que define a área de dispersão do poluente; a persistência, ou seja a toxicidade, a agressividade e o tempo de permanência; o fator de bioacumulação, já anteriormente mencionado neste trabalho, atendendo a que os poluentes são assimilados pelos organismos de formas e intensidades diferentes; e por fim, a biodisponibilidade, ou seja a sua capacidade química de precipitar, de se agregar, de solubilizar, entre outros. Também deve ter-se em conta a geoacumulação.

Recentemente, o estudo da fitorremediação de metais pesados tem dado uma grande relevância aos processos executados em meios ou ecossistemas aquáticos ou semiaquáticos, nomeadamente os designados de “wetlands”. Este incremento deve-se à importância crescente do fator “qualidade da água” e à necessidade de cumprimento de normativas nacionais e internacionais, cada vez mais exigentes. A fitorremediação em meio aquático pode ser uma alternativa à remediação tradicional (figura 1.1), pois inclui um conjunto de processos simultâneos e de resposta mais eficaz, como sejam: as trocas iónicas e eletrodiálise, a precipitação química, a sedimentação, a microfiltração e mecanismos osmóticos (DUSHENKOV *et al.*, 1997; NYQUIST & GREGER, 2009; VYMAZAL, 2009; SRIVASTAKA *et al.*, 2010; STOUT & NÜSSLEIN, 2010).

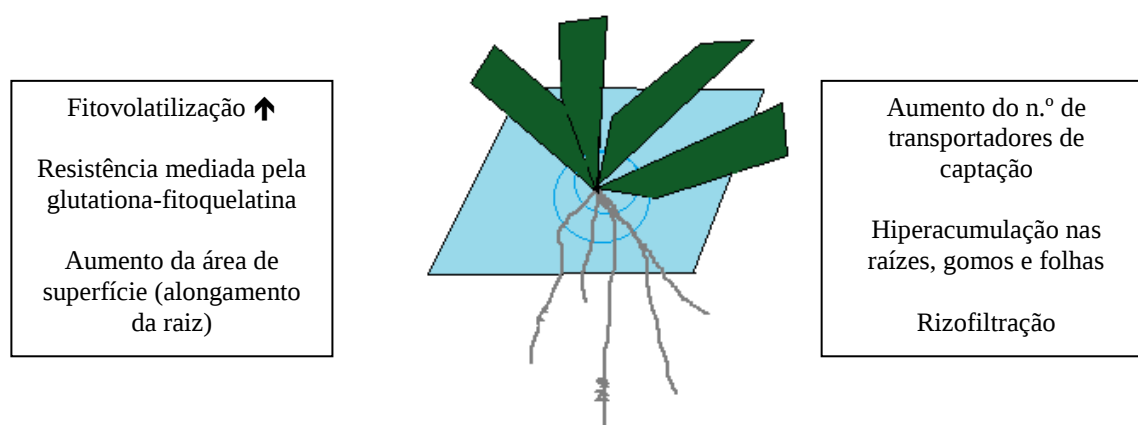


FIGURA 1.1 - MECANISMOS ADOTADOS PELAS PLANTAS NO PROCESSO DE FITORREMEDIAÇÃO EM “WETLANDS”
(ADAPTADO DE STOUT & NÜSSLEIN, 2010).

A bioacumulação de metais pesados, em plantas aquáticas, pode ocorrer mediante diversos processos bioquímicos, nomeadamente por absorção, por adsorção, ou por outros mecanismos de remoção de metais em solução, como sejam a troca iónica, a precipitação, ou a formação de complexos à superfície (TSEZOS & VOLESKY, 1981; VOLESKY & HOLAN, 1995; RAIZE *et al.*, 2004; GADD, 2009). Quando não se diferenciam os mecanismos responsáveis pela remoção dos metais em solução, por parte da planta, é habitual utilizar-se o termo “biossorção” como mecanismo genérico, que compreende todos os que foram referidos.

1.5. ENQUADRAMENTO PEDAGÓGICO NO ENSINO DAS CIÊNCIAS

As razões que levam ao desenvolvimento deste trabalho são:

- a) A relação com as orientações curriculares, o currículo e os programas das disciplinas do ensino básico e secundário (incluindo CEF e Cursos Profissionais);
- b) A abrangência de várias áreas de saber científico, normalmente onde os alunos apresentam dificuldade;
- c) A inovação relativa ao desenvolvimento de novas metodologias de ensino/aprendizagem.

Após a análise das orientações curriculares e dos programas educativos segue-se um resumo (tabela 1.1) da relação entre os mesmos e a relevância pedagógica do projeto. O ensino Secundário e Profissional assentam em três dimensões definidas por HODSON & HODSON (1998) para a educação em ciências: aprender ciência, aprender sobre ciência, aprender a fazer ciência.

TABELA 1.1 – ORIENTAÇÕES CURRICULARES (ADAPTADO DE AMADOR & SILVA, 2004; GALVÃO, 2001; MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO, 2004).

3º Ciclo do ensino Básico e CEF		
Disciplinas	Temas organizadores e conteúdos	Algumas competências
Ciências físicas e naturais; Ciências da Terra e da Vida	Sustentabilidade na Terra	- Reconhecimento da necessidade humana de apropriação dos recursos existentes na Terra para os transformar e, posteriormente utilizar; - Reconhecimento do papel da ciência e tecnologia na transformação e utilização dos recursos existentes na Terra; - Reconhecimento de situações de desenvolvimento sustentável em diversas regiões (localmente se possível); - Reconhecimento que a intervenção humana na Terra afeta os indivíduos, a sociedade e o ambiente e que coloca questões de natureza social e ética; - Compreensão das consequências que a utilização dos recursos existentes na Terra tem para os indivíduos, a sociedade e o ambiente; - Compreensão da importância do conhecimento científico e tecnológico na explicação e resolução de situações que contribuem para a sustentabilidade da vida na Terra.
Ensino Secundário e Profissional		
Bio/Geo	A Terra e os seus sistemas em interação	- Identificação de elementos constituintes dos subsistemas terrestres; - Planificação e realização de pequenas investigações que ponham em evidência a inter-relação existente entre os vários sistemas;
	A Terra um planeta único a proteger	- Análise de documentos que evidenciam riscos ecológicos; - Realização de observações de campo sobre danos causados por fenómenos geológicos (localmente); - Planificação de investigações laboratoriais, em sala de aula, que permitam a identificação de poluentes (metais pesados, metaloides), resultantes da exploração de recursos geológicos; - Participação em saídas de campo, recolhendo informações biológicas e geológicas. Tais como a intervenção humana e adaptações de seres vivos;

continua

Ensino Secundário e Profissional		
Disciplinas	Temas organizadores e conteúdos	Algumas competências
Bio/Geo	A biosfera	- Compreensão de fenómenos de interação entre os seres vivos e o meio;
	Transporte nas plantas	- Planificação de atividades práticas laboratoriais; - Interpretação de dados experimentais que permitem compreender as estratégias utilizadas pelas plantas no transporte e distribuição de matéria a todas as células;
	Fotossíntese e quimiossíntese	- Compreensão de fenómenos de obtenção de matéria por parte dos seres vivos autotróficos; - Planificação de atividades práticas laboratoriais;
	Geologia, problemas e materiais do quotidiano – recursos geológicos e exploração sustentável	- Relação do processo de extração e transformação de certos recursos geológicos com os graves impactos no ambiente da região onde o recurso é explorado; - Planificação e realização de pequenas investigações e saídas de campo;
Geologia	A Terra como fonte de recursos	- Identificação dos recursos geológicos locais; - Organização de saídas de campo à região;
	A Terra ontem, hoje e amanhã	- Reconhecimento do Homem como agente de mudança identificando casos concretos, como a contaminação ambiental; - Organização de sessões de cariz ambiental;
Biologia	Poluição e degradação de recursos	- Compreensão e discussão de consequências relativas a contaminantes de ecossistemas (eutrofização, sinergia, ...); - Reconhecimento e organização de dados sobre sistemas utilizados para tratamento de resíduos; - Reconhecimento do papel dos seres vivos na reciclagem de materiais; - Discussão de impedimentos e alternativas possíveis à reciclagem de produtos residuais (resíduos tóxicos); - Apreciação crítica de informação veiculada pelos média, comunidade científica (artigos) para interpretar dados; - Conceção e execução de trabalhos experimentais sobre contaminação de recursos naturais;

continua

Área curricular não disciplinar		
Disciplinas	Temas organizadores e conteúdos	Algumas competências
Todas (3º ciclo e Secundário)	Desenvolvimento de projeto curricular de turma	- Realização de um projeto de investigação desde a sua planificação, concretização, análise, divulgação à comunidade escolar; - Construção de vários materiais e técnicas de divulgação à comunidade escolar;

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

2.1. ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO

A região onde se desenvolveu este estudo localiza-se no Nordeste (NE) de Portugal e pertence à província de Trás-os-Montes, distrito de Bragança, concelho de Torre de Moncorvo (figura 2.1).

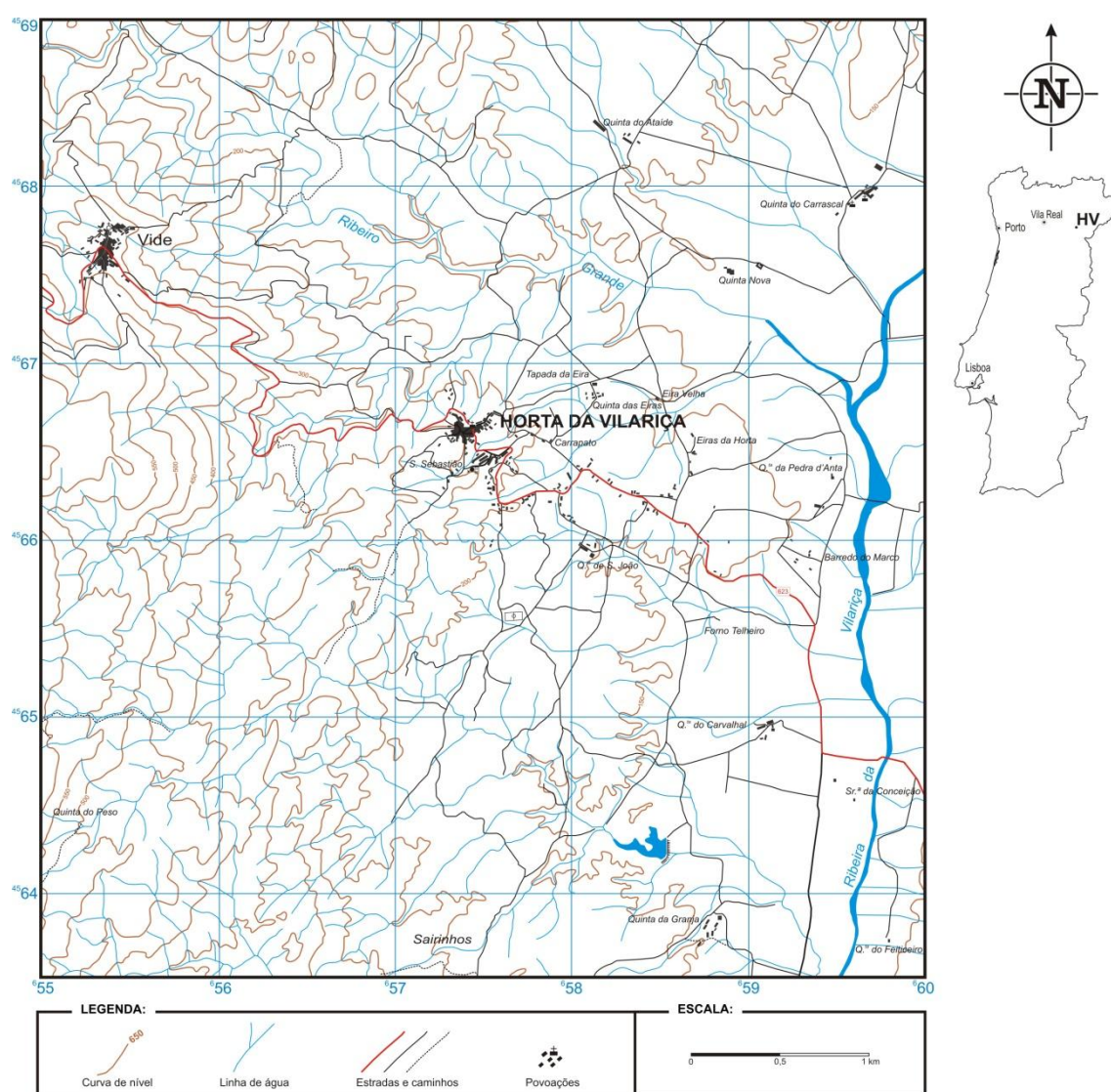


FIGURA 2.1 – LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA REGIÃO ESTUDADA, REPRESENTADA NO EXTRATO DA FOLHA 118 (CASTEDO) DA CARTA MILITAR DE PORTUGAL À ESCALA 1: 25.000.

A zona em questão está representada na folha 118 (Castedo) da Carta Militar de Portugal à escala 1: 25.000, editada pelo Instituto Geográfico do Exército.

A área estudada é acessível, desde Mirandela, pela Estrada Nacional 213 (EN213), até Vila Flor, seguindo-se pela Estrada Nacional 215 (EN215) até ao cruzamento da Aldeia da Junqueira, com ligação ao Itinerário Principal número 2 (IP2) em direção ao Pocinho. A cerca de 250m no IP2, situa-se um desvio em estrada municipal (EM623) até à aldeia da Horta da Vilariça.

Na área estudada existem vários cursos de água que são afluentes da ribeira Grande e da ribeira da Vilariça, sendo que a primeira conflui na segunda e a ribeira da Vilariça é afluente do rio Sabor que, por sua vez, conflui no rio Douro.

2.2. ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO E GEOMORFOLÓGICO

A região estudada apresenta um relevo mais ou menos ondulado, frequentemente interrompido por uma rede hidrográfica relacionada com o sistema de falhas presentes nesta região, de orientação preferencial NNE-SSW (com maior impacto na paisagem o conjunto que deu origem ao “graben” da Vilariça), e com erosão diferencial induzida pelo encaixe do rio Douro e seus afluentes. Estes últimos estão essencialmente condicionados pela fratura tardi-varisca, de direção NNE-SSW. Verificam-se ainda, relevos escarpados que marcam a passagem do domínio metassedimentar para o domínio granítico (TEIXEIRA, 2008).

Os acidentes tectónicos, como a falha da Vilariça, integram-se, segundo CABRAL (1995) e TEIXEIRA (2008), num conjunto de sistemas tardi-variscos de fratura frágil, com sucessivas reativações durante as movimentações Alpinas, que se relacionam diretamente com a fragmentação da Meseta Ibérica. Algumas destas estruturas são importantes para a evolução neotectónica regional, com sinais de movimentação durante o Quaternário, podendo assim serem classificadas como falhas ativas.

Na região da Horta da Vilariça ocorrem rochas graníticas hercínicas e metassedimentos do Grupo do Douro, do Super Grupo Dúrico-Beirão (Complexo Xisto-Grauváquico - CXG), bem como alguns filões de quartzo, aplítico-pegmatíticos e de rochas básicas. Os granitos dominantes, moscovítico-biotíticos e de idade hercínica, são porfiríoides, de matriz média e grosseira e sintectónicos relativamente a F_3 . Os metassedimentos, compostos por filitos cloríticos e quartzo-cloríticos, integram a formação de Ervedosa do Douro e apresentam extensas auréolas de metamorfismo de contacto, na proximidade das rochas graníticas (PEREIRA *et al.*, 2010).

A área estudada enquadra-se num contexto geomorfológico regional marcado, segundo CUNHA & PEREIRA (2000), pela existência de:

- um generalizado aplanamento, designado por superfície da Meseta ou superfície fundamental;
- cristas residuais de dureza, predominantemente quartzíticas e de expressão local (Serra de Reboredo) que se destaca acima da superfície fundamental da topografia;
- blocos deslocados tectonicamente, definindo soerguimentos e abatimentos, por vezes com acentuados basculamentos;
- um modelado fluvial, evidenciando o progressivo encaixe da rede hidrográfica quaternária.

Nesta região, o soco hercínico é dominado pela presença de metagrauvaques e filitos do Câmbrio, quartzitos e filitos do Ordovícico e rochas granitóides. Localmente existem coberturas sedimentares siliciclásticas, cuja preservação da erosão foi favorecida em blocos tectonicamente abatidos (CUNHA & PEREIRA, 2000).

O relevo é condicionado por diversas estruturas hercínicas, com destaque para os dobramentos em eixo WNW-ESE e vários sistemas de falhas subverticais. O sistema com direção NNE-SSW impõe-se na paisagem devido ao seu importante rejogo vertical, provavelmente, a partir do Tortoniano. A depressão da Vilarça enquadra-se na zona de falha Bragança-Manteigas (CUNHA & PEREIRA, 2000).

2.2.1. TECTÓNICA

A Península Ibérica é constituída pelo fragmento mais contínuo da Cadeia Hercínica ou Varisca (Maciço Ibérico ou Maciço Hespérico). Esta unidade é formada, na sua maioria, por materiais do Neoproterozóico e do Paleozóico Inferior, tendo sido formada durante a colisão dos continentes Gondwana e Laurásia, entre o Devónico e o Carbónico (RIBEIRO *et al.*, 1979; DIAS & RIBEIRO, 1995).

Segundo RIBEIRO (2006), o Maciço Ibérico é caracterizado pelas seguintes zonas (figura 2.2):

- Zona Cantábrica;
- Zona Astur-ocidental Leonesa;

- Zona Centro-Ibérica;
- Zona Galiza - Trás-os-Montes;
- Zona de Ossa-Morena;
- Zona Sul Portuguesa.

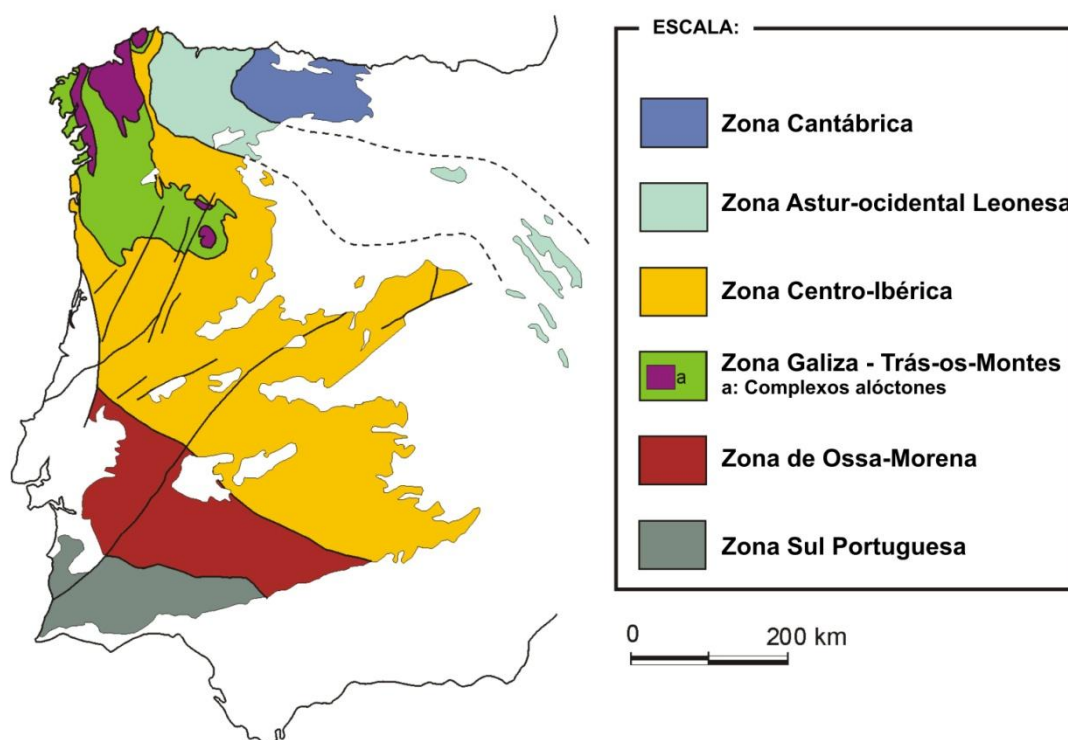


FIGURA 2.2 – DISTRIBUIÇÃO DAS UNIDADES TECTÓNICAS NA PENÍNSULA IBÉRICA (ADAPTADO DE PÉREZ-ESTAÚN *et al.*, 2004).

Nas zonas mais internas da Cadeia Varisca (Zona Astur-ocidental Leonesa, Zona Centro-Ibérica, Zona Galiza - Trás-os-Montes e Zona de Ossa-Morena) predominam formações do Neoproterozóico e Paleozóico Inferior, a deformação Varisca é mais precoce e intensa, o metamorfismo regional pode atingir um grau elevado e ocorrem abundantes intrusões graníticas sin-orogénicas (RIBEIRO *et al.*, 1979; DIAS & RIBEIRO, 1995).

A zona estudada localiza-se na região meridional da Zona Centro Ibérica (ZCI), pelo que se descreverá apenas esta unidade geotectónica. Nesta região ocorre uma espessa sequência terrígena designada tradicionalmente por Formação Xistosa das Beiras ou

Complexo Xisto-Grauváquico que, atualmente, é mais designada por Super Grupo Dúrico-Beirão.

A sequência litoestratigráfica definida para o Autóctone da ZCI é constituída por um conjunto de unidades com idades entre o Neoproterozóico e o Devónico Inferior (DIAS *et al.*, 2006). Salienta-se na região da ZCI portuguesa duas unidades: o Grupo do Douro (SOUSA, 1982), que abrange uma grande parte da região do Douro; e o Grupo das Beiras (ROMÃO, 1994) que abrange a região centro do país. Na ZCI também se encontram granitóides do Ordovícico (NEIVA, 2007).

As unidades do Super Grupo Dúrico-Beirão subdividem-se em unidades inferiores que se admite pertencerem ao Neoproterozóico e as unidades superiores ao Câmbrio inferior (TEIXEIRA, 2008).

O Grupo do Douro sofreu um regime extensivo que deu origem à sedimentação da Formação de Desejosa, seguindo-se um episódio curto compressivo ante-Ordovícico (fase “Sarda”), associado a fenómenos tectónicos como: a migração do rift intracratónico centro-ibérico; erosão; inversão das unidades entre o Câmbrio e o Ordovícico (SOUSA, 1984; RIBEIRO *et al.*, 1990b; RIBEIRO *et al.*, 1991).

As sequências litoestratigráficas do Ordovícico distinguem-se em três séries, Ordovícico inferior, médio e superior. Em Portugal, o Ordovícico inferior assenta em discordância sobre as unidades do Super Grupo Dúrico-Beirão. Inicia-se na base por uma sequência vulcano-sedimentar caracterizada pela presença de níveis de metaconglomerados polimíticos. O vulcanismo ocorreu após a fase “Sarda”. Seguem-se bancadas de quartzitos finos ou grosseiros alternantes com filitos e/ou metapsamitos. No topo, os leitos filíticos são mais espessos do que os leitos psamíticos e metassiltitos (SÁ, 2005).

O Ordovícico médio inicia-se, na base, pelo desaparecimento dos leitos de metassiltitos e presença de filitos cinzentos claro ou escuro (SÁ, 2005).

O Ordovícico superior é marcado por uma descontinuidade tectónica onde ocorre uma camada de ferro oolítico ao qual se sobrepõem margas descalcificadas, filitos de cor negra com laminações psamíticas, sequências vulcano-carbonatadas e quartzitos intercalados com filitos e depósitos glaciomarinheiros (DIAS *et al.*, 2006; SÁ, 2005).

O Silúrico é uniforme e caracteriza-se pela presença de filitos ampelitosos com intercalações de liditos, calcários e também quartzitos (PEREIRA, 1987).

O Devónico encontra-se mal representado na ZCI podendo encontrar-se alguns vestígios de metapelitos, metagrauvaques, metassiltitos e metarenitos resultantes de alguns núcleos de sinclinais (PEREIRA, 1987).

Segundo RIBEIRO *et al.* (1979) e SOUSA (1984), o Carbónico apresenta características pós-orogénicas limitadas por acidentes tectónicos, como seja o cisalhamento Douro-Beira. É constituído por sedimentos de natureza continental tais como: conglomerados, arcoses e depósitos de carvão.

Segundo RIBEIRO (1974), NORONHA *et al.* (1979), RIBEIRO *et al.* (1983), RIBEIRO *et al.* (1990-a), DIAS & RIBEIRO (1995), GOMES (1996), DIAS *et al.* (1998) e RIBEIRO (2006), no setor português da ZCI são reconhecidas três fases de deformação varisca D₁, D₂ e D₃ (ou F₁, F₂ e F₃).

A fase D₁, primeira fase de deformação hercínica, caracteriza-se por processos de obducção da crosta oceânica e instalação dos grandes mantos de carreamento. Esta fase afetou de forma marcante o Super Grupo Dúrico-Beirão com deformação tangencial (limites setentrional e meridional) e dobras subverticais (limite central). Os processos anteriores foram acompanhados de subducção da litosfera oceânica, originando os mantos ofiolíticos do NE ibérico. É uma etapa sin-colisional de espessamento crustal e início da fusão parcial de litologias crustais (RIBEIRO, 1974; NORONHA *et al.*, 1979; RIBEIRO *et al.*, 1983; RIBEIRO *et al.*, 1990a; DIAS & RIBEIRO, 1995; GOMES, 1996; DIAS *et al.*, 1998; RIBEIRO, 2006).

A fase D₂, segunda fase de deformação hercínica, ainda está relacionada com o regime de carreamento. Geralmente associada a cavalgamentos sub-horizontais ou zonas de cisalhamento sub-horizontais localizados (cintura metamórfica Porto-Viseu). É uma etapa onde é possível a génese de estruturas extensivas, a diminuição do espessamento crustal, exumação da cadeia orogénica e produção de líquidos anatéticos (RIBEIRO, 1974; NORONHA *et al.*, 1979; RIBEIRO *et al.*, 1983; RIBEIRO *et al.*, 1990a; DIAS & RIBEIRO, 1995; GOMES, 1996; DIAS *et al.*, 1998; RIBEIRO, 2006).

A terceira fase de deformação hercínica, a fase D₃, caracteriza-se por uma tectónica de desligamento. Esta fase é responsável pelos dobramentos com planos axiais subverticais, sub-paralelos às dobras D₁. Está também relacionada com cisalhamentos transcorrentes onde se concentra a deformação, como sejam: deformação Porto-Tomar, Vigo-Régua, entre outras. A ascensão, diferenciação e consolidação de magmas graníticos do tipo S, os processos de interação química e/ou física entre fluidos metálicos e crustais, promovem o surgimento de

magmas com características mineralógicas e geoquímicas específicas. No final de D₃ ocorre fusão por descompressão da astenosfera, originando líquidos básicos que, juntamente com alguns elementos da crosta, originam magmas calco-alcálicos (RIBEIRO, 1974; NORONHA *et al.*, 1979; RIBEIRO *et al.*, 1983; RIBEIRO *et al.*, 1990a; DIAS & RIBEIRO, 1995; GOMES, 1996; DIAS *et al.*, 1998; RIBEIRO, 2006).

Algumas litologias pré-carbónicas foram afetadas por metamorfismo regional varisco de baixa pressão, que induziu a formação de andaluzite, silimanite e cordierite, relacionado com o plutonismo granítico. No entanto, existem provas de um metamorfismo de pressões variáveis, pois identificam-se paragénese com granadas, estaurolites e distena que se crê estarem associadas a processos de deformação e magmatismo da Orogenia Varisca. Alguns setores da ZCI foram afetados por metamorfismo de contacto associado à instalação de granitóides sin-, tardi- e pós-orogénicos (PEREIRA *et al.*, 1980; TEIXEIRA, 2008).

2.2.2. CARACTERIZAÇÃO DAS LITOLOGIAS

A área estudada envolve um conjunto de litologias que podem ser divididas em quatro grupos diferentes: os depósitos de cobertura; as rochas filonianas; os granitos e as rochas metassedimentares. As litologias da região estão descritas em PIRES & VINTÉNS (1987); DIAS *et al.* (1998); CUNHA & PEREIRA (2000); DIAS (2001); NEIVA & GOMES (2001); NEIVA (2003); GOMES & NEIVA (2005); TEIXEIRA (2008); PINTO *et al.* (2009). Utilizou-se as designações litológicas referenciadas em TEIXEIRA (2008), pois é apresentada, a carta geológica (figura 2.3), do mesmo autor, com as devidas litologias.

2. Caracterização da área estudada

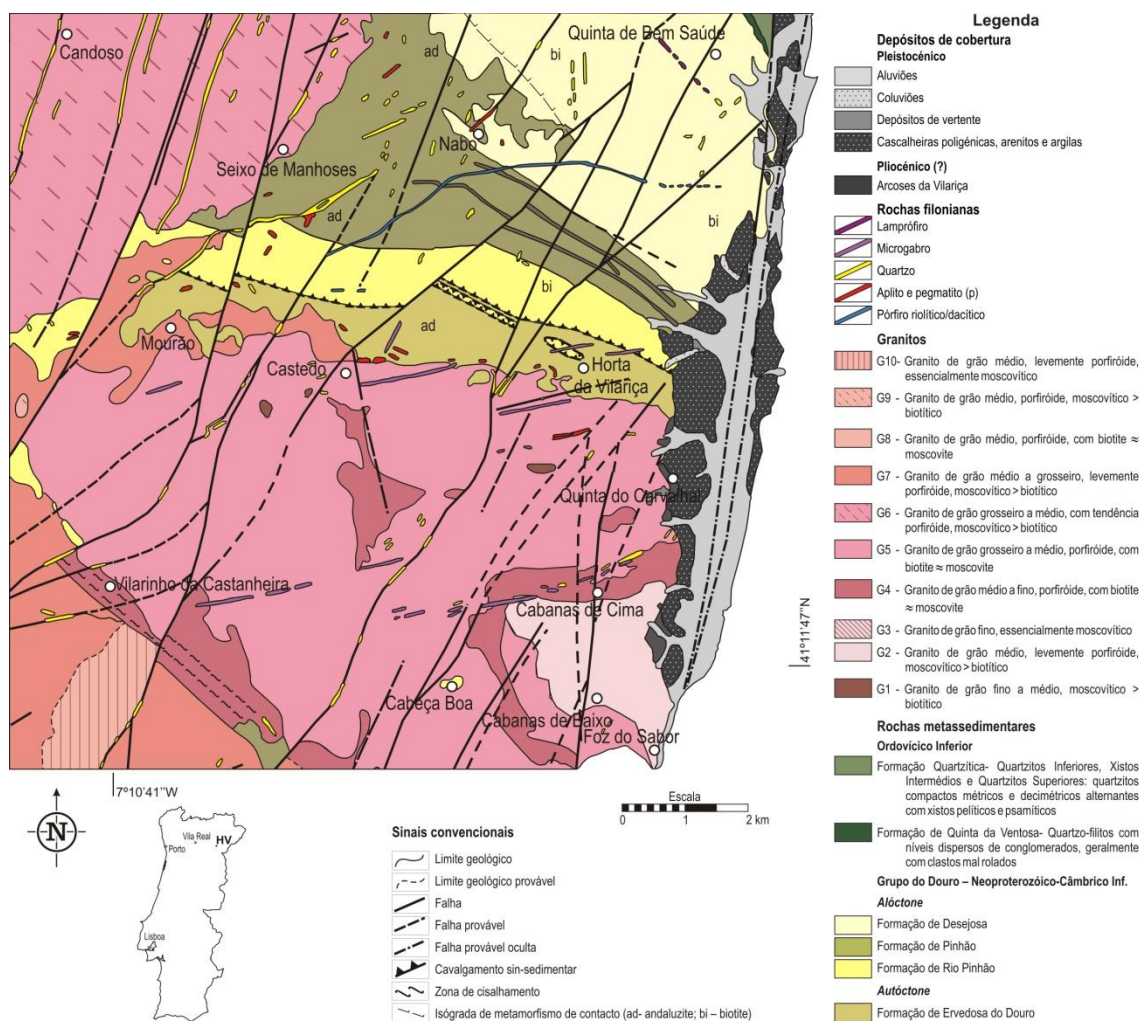


FIGURA 2.3 – LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA E ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO DA REGIÃO ESTUDADA. EXCERTO DA FOLHA 11-C (TORRE DE MONCORVO) DA CARTA GEOLÓGICA DE PORTUGAL, À ESCALA 1:50.000 (ADAPTADO DE TEIXEIRA, 2008).

As rochas metassedimentares pertencem ao Grupo do Douro (unidade metamórfica indiferenciada):

- A Formação de Ervedosa do Douro (Autóctone) apresenta alternância de filitos cloríticos e quartzocloríticos com leitos de metagrauques com magnetite. Os filitos cloríticos e quartzocloríticos apresentam textura lepidoblástica, sendo a associação mineralógica geralmente constituída por: clorite ± quartzo ± moscovite ± biotite ± albite. Como acessórios encontram-se: ± magnetite ± pirite ± turmalina ± ilmenite ± zircão ± apatite ± granada. Os metagrauques e metaquartzograuques têm uma textura granoblástica. Os seus constituintes minerais essenciais são: quartzo ± clorite

± moscovite ± biotite ± albite ± calcite, enquanto os acessórios são: ± zircão ± turmalina ± esfena ± magnetite ± pirite.

b) A Formação do Rio Pinhão (Alóctone) com caráter fundamentalmente metagrauvacóide, embora possa haver alguma alternância com bancadas de filitos de pequena espessura. Intercalados na unidade ocorrem níveis de microconglomerados. Os metagrauvaques apresentam textura detrítica, com clastos de quartzo e plagioclase, matriz quartzofílica e, por vezes, cimento de natureza calcítica.

c) A Formação do Pinhão (Alóctone) apresenta alternância de filitos cloríticos e quartzocloríticos com metaquartzograuvaques e metagrauvaques. Existem níveis impregnados de cristais de magnetite, por vezes acompanhados de pirite. Em termos petrográficos é em tudo idêntica à existente na Formação de Ervedosa do Douro.

d) A Formação de Desejosa (Alóctone) tem alternância de filitos quartzosos e siltíticos com intercalações de metagrauvaques e metaquartzograuvaques, por vezes calcíticos. Os filitos apresentam textura lepidoblástica, sendo a associação mineralógica: clorite ± quartzo ± moscovite ± biotite ± albite ±; como minerais acessórios ocorrem: ± ilmenite ± zircão ± apatite ± turmalina. Nos metagrauvaques e metaquartzograuvaques a textura detrítica apresenta recristalização, com o aparecimento de textura granoblástica. Os constituintes mineralógicos principais são: quartzo ± albite ± clorite ± moscovite ± calcite.

e) A Formação de Quinta Ventosa (Ordovícico inferior) é constituída por quartzofilitos alternantes com níveis dispersos de conglomerados (quartzo, quartzo-pelíticos e de siltitos) e uma matriz quartzo-moscovítica, quartzo-pelítica ou acentuadamente pelítica.

f) A Formação Quartzítica (Ordovícico inferior) é constituída por três membros. O primeiro, dos quartzitos inferiores, formados por uma alternância de quartzitos compactos ou impuros e xistos cinzentos rosados. O segundo membro, de xisto intermédio, caracteriza-se por uma alternância de xistos pelíticos e xistos psamíticos, com intercalações raras de quartzitos. O terceiro membro, dos quartzitos, superiores é formado por quartzitos compactos, alternantes com níveis pelíticos e psamíticos. Este último pode conter importantes depósitos de óxidos de ferro (hematítico e/ou magnetítico).

Os granitos constituem um complexo intrusivo nos metassedimentos do Grupo do Douro. Todos os granitos e a maioria dos encraves microgranulares mais ricos em sílica (SiO_2) projetam-se no campo dos sienigranitos. Na área estudada encontram-se cinco granitos designados por TEIXEIRA (2008) de granitos G7, G5, G4, G2 e G1. Os encraves tonalíticos, presentes no granito G5, têm por designação ET5; os encraves granodioríticos, em G1, têm designação EGD1; este último granito apresenta também encraves de monzogranito, com designação EG1.

- a) O granito G1 é de grão fino a médio, moscovítico > biotítico. Localizam-se na área em estudo duas pequenas manchas, a primeira a cerca de 1,5km a sul da Horta da Vilariça e a segunda a cerca de 0,5 a 1km a SE de Castedo. Este granito apresenta uma estrutura interna que lhe é conferida pela orientação NW-SE da biotite e moscovite. Possui encraves microgranulares (tonalíticos, granodioríticos e de monzogranito), sobremicáceos e xenólitos. Estes últimos apresentam uma associação mineralógica semelhante ao granito hospedeiro, embora sejam mais ricos em biotite (TEIXEIRA, 2008);
- b) O granito G2 é de grão médio, levemente porfiroide, moscovítico > biotítico. O maciço ocorre a este de Cabanas de Baixo e Horta da Vilariça e a NW de Amêdo. Apresenta fenocristais de feldspato mais abundantes na bordadura do maciço do que no seu interior. São também comuns concentrações de turmalina com disposição de roseta. Este granito apresenta meteorização devido à fratura NNE-SSW que o afeta, na proximidade do “graben” da Vilariça. Está praticamente desprovido de encraves (TEIXEIRA, 2008);
- c) O granito G4 é de grão médio a fino, porfiroide, com quantidades idênticas de biotite e moscovite. Este granito surge num maciço semi-elíptico que rodeia parcialmente o granito G2, sendo o contacto estabelecido por falhas. Um segundo maciço ocorre a sul de Castedo, com contornos irregulares. Este granito é bastante heterogéneo no tamanho do grão da matriz e dos fenocristais de feldspato; a quantidade de feldspato também é variável. Apresenta encraves de G1, sobremicáceos e xenólitos. Os primeiros são abundantes, ocorrendo como pequenos agregados biotítico > moscovíticos lenticulares dispersos no granito. Os xenólitos são raros e de formas irregulares que correspondem, provavelmente, a restos do Grupo do Douro que foram intruídos pelo magma e sofreram metamorfismo transformando-se em micaxistos (TEIXEIRA, 2008);

- d) O granito G5 apresenta grão grosseiro a médio, porfiroide, com quantidades idênticas de biotite e moscovite. Surge num maciço de grandes dimensões, alongado segundo WNW-ESE. Tem abundantes fenocristais de feldspato. É possível encontrar encraves microgranulares tonalíticos, que se caracterizam por apresentarem grão fino e pela sua riqueza em biotite que lhe confere uma coloração mais escura que o granito hospedeiro (TEIXEIRA, 2008);
- e) O granito G7 apresenta grão médio a grosseiro, levemente porfiroide, moscovítico > biotítico. Surge a N e NW da aldeia de Castedo. É um granito bastante homogéneo, com uma matriz de grão médio. É frequente encontrar-se pequenas concentrações de turmalina. Apresenta encraves sobremicáceos que ocorrem dispersos sob a forma de pequenos agregados biotíticos > moscovíticos lenticulares. São também visíveis encraves xenolíticos que correspondem a corneanas quartzíticas de cor escura devido à presença de biotite, embora existam também micaxistos (TEIXEIRA, 2008).

De uma forma geral, os minerais presentes nos granitos são: quartzo, plagioclase, feldspato potássico, biotite e moscovite. Os granitos G1, G2 e os encraves monzoníticos apresentam predomínio da moscovite face à biotite; os granitos G4, G5 e G7 apresentam uma coexistência entre a moscovite e a biotite, mas havendo predomínio desta última. Os encraves tonalíticos e granodioríticos apresentam a biotite como mineral característico. Dos encraves para o granito hospedeiro verifica-se um acréscimo em minerais ricos em K e quartzo e um decréscimo de minerais máficos (ricos em Fe, Mg e Ti). Nos granitos a riqueza mineralógica em quartzo e moscovite aumenta de $G1 < G2 < G4 < G5 < G7$, variando inversamente a presença de minerais máficos e da biotite. A albite aumenta de G1 para G4, mas não se verifica a mesma relação de G5 para G7 (TEIXEIRA, 2008).

Em termos mineralógicos o feldspato potássico ocorre como fenocristal e como constituinte da matriz em todos os granitos e encraves, excetuando em G1 e ET5 em que surgem apenas na matriz. Neste mineral ocorre um decréscimo de BaO desde G2 até G7 que poderá ser explicado por um processo de cristalização fracionada. Nos encraves o teor de BaO do feldspato é superior ao do granito hospedeiro. Os feldspatos incorporam P na sua estrutura cristalina sob a forma de P_2O_5 . O P mostra afinidade pelo alumínio, sendo, segundo LONDON *et al.* (1990), a sua incorporação na estrutura dos feldspatos, feita de acordo com a seguinte substituição: $Al^{3+} + P^{5+} = 2 Si^{4+}$. A disponibilidade de alumínio no magma favorece este

processo, pelo que às rochas mais peraluminosas, e aos seus feldspatos, corresponde um maior teor de P_2O_5 (PICHAVANT *et al.*, 1992; WOLF & LONDON, 1994).

Em termos químicos os feldspatos são constituídos pelos elementos: $K_2O > Na_2O > CaO > Ba > Rb > Sr > Pb > Cs$ (TEIXEIRA, 2008).

A plagioclase é o principal mineral dos encraves microgranulares. Nos granitos e em encraves da região varia de albite a oligoclase. No enclave EGD1 a plagioclase é mais anortítica, com composição que varia de oligoclase e andesina. Quimicamente a plagioclase apresenta a seguinte constituição: $Na_2O > CaO > K_2O > Sr > Rb > Ba > Pb > Cs$ (TEIXEIRA, 2008).

A biotite dos granitos e encraves é maioritariamente biotite ferrífera com uma relação entre Mg:Fe inferior à unidade. Nos granitos G2 e G3 a biotite coexiste com a moscovite. Enquanto que em ET5 e EGD1 a biotite não acompanha os outros minerais ferromagnesianos. Nos restantes granitos e em EG1 a biotite pode ou não coexistir com a moscovite. A biotite em G2 é típica de rochas magmáticas ao contrário das dos restantes granitos e encraves, que é biotite de rochas de origem metamórfico-metassomática (rochas magmáticas pouco evoluídas), pois é mais rica em MgO. Quimicamente a biotite pode conter os seguintes elementos: $Al > Fe^{2+} > Mn > F > Nb > Zn > Sn > Rb > Ta > W > Li > Mg > K > Cs > Fe_2O_3$ (TEIXEIRA, 2008).

Nos granitos G2, G5 e G7 ocorre uma diminuição de Fe^{2+} , F, Zn e Rb na moscovite. Em EG1 a moscovite apresenta valores de F superiores à moscovite do granito hospedeiro. Em G1, G2, G5 e G7 ocorre uma diminuição dos elementos químicos da moscovite: Li, Nb, Sn, Cs, Ta, W e Rb e um aumento em Ti e Mg. A moscovite de G1 e G4 são independentes quimicamente entre elas e entre os restantes granitos. A moscovite também surge por alteração química das plagioclases e microclina, sendo por isso designada de moscovite secundária. Esta última é mais rica em Si e mais pobre em Ti do que a moscovite primária (TEIXEIRA, 2008).

A ilmenite foi encontrada em todos os granitos e encraves. Quimicamente é constituída essencialmente por: $Ti > Fe > Mn > Si > Cr > Al > V > Mg > Na > K > Ca$. Em ET5 a ilmenite apresenta valores de Fe^{2+} superiores e de Mn e $Mn/(Mn + Fe^{2+})$ inferiores aos da ilmenite do seu granito hospedeiro (TEIXEIRA, 2008).

A monazite é um mineral rico em Th e, em menor escala, em U. O Pb radiogénico resulta do decaimento dos elementos anteriores. A monazite dos granitos apresenta pontualmente concentrações de U, Th e Pb (TEIXEIRA, 2008).

Quanto ao grupo das rochas filonianas destacam-se na área estudada:

- a) Os aplitos e pegmatitos pouco deformados, são subverticais. Localizam-se próximo dos contactos entre granitos e metassedimentos. Alguns destes filões contêm mineralizações de Sn (SILVA *et al.*, 1989), e nas imediações da Horta da Vilariça, também se relacionam com a ocorrência de U (PIRES & VINTÉM, 1987; BOLLE *et al.*, 1988a, 1988b). Os aplitos têm composição granítica albitica, moscovítica, com granadas (série almandina-espessartina) alteradas. Estes últimos estão associados aos pegmatitos, mais grosseiros, também de composição granítica mas mais rica em quartzo, com plagioclase (oligoclase) um pouco mais cálcica, moscovite e biotite cloritizada. Apresentam uma composição acessória de: caulinite ± raros feldspatos K ± minerais opacos (pirites ± uranite ± calcopirite ± pecheblenda ± rútilo? ± torianite?) ± apatite ± andaluzite? ± secundários de urânio ± alterações na granada (PIRES & VINTÉM, 1987);
- b) O quartzo ocorre a intruir metassedimentos do Grupo do Douro e, sobretudo, granitos, embora surjam também no contacto entre os granitos. São portadores de cassiterite, volframite, scheelite e arsenopirite (SILVA *et al.*, 1989);
- c) Os microgabros intruíram rochas metassedimentares do grupo do Douro e os granitos (TEIXEIRA, 2008).

Segundo CUNHA & PEREIRA (2000), na região da Horta da Vilariça identificam-se unidades litostratigráficas cujos limites são descontinuidades sedimentares regionais. Distinguindo-se:

- a) Arcoses da Vilariça (Eocénico médio a Oligocénico ?): unidade areno-conglomerática, heterométrica, de cor esbranquiçada ou cinzento-esverdeada, moderadamente consolidada e de composição quartzo-feldspática. Assenta sobre um extenso aplanamento do soco hercínico. São depósitos fluviais muito imaturos, refletindo em grande parte o escasso transporte a partir das áreas alimentadoras; provavelmente existiriam localmente pequenas depressões, com deficiente drenagem regional para a Bacia terciária do Douro;

- b) Formação de Quintãs (Miocénico terminal – Zancleano): são conglomerados muito mal calibrados, às vezes com lenticulas arenosas intercaladas, constituídos por clastos de natureza metassedimentar ou localmente rica em clastos graníticos de quartzo. Tratam-se de depósitos aluviais, essencialmente dispostos ao longo do sopé do bloco tectónico ocidental soerguido e também coevos de importantes movimentações tectónicas em regiões adjacentes de Portugal continental;
- c) Formação de Sampaio (Gelasiano – Plistocénico inferior ?): são depósitos torrenciais (coloração vermelha) que já se inserem na dissecação fluvial das bacias ternárias. São contemporâneos com grande rejogo cavalgante dos bordos oriental e ocidental das depressões;
- d) Depósitos de terraço no Pocinho (Plistocénico médio ?): testemunham fases de estabilidade no processo de vigoroso encaixe do rio Douro;
- e) Depósitos de baixo terraço (Plistocénico superior ?) das ribeiras presentes na área. De cor esbranquiçada, apresentam textura de suporte clástico e blocos rolados de granito que chegam a exceder 1m de dimensão;
- f) Planícies aluviais e coluviões (Holocénico): traduzem as contribuições dos afluentes que drenam transversalmente. Os sedimentos, com composição variada, apresentam-se pouco alterados. Os coluviões muito soltos, de cor castanha e constituídos por calhaus de filito e quartzo filoniano anguloso, envolvidos por uma matriz argilo-siltosa.

2.3. DEPÓSITOS E MINERALIZAÇÕES DE URÂNIO

Em Portugal Continental existem jazigos uraníferos, localizados em três regiões geográficas: Trás-os-Montes, Beiras e Alto Alentejo. O nível de prospeção pode considerar-se elevado na área das Beiras, médio na do Alto Alentejo e baixo na área de Trás-os-Montes (DIAS & MARQUES, 1980b). Os jazigos de urânio portugueses são, de modo geral, de pequenas dimensões e com uma dispersão espacial elevada (DIAS & MARQUES, 1980a).

Os depósitos uraníferos localizam-se na Meseta. São na sua maioria de tipo discordante, com exceção de um pequeno depósito concordante, associado a uma reduzida

bacia arcósico-argilosa Terciária (Urgeiriça). Espacialmente é possível definir uma correlação entre os depósitos uraníferos e os granitos hercínicos, em especial de incidência pós-tectónica (DIAS & MARQUES, 1980a).

No norte de Portugal, há granitos uraníferos, designados por γ_3^I na Carta Geológica de Portugal 1:500.000, e que ocupam grandes afloramentos em antiformas hercínicas (COTELO NEIVA, 2003).

Segundo COTELO NEIVA (2003), em Portugal é possível definir tipos de jazidas de minérios de urânio, nomeadamente:

- a) Filões de quartzo;
- b) Filões de quartzo-jaspe e/ou calcedónia;
- c) “Stockworks” e disseminações em xistos e granitos;
- d) Brechas filonianas, graníticas ou xistentas, quartzo-jaspóides;
- e) Brechas filonianas, graníticas ou xistentas, quartzo-limoníticas;
- f) Vénulas de pecheblenda e fluorite;
- g) Impregnações secundárias;
- h) Depósitos lacustres.

Na zona de endometamorfismo de contacto de metassedimentos do Câmbrio, às vezes do Ordovícico e mais raramente do Silúrico, com os granitos, que no geral não excede os 2km, e onde ocorrem corneanas e xistos mosqueados, muito dobrados, por vezes com isoclinais, há alguns filões de quartzo paralelos ao contacto e, entre eles, numerosas vénulas lenticulares anastomosadas de quartzo leitoso e fumado, a que, com frequência se associam jaspe e/ou calcedónia. Forma-se assim uma rede de tipo “stockwork”, que na Horta da Vilariça tem orientação geral WNW-ESE (COTELO NEIVA, 2003).

Nas áreas onde há “stockwork”, como na Horta da Vilariça, há importante disseminação de minerais supergénicos uraníferos, como neopecheblenda pulverulenta, fosfatos (autunite, torbernite, uranocircite, saleeite, sabugalite e fosfuranilite), silicatos (uranófana α e β), sulfatos (uranopilite e zipéite), arseniats (zeunerite, uranospinite, novacequite) e outros (PIRES & VINTÉM, 1987; COTELO NEIVA, 2003). São minerais a que a alteração da pecheblenda deu origem; e formaram-se na zona de oxidação e hidratação desta e de todos os outros tipos de jazigos uraníferos. Ocupam a zona de oxidação e a de variação do nível hidrostático, podendo atingir profundidade deveras apreciável, mais importante ainda se a morfologia e a tectónica regional o possibilitarem, como parece acontecer quando há

“stockwoks”, e esses minerais forem disseminados nas fraturas e poros das rochas xistentas e graníticas, que as águas superficiais invadem (COTELO NEIVA, 2003).

Na região da Vilariça, principalmente entre Eiras da Horta e Horta da Vilariça, no contacto entre rochas xistentas do Câmbrio e o granito hercínico γ_3^I , corresponde ao granito G5 descrito em Teixeira (2008), há filões de quartzo leitoso e fumado com minerais secundários de urânio (COTELO NEIVA, 2003).

2.4. CARACTERIZAÇÃO DO CLIMA REGIONAL

Para caracterizar o clima da região serviu de principal fonte a base de dados “on-line” do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH) (<http://snirh.pt>). Procuraram-se dados de, pelo menos, três estações meteorológicas próximas da Horta da Vilariça, que registassem valores de precipitação atmosférica anual e de temperatura, durante um período de tempo de cerca de 30 anos. Apesar de existirem algumas estações passíveis de estudar, apenas duas registavam os parâmetros de precipitação atmosférica anual e de temperatura, nomeadamente as estações meteorológicas da Junqueira (Douro) e de Folgares; a primeira apenas apresenta registos correspondentes aos anos de 1981 a 2004 com alguns registos anuais em falta; a segunda apresenta registos de precipitação atmosférica anual de 1974 a 2007 e de temperatura desde 1975 a 2010, também com falhas anuais e mensais nos registos.

A precipitação atmosférica anual nas duas estações está representada no gráfico da figura 2.4. Em ambas as estações o ano de menor pluviosidade foi registado em 2004; para a estação da Junqueira o valor máximo registado foi em 1995 e para Folgares foi em 2001.

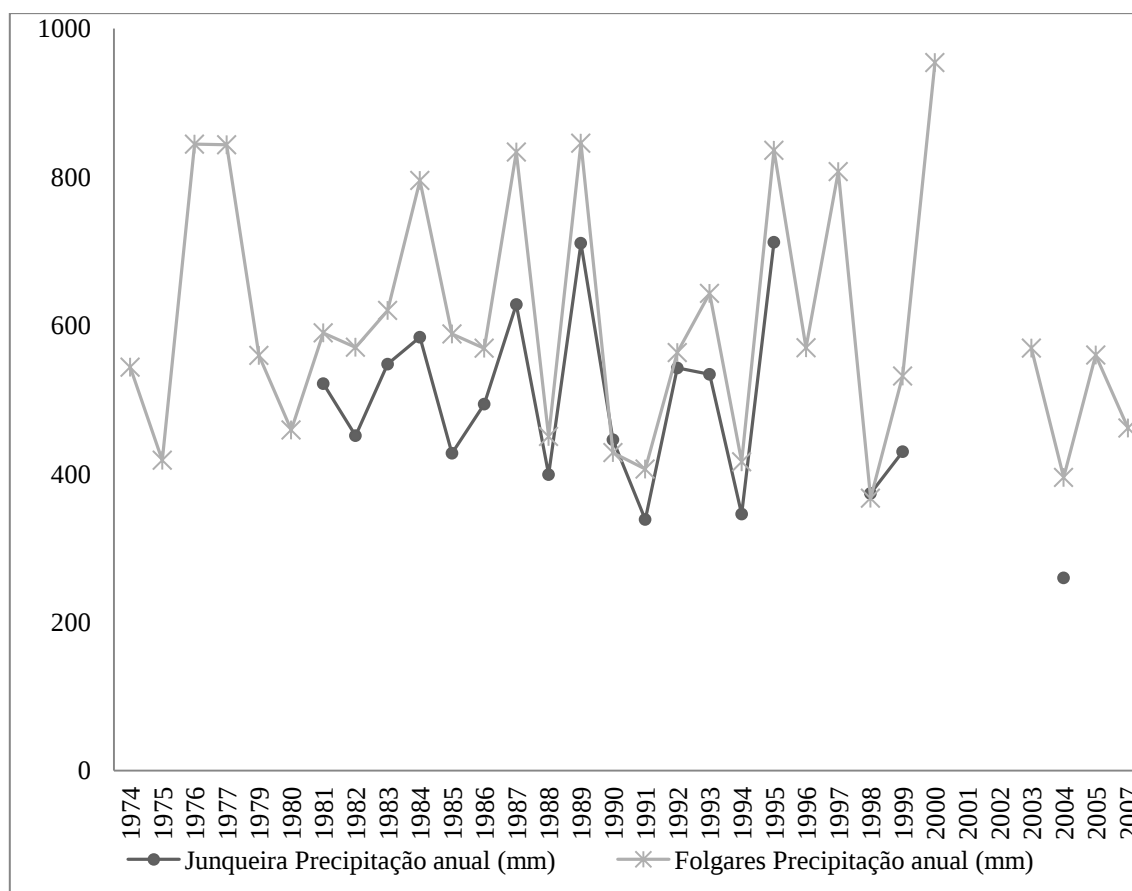


FIGURA 2.4 – VALORES MENSAIS DE PRECIPITAÇÃO NAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS DA JUNQUEIRA E FOLGARES ([HTTP://SNIRH.PT](http://snirh.pt)).

Quanto à temperatura, as estações registam valores mensais expressos nos gráficos 1 e 2 da figura 2.5. Verificam-se temperaturas elevadas nos meses de verão (junho, julho, agosto e setembro), ao inverso dos meses de inverno (novembro, dezembro, janeiro, fevereiro), e temperaturas intermédias e variáveis nos restantes meses; com evidência de um decréscimo da temperatura nos meses de outono, em contraste com o aumento das temperaturas nos meses primaveris.

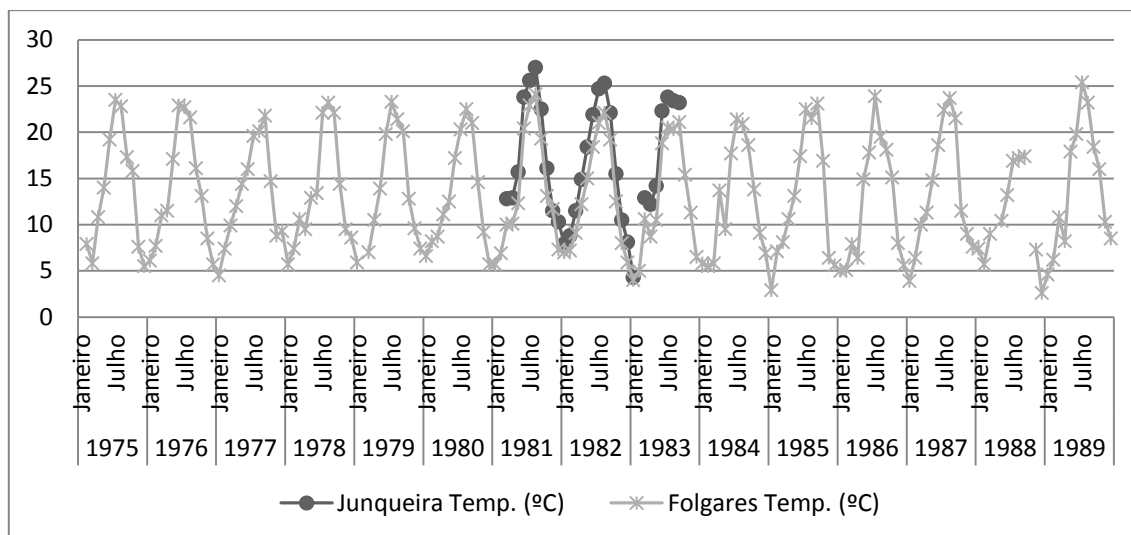


Gráfico 1

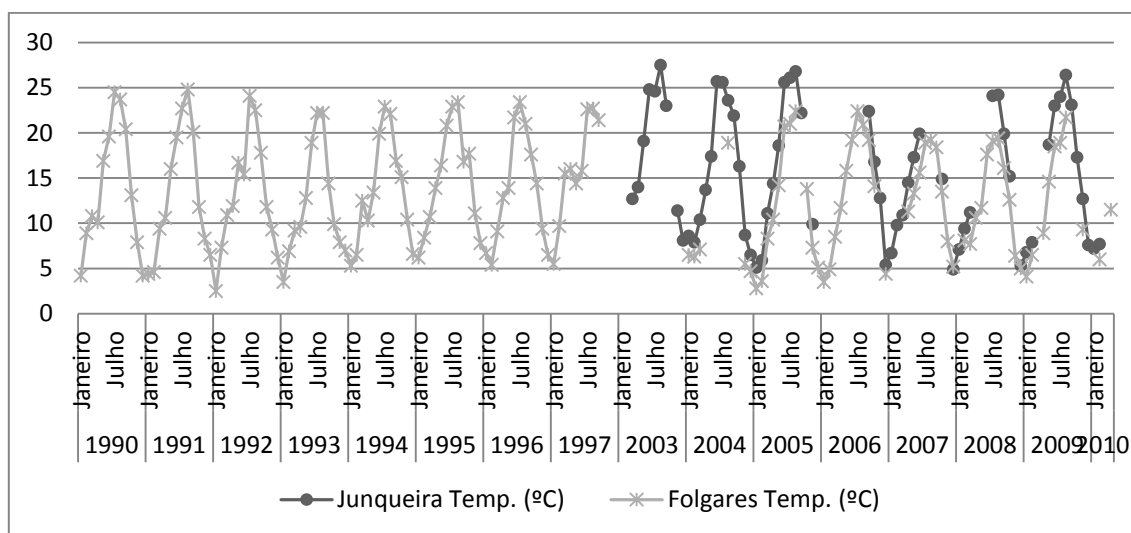
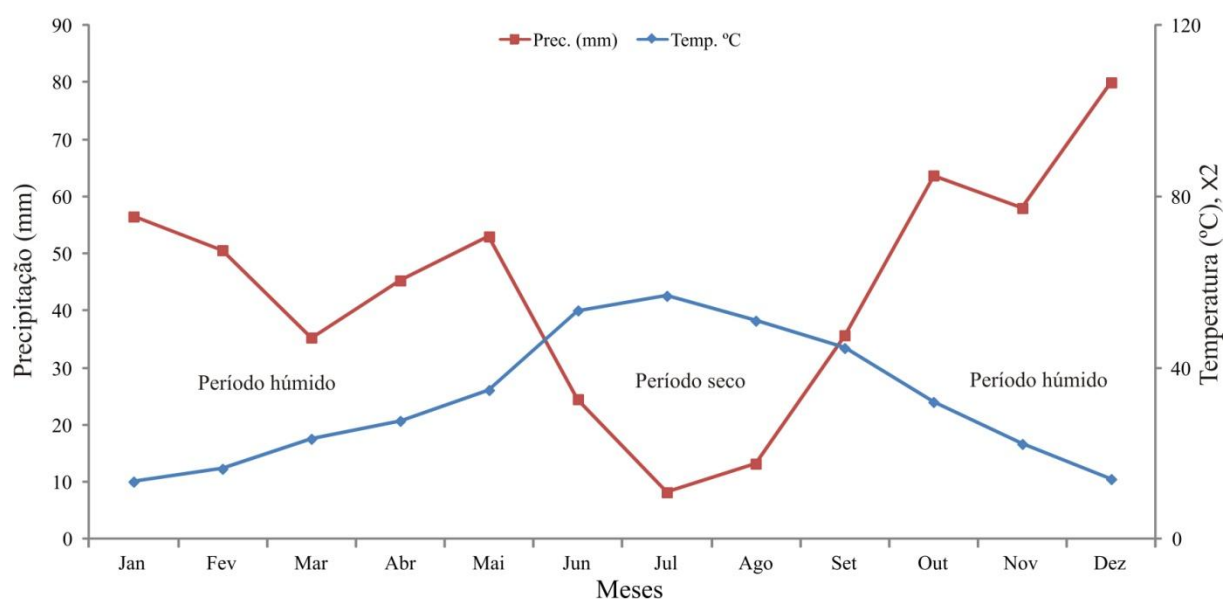


Gráfico 2

FIGURA 2.5 – VALORES MENSAIS DE TEMPERATURA NAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS DA JUNQUEIRA E FOLGARES ([HTTP://SNIRH.PT](http://snirh.pt)).

Na figura 2.6 apresentam-se os diagramas termopluiométricos de Gaussen, tendo por base a projeção das médias mensais de precipitação atmosférica e temperatura correspondentes ao período de tempo supra citado para as duas estações meteorológicas. Esta classificação considera os valores de precipitação atmosférica e da temperatura do ar para definição do período seco, que ocorrerá quando a precipitação atmosférica (mm) for inferior ao dobro da temperatura do ar (°C) (GAUSSEN *in* PÉGUI, 1970).

Estação meteorológica da Junqueira (Douro)



Estação meteorológica de Folgares

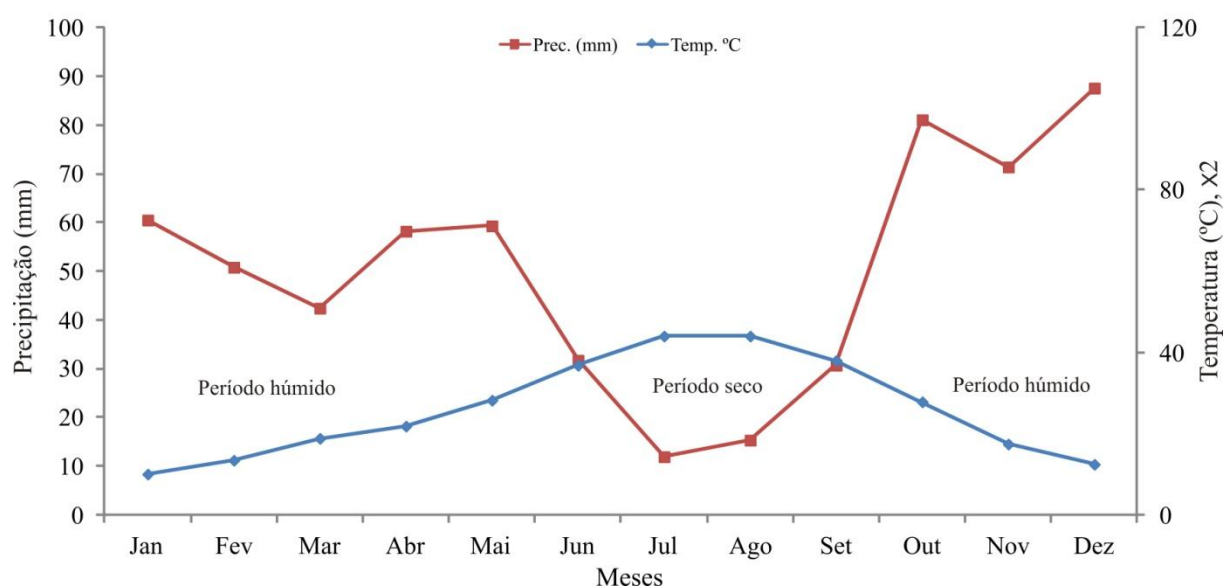


FIGURA 2.6 - DIAGRAMAS TERMOPLUVIOMÉTRICOS DE GAUSSEN PARA AS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS DA JUNQUEIRA E FOLGARES.

Na figura 2.7 apresentam-se os hidrotermogramas de Strahler para os dados recolhidos nas mesmas estações meteorológicas. Estes diagramas, consistem numa representação gráfica em que um sistema de eixos de coordenadas temperatura/precipitação atmosférica estabelece quatro domínios distintos, tendo como limite frio/quente o valor de 18°C de temperatura do ar, e seco/chuvoso o valor de 40mm de precipitação atmosférica

(STRAHLER, 1981). Destacam-se, assim os domínios seguintes: chuvoso frio, chuvoso quente, seco frio e seco quente.

A região delimitada pelas duas estações meteorológicas, que abrange a área estudada, apresenta dois períodos com características climáticas diferentes e um terceiro com características transitórias. Os períodos que correspondem aos meses de janeiro a maio e setembro a dezembro têm tipologia húmida, ao inverso dos meses de julho e agosto fundamentalmente secos. Os meses de maio e junho não são concordantes nas duas estações meteorológicas, pois são meses com oscilações de precipitação atmosférica ao longo dos diferentes anos; são meses que se apresentam secos em determinados anos e húmidos noutros.

Os meses chuvosos e frios correspondem, em ambas as estações meteorológicas, aos meses de janeiro e fevereiro, assim como de novembro a dezembro; os meses secos e quentes correspondem aos meses de julho e agosto. Os meses de março, maio, junho, setembro e outubro apresentam variações anuais de precipitação atmosférica e temperatura. Sendo assim, os meses de maio e outubro têm uma tendência para o domínio chuvoso quente; março, junho e setembro têm uma tendência para um domínio seco frio. Estes últimos meses são meses típicos de transição primavera/verão e verão/outono.

Pode afirmar-se que a região tem um clima mediterrânico. São evidentes quatro estações do ano (inverno, primavera, verão e outono), com as suas variações sazonais típicas. Elevada pluviosidade e temperaturas baixas nos meses de inverno (dezembro a fevereiro), e inversamente nos meses de verão (junho a agosto); nas estações do ano intermédias apresentam-se valores oscilatórios dos parâmetros de temperatura e precipitação atmosférica.

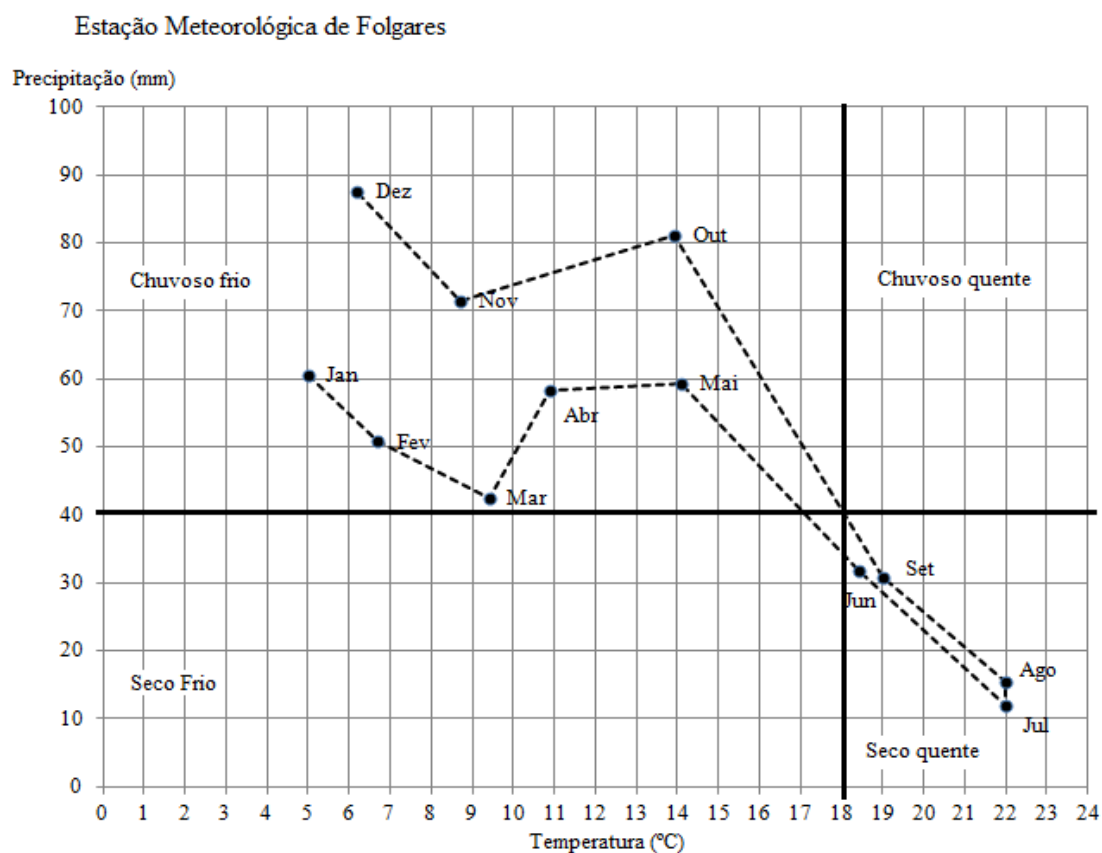
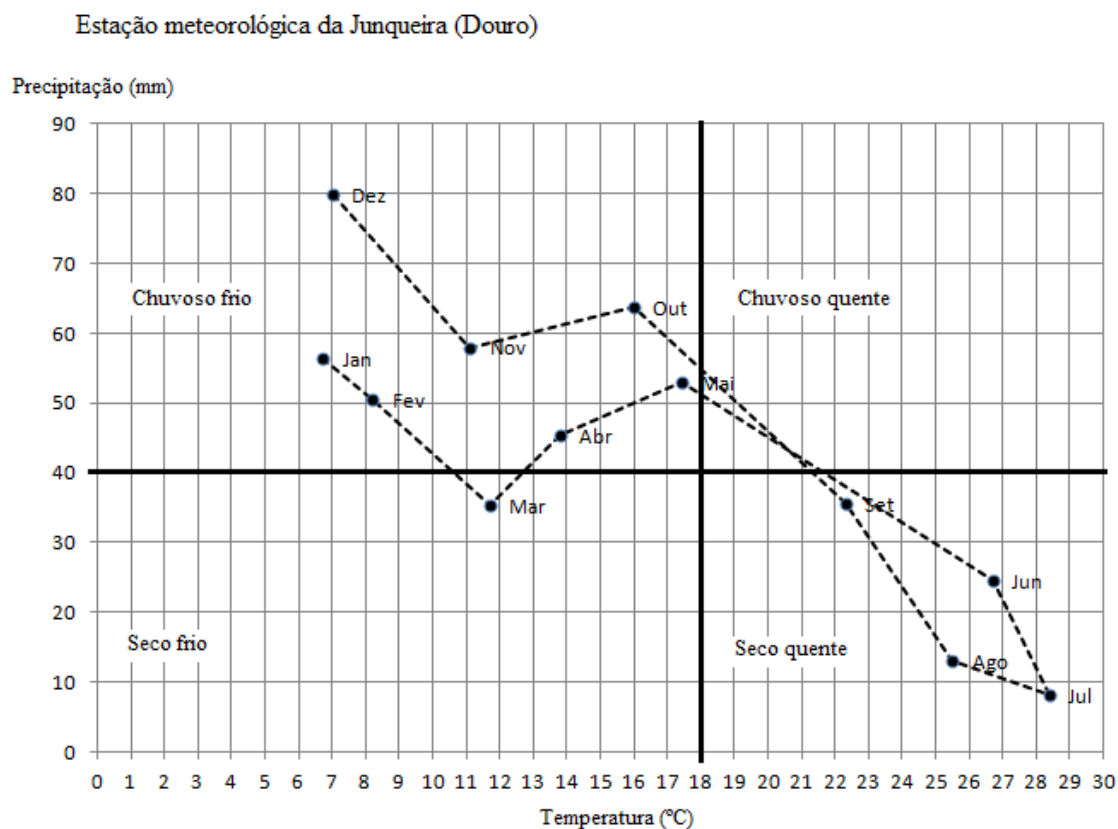


FIGURA 2.7 – HIDROTERMOGRAMAS DE STRAHLER, PARA AS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS DA JUNQUEIRA (DOURO) E FOLGARES.

2.5. SOLOS

O conhecimento do solo em termos pedológicos tem um papel importante, uma vez que todas as atividades humanas assentam sobre esta superfície sólida. Deste modo, é essencial o seu estudo para fundamentar determinadas opções de usos e funções, sejam ao nível agrícola/florestal, como na regulação dos ecossistemas. Conhecendo as propriedades dos solos e relacionando-as com as características do meio, podem-se definir áreas com diferentes capacidades de uso, que estão relacionadas com a disponibilidade de nutrientes, relevo, profundidade, drenagem, pedregosidade, entre outras.

De forma a caracterizar o solo em termos pedológicos utilizou-se a folha n.º 11 da Carta dos Solos do Nordeste de Portugal, à escala 1:100.000, da autoria de Agroconsultores /Coba (1991) (figura 2.8) e a análise do Plano Regional do Ordenamento Florestal do Nordeste Transmontano (COMISSÃO DE COORDENAÇÃO E DESENVOLVIMENTO REGIONAL DO NORTE, 2006). De acordo com estes documentos, define-se como unidade pedológica principal os leptossolos. Estes caracterizam-se pelas suas limitações em profundidade (50cm a partir da superfície), por rocha dura e contínua, desfavoráveis na disponibilidade de água e nutrientes para as plantas.

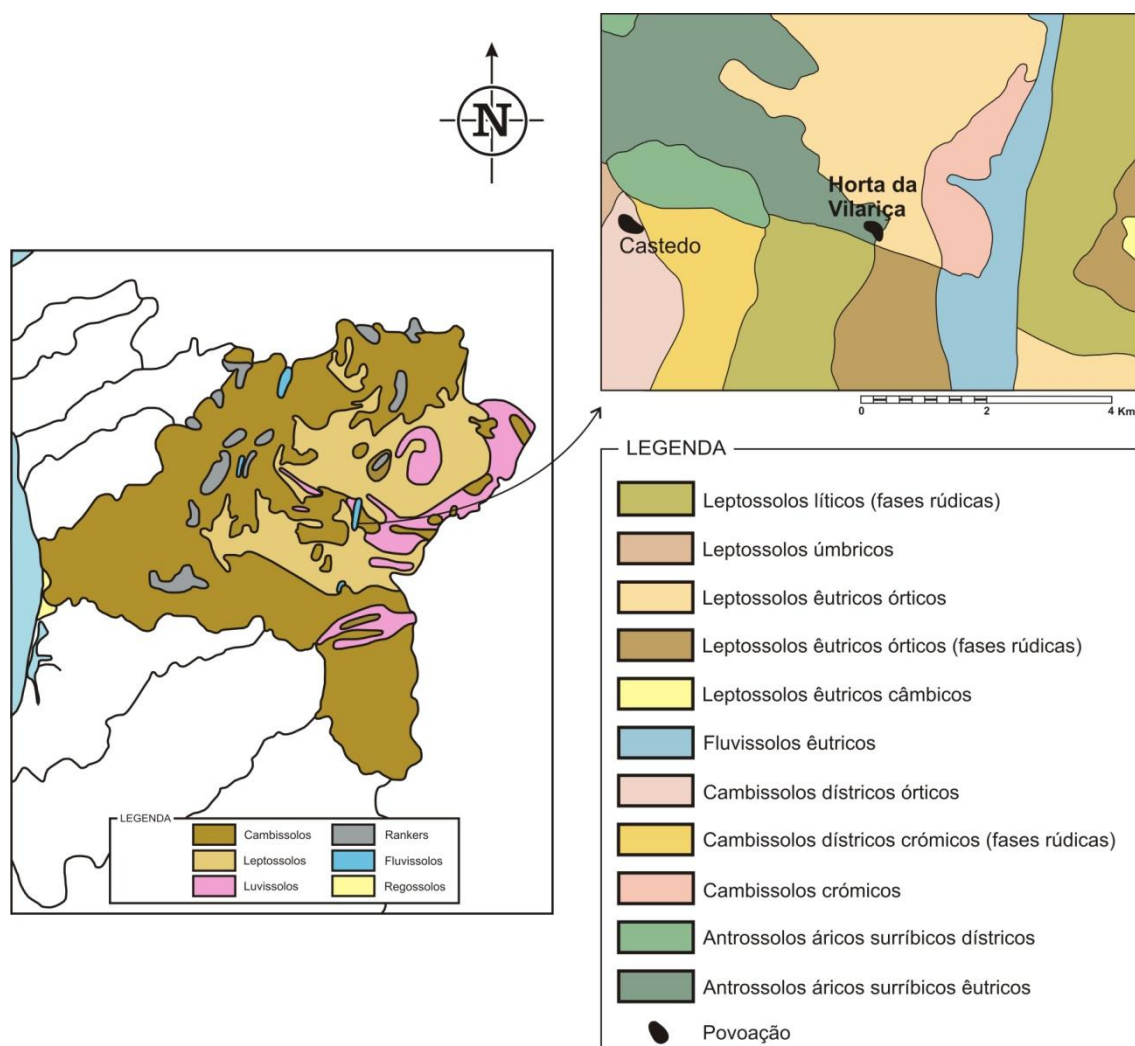


FIGURA 2.8 – EXCERTO DA FOLHA N.º 11 DA CARTA DOS SOLOS DO NORDESTE DE PORTUGAL, À ESCALA 1:100.000 (AGROCONSULTORES/COBA, 1991).

A região estudada apresenta também outras unidades pedológicas importantes, destacando-se os cambissolos, os fluvissolos e os antrossolos. Os primeiros correspondem a solos pouco evoluídos, de rochas não calcárias, e na sua maioria assentam sobre estratos graníticos. Os segundos são solos incipientes, em que a acumulação em matéria orgânica à superfície nunca é muito grande, devido ao bom arejamento da camada que promove uma rápida mineralização. Por último, os antrossolos são aqueles que sofreram modificações decorrentes das ações humanas; na sua maioria assentam sobre rochas metassedimentares características da região estudada; localizam-se preferencialmente junto às margens de ribeiras.

2.6. COBERTURA VEGETAL E UTILIZAÇÃO DO SOLO

A área estudada centra-se na Horta da Vilariça onde se localizam duas bacias hidrográficas importantes, a ribeira da Vilariça e a ribeira Grande, ambas afluentes do rio Sabor. A área e as linhas de água referenciadas pertencem à Área de Reserva Agrícola Nacional e à Área Ecológica Nacional.

A caracterização vegetal e uso do solo foi baseada no PROT-NORTE (2009).

A cobertura vegetal do solo da região pode dividir-se em dois grupos: cobertura vegetal agrícola e cobertura vegetal florestal.

A estrutura agrícola é minifundiária, alternando as parcelas agrícolas com a dispersão de zonas florestais. As parcelas agrícolas, devido à reestruturação da propriedade rústica, têm vindo a aumentar a dimensão média das explorações, reduzindo a fragmentação das propriedades e aumentando a área média de exploração, como é visível no Vale da Vilariça, onde está incluída a aldeia da Horta da Vilariça.

Nas terras aráveis da Horta da Vilariça predominam três tipos de culturas: as temporárias ou sazonais; as permanentes e as pastagens e forragens.

No que respeita às culturas temporárias, as hortícolas são as mais marcantes (couve, alface, tomate, abóbora, entre outras) e frutícolas (melão, melancia, morangos, entre outras); seguindo-se a produção de trigo e centeio e algum milho.

Como culturas permanentes temos olival, vinha (fotografia 2.1), árvores de fruto secos (amendoeira e a noqueira) e as árvores de frutos como sejam as cerejeiras, os pessegueiros, as pereiras, as laranjeiras e os limoeiros, entre outras.



FOTOGRAFIA 2.1 - OCUPAÇÃO DO SOLO, ESSENCIALMENTE OLIVAL E VINHA (PAISAGEM AGRÍCOLA DA REGIÃO).

Os espaços florestais compreendem formações arbóreas e matos ou incultos. As espécies arbóreas mais frequentes são o pinheiro bravo e o eucalipto. São visíveis, em menor quantidade, outras resinosas, o castanheiro e as folhosas diversas (o sobreiro, a azinheira e o carvalho).

Os povoamentos vegetais assumem maior expressão nos níveis basal e sub-montano, enquanto as áreas de matos, os povoamentos de folhosas e os meios naturais, com caráter mais disperso, predominam acima dos 700m de altitude.

Na atividade pecuária destacam-se os rebanhos de ovinos e caprinos, que se alimentam das pastagens e forragens locais.

As zonas habitacionais são tipicamente de construções rústicas e apresentam uma baixa percentagem da ocupação do solo na área estudada; destacando-se as localidades da Horta da Vilariça e Vide.

A zona é abrangida pelo regadio associado ao Empreendimento Hidroagrícola do Vale da Vilariça (fotografias 2.2).



FOTOGRAFIAS 2.2 - EMPREENDIMENTO HIDROAGRÍCOLA DA REGIÃO.

2.7. PROBLEMÁTICA AMBIENTAL DOS JAZIGOS DE URÂNIO

Os processos de degradação do solo constituem um problema a nível mundial e com consequências ambientais, sociais e económicas locais graves. A contaminação associada a fontes confinadas e pontuais, como sejam os filões geológicos altamente mineralizados, pode representar riscos regionais.

Apesar de a região estudada nunca ter sido alvo de exploração mineira, a existência de filões mineralizados, ricos em minerais secundários de urânio, requer alguma atenção no que respeita a estudos ambientais. É frequente ocorrer dispersão de contaminantes químicos e radiológicos, para as águas superficiais ou subterrâneas e para os solos das áreas envolventes, que apresentam uma ocupação essencialmente agrícola.

A importância do urânio no ambiente, prende-se com o facto de que a exposição ao elemento pode criar efeitos biológicos que resultam da sua toxicidade química e/ou radiológica. Além disso, a transferência de urânio, do solo para o Homem através da alimentação (vegetal e animal), constitui uma via de exposição interna preocupante. O principal alvo radiológico é sem dúvida a massa óssea, e o alvo químico preferencial são os rins (NEVES *et al.*, 2009). Em 1998, a Organização Mundial de Saúde propôs como limite tolerável diário de ingestão de urânio pelo Homem, o valor de 0,6 µg/kg de peso corporal ou um limite anual de 15,3 mg (DIEHL, 2003). A mesma organização avalia que a quantidade de urânio permitido na água não deve ultrapassar os 15 µg/l (SCHÖNER *et al.*, 2009).

A forma mais tóxica do urânio é predominantemente o ião hexavalente de urânio UO_2^{2+} (aq.), pois reage com muita facilidade com o oxigénio e assemelha-se ao Ca^{2+} e Mg^{2+} , substituindo estes elementos com facilidade. O UO_2^{2+} (aq.) tem uma forte afinidade com os fosfatos, açúcares, grupo álcool, nucleótidos, polinucleótidos causando, como é notório, danos e alterações graves no DNA. O urânio produz um incremento na produção de espécies reativas de oxigénio (ROS) nos seres vivos e, como resposta, estes produzem antioxidantes (SCHÖNER *et al.*, 2009; SRIVASTAVA *et al.*, 2010).

Para obter dados sobre o efeito potencial da contaminação do solo ou água por um elemento químico é necessário identificar e quantificar as formas ou fases, denominadas fases-suporte, às quais o elemento se encontra associado. Consoante essas formas ou fases, assim o elemento se encontra disponível para o organismo ou para migrar para as águas. O estudo das fases-suporte é uma mais-valia em termos de avaliação ambiental e a sua importância prende-se com o facto de que a associação dos elementos, a fases dotadas de menor estabilidade química, lhes pode conferir uma certa perigosidade. Quando o elemento forma complexos de esfera externa com as fases sólidas pode, através de equilíbrios químicos estabelecidos entre a fase sólida e a solução do solo, assumir formas solúveis em água e ser facilmente absorvido pelos organismos vivos ou migrar para as águas subterrâneas (NEVES *et al.*, 2009).

O urânio encontra-se naturalmente em meio aquático e terrestre. A concentração de urânio na crosta terrestre ronda os 1 a 4 mg/kg nas rochas sedimentares e mais de 100 mg/kg em depósitos fosfatados presentes nas rochas. O urânio apresenta várias formas oxidativas; as geologicamente mais conhecidas e importantes são +4 e +6 (SRIVASTAVA *et al.*, 2010). O urânio no ambiente pode ser encontrado dissolvido, em suspensão ou retido nos sedimentos. O U(VI) complexa preferencialmente com carbonatos, fosfatos e iões sulfatos assim como a quelantes orgânicos. Na fase U(VI), os mais importantes compostos inorgânicos adsorvidos são os óxidos de ferro, como a goetite (α -FeOOH) e hidratos de ferro ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$) (SCHÖNER *et al.*, 2009).

No ambiente superficial, a mobilidade e dispersão do urânio é controlada pelo seu estado de oxidação, pela tendência para formar complexos ou ser adsorvido pela matéria orgânica, minerais argilosos e óxidos-hidróxidos de Fe e Mn. Nos solos, a especiação do urânio está relacionada com as suas propriedades, em especial o pH. Em condições ácidas ($\text{pH} < 5$) e oxidantes, predomina (80-90%) sob a forma de ião uranilo (UO_2^{2+}), enquanto sob condições próximas da neutralidade encontra-se, normalmente, complexado com vários ligandos, assumindo as seguintes espécies solúveis: UO_2OH^+ , $(\text{UO}_2)(\text{OH}_2)^{2+}$ e $\text{UO}_2(\text{HPO}_4)_2^{2-}$. Para pH mais elevado predominam vários complexos carbonatados muito solúveis, nomeadamente $\text{UO}_2(\text{CO}_3)_2^{2-}$, $\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3^{4-}$ (NEVES *et al.*, 2009; SCHÖNER *et al.*, 2009).

Em ambientes aquáticos de pH ácido ($\text{pH} < 4$), o U(VI) surge predominantemente sobre a forma de ião uranilo (UO_2^{2+}); sob condições próximas da neutralidade ($\text{pH} = 7$) apresenta uma elevada facilidade em precipitar; para um intervalo de $4 < \text{pH} < 7$, o U(VI) surge sobre a forma de iões hidrolisados, tais como UO_2OH^+ , $(\text{UO}_2)_2(\text{OH})_2^{2+}$ e $(\text{UO}_2)_3(\text{OH})_5^+$ (WANG *et al.*, 2010).

No contexto geológico da região estudada, está reconhecido um importante jazigo de urânio, onde foram realizados estudos de prospeção geológica (PIRES & VINTÉM, 1987; BOLLE *et al.*, 1988a, 1988b), e admite-se que o mesmo possa transferir quantidades muito significativas de radionuclídeos, integrados na cadeia de decaimento daquele elemento radioativo, para as águas de circulação profunda. As atividades dos isótopos de U, do gás radão e, localmente, do ^{226}Ra são particularmente elevadas, atingindo, em especial o U, valores verdadeiramente excepcionais para águas que circulam em rochas graníticas e metassedimentares integradas no Maciço Hespérico (PEREIRA *et al.*, 2010).

3. METODOLOGIA

O trabalho tem essencialmente duas etapas fundamentais. Uma primeira, anteriormente designada como abordagem científico-tecnológica, que envolve um conjunto de tarefas de campo e em laboratório, da qual resultaram: informações geográficas; recolha de material para posterior análise laboratorial e construções de ensaios de fitofiltração em laboratório. Uma segunda etapa, designada desde o início de científico-pedagógica, de elaboração de modelos a partir dos resultados obtidos da primeira etapa, e a sua posterior aplicação ambiental e educacional.

A fim de proceder à organização das metodologias nesta dissertação e permitir a clarificação de todos os procedimentos desenvolvidos ao longo das duas etapas supra citadas, enumeram-se, de forma sucinta, os paços desenvolvidos:

- 1- trabalho de campo que envolveu: a recolha de amostras de rochas, águas, sedimentos e plantas aquáticas;
- 2- a aplicação de metodologias laboratoriais para a identificação de minerais de U nas rochas, análises químicas das águas e determinação das concentrações de U nas plantas, sedimentos e águas colhidas;
- 3- Ensaios laboratoriais de fitofiltração, utilizando aquários contendo água com diferentes concentrações de U e algumas plantas aquáticas colhidas numa região não contaminada em U. Posterior análise laboratorial das concentrações de U nas plantas e nas águas dos aquários;
- 4- ensaios laboratoriais de fitofiltração com duas espécies de plantas aquáticas, estudadas anteriormente. Com a finalidade de analisar a variação da concentração de U nas mesmas, em função da variação de pH da água a diferentes concentrações de U;
- 5- metodologias aplicáveis ao ensino das ciências, nomeadamente saídas de campo, preparação de modelos e análises biogeoquímicas simples, exequíveis em sala de aula.

3.1. TRABALHO DE CAMPO /AMOSTRAGEM

Ao longo do trabalho foram realizadas duas saídas de campo, a primeira decorreu no mês de outubro de 2010 com a finalidade de fazer o reconhecimento geológico e cartográfico da região estudada. A segunda saída de campo efetuou-se no mês de junho de 2011, para recolha de amostras de água, plantas aquáticas e sedimentos.

3.1.1.ROCHAS

Na primeira saída de campo, foram colhidas amostras de mão de rochas, privilegiando amostras de filões e massas aplitopegmatíticas localizadas nas áreas mineralizadas, reconhecidas pelos trabalhos prévios de prospeção (PIRES & VINTÉM, 1987), nomeadamente junto à povoação de Horta da Vilariça (S. Sebastião) e entre Eiras da Horta e a Quinta de S. João. A recolha das amostras de rochas dependeu, essencialmente, da existência de afloramentos, nomeadamente junto a contactos evidentes entre os granitos e os metassedimentos. A existência de algumas valas (fotografia 3.1), resultantes dos estudos de prospeção efetuados, facilitaram a identificação das áreas mineralizadas e a amostragem. Os pontos de amostragem das rochas estão localizados na figura 3.1.



FOTOGRAFIA 3.1 – VALAS RESULTANTES DOS ESTUDOS PRÉVIOS DE PROSPECÇÃO.

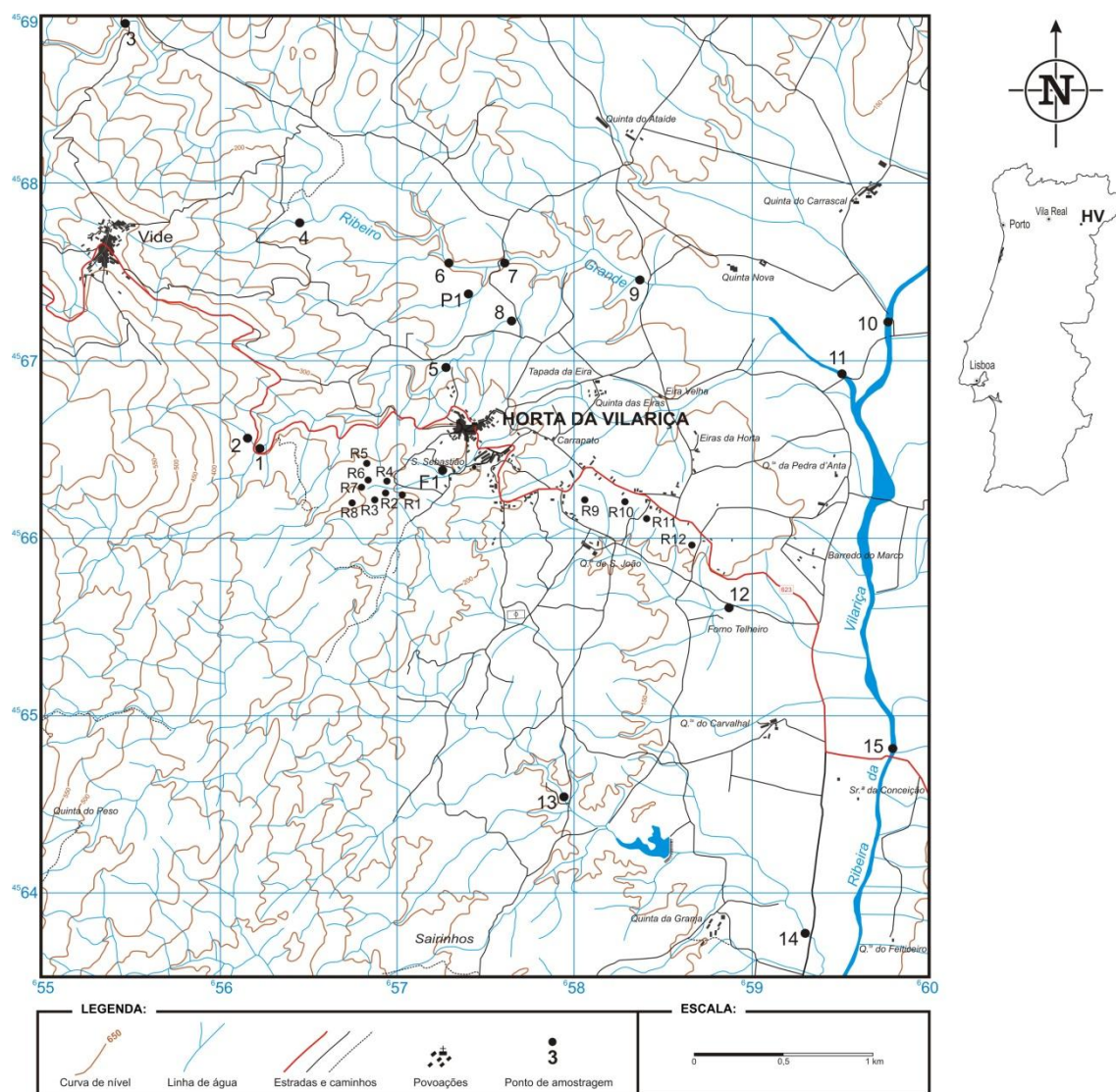


FIGURA 3.1 – LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES DE AMOSTRAGEM NA ÁREA DA HORTA DA VILARIÇA. R1 A R12 – LOCAIS DE AMOSTRAGEM DE ROCHAS; 1 A 15 – LOCAIS DE AMOSTRAGEM DE ÁGUAS SUPERFICIAIS, SEDIMENTOS E PLANTAS AQUÁTICAS; F1 – LOCAL DE AMOSTRAGEM DE ÁGUA EM FURO; P1 – LOCAL DE AMOSTRAGEM DE ÁGUA EM POÇO.

3.1.2. ÁGUAS

Na segunda saída de campo inventariaram-se as linhas de água, definiram-se os pontos de amostragem (figura 3.1) e procedeu-se à amostragem de águas, sedimentos e plantas aquáticas.

Procedeu-se ainda à medição de alguns parâmetros físico-químicos dos pontos de água, tais como pH, condutividade e temperatura, com o auxílio de aparelhos eletrónicos digitais de medição multiparamétrica. A determinação da condutividade elétrica foi efetuada com um condutivímetro WTW LF 320, após calibração com uma solução padronizada de KCl a uma temperatura de 25°C. O pH foi determinado com um medidor WTW pH 320, calibrado com soluções padrões de valores de pH 4,0 e 7,0. O medidor de pH foi sempre calibrado *in loco*. A temperatura foi medida simultaneamente com a determinação do valor de pH, uma vez que o medidor de pH possuía um termómetro digital incorporado.

As amostras de água foram recolhidas em frascos de polietileno, com rolha dupla, a fim de evitar perdas de gases. Colheu-se um litro de água em cada dois frascos diretamente na origem, tendo sempre o cuidado de efetuar uma lavagem prévia com água destilada e de seguida com a água da amostra. Um litro foi preservado por acidificação com 5ml de HNO₃–65%, para a determinação dos catiões maiores e dos elementos vestigiais. O outro litro, não acidificado, destinou-se à determinação dos restantes parâmetros.

O transporte das amostras efetuou-se sempre em arca térmica, permitindo um controlo de temperatura inferior a 4°C, de modo a evitar perturbações ou mesmo reações indesejáveis que alterariam os resultados analíticos.

3.1.3. PLANTAS AQUÁTICAS E SEDIMENTOS

Nos cursos de água, a amostragem do material vegetal envolveu a colheita de todas as espécies hidrófitas existentes nos pontos de colheita de águas. Assim, a amostragem incidiu sobre plantas submersas, flutuantes e enraizadas emersas. Aquando da colheita, as amostras foram vigorosamente lavadas na água do local de colheita. A classificação do material vegetal foi efetuada com recurso às classificações taxonómicas inscritas em diferentes fontes bibliográficas (FRANCO, 1971, 1984; SAMPAIO, 1988; FRANCO & AFONSO, 1994, 1998, 2003; BRACAMONTE & DOMINGO, 2002), com o apoio do Prof. Doutor João Pratas, do Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Coimbra e, sempre que necessário, com recurso ao Herbário do Departamento de Botânica da Universidade de Coimbra. As amostras de plantas foram transportadas para o laboratório, individualmente, em sacos de plástico devidamente identificados.

Nos mesmos locais onde se amostraram águas e plantas, foram colhidas também amostras de sedimentos, que foram transportados para o laboratório em sacos de plástico devidamente identificados.

3.2. TRATAMENTO DAS AMOSTRAS

Após colheita das amostras, seguiu-se a sua preparação em laboratório, com vista às determinações analíticas. As amostras de rochas e sedimentos foram tratadas nos laboratórios do Departamento de Geologia da UTAD. As amostras de águas foram encaminhadas para o Laboratório de Química, do Departamento de Química da UTAD. Destas amostras, obtiveram-se subamostras para determinação do U por fluorimetria, que seguiram para o Laboratório de Biogeoquímica, do Departamento de Ciências da Terra, da Universidade de Coimbra. Foi também neste último laboratório que foram tratadas as amostras de plantas.

3.2.1. ROCHAS E ÁGUAS

As amostras de rocha foram lavadas, externamente, com detergente e escova por forma a retirar impurezas (líquenes, fungos, musgo, sedimentos, entre outras) que possam contrariar as observações. Posteriormente, as amostras foram cortadas para a execução de lâminas delgadas polidas, para observação ao microscópio petrográfico no Laboratório de Geologia da UTAD e análises por microsonda eletrónica no Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG), em S. Mamede de Infesta, para identificação dos minerais de U.

As amostras de águas foram devidamente filtradas no Laboratório de Química, do Departamento de Química da UTAD

3.2.2. PLANTAS AQUÁTICAS E SEDIMENTOS

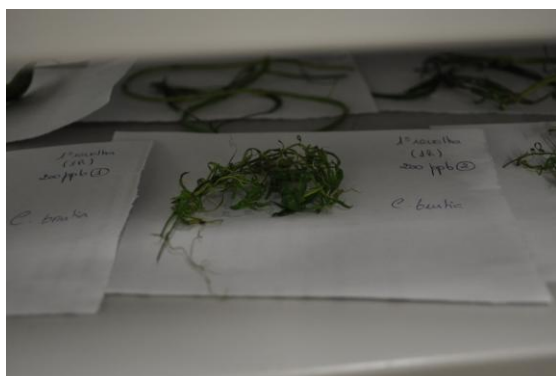
As amostras de plantas foram lavadas com água corrente e posteriormente água destilada de modo a eliminar resíduos e impurezas (fotografia 3.2). O material vegetal foi

3. Metodologia

seco naturalmente ao ar, num local arejado, durante quatro semanas (fotografias 3.3). Quando apropriado, procedeu-se à separação das raízes/rizomas das partes aéreas (*Cyperus longus*, *Oenanthe crocata*, *Mentha rotundifolia*, *Rorippa sylvestris*, *Apium nodiflorum*, *Cyperus eragrostis*, *Thypha latifolia*, *Mentha pulegium*, *Ranunculus peltatus*, *Eleocharis palustris* e *Nasturtium officinale*). O material foi então moído a fim de homogeneizar a amostra; o moinho foi lavado com água destilada ao final de cada moagem, evitando assim contaminação das amostras.



FOTOGRAFIA 3.2 – LAVAGEM DAS PLANTAS COM ÁGUA CORRENTE.



FOTOGRAFIAS 3.3 – SECAGEM NATURAL DO MATERIAL VEGETAL.

As amostras de sedimentos foram secas em estufa a uma temperatura constante de 40°C e, posteriormente, homogeneizadas e quarteadas. As amostras foram crivadas através de um peneiro com malha de 2mm, que permitiu também a remoção de restos de vegetais e, seguidamente, crivadas abaixo de 60 malhas (250µm) (fotografias 3.4, 3.5). A partir de uma amostragem de padrão retangular, foram extraídas, a partir de cada amostra (<250µm), as

amostras de referência (guardadas em arquivo) e as amostras laboratoriais ($\approx 60\text{g}$) destinadas às análises químicas.



FOTOGRAFIA 3.4 – SEDIMENTOS PREPARADOS PARA PENEIRAR.



FOTOGRAFIA 3.5 – PENEIROS EM COLUNA.

3.3. MÉTODOS ANALÍTICOS

Seguem-se as descrições dos diversos processos analíticos das diferentes tipologias de amostras.

3.3.1. ROCHAS

As lâminas delgadas polidas das mineralizações, depois de estudadas microscopicamente com luz transmitida e luz refletida, foram analisadas por microsonda eletrônica, usando uma câmara JEOL JXA – 8500F, do LNEG.

As análises foram realizadas segundo a sequência descrita:

1. Metalização da superfície das lâminas polidas, através da vaporização e pulverização catódica de carbono (fio de grafite). Este revestimento da superfície das amostras, com alguns nm de espessura, é necessário para assegurar um contacto elétrico à massa para escoar as cargas introduzidas pelo feixe eletrónico;

2. Análise qualitativa, para identificar os elementos presentes em cada mineral, no ponto de impacto do feixe eletrónico. A análise é feita com espectrómetros de dispersão de comprimento de onda (Dispersive X-Ray Spectrometer) onde, para detetar elementos maiores, utilizam-se tempos de contagem menores, enquanto que para detetar elementos vestigiais, utilizam-se tempos de contagem maiores;
3. Aquisição de imagens de eletrões secundários e retrodispersados, visando a observação de possíveis zonamentos químicos;
4. Análise quantitativa (microanálise), ou seja, determinação da concentração mássica dos elementos constituintes, num ponto determinado da amostra (análise pontual). Esta quantificação é feita transformando contagens de raio-X (intensidades) em percentagens. Cada elemento foi contado durante 20 segundos, utilizando uma intensidade de corrente de 20nA e uma aceleração de voltagem de 20kV (na microsonda JEOL JXA – 8500F). Foram obtidas de três a dez análises pontuais em cada cristal, utilizando rotinas específicas para cada mineral.

Nas análises químicas foram selecionados padrões, para calibração dos respetivos elementos, permitindo a determinação da composição química dos minerais. Assim, foram usados os seguintes padrões por elemento: barite para Ba, galena para Pb, pirite para o Fe, apatite para o P, dióxido de cálcio para o Ca, torianite para o Th, granada de tetralumínio de cádmio para Y, dióxido de cobre para Cu e uraninite para o U.

3.3.2. ÁGUAS

As amostras de água sofreram processos analíticos para deteção de elementos maiores e vestigiais no Departamento de Química da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, à exceção do urânio que foi analisado no Laboratório de Biogeoquímica do Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Coimbra.

As amostras de água foram estudadas quimicamente tendo em conta os seguintes métodos, variando os mesmos em função do parâmetro a analisar. Sendo assim:

- para o fluoreto, o cloreto, o nitrito, o nitrato, o fosfato, o brometo e o sulfato, o método utilizado foi HPAEC (high performance anion exchange chromatography), com o equipamento Dionex ICS-3000 (detetor de condutividade);
- a análise do ferro foi efetuada por espectrofotometria de absorção molecular, com auxílio ao Spectronic Genesys 2PC;
- para o arsênio, o cádmio, o chumbo, o manganês, o cobre, o níquel, o cobalto e o zinco foi utilizado o método de espectrofotometria de absorção atômica, com o equipamento UNICAM 939-AA e UNICAM GF 90 Furnace;
- para o cálcio e o magnésio foi utilizado o método de espectrofotometria de absorção atômica, com o equipamento PERKIN-ELMER 372;
- os carbonatos foram analisados por titulação;
- para a análise do sódio e do potássio foi utilizado o método de espectrofotometria de emissão atômica, com o equipamento PERKIN-ELMER 372;
- o urânio foi analisado pelo método fluorimétrico, com um fluorímetro Fluorat 02-2M (Lumex).

Os limites de sensibilidade são: 0,025µg/ml - fluoreto, cloreto, nitrato, nitrito, fosfato, brometo e sulfato; 0,01µg/ml - ferro; 10µg/l - arsênio; 2,5µg/l - cádmio e manganésio; 5µg/l - cobre, níquel, chumbo e cobalto; 6µg/l - zinco; 0,05µg/l - cálcio; 0,01µg/l - magnésio; 0,1µg/l - sódio e potássio; 2µg/l - urânio.

3.3.3. PLANTAS AQUÁTICAS E SEDIMENTOS

Nas amostras de plantas e sedimentos foram determinadas as concentrações em U aplicando o método fluorimétrico, que está relacionado com a propriedade de fluorescência dos materiais. A fluorescência consiste na emissão imediata de luz por uma molécula que tenha absorvido radiações.

3.3.3.1. Determinação de urânio por fluorimetria

Para a determinação de U nas plantas, água e sedimentos recorreu-se ao fluorímetro – Fluorat 02 – 2M (Lumex – Rússia). A concentração de U é determinada através da medição da intensidade da fluorescência induzida dos iões urânio ($\lambda=530\text{nm}$), do nitrato de urânio [$\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$], devido à excitação por radiação ultravioleta.

A metodologia adotada para a determinação de U em plantas, sedimentos e água baseia-se no método descrito por VAN LOON & BAREFOOT (1989). Este método consiste numa técnica de extração que permite a remoção seletiva dos iões de urânio, maximizando a intensidade de fluorescência da solução final. Todos os passos seguintes estão descritos em VAN LOON & BAREFOOT (1989); ao longo deste trabalho sempre que foi determinada a quantidade de U numa amostra utilizou-se a mesma metodologia.

Modo operativo

Cerca de 1g de material moído é incinerado a elevadas temperaturas (450°C), numa mufla, durante pelo menos quatro horas, removendo a matéria orgânica na forma de óxido de carbono (fotografia 3.6).



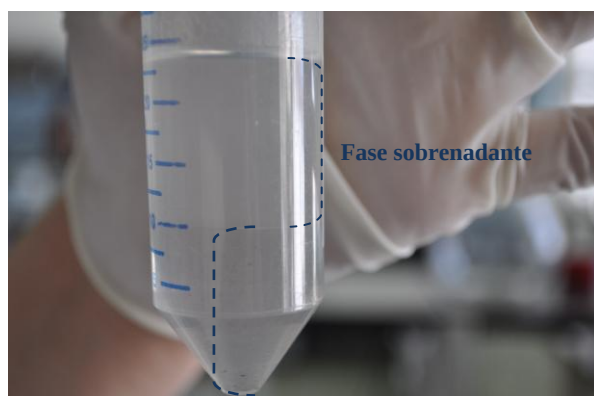
FOTOGRAFIA 3.6 – INCINERAÇÃO DO MATERIAL VEGETAL E SEDIMENTOS (450°C durante pelo menos 4 horas).

Ao resultado da incineração, adiciona-se 8ml de solução de alumínio [a 950g de $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ adiciona-se 600ml de HNO_3 a 2,5M], dando lugar a uma solução que vai aquecer durante uma hora em banho-maria (fotografias 3.7).



FOTOGRAFIAS 3.7 – ADIÇÃO DA SOLUÇÃO DE ALUMÍNIO NAS AMOSTRAS INCINERADAS.

Após o arrefecimento da solução, adiciona-se 10ml de etil acetato (solução orgânica com elevada afinidade com o U, permitindo a absorção pelo solvente) e agita-se. Criam-se assim duas fases (fotografia 3.8). À fase sobrenadante retiram-se 5ml para um cadinho (fotografia 3.9). Este último é colocado na hote e queimado à chama (fotografia 3.10). Ao cadinho arrefecido adiciona-se 7ml de HNO_3 a 0,005% (fotografia 3.11).



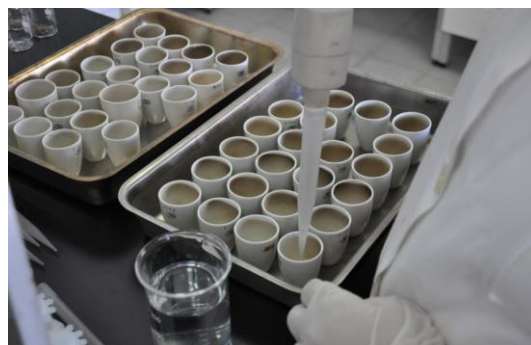
FOTOGRAFIA 3.8 – FORMAÇÃO DE DUAS FASES APÓS A ADIÇÃO DO ETIL ACETATO.



FOTOGRAFIA 3.9 – TRANSFERÊNCIA DE 5ML DA FASE SOBRENADANTE PARA UM CADINHO.



FOTOGRAFIA 3.10 – QUEIMA À CHAMA DO SOBRENADANTE COLOCADO NOS CADINHOS.



FOTOGRAFIA 3.11 – ADIÇÃO DE HNO_3 A 0,005%.

Para a leitura no fluorímetro prepara-se uma solução contendo 5ml de água destilada, à qual se adiciona 0,5ml da solução obtida no processo enumerado anteriormente, e 0,5ml de polissilicato (a 5,2g de NaOH com 100ml de água destilada adiciona-se 14g de SiO₂; esta mistura vai aquecer em banho de areia até ficar líquida e translúcida - fotografia 3.12). O polissilicato liga-se ao U da solução permitindo que haja fluorescência. Contabilizando através da leitura do fluorímetro, devidamente calibrado, a concentração de U em solução. Para a mesma amostra devem ser efetuadas cinco leituras, rejeitando para o cálculo da média a leitura mais elevada e a menor leitura obtidas.



FOTOGRAFIA 3.12 – PREPARAÇÃO DA SOLUÇÃO PARA LEITURA NO FLUORÍMETRO.

A quantificação do U nas amostras de água é efetuada com a leitura direta no fluorímetro, após a preparação da última solução (5ml de água destilada + 0,5ml de amostra de água + 0,5ml de polissilicato).

A concentração de U nas plantas e nos sedimentos é dada pela equação 3.1.

$$[U] = \frac{M \times 14}{m} \text{ (}\mu\text{g/kg)} \quad \text{EQUAÇÃO 3.1 - CONCENTRAÇÃO DE U NAS PLANTAS E SEDIMENTOS ([U]}$$

– concentração de U; Ml – média das leituras; 14 – é um valor de correção, visto que devido às diversas etapas do processo a massa de amostra vai ter no final 7ml que correspondem a metade da amostra, pois só retiramos 5ml dos 10ml do orgânico. Como tal, é necessária a correção; m – massa inicial da amostra).

3.4. ENSAIOS DE FITOFILTRAÇÃO – BIOACUMULAÇÃO DE URÂNIO

Na sequência do trabalho de campo foram efetuados ensaios laboratoriais com vista à identificação de bioindicadores ou fitorremediadores, recorrendo a aquários contendo diferentes concentrações de U. O composto de urânio utilizado foi o nitrato de urânio $[\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$. As concentrações utilizadas foram de $2\mu\text{g/kg}$, $20\mu\text{g/kg}$, $200\mu\text{g/kg}$ e $1000\mu\text{g/kg}$, para cada concentração fizeram-se três repetições, perfazendo um total de 12 aquários, estes apresentam uma base de $30 \times 17,5\text{cm}$ e 20cm de altura (fotografia 3.13).



FOTOGRAFIA 3.13 – AQUÁRIOS COM BASE $30 \times 17,5\text{cm}$ E 20cm DE ALTURA.

As concentrações de U testadas estão relacionadas com teores de referência, nomeadamente $2\mu\text{g/l}$ é aproximadamente o valor de referência do U encontrado na região das Beiras (PAULO & PRATAS, 2008); $20\mu\text{g/l}$ é o valor aceitável para consumo humano pela Organização Mundial de Saúde¹; $200\mu\text{g/l}$ é o valor referenciado na Ribeira da Pantanha, na área das minas da Urgeiriça (PAULO & PRATAS, 2008); valores próximos de $1000\mu\text{g/l}$ foram avaliados por PEREIRA *et al* (2010) em amostras de água subterrânea na Horta da Vilariça.

Em cada aquário foram colocados 8l de água da torneira e uma base de areia que sofreu um processo de esterilização por calor seco (800°C na mufla), eliminando assim resíduos e contaminantes que poderiam obliterar os resultados (fotografia 3.14).

¹ $20\mu\text{g/l}$ foi fixado em 1998, entretanto, em 2003, baixou para os $15\mu\text{g/l}$; valor que se mantém até hoje. Porém, a EPA (US Environmental Protection Agency) indica como limite, na água de consumo humano, o valor $30\mu\text{g/l}$. Pelo que o valor escolhido para o ensaio acaba por ser um valor de compromisso entre aquelas duas normativas.



FOTOGRAFIA 3.14 – AQUÁRIOS COM 8L DE ÁGUA DA TORNEIRA E UMA BASE DE AREIA.

Fizeram-se duas soluções base, uma de $10\,000\mu\text{g/l}$ (solução 1) e, a partir da anterior, uma de $100\mu\text{g/l}$ (solução 2). A partir do cálculo da massa molecular do nitrato de urânio, obteve-se a seguinte relação química: para 1g de U é necessário a massa de 2,11g de nitrato de urânio. Sendo assim, diluíram-se em 100ml de água destilada 0,211g de nitrato de urânio, obtendo-se a solução 1 de $10\,000\mu\text{g/l}$. Retirámos 1ml da solução 1 para 100ml de água destilada e obteve-se a solução 2 de $100\mu\text{g/l}$ de concentração.

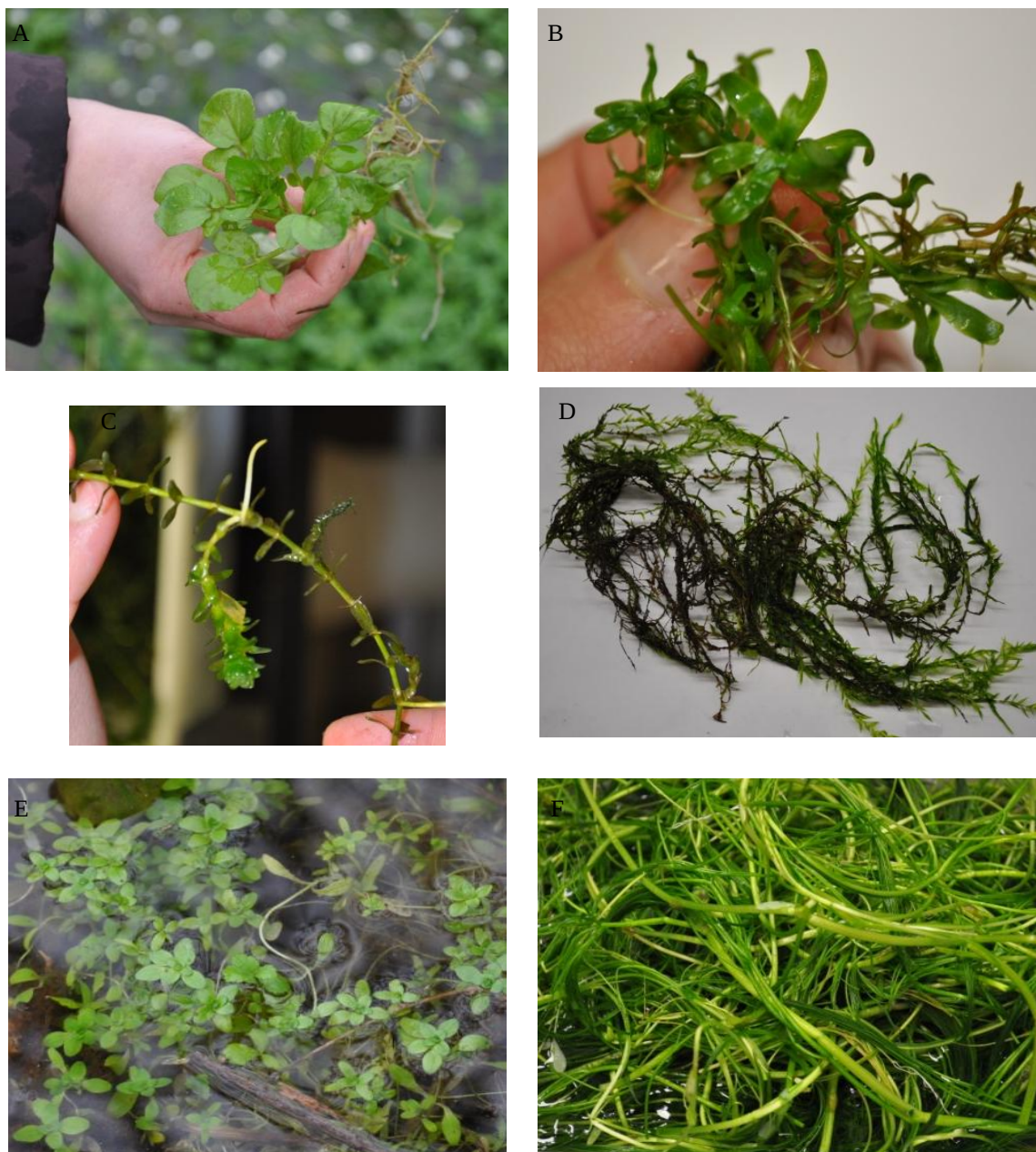
Em cada aquário, para obter a concentração de $2\mu\text{g/l}$, adicionou-se 1,6ml de solução 2 aos 8l de água; para obter a concentração de $20\mu\text{g/l}$, adicionou-se 16ml da solução 2 aos 8l de água; para a concentração $200\mu\text{g/l}$ adicionou-se 1,6ml de solução 1 aos 8l de água; por fim, para a concentração $1000\mu\text{g/l}$ adicionou-se 8ml da solução 1 aos 8l de água (fotografia 3.15). Para cada uma das concentrações prepararam-se três aquários.



FOTOGRAFIA 3.15 – ADIÇÃO DE NITRATO DE URÂNIO NOS AQUÁRIOS.

Nos diversos aquários foram utilizadas plantas aquáticas (tabela 3.1) colhidas em ribeiros de água corrente, com teores reduzidos em metais e outros poluentes (fotografias 3.16).

A seleção das espécies teve em conta três critérios: 1) de entre as espécies amostradas na Horta da Vilariça, privilegiaram-se aquelas cujos resultados analíticos evidenciavam maior potencial para aplicação em fitorremediação e bioindicação; 2) o conhecimento prévio do potencial de algumas espécies referenciadas em estudos recentes; 3) serem espécies de fácil aquisição, manutenção e crescimento em laboratório.



FOTOGRAFIAS 3.16 – PLANTAS AQUÁTICAS COLOCADAS NOS AQUÁRIOS. A – *Rorippa nasturtium* ; B - *Callitriche brutia*; C - *Elodea canadensis*; D - *Fontinalis antipyretica*; E - *Callitriche stagnalis*.; F - *Ranunculus trichophyllus*.

TABELA 3.1 – TAXONOMIA DAS PLANTAS SELECIONADAS PARA OS AQUÁRIOS.

Família	Espécie
Fontinalaceae	<i>Fontinalis antipyretica</i> Hedwig
Plantaginaceae ou Callitrichaceae	<i>Callitriche stagnalis</i> Scop.
	<i>Callitriche brutia</i> Petagna
Ranunculaceae	<i>Ranunculus trichophyllus</i> Chaix
Brassicaceae	<i>Rorippa nasturtium</i> R. BR.
Hydrocharitaceae	<i>Elodea canadensis</i> Rich.

Foi ainda utilizado o bivalve de nome comum mexilhão-asiático (*Corbicula fluminae* O. F. Müller) (fotografia 3.17), pertencente à família Corbiculidae.

**FOTOGRAFIA 3.17** – BIVALVE *Corbicula fluminae* O. F. Müller.

Após um dia de repouso da água nos aquários, com a devida oxigenação (com bomba de ar), procedeu-se à instalação das plantas e dos bivalves. Em cada aquário colocou-se uma amostra de planta e bivalve que permitisse efetuar, posteriormente e sequencialmente, sete recolhas (após a montagem: 1 hora; 4 horas; 1 dia; 2 dias; 1 semana; 2 semanas; 1 mês). Por fim, colocou-se uma lâmpada (Grolux) que permitiu a simulação do fotoperíodo sem alterar a temperatura ambiental (fotografia 3.18).

As amostras designadas por “brancos” correspondem a amostras não colocadas nos aquários com U. As amostras foram secas ao ar, à temperatura ambiente e em local arejado. As amostras de bivalve (incluindo o branco) foram colocadas em recipientes de polietileno, fechados e submetidos à congelação (evitando a deterioração da matéria orgânica e possíveis trocas ou perdas de matéria). De notar que, em um aquário por concentração, não foi possível a introdução de *Rorippa nasturtium* devido à falta de material vegetal.

Ao longo de um mês, monitorizou-se a concentração de U na água e efetuaram-se algumas correções, de modo a permitir a manutenção das concentrações de U desejadas em cada aquário (anexo 8).



FOTOGRAFIA 3.18 – MONTAGEM FINAL DO ENSAIO DE FITOFILTRAÇÃO.

No final do trabalho experimental e após a secagem integral das plantas quantificou-se a massa de cada amostra das diversas recolhas, e utilizando o método de fluorescência, descrito no item anterior neste trabalho, calculou-se a concentração de U nas amostras.

3.5. ENSAIO DE FITOFILTRAÇÃO – INFLUÊNCIA DO pH

Realizou-se ainda, um ensaio com o objetivo de pôr em evidência a relação entre as concentrações de U, retidas em duas das espécies vegetais aquáticas estudadas (*Fontinalis antipyretica* e *Elodea canadensis*), e a variação do pH do meio a diferentes concentrações.

As duas plantas foram escolhidas, pois revelam uma elevada capacidade de retenção de U, são de fácil manuseamento em laboratório e encontram-se com facilidade em cursos de água no país.

As concentrações de U utilizadas foram similares ao trabalho laboratorial anterior, ou seja: 2µg/l, 20µg/l, 200µg/l e 1000µg/l. Para cada concentração fizeram-se três repetições.

Os valores de pH estudados estavam compreendidos entre 4-5, 5-6 e 6-7. Para tal, no último caso, utilizou-se água da torneira e nos dois restantes casos acidificou-se o meio com

ácido nítrico a 1%. Para cada variação de pH fizeram-se três repetições, obtendo-se assim um total de 36 recipientes de vidro com cerca de 300ml de capacidade (fotografia 3.19). Este ensaio teve a duração de uma semana, com duas recolhas das plantas, uma no início da experiência (o branco), a outra após decorrida a semana. Para avaliar a concentração de U, procedeu-se à mesma metodologia de fluorescência utilizada no ensaio de fitofiltração anterior.



FOTOGRAFIA 3.19 – ENSAIO DE FITOFILTRAÇÃO – VARIAÇÃO DE PH DO MEIO.

Em cada recipiente de vidro colocou-se 250ml de água. De seguida, para obter cada uma das concentrações desejadas, procedeu-se da seguinte forma:

- soluções de concentração $2\mu\text{g/l}$ de U, adicionou-se 0,05ml da solução 2 ($100\mu\text{g/l}$);
- soluções de concentração $20\mu\text{g/l}$ de U, adicionou-se 0,5ml da solução 2 ($100\mu\text{g/l}$);
- soluções de concentração $200\mu\text{g/l}$ de U, adicionou-se 5ml da solução 2 ($100\mu\text{g/l}$);
- soluções de concentração $1000\mu\text{g/l}$ de U, adicionou-se 0,25ml da solução 1 ($10000\mu\text{g/l}$).

Para obter água a um pH compreendido entre 5 e 6 adicionou-se, a cada recipiente de vidro, 1ml de ácido nítrico a 1%; para obter um pH compreendido entre 4 e 5 adicionou-se, a cada recipiente de vidro, 1,25ml de ácido nítrico a 1%. Em cada recipiente colocou-se uma amostra das duas espécies vegetais selecionadas supra citadas.

3.6. MÉTODOS ESTATÍSTICOS UTILIZADOS

No tratamento gráfico e estatístico dos dados utilizaram-se os programas Microsoft Excel®, AquaChem®, versão 3.7, AnDad®, versão 7,0

Os resultados analíticos obtidos foram sujeitos a diversos tratamentos estatísticos, que envolveram, além da análise univariada, a determinação de correlações lineares e a Análise em Componentes Principais (ACP).

A utilização da ACP no presente trabalho visou, fundamentalmente, estabelecer as relações multi-dimensionais entre as diversas variáveis e amostras. Esta análise foi efetuada utilizando o programa AnDad®.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos resultados obtidos segue a mesma ordem dos trabalhos efetuados, iniciando-se com os resultados obtidos em cada um dos materiais amostrados (rochas, águas, sedimentos e plantas), seguindo-se os resultados dos ensaios de fitofiltração enumerados anteriormente.

4.1 MATERIAIS AMOSTRADOS

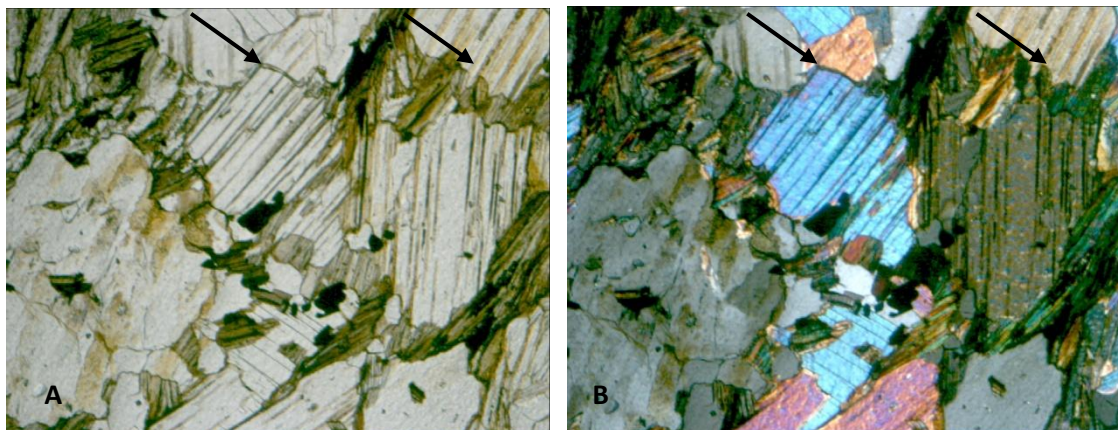
Os materiais amostrados (rochas, águas, sedimentos e plantas) foram obtidos nas saídas de campo e posteriormente preparados e analisados, através de várias técnicas experimentais em laboratório.

4.1.1. ROCHAS

As rochas que se encontram na região estudada são: granitos; aplitos e pegmatitos; e xistos pelíticos e psamíticos. Como se referiu anteriormente, privilegiou-se a amostragem em filões e massas aplitopegmatíticas, assim como nos contactos evidentes entre granitos e metassedimentos, existentes nas áreas reconhecidamente mineralizadas.

Na observação das lâminas delgadas denotam-se mineralizações secundárias de urânio, em forma de vénulas, que ocupam fraturas e interstícios entre minerais tais como o quartzo, feldspato, plagioclases e micas (fotografias 4.1). Os minerais secundários de urânio apresentam, à luz normal, uma tonalidade que pode variar desde o bege até ao verde lima, passando pelo amarelo; cores estas que se mantêm quando observados com luz polarizada (ROUBAULT, 1972).

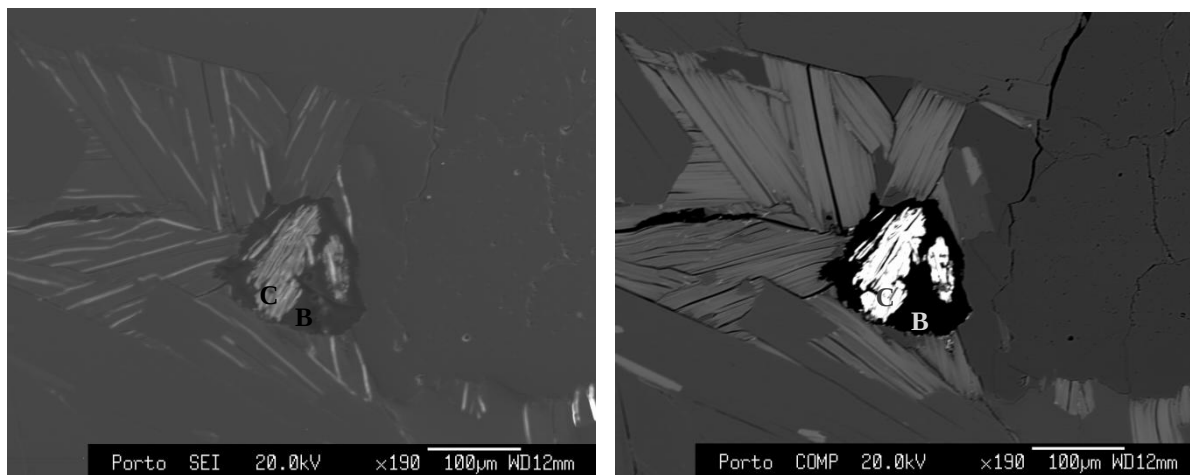
4. Resultados e discussão



FOTOGRAFIAS 4.1 – OBSERVAÇÃO MICROSCÓPICA DE UMA AMOSTRA DE PEGMATITO DA HORTA DA VILARIÇA (ampliação 63x ; **A** em nicóis paralelos, **B** em nicóis cruzados).

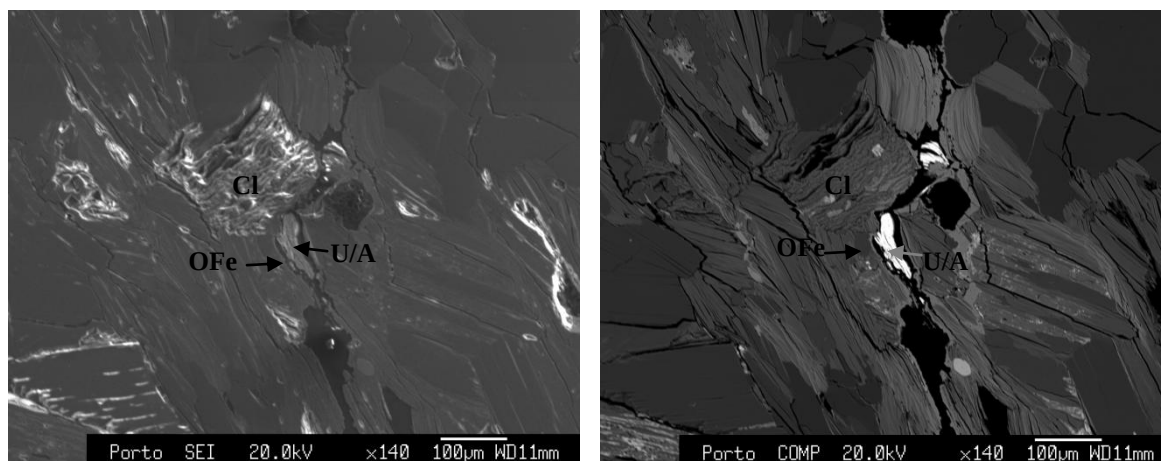
As identificações obtidas por microsonda eletrônica, e as descrições consultadas em www.webmineral.com - “on-line” e DANA & DANA (1951), revelam que os minerais secundários de U, presentes nas lâminas delgadas, são:

- essencialmente fosfatos hidratados de urânio do grupo da meta-torbernite, como seja a chernikovite (fotografia 4.2). Este último apresenta um hábito “em placas”, neste caso instalado na biotite;



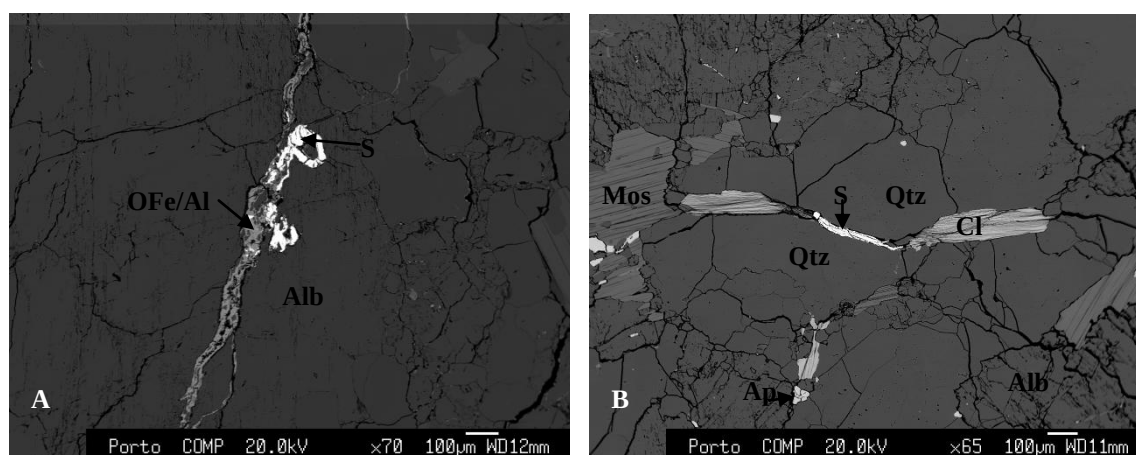
FOTOGRAFIA 4.2 – FOSFATO HIDRATADO DE URÂNIO DO GRUPO DA META-TORBERNITE (CHERNIKOVITE).
C – chernikovite, com hábito em placa, B – local onde possivelmente esteve a biotite.

- juntamente com os óxidos de ferro encontram-se, quase sempre, fosfatos hidratados de urânio (fotografia 4.3). Pela composição química em Ba, mas também em Ca, pressupõe-se que sejam minerais transitórios entre a Uranocircite (Ba) e a autunite (Ca);



FOTOGRAFIA 4.3 – FOSFATO HIDRATADO DE URÂNIO PRÓXIMO DOS ÓXIDOS DE FERRO. Cl – clorite, U/A – Mineral transitório entre a uranocircite e a autunite; OFe – óxidos de ferro.

- na proximidade dos óxidos de ferro, também se encontram fosfatos de alumínio hidratado de urânio, associados à albite (fotografia 4.4 - A e B). Mas a composição química dos seus elementos não permite definir com clareza a designação do mineral secundário de U. Mas provavelmente será um mineral alterado de sabugalite;



FOTOGRAFIA 4.4 – FOSFATO DE ALUMÍNIO HIDRATADO DE URÂNIO ASSOCIADO À ALBITE. **A** – S – sabugalite?; Alb – albite; OFe/Al – óxidos de ferro com fosfatos de alumínio. **B** – S – sabugalite?; Qtz – quartzo; Ap – apatite; Mos – moscovite; Alb – albite; Cl – clorite.

- surgem também minerais secundários de urânio, com composição química rica em Cu, mas a acentuada alteração apenas os permite considerar como minerais do grupo da meta-torbernite;

- nas lâminas encontram-se, com muita facilidade, outros minerais, como: xenótimo (mineral com U na sua malha cristalina); monazite (fosfato de terras raras), que apesar da sua

riqueza em tório e chumbo, apresenta algum urânio; zircão que tem U na sua malha cristalina; também são visíveis minerais de apatite e rútilo.

É visível o aproveitamento, por parte dos fluídos mineralizados, dos espaços livres decorrentes da formação das rochas locais. Os minerais surgem em vénulas, aproveitando fraturas nas clorites. São minerais bastante alterados e que facilmente contribuem para a mineralização das águas, sedimentos e solos.

4.1.2. ÁGUAS SUPERFICIAIS

Na tabela 4.1 apresentam-se os valores estatísticos dos dados correspondentes às características físico-químicas e químicas das águas superficiais (mas com algum tempo de permanência devido ao ano com baixa pluviosidade), obtidos para as 15 estações de amostragem (cujos resultados se encontram no anexo 1), após tratamento com técnicas de estatística descritiva univariada. Todos os parâmetros referem-se a amostras heterogêneas, visto que o coeficiente de variação afasta-se do valor zero; são amostras que apresentam baixa variabilidade, à exceção dos parâmetros F, Br, NO₃, PO₄, SO₄, Fe e U cuja variabilidade entre valores amostrais é elevada.

TABELA 4.1 – ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS E QUÍMICOS DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS (n=15).

Parâmetros	Média	Mi	Mín.	Máx.	s	C.V	Var
Cond. (µS/cm)	127,43	106,60	24,60	274,00	81,82	0,64	6694,56
Temp. (°C)	18,83	18,15	16,60	24,80	2,10	0,11	4,42
pH	7,22	7,38	6,08	8,57	0,79	0,11	0,62
F ⁻ (mg/l)	0,22	0,18	0,06	1,00	0,23	1,07	0,05
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	69,77	54,90	36,60	146,40	31,93	0,46	1019,40
Cl ⁻ (mg/l)	6,89	6,25	0,30	22,50	6,99	1,01	48,90
NO ₂ ⁻ (mg/l)	1,37	1,33	0,30	2,60	0,73	0,53	0,53
Br ⁻ (mg/l)	0,01	0,00	0,00	0,04	0,01	1,87	0,00
NO ₃ ⁻ (mg/l)	0,77	0,58	0,01	7,70	1,88	2,45	3,54
PO ₄ ³⁻ (mg/l)	0,14	0,11	0,00	0,95	0,23	1,67	0,05
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	6,11	5,64	0,04	18,70	5,78	0,95	33,37
Ca (mg/l)	4,30	3,32	0,49	11,10	3,34	0,78	11,17
Fe (mg/l)	162,19	93,50	22,00	617,00	189,81	1,17	36028,43
Mg (mg/l)	3,79	3,34	0,10	11,20	3,38	0,89	11,40

continua

Parâmetros	Média	Mi	Mín.	Máx.	s	C.V	Var
K (mg/l)	1,79	1,70	1,10	3,50	0,65	0,36	0,42
Na (mg/l)	15,59	14,55	6,70	31,60	7,33	0,47	53,79
As (µg/l)	4,83	4,41	0,52	14,00	3,59	0,74	12,85
Cu (µg/l)	1,49	1,34	0,54	6,00	1,26	0,85	1,59
Zn (µg/l)	17,25	14,50	8,00	33,00	6,32	0,37	39,93
Cr (µg/l)	0,19	0,12	0,05	0,53	0,14	0,73	0,02
Mn (µg/l)	30,88	24,94	5,00	107,00	25,89	0,84	670,12
U (µg/l)	1,98	1,68	0,61	5,56	1,34	0,68	1,80

Mi – Mediana; Min. – Mínimo; Máx. – Máximo; s – Desvio padrão; C.V. – Coeficiente de variação; Var - Variância

O diagrama de Piper permite representar a percentagem de aniões e catiões presentes numa amostra de água, bem como a definição da respetiva fácies hidroquímica. Utilizou-se como catiões o Ca^{2+} , o Mg^{2+} e a soma de Na^+ com K^+ ; como aniões utilizou-se o HCO_3^- , o SO_4^{2-} e o Cl^- . Os valores expressam-se em percentagem de meq/l (CUSTÓDIO & LLAMAS, 1983).

Para a projeção em diagrama de Piper utilizou-se o programa informático Aqachem v.3.7 for Windows 95/98/NT. Todas as amostras de água são bicarbonatadas sódicas (figura 4.1), pelo que se verifica, essencialmente, apenas uma fácies hidroquímica, segundo o conceito de SCHOELLER (1962).

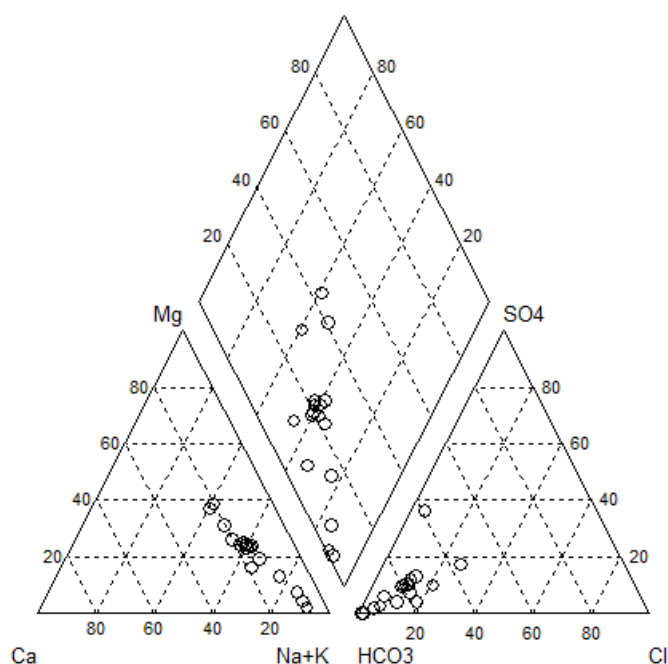


FIGURA 4.1 – PROJEÇÃO DAS AMOSTRAS DE ÁGUA NO DIAGRAMA DE PIPER, UTILIZANDO O PROGRAMA INFORMÁTICO AQACHEM V.3.7 FOR WINDOWS 95/98/NT.

As águas são superficiais e apresentam uma tendência geoquímica com baixa mineralização. No entanto, destaca-se uma elevada mineralização em ferro, sódio, zinco e manganês.

Tendo em conta os valores estatísticos (tabela 4.1) e o diagrama de caixa (figura 4.2), pode-se referir que o pH apresenta uma distribuição assimétrica. Os valores obtidos refletem um carácter das águas próximo da neutralidade, ligeiramente alcalinas, contrariando a normalidade em tipologias de rochas silicatadas.

Os elementos químicos Fe, Cu, Cr, As, U e o composto químico PO_4 existem em elevadas concentrações, em algumas amostras de água.

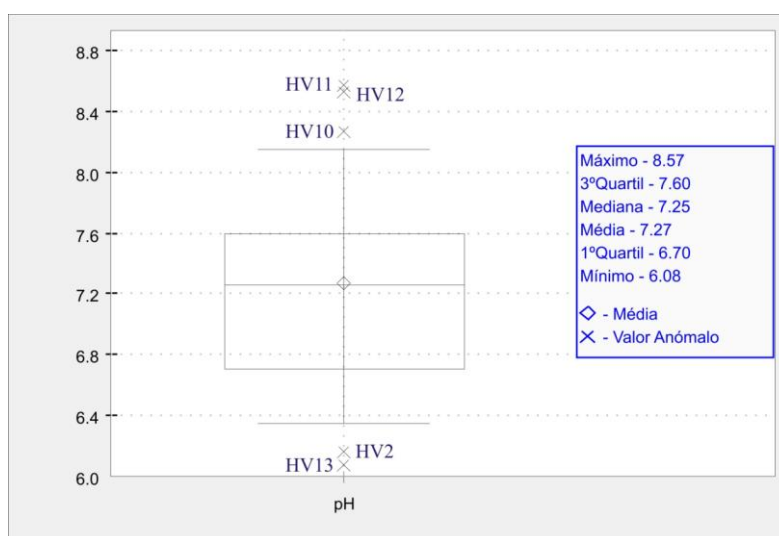


FIGURA 4.2 – DIAGRAMA DE CAIXA PARA O pH.

Pela observação dos diagramas de caixa (figuras 4.3, 4.4 e 4.5), de cada um destes parâmetros químicos, é visível que todos eles apresentam uma distribuição assimétrica face à mediana. Existem amostras de água com concentrações anómalas que poderão evidenciar fenómenos de contaminação, nomeadamente a amostra HV12, que surge em todos os diagramas de caixa com valores anómalos, e as amostras HV15, HV14, HV5, HV4 e HV2, que surgem anormalmente em apenas alguns diagramas.

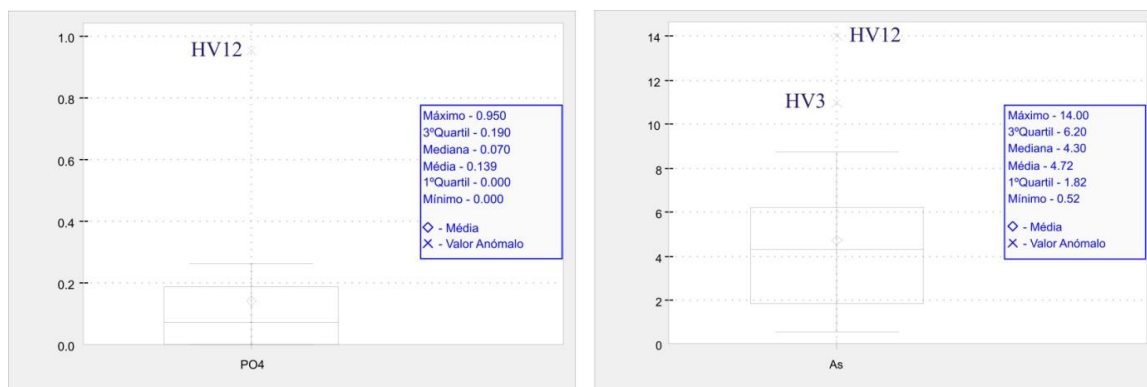


FIGURA 4.3 – DIAGRAMA DE CAIXA PARA O PO₄ (mg/l) E PARA O As (µg/l).



FIGURA 4.4 – DIAGRAMA DE CAIXA PARA O Cr (µg/l) E PARA O U (µg/l).



FIGURA 4.5 – DIAGRAMA DE CAIXA PARA O Fe (µg/l) E PARA O Cu (µg/l).

A identificação de relações entre os diferentes parâmetros hidrogeoquímicos foi feita recorrendo à análise bivariada e à análise fatorial dos dados (recorreu-se ao programa Andad, versão 7.12-CVRM/IST, 2000). Os métodos estatísticos de análise multivariada permitem considerar variações em diversas propriedades simultaneamente e tornam evidente a existência, ou não, de agrupamentos entre variáveis e também entre amostras.

Foi efetuada a análise de correlação entre os parâmetros físico-químicos e os iões mais significativos resultantes das análises químicas, de todas as amostras de água. Os parâmetros que apresentaram concentrações abaixo do limite de deteção foram eliminados, pois não apresentam valores concretos e passíveis de análise. Foi ainda, retirado o valor da condutividade elétrica, pois é um parâmetro não independente dos restantes, sendo que é influenciado pela variação da concentração dos elementos e compostos químicos. Com esta análise foi possível avaliar o grau de relação entre os vários parâmetros.

A matriz de correlação (tabela 4.2) apresenta os coeficientes de correlação de Pearson (anexo 12), para o total de 15 amostras, atendendo ao seu nível de significância: para $p < 0,001$, muito significativa ($r > \pm 0,760$); $p < 0,01$, bastante significativa ($r > \pm 0,641$); $p < 0,05$, significativa ($r > \pm 0,514$); $p < 0,1$, pouco significativa ($r > \pm 0,441$).

Correlacionam-se muito significativamente: HCO_3 com o $\text{Na} > \text{Ca} > \text{Mg}$; o PO_4 com o U; o SO_4 com o $\text{Mg} > \text{Ca}$; o Ca com o $\text{Mg} > \text{Na}$; o Fe com o Cr; o K com o Na.

Existe uma correlação bastante significativa entre: o pH e o K; o HCO_3 e o SO_4 ; o PO_4 e o Cr; o SO_4 e o Na; o Mg e o Na.

A correlação é significativa entre: o pH e o $\text{As} > \text{Na}$; o HCO_3 e o K; o PO_4 e o $\text{As} > \text{Fe}$; o SO_4 e o Mn; o Ca e o Mn; o Fe e o U; o Mg e o Mn; o K e o As; o As e o Cr; o Cu e o U; o Cr e o U.

Com correlação pouco significativa observa-se: pH e o $\text{Ca} > \text{HCO}_3$; o HCO_3 e o Fe; o PO_4 e o Na; o Ca e o $\text{K} > \text{Fe}$; o Fe e o $\text{As} > \text{Na}$; o Na e o $\text{Zn} > \text{Cr}$; o As e o U.

A partir das diferentes correlações foi possível agrupar, por ordem decrescente, os elementos e compostos químicos que mais contribuem para o quimismo da água da região estudada e que se associam ao U: $\text{PO}_4 > \text{Cr} > \text{Fe} > \text{Cu} > \text{As}$.

A dispersão de U é controlada pelo estado de oxidação e pela variação de pH, e existe uma tendência do U formar complexos ou ser adsorvido pela matéria orgânica, minerais argilosos, óxidos e hidróxidos de Fe e Mn (NEVES *et al.*, 2009; SCHÖNER *et al.*, 2009). Esta tendência, poderá ser uma explicação para o facto do Fe e U apresentarem uma correlação significativa.

O facto de o arsenato ser quimicamente semelhante ao PO_4 pode também explicar a correlação significativa entre o PO_4 e As.

TABELA 4.2 – MATRIZ DOS COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO DE PEARSON DOS DADOS CORRESPONDENTES ÀS AMOSTRAS DE ÁGUA (n=15).

	pH	HCO ₃	PO ₄	SO ₄	Ca	Fe	Mg	K	Na	As	Cu	Zn	Cr	Mn	U
pH	1														
HCO ₃	0,487526	1													
PO ₄	0,374841	0,262727	1												
SO ₄	0,316708	0,722328	-0,10822	1											
Ca	0,489468	0,882288	0,206431	0,902562	1										
Fe	0,281188	0,502186	0,582064	0,114593	0,468455	1									
Mg	0,324471	0,771017	-0,04013	0,957698	0,957565	0,325251	1								
K	0,676195	0,617305	0,421515	0,375353	0,477114	0,050161	0,294004	1							
Na	0,603901	0,888495	0,483832	0,691748	0,867057	0,459568	0,722103	0,7847	1						
As	0,62742	0,269793	0,634488	-0,01006	0,254492	0,467563	0,047264	0,548601	0,430833	1					
Cu	-0,09785	-0,05395	0,18122	-0,11393	-0,08487	0,307199	-0,08726	-0,11585	0,065205	-0,05573	1				
Zn	-0,2565	-0,37483	-0,15376	-0,27223	-0,39723	-0,07981	-0,35238	-0,32732	-0,46549	-0,00088	0,244019	1			
Cr	0,297411	0,396653	0,679455	0,051869	0,410932	0,849458	0,240684	0,182141	0,461578	0,568675	0,045985	-0,036	1		
Mn	0,319836	0,319305	0,132332	0,530921	0,568677	0,34326	0,568976	0,004999	0,296435	0,331469	-0,09266	0,259289	0,380366	1	
U	0,2077	0,170486	0,788829	-0,16221	0,084058	0,593012	-0,09752	0,324307	0,387103	0,468002	0,55747	0,017891	0,601544	-0,12324	1

Muito significativo (p<0,001); bastante significativo (p<0,01); significativo (p<0,05); pouco significativo(p<0,1).

Com a finalidade de identificar o grau de inter-relação entre as variáveis procedeu-se à Análise de Componentes Principais (ACP). A ACP permite pesquisar as relações entre um conjunto de dados, reduzindo o número de variáveis necessárias para descrever a população, com a menor perda possível de informação. O método consiste na construção de fatores (eixos) que retêm o máximo de informação que está contida na matriz de partida, tomando esses eixos a denominação de componentes principais (Davis, 1986).

A matriz de dados utilizada na análise era composta por 15 indivíduos (amostras) e 15 variáveis (pH, HCO₃, PO₄, SO₄, Ca, Fe, Mg, K, Na, As, Cu, Zn, Cr, Mn e U), tendo-se identificado quatro eixos fatoriais principais, que explicam, em conjunto, cerca de 84% da variância (tabela 4.3). Todos os fatores retidos apresentam valor próprio superior à unidade. Na tabela 4.4 apresentam-se os valores das coordenadas ativas nos quatro eixos retidos.

TABELA 4.3 – VALORES PRÓPRIOS E VARIÂNCIA EXPLICADA DOS EIXOS FATORIAIS RESULTANTES DA ACP DOS DADOS DE AMOSTRAS DE ÁGUAS SUPERFICIAIS.

Fatores	Valor Próprio	Variância explicada (%)	Variância explicada acumulada (%)
1	6,355348	42,36898	42,36898
2	3,186476	21,24317	63,61216
3	1,7405	11,60333	75,21549
4	1,361815	9,078764	84,29426

TABELA 4.4 – COORDENADAS DAS VARIÁVEIS ATIVAS NOS QUATRO EIXOS RETIDOS RESULTANTES DA ACP DOS DADOS DE AMOSTRAS DE ÁGUAS SUPERFICIAIS. Os pesos dentro de cada eixo fatorial iguais ou superiores a 0,514 ($p < 0,05$) encontram-se assinalados a negrito.

Fatores	1	2	3	4
pH	0,6742	-0,0665	-0,3392	-0,3571
HCO ₃	0,8732	0,2471	-0,0324	0,1721
PO ₄	0,5418	-0,7126	-0,1224	-0,0229
SO ₄	0,6767	0,6597	0,1654	0,1058
Ca	0,9044	0,3841	0,1529	0,0836
Fe	0,634	-0,4782	0,4255	0,1261
Mg	0,7509	0,5714	0,2633	0,1367
K	0,6691	-0,0276	-0,6228	-0,0782
Na	0,9459	0,0757	-0,1823	0,1874
As	0,5679	-0,505	-0,1642	-0,5078

Continua

Fatores	1	2	3	4
Cu	0,0054	-0,4363	0,3208	0,6055
Zn	-0,3712	-0,2464	0,5397	-0,3384
Cr	0,6284	-0,5307	0,3046	-0,121
Mn	0,4947	0,1927	0,6107	-0,4998
U	0,401	-0,8024	-0,0174	0,3267

Considerando os quatro eixos retidos, e atendendo às grandezas dos valores de coordenadas, verifica-se o seguinte:

Fator 1 – explica, de forma decrescente, as variáveis Na> Ca> HCO₃> Mg> SO₄> pH> K> Fe> Cr> As> (PO₄);

Fator 2 – explica as variáveis (SO₄)> (Mg) em oposição aos parâmetros U> PO₄> (Cr);

Fator 3 – explica as variáveis Mn> Zn em oposição ao (K);

Fator 4 – explica apenas a variável Cu.

Os fatores 1 e 2 respondem a grande parte da variação. A figura 4.6 mostra a projeção das variáveis, tendo em conta as suas coordenadas, no plano fatorial definido pelos dois principais eixos (primeiro plano fatorial). Na mesma figura são visíveis dois grupos independentes. O primeiro fator agrupa os macroelementos correspondentes ao quimismo natural da água, nomeadamente Ca, HCO₃, Na, entre outros. O segundo grupo é constituído, essencialmente, pelo componente químico PO₄ e o elemento químico U, aos quais o Cr revela alguma afinidade. Os valores de pH, como já enumerado anteriormente, apontam para águas tendencialmente neutras, ligeiramente alcalinas, o que poderá explicar a existência, em solução, da espécie UO₂(HPO₄)₂²⁻. Segundo Handley-Sidhu *et al.* (2010), o pH da água pode originar uma dissolução de U e PO₄, proveniente de minerais secundários de urânio, como sejam a uramphite – NH₄(UO₂)(PO₄).3H₂O, a chernikovite – (H₃O)₂(UO₂)₂(PO₄)₂.6H₂O, a meta-autunite – Ca(UO₂)₂(PO₄)₂.H₂O, e a sabugalite – HAl(UO₂)₄(PO₄)₄.16H₂O. Alguns destes minerais foram encontrados na análise das lâminas das amostras de rochas, por microsonda eletrónica.

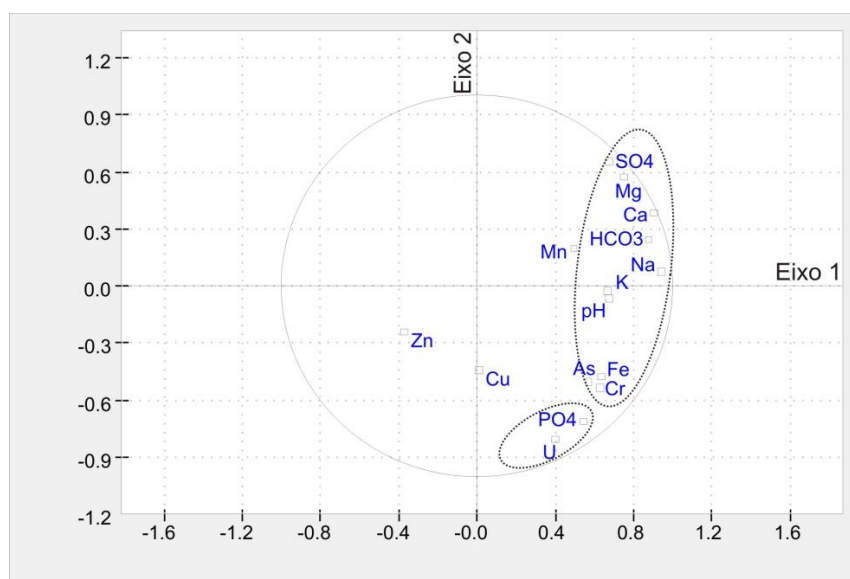


FIGURA 4.6 – PROJEÇÃO DAS VARIÁVEIS NO PRIMEIRO PLANO FATORIAL (EIXO 1/EIXO 2), RELATIVA ÀS ÁGUAS SUPERFICIAIS. As variáveis agrupadas estão rodeadas.

A figura 4.7, que mostra a projeção das variáveis, tendo em conta as suas coordenadas, no plano fatorial definido pelos eixos 1 e 3 (segundo plano fatorial), vem reforçar o agrupamento explicado pelo eixo 1, denotando-se independência entre este e o grupo explicado pelo eixo 3 (Mn, Zn). Apesar de estes grupos se mostrarem, essencialmente, independentes, verifica-se, em certa medida, uma relação inversamente proporcional entre o grupo Mn-Zn e o K.

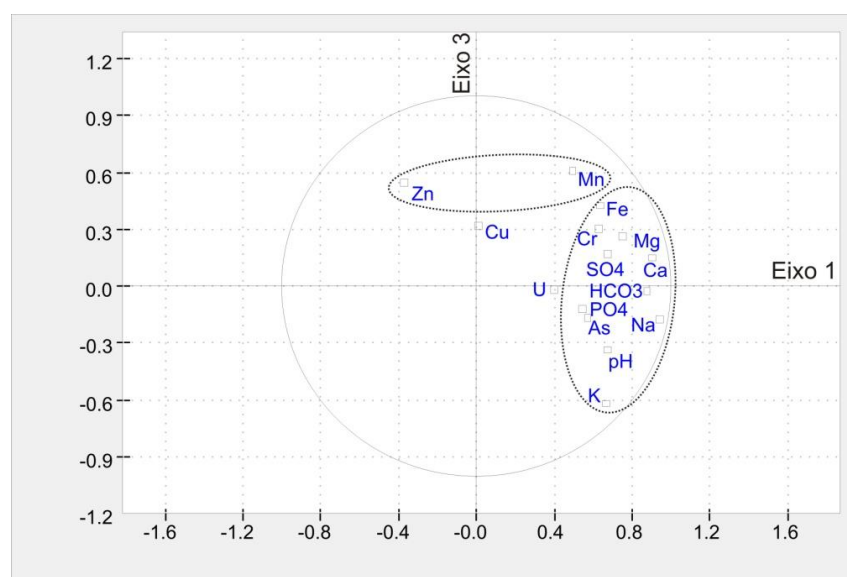


FIGURA 4.7 – PROJEÇÃO DAS VARIÁVEIS NO SEGUNDO PLANO FATORIAL (EIXO1/EIXO3), RELATIVA ÀS ÁGUAS SUPERFICIAIS. As variáveis agrupadas estão rodeadas.

A representação das variáveis no plano fatorial definido pelos eixos 1 e 4 (figura 4.8), reforça, mais uma vez, a associação que constitui o grupo explicado pelo primeiro eixo e salienta o comportamento independente do Cu, que difere das outras variáveis. Visto que a região é essencialmente agrícola, o Cu poderá estar relacionada com a introdução do sulfato de cobre, nas sulfatações, que traria um aporte na sua concentração à água.

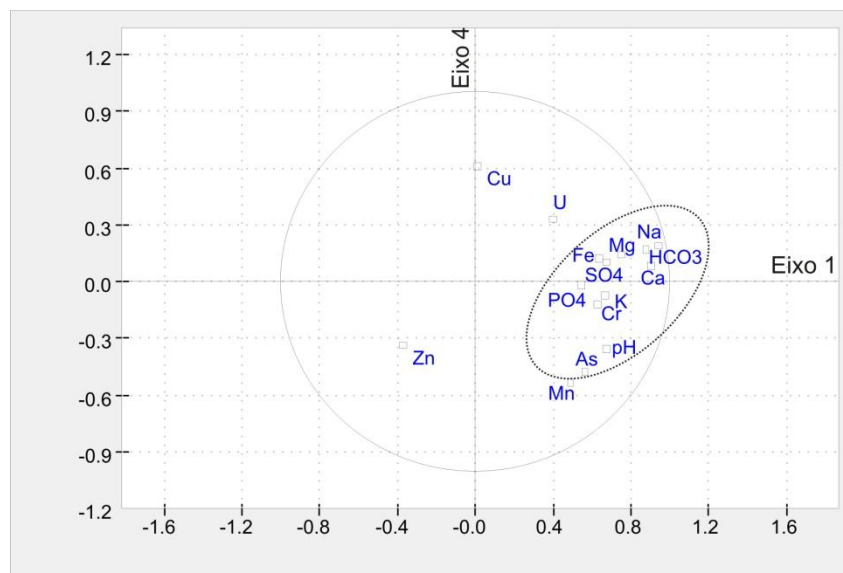


FIGURA 4.8 – PROJEÇÃO DAS VARIÁVEIS NO TERCEIRO PLANO FATORIAL (EIXO1/EIXO4), RELATIVA ÀS ÁGUAS SUPERFICIAIS. As variáveis agrupadas estão rodeadas.

Na projeção das amostras no primeiro plano fatorial (figuras 4.9 e 4.10) destacam-se três “populações”. A primeira (P1) é formada pelas amostras representativas do fundo hidroquímico local. A segunda (P2) é constituída pelas amostras que se encontram na área de influência da associação de variáveis Na-Ca-HCO₃-Mg-SO₄-K; a terceira (P3), constituída pelas amostras HV12 e HV14, está associada às variáveis U, PO₄, As, Cr, Fe e, em certa medida, Cu.

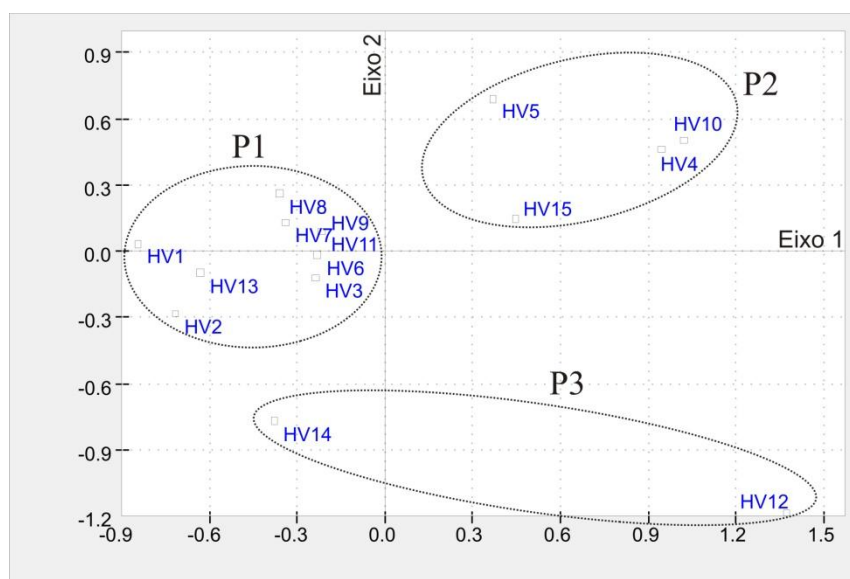


FIGURA 4.9 – PROJEÇÃO DAS AMOSTRAS NO PRIMEIRO PLANO FATORIAL, RELATIVA ÀS ÁGUAS SUPERFICIAIS. As amostras agrupadas estão rodeadas.

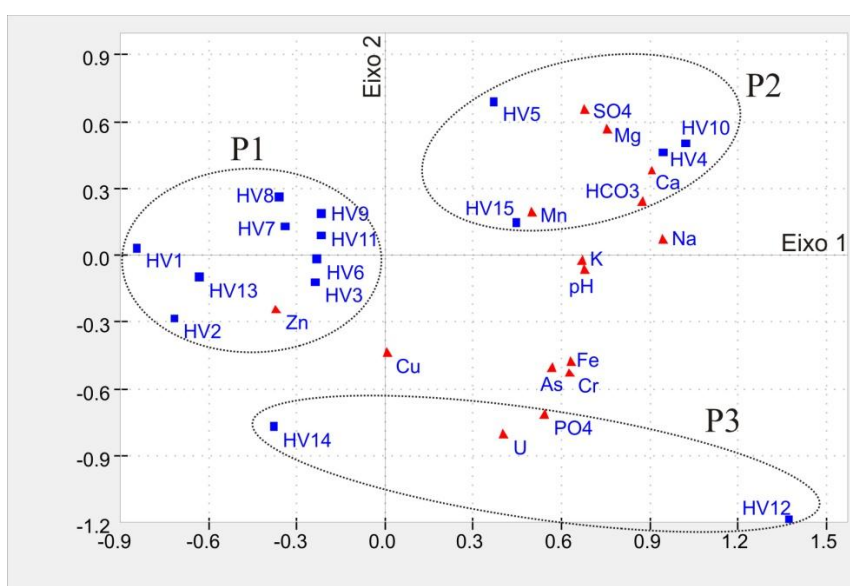


FIGURA 4.10 – PROJEÇÃO DAS AMOSTRAS E DAS VARIÁVEIS NO PRIMEIRO PLANO FATORIAL, RELATIVA ÀS ÁGUAS SUPERFICIAIS. As amostras e parâmetros relacionados estão rodeados.

Procedeu-se, ainda, à ACP, mas colocando os catiões maiores em suplementar e o elemento químico As, procurando encontrar uma explicação para as associações entre alguns dos metais. Nesta análise exclui-se o Fe, pois apresenta concentrações elevadas em todas as amostras, e poderia disfarçar interações entre os outros metais,

Na matriz de dados utilizada na análise composta pelas mesmas 15 amostras de água e 15 variáveis, mas neste caso com 10 variáveis em suplementar (Ca, Mg, K, Na, As, Cu, Zn, Cr, Mn e U), identifica-se dois eixos fatoriais principais, que explicam cerca de 99% da variância (tabela 4.5). Os fatores retidos apresentam valor próprio superior à unidade.

Na tabela 4.6 apresentam-se os valores das coordenadas em suplementar nos eixos retidos.

TABELA 4.5 – VALORES PRÓPRIOS E VARIÂNCIA EXPLICADA DOS EIXOS FATORIAIS RESULTANTES DA ACP DOS DADOS DE AMOSTRAS DE ÁGUAS SUPERFICIAIS (PROJEÇÃO EM SUPLEMENTAR DAS VARIÁVEIS Ca, Mg, K, Na, As, Cu, Zn, Cr, Mn e U).

Fator	Valor Próprio	Variância explicada	Variância explicada
		(%)	acumulada (%)
1	12,68412	84,56083	84,56083
2	2,188004	14,5867	99,14752

TABELA 4.6 – COORDENADAS DAS VARIÁVEIS EM SUPLEMENTAR NOS EIXOS RETIDOS RESULTANTES DA ACP DOS DADOS DE AMOSTRAS DE ÁGUAS SUPERFICIAIS. Os pesos dentro do eixo fatorial igual ou superior a $\pm 0,514$ ($p < 0,05$) encontram-se assinalados a negrito.

Fatores	1	2
Ca	-0,4947	0,0396
Mg	-0,5034	0,0407
K	-0,5588	0,0733
Na	-0,1363	-0,1176
As	-0,48	0,0713
Cu	-0,5756	0,0849
Zn	-0,0017	-0,1452
Cr	-0,6146	0,098
Mn	0,2759	-0,2982
U	-0,5651	0,0877

Considerando os dois eixos retidos, e atendendo às grandezas dos valores de coordenadas, verifica-se que:

O fator 1 explica as variáveis Cr > Cu > U > K.

A figura 4.11 mostra a projeção das variáveis, tendo em conta as suas coordenadas, no plano fatorial definido pelos dois principais eixos (primeiro plano fatorial). Na mesma figura é visível o agrupamento entre os elementos Cr, Cu, U e K.

A relação evidenciada entre os quatro metais poderá manifestar a elevada alteração de minerais secundários de urânio, como aqueles que pertencem ao grupo da meta-torbernite, visíveis na análise por microsonda das lâminas delgadas das rochas da região estudada.

A identificar esta associação, que reflete um hidrogeoquímismo ativo na região, estão ainda os valores da concentração de U e Cr nas águas subterrâneas (anexo 1), referenciadas nesta dissertação como água de furo (HVF1) e água de poço (HVP1). O tempo de permanência das águas em contacto com mineralizações, com um grau de alteração elevado, contribui para o aumento da concentração de metais nessas águas. No caso do furo, pode-se considerar que a relação água/rocha é bem visível, com a concentração dos metais a atingirem os valores mais elevados, destacando-se, por ordem decrescente: Fe > U > Mn > Cu > Cr. Vem, ainda, reforçar a relação entre os elementos U e Cr e, ainda, as associações dos óxidos de ferro aos minerais secundários de urânio confirmadas a partir da microsonda.

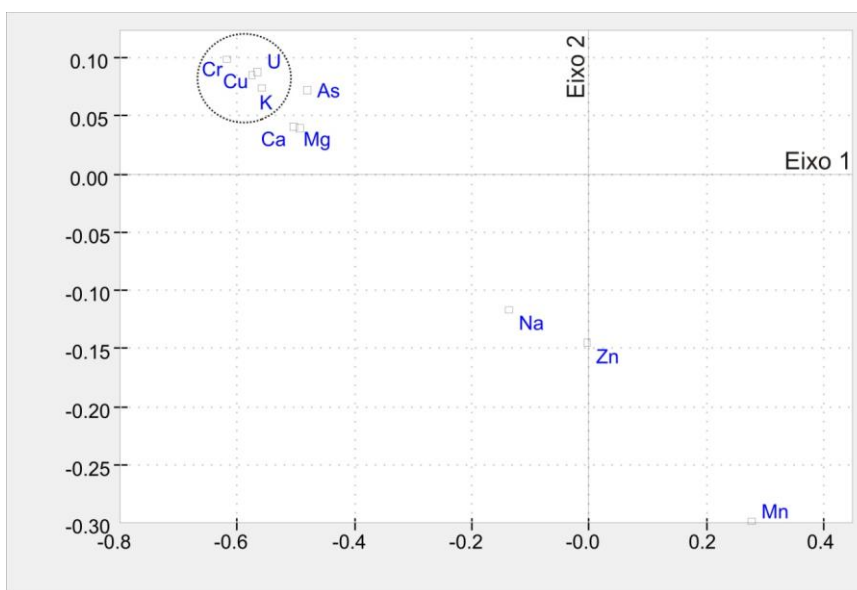


FIGURA 4.11 – PROJEÇÃO DAS VARIÁVEIS EM SUPLEMENTAR NO PRIMEIRO PLANO FATORIAL (EIXO 1/EIXO 2), RELATIVA ÀS ÁGUAS SUPERFICIAIS. As variáveis agrupadas estão rodeadas.

4.1.3. SEDIMENTOS

A tabela 4.7 apresenta os valores estatísticos dos dados correspondentes às concentrações de U nos sedimentos, obtidos para as 15 estações de amostragem (cujos resultados se encontram no anexo 7), após tratamento com técnicas de estatística descritiva univariada. Nas amostras de sedimentos apenas foi analisada a concentração química de U, pois nesta dissertação pretende-se encontrar relações entre a concentração de U nas plantas e no meio onde se desenvolvem (água, solo/sedimento).

A concentração de U nas amostras é muito variável, com um valor máximo de 23909,5 µg/kg e um mínimo de 123,5 µg/kg.

TABELA 4.7 – ANÁLISE DESCRITIVA DOS PARÂMETROS ESTATÍSTICOS DETERMINADOS NAS AMOSTRAS DE SEDIMENTOS (n=15).

Sedimentos	n	Média	Mi	Mín.	Máx.	s	C. V.	Var
U (µg/kg)	15	3929,22	2466,58	123,48	23909,49	5958,69	1,516	35506016,78

n – número de amostras; Mi – mediana; Min. – mínimo; Máx. – máximo; s – desvio padrão; C.V. – coeficiente de variação; Var – Variância.

4.1.4. PLANTAS AQUÁTICAS

Nos mesmos locais de amostragem de águas, foram também coletadas amostras, das espécies, de plantas aquáticas aí existentes (tabela 4.8). A classificação taxonómica teve o apoio do Professor Doutor João Pratas, do Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Coimbra, a consulta da base de dados “on-line” da flora portuguesa do Jardim Botânico da UTAD (<http://www.jb.utad.pt>), do herbário digital da Universidade de Coimbra (www.uc.pt/herbario_digital/Flora_Pt), e da Flora Ibérica (<http://www.floraiberica.org>), além da consulta de manuais especializados sobre a flora portuguesa e ibérica, sempre que necessário (FRANCO, 1971, 1984; SAMPAIO, 1988; FRANCO & AFONSO, 1994, 1998; BRACAMONTE & DOMINGO, 2002).

TABELA 4.8 – ESPÉCIES DE PLANTAS AQUÁTICAS AMOSTRADAS NA HORTA DA VILARIÇA.

Família	Espécie
Fontinalaceae	<i>Fontinalis antipyretica</i> Hedwig <i>Fontinalis squamosa</i> Hedwig
Cyperaceae	<i>Cyperus longus</i> L. <i>Cyperus eragrostis</i> Lam. <i>Eleocharis palustris</i> L.
Juncaceae	<i>Juncus effusus</i> L. <i>Juncus conglomeratus</i> L. <i>Juncus bufonius</i> L.
Umbelliferae	<i>Oenanthe crocata</i> L. <i>Apium nodiflorum</i> (L.) Lag.
Brachytheciaceae	<i>Scorpiurium deflexifolium</i> Fleisches & Loeske <i>Brachythecium plumosum</i> (Hedwig) Schimp.
Lemaneaceae	<i>Lemanea fluviatilis</i> L.
Fabaceae	<i>Lotus uliginosus</i> Schkuhr
Plantaginaceae ou Callitrichaceae	<i>Callitriche stagnalis</i> Scop. <i>Callitriche lusitânica</i> Schostsman
Lamiaceae	<i>Mentha rotundifolia</i> L. <i>Mentha pulegium</i> L.
Lemnaceae	<i>Lemna minor</i> L.
Ranunculaceae	<i>Ranunculus penicillatus</i> Dumort. <i>Ranunculus trichophyllus</i> Chaix <i>Ranunculus peltatus</i> Schrank
Brassicaceae	<i>Rorippa sylvestris</i> (L.) Bess <i>Rorippa nasturtium</i> (L.) Hayek
Rubiaceae	<i>Galium aparine</i> L.
Thyphaceae	<i>Thypha latifolia</i> L.
Lythraceae	<i>Lythrum salicaria</i> L.

Todas as espécies de plantas estudadas apresentam capacidade de concentração de U nos seus tecidos, embora de forma variável num amplo intervalo de valores (anexo 4). Para cada planta que apresenta o número de amostras (n) superior a 2 fez-se o tratamento dos dados por análise univariada, calculando a média, mediana, mínimo, máximo, desvio padrão, coeficiente de variação e a variância (tabela 4.9). Este estudo vai permitir selecionar algumas espécies de plantas aquáticas e semiaquáticas para os ensaios de fitofiltração. As plantas que apresentam, em média, uma maior concentração de U são *Fontinalis antipyretica* e *Rorippa sylvestris* (zona aérea).

TABELA 4.9 – CONCENTRAÇÃO DE URÂNIO NAS PLANTAS AQUÁTICAS (µg/kg em peso seco).

Planta [U planta µg/kg]	n	Média	Mi	Min.	Máx.	s	C.V.	Var
<i>Fontinalis antipyretica</i>	3	25612,40	22335,99	18730,43	35770,77	8980,23	0,35	80644444,02
<i>Cyperus longus</i> (zona aérea)	15	359,52	291,22	9,07	1415,30	365,89	1,02	133874,84
<i>Cyperus longus</i> (zona radicular)	15	1926,86	1457,67	174,91	5014,43	1516,83	0,79	2300758,19
<i>Juncus effusus</i>	3	112,02	36,40	9,16	290,50	155,17	1,39	24077,22
<i>Oenanthe crocata</i> (zona aérea)	9	659,43	348,34	1,19	2105,92	765,61	1,16	586151,68
<i>Oenanthe crocata</i> (zona radicular)	6	4261,11	1754,54	174,67	17806,53	6771,04	1,59	45847019,60
<i>Scorpiurium deflexifolium</i>	2	34205,03		18770,75	49639,32			
<i>Lemanea fluviatilis</i>	7	3318,44	2067,06	627,43	8967,34	2993,82	0,90	8962983,79
<i>Lotus uliginosus</i>	3	1416,89	1229,91	232,02	2788,75	1288,58	0,91	1660429,81
<i>Callitriche stagnalis</i>	5	3598,36	2178,27	1042,54	9041,57	3365,81	0,94	11328703,97
<i>Mentha rotundifolia</i> (zona aérea)	8	605,25	473,52	18,52	1460,44	569,12	0,94	323899,34
<i>Mentha rotundifolia</i> (zona radicular)	6	2400,09	1073,76	286,79	8429,10	3106,10	1,29	9647836,25
<i>Lemna minor</i>	8	1024,27	246,50	182,14	2988,33	1189,82	1,16	1415671,96
<i>Brachythecium plumosum</i>	5	2786,12	2278,30	2,16	6316,97	2473,71	0,89	6119256,49
<i>Fontinalis squamosa</i>	2	3520,93		1562,58	5479,29			
<i>Ranunculus penicillatus</i>	8	1368,08	790,77	283,77	3390,50	1176,12	0,86	1383260,02
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	6	1761,88	1585,96	99,78	4035,20	1568,97	0,89	2461682,35
<i>Rorippa sylvestris</i> (zona aérea)	5	7280,16	858,51	14,44	33836,60	14853,00	2,04	220611528,06
<i>Rorippa sylvestris</i> (zona radicular)	3	481,46	22,98	16,59	1404,80	799,64	1,66	639429,45
<i>Callitriche lusitanica</i>	3	1303,62	801,01	514,54	2595,32	1127,78	0,87	1271883,26
<i>Apium nodiflorum</i> (zona aérea)	7	185,25	177,63	18,04	378,30	143,26	0,77	20523,35
<i>Apium nodiflorum</i> (zona radicular)	6	1985,74	1835,61	711,99	4299,32	1415,34	0,71	2003188,22
<i>Juncus conglomeratus</i>	9	462,44	27,81	1983,14	1983,14	855,84	1,85	732453,73
<i>Cyperus eragrostis</i> (zona aérea)	8	73,34	73,94	197,59	197,59	64,97	0,89	422171,00
<i>Cyperus eragrostis</i> (zona radicular)	8	1213,07	1013,71	2894,13	2894,13	932,20	0,77	868999,32
<i>Thypha latifolia</i> (zona aérea)	4	91,66	35,93	279,07	279,07	125,53	1,37	15757,08
<i>Thypha latifolia</i> (zona radicular)	4	902,32	204,44	2486,79	2486,79	1375,43	1,52	1891810,30
<i>Mentha pulegium</i> (zona aérea)	2	161,58		15,65	307,51			
<i>Mentha pulegium</i> (zona radicular)	2	4289,82		126,04	428,74			
<i>Ranunculus peltatus</i> (zona aérea)	2	310,03		257,16	362,90			
<i>Ranunculus peltatus</i> (zona radicular)	2	4289,82		4056,89	4522,76			
<i>Lythrum salicaria</i>	4	14,92	13,00	29,53	29,53	11,62	0,78	134,93
<i>Eleocharis palustris</i> (zona aérea)	3	121,51	1408,69	323,61	323,61	175,04	1,44	30637,99
<i>Eleocharis palustris</i> (zona radicular)	3	2052,64	451,89	5463,32	5463,32	2955,59	1,44	8735486,74
<i>Rorippa nasturtium</i> (zona aérea)	2	1434,33		903,16	1965,51			
<i>Rorippa nasturtium</i> (zona radicular)	2	7380,12		3764,94	10995,29			

n – número de amostras; Mi – Mediana; Min. – Mínimo; Máx. – Máximo; s – Desvio padrão; C.V. – Coeficiente de variação; Var – variância.

Nas plantas às quais se separou a zona radicular da zona aérea observa-se uma maior concentração de U na zona radicular, à exceção de *Rorippa sylvestris* que, assim, revela uma elevada capacidade de translocação e de acumulação de U na zona aérea (figura 4.12). A

tabela 4.10 representa a análise estatística descritiva dos valores de índice de translocação (IT – anexo 5), que avalia a capacidade das espécies em translocar os metais da raiz para a parte aérea, segundo a equação 4.2 (PAIVA *et al.*, 2002).

$$IT(\%) = (CEAA / (CEAA + CEAR)) \times 100 \quad \text{EQUAÇÃO 4.1 - ÍNDICE DE TRANSLOCAÇÃO (IT);}$$

CEAA – concentração do elemento acumulado na zona aérea; CEAR – concentração do elemento acumulado na zona radicular.

O valor, médio, de IT mais importante é sem dúvida de 62,03% pertencente a *Rorippa sylvestris*. Como o valor de IT ultrapassa os 50%, evidencia uma maior concentração de U na zona aérea comparativamente com a zona radicular. Logo é a planta que revela capacidade de translocar U ao longo dos seus tecidos.

TABELA 4.10 – ANÁLISE DESCRITIVA DOS VALORES DO ÍNDICE DE TRANSLOCAÇÃO NAS PLANTAS AQUÁTICAS.

Planta	n	Média	Mi	Mín.	Máx.	S	C.V.	Var
<i>Cyperus longus</i>	15	19,09	16,12	1,27	68,67	19,82	0,96	392,64
<i>Oenanthe crocata</i>	6	29,46	24,59	8,29	66,41	23,71	1,24	562,15
<i>Mentha rotundifolia</i>	6	34,56	33,01	1,09	78,61	25,77	1,34	664,03
<i>Rorippa sylvestris</i>	3	62,03	47,56	38,58	99,95	33,15	1,87	1098,60
<i>Apium nodiflorum</i>	6	7,65	6,96	2,64	17,86	5,40	1,42	29,14
<i>Rorippa nasturtium</i>	2	17,26		15,17	19,35			
<i>Cyperus eragrostis</i>	8	16,41	3,81	0,75	93,80	31,85	0,52	1014,17
<i>Thypha latifolia</i>	3	36,25	49,95	1,07	57,72	30,71	1,18	943,14
<i>Mentha pulegium</i>	2	37,23		3,52	70,93			
<i>Ranunculus peltatus</i>	2	6,70		5,96	7,43			
<i>Eleocharis palustris</i>	3	20,73	4,71	0,34	57,14	31,61	0,66	999,04

n – número de amostras; Mi – Mediana; Mín. – Mínimo; Máx. – Máximo; s – Desvio padrão; C.V. – Coeficiente de variação; Var – variância.

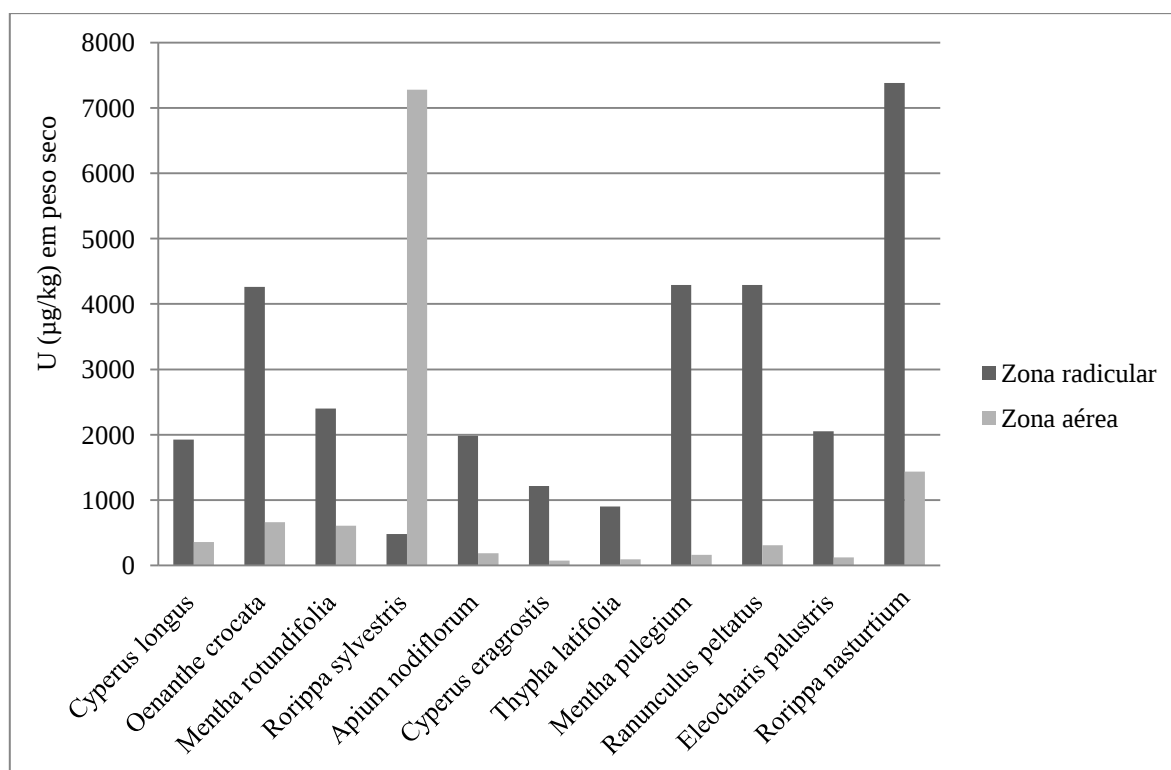


FIGURA 4.12 – VARIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO, EM MÉDIA, DE U NOS DIFERENTES ÓRGÃOS DAS PLANTAS ENRAIZADAS EMERSAS.

O “uptake” relativo de um dado elemento por uma espécie de planta pode ser estudado a partir do fator de bioacumulação (FBA – anexo 6), que estabelece a relação entre a concentração do elemento na planta e a concentração do elemento no substrato ou no meio de crescimento (BROOKS, 1983; PRATAS *et al.*, 2012). Os efeitos dos elementos não essenciais, como o U, no desenvolvimento de uma planta traduzem-se numa curva de dose-resposta, que para o elemento estudado terá apenas duas fases: tolerância ou toxicidade. As espécies que exibem uma capacidade de tolerância, e que se desenvolvem adaptando-se às condições que naturalmente seriam adversas sobrevivendo, podem ser espécies concentradoras ou exclusoras (PAULO *et al.*, 2006). Os valores médios do FBA (tabela 4.11) mais elevados, para as plantas estudadas, correspondem a 24696,72 para *Scorpiurium deflexifolium*; 17096,59 para *Fontinalis antipyretica*; 4974,73 para *Rorippa nasturtium* - zona radicular; e 4786,38 para *Rorippa sylvestris* – zona aérea. De salientar que todas as plantas são acumuladoras, pois apresentam um valor de FBA superior à unidade. Sendo assim, as plantas estudadas revelam maior concentração de U nos seus tecidos que na água.

4. Resultados e discussão

TABELA 4.11 – ANÁLISE DESCRITIVA DOS VALORES DO FATOR DE BIOACUMULAÇÃO NAS PLANTAS AQUÁTICAS.

Planta	n	Média	Mi	Mín.	Máx.	s	C.V.	Var
<i>Fontinalis antipyretica</i>	3	17096,59	12322,65	12272,52	26694,61	8312,16	2,06	69092071,20
<i>Cyperus longus</i> (zona aérea)	15	239,04	171,67	2,85	1056,19	269,90	0,89	72848,22
<i>Cyperus longus</i> (zona radicular)	15	1224,21	1005,03	112,12	3742,11	1026,41	1,19	1053518,44
<i>Juncus effusus</i>	3	68,36	8,02	5,95	191,12	106,32	0,64	11302,97
<i>Oenanthe crocata</i> (zona aérea)	9	557,66	209,54	0,78	1571,58	604,18	0,92	365033,41
<i>Oenanthe crocata</i> (zona radicular)	6	3240,11	1820,42	31,41	13288,46	4996,99	0,65	24969865,39
<i>Scorpiurium deflexifolium</i>	2	24696,72		12349,17	37044,27			
<i>Lemanea fluviatilis</i>	7	2374,80	1801,99	468,23	6692,04	2057,15	1,15	4231857,38
<i>Lotus uliginosus</i>	3	1181,05	1353,76	173,15	2016,25	933,61	1,27	871625,10
<i>Callitriche stagnalis</i>	5	2158,32	1709,09	729,80	4389,11	1403,87	1,54	1970855,35
<i>Mentha rotundifolia</i> (zona aérea)	8	461,37	460,58	10,42	965,69	394,47	1,17	155610,14
<i>Mentha rotundifolia</i> (zona radicular)	6	1820,17	1354,43	115,61	6290,37	2282,77	0,80	5211034,32
<i>Lemna minor</i>	8	656,74	146,69	73,80	2988,33	1013,34	0,65	1026860,35
<i>Brachythecium plumosum</i>	5	2444,27	3470,86	1,42	4076,05	1845,15	1,32	3404579,61
<i>Fontinalis squamosa</i>	2	2880,17		281,04	5479,29			
<i>Ranunculus penicillatus</i>	8	991,51	753,15	106,88	2290,88	896,82	1,11	804289,99
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	6	1302,21	1399,88	31,39	2620,26	1105,84	1,18	1222882,92
<i>Rorippa sylvestris</i> (zona aérea)	5	4786,38	681,35	4,54	21690,13	9461,51	0,51	89520253,66
<i>Rorippa sylvestris</i> (zona radicular)	3	474,22	10,63	7,23	1404,80	805,91	0,59	649487,24
<i>Callitriche lusitanica</i>	3	1130,95	635,72	161,81	2595,32	1290,13	0,88	1664432,29
<i>Apium nodiflorum</i> (zona aérea)	7	100,95	64,26	12,38	245,65	90,15	1,12	8127,57
<i>Apium nodiflorum</i> (zona radicular)	6	1017,52	690,34	359,70	2778,68	904,40	1,13	817933,50
<i>Rorippa nasturtium</i> (zona aérea)	2	975,15		674,00	1276,30			
<i>Rorippa nasturtium</i> (zona radicular)	2	4974,73		2809,66	7139,80			
<i>Juncus conglomeratus</i>	9	326,33	17,79	2,20	1461,81	601,54	0,54	361854,56
<i>Cyperus eragrostis</i> (zona aérea)	8	48,60	20,69	3,07	212,47	68,93	0,71	4751,26
<i>Cyperus eragrostis</i> (zona radicular)	8	738,85	455,33	3,73	1983,05	716,86	1,03	513889,14
<i>Thypha latifolia</i> (zona aérea)	4	56,13	17,73	10,19	178,89	81,97	0,68	6718,60
<i>Thypha latifolia</i> (zona radicular)	3	704,97	131,05	10,21	1973,64	1100,36	0,64	1210799,60
<i>Mentha pulegium</i> (zona aérea)	2	257,08		10,03	504,12			
<i>Mentha pulegium</i> (zona radicular)	2	240,73		206,62	274,83			
<i>Ranunculus peltatus</i> (zona aérea)	2	320,59		46,25	594,92			
<i>Ranunculus peltatus</i> (zona radicular)	2	4072,01		729,66	7414,36			
<i>Lythrum salicaria</i>	4	7,06	5,55	0,92	16,23	6,72	1,05	45,22
<i>Eleocharis palustris</i> (zona aérea)	3	91,92	11,90	7,03	256,83	142,84	0,64	20402,41
<i>Eleocharis palustris</i> (zona radicular)	3	1278,95	192,62	142,10	3502,13	1925,50	0,66	3707535,05

A transferência de metais pesados do solo/sedimentos para a planta pode ser avaliado pelo fator de transferência (FT) (anexo 2), segundo a equação 4.2 (PAIVA *et al.*, 2002).

$$FT = (CEA + CER) / CES \quad \text{EQUAÇÃO 4.2 - FATOR DE TRANSFERÊNCIA (FT); CEA - concentração do elemento na zona aérea; CER - concentração do elemento na zona radicular; CES - concentração do elemento no solo/sedimento.}$$

O valor médio de FT (tabela 4.12) mais elevado é registrado em *Rorippa nasturtium* com 54,14; seguindo-se o valor de 6,34 em *Mentha rotundifolia*. De salientar que todas as plantas que apresentam valores de FT superior à unidade revelam que a planta acumula mais U que o próprio substrato (sedimentos).

TABELA 4.12 – ANÁLISE DESCRITIVA DO FATOR DE TRANSFERÊNCIA ENTRE O SEDIMENTO E AS PLANTAS.

Planta	n	Média	Mi	Mín.	Máx.	S	C.V.	Var
<i>Cyperus longus</i>	15	2,68	0,86	0,10	11,87	3,83	0,70	14,69
<i>Oenanthë crocata</i>	6	0,78	0,91	0,04	1,40	0,52	1,49	0,27
<i>Mentha rotundifolia</i>	6	6,34	0,93	0,16	24,53	9,80	0,65	96,11
<i>Rorippa sylvestris</i>	3	4,88	0,88	0,09	13,66	7,62	0,64	58,02
<i>Apium nodiflorum</i>	6	6,14	2,82	0,30	17,15	7,41	0,83	54,91
<i>Rorippa nasturtium</i>	2	54,14		13,44	104,97			
<i>Cyperus eragrostis</i>	8	0,72	0,52	0,04	2,01	0,69	1,05	0,47
<i>Thypha latifolia</i>	3	0,72	0,20	0,18	1,78	0,92	0,78	0,84
<i>Mentha pulegium</i>	2	0,18		0,18	0,18			
<i>Ranunculus peltatus</i>	2	1,37		0,53	1,98			
<i>Eleocharis palustris</i>	3	0,78	0,78	0,40	1,15	0,53	1,46	0,28

A tabela 4.13 apresenta a análise estatística descritiva do fator de bioacumulação (FBA= [U] na zona radicular da planta/[U] no sedimento – anexo 3), para as plantas, com zona radicular. O valor médio de FBA mais elevado encontra-se em *Rorippa nasturtium* com 49,95; seguindo-se o valor de 4,77 em *Mentha rotundifolia*. De salientar que todas as plantas que apresentam valores de FBA superior à unidade revelam que a planta acumula mais U que o próprio substrato (sedimentos).

4. Resultados e discussão

TABELA 4.13 – ANÁLISE DESCRITIVA DO FATOR DE BIOACUMULAÇÃO ENTRE O SEDIMENTO E AS PLANTAS.

Planta	n	Média	Mi	Mín.	Máx.	s	C.V.	Var
<i>Cyperus longus</i> (zona radicular)	15	1,75	0,78	0,07	9,96	2,57	0,68	6,61
<i>Oenanthe crocata</i> (zona radicular)	6	0,61	0,63	0,02	1,26	0,50	1,22	0,25
<i>Mentha rotundifolia</i> (zona radicular)	6	4,77	0,77	0,10	24,27	9,58	0,50	91,85
<i>Roripa sylvestris</i> (zona radicular)	3	0,16	0,06	0,01	0,42	0,22	0,73	0,05
<i>Apium nodiflorum</i> (zona radicular)	6	3,46	0,68	0,29	14,09	5,48	0,63	29,98
<i>Rorippa nasturtium</i> (zona radicular)	2	49,95		10,84	89,05			
<i>Cyperus eragrostis</i> (zona radicular)	8	1,05	0,56	0,00	3,19	1,09	0,97	1,18
<i>Thypha latifolia</i> (zona radicular)	3	0,66	0,13	0,08	1,77	0,96	0,69	0,92
<i>Mentha pulegium</i> (zona radicular)	2	0,11		0,05	0,17			
<i>Ranunculus peltatus</i> (zona radicular)	2	1,17		0,5	1,83			
<i>Eleocharis palustris</i> (zona radicular)	3	1,16	1,10	0,17	2,20	1,02	1,14	1,03

4.2. ENSAIOS DE FITOFILTRAÇÃO – BIOACUMULAÇÃO DE URÂNIO

Na tabela 4.14 apresentam-se os resultados da análise estatística univariada dos dados correspondentes aos ensaios de fitofiltração (anexo 9), com duração de uma mês, para cada uma das espécies de planta e para a espécie de bivalve (*Corbicula fluminae*), em cada uma das concentrações de U testadas. O valor do branco em cada uma das espécie é para: *Fontinalis antipyretica* de 168,25µg/kg; *Callitriche stagnalis* de 103,18µg/kg; *Callitriche brutia* de 114,00µg/kg; *Elodea canadensis* de 150,23µg/kg; *Ranunculus trichophyllus* de 107,90µg/kg; *Rorippa nasturtium* de 106,63µg/kg e *Corbicula fluminae* de 261,13µg/kg.

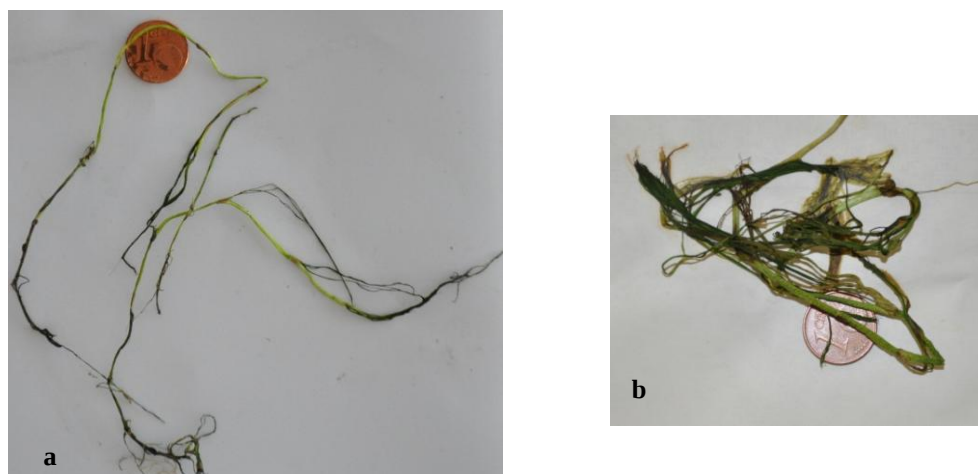
As plantas que apresentam, em média, uma maior concentração de U nos seus tecidos são: *Fontinalis antipyretica*, *Callitriche stagnalis* e *Callitriche brutia*.

As restantes plantas também acumulam U, no entanto, a partir dos 200µg/l no meio, a sua exposição ao U parece induzir algumas alterações morfológicas nos seus tecidos, como é visível, por exemplo, no aumento da espessura do caule de *Ranunculus trichophyllus* (fotografia 4.5).

TABELA 4.14 – CONCENTRAÇÕES DE URÂNIO NAS PLANTAS AQUÁTICAS E BIVALVE ($\mu\text{g/kg}$ de peso seco), OBTIDAS NOS ENSAIOS DE FITOFILTRAÇÃO.

Espécies	n	U no meio ($\mu\text{g/l}$)	U nas espécies ($\mu\text{g/kg}$)						
			Média	Mi	Min.	Máx.	s	C.V.	Var
<i>Fontinalis antipyretica</i>	21	2	3809,00	3313,39	932,76	8929,49	2293,17	0,60	5258610,69
	21	20	52521,75	31309,57	5820,19	400881,14	83013,07	1,58	6891169984,38
	21	200	329602,01	87721,20	7712,93	1166002,59	392547,95	1,19	154093895353,00
	21	1000	1598138,34	1697946,65	150727,06	3199259,26	952813,85	0,60	907854226179,38
<i>Callitriche stagnalis</i>	21	2	3510,82	2486,40	377,93	9790,03	3146,29	0,90	9899113,04
	21	20	19362,87	12338,73	4278,83	43778,97	13910,41	0,72	193499585,60
	21	200	99595,17	34464,27	3613,88	541919,72	170357,75	1,71	29021763854,30
	21	1000	562480,68	211270,00	85794,74	2549844,96	726361,34	1,29	527600798379,02
<i>Callitriche brútia</i>	21	2	2569,64	2273,80	1066,16	6123,24	1249,28	0,49	1560703,73
	21	20	16665,92	15176,08	6383,94	42567,13	9843,68	0,59	96897975,62
	21	200	201927,09	132886,77	42928,18	896066,25	193679,83	0,96	37511876798,94
	21	1000	477901,87	376173,26	70648,35	1711790,39	434881,89	0,91	189122260868,07
<i>Elodea canadensis</i>	21	2	1638,28	1428,03	575,98	2998,50	688,69	0,42	474298,71
	21	20	18678,88	15366,09	1065,84	55680,24	14580,80	0,78	212599703,47
	21	200	97546,97	77510,55	17348,50	335428,94	75588,17	0,77	5713571003,24
	21	1000	397781,55	198566,67	16535,91	1381935,48	418161,35	1,05	174858915049,45
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	21	2	1409,50	1289,44	421,92	3032,03	603,16	0,43	363797,75
	21	20	9579,87	9070,04	2100,17	21704,54	5157,17	0,54	26596376,03
	21	200	135342,88	89339,70	15185,88	625554,30	153218,55	1,13	23475924649,38
	21	1000	216715,72	110553,02	39703,29	869756,38	219069,15	1,01	47991292055,05
<i>Rorippa nasturtium</i>	14	2	1862,53	1556,21	336,17	4375,07	1278,10	0,69	1633539,47
	14	20	17045,71	8698,55	336,17	43426,85	16407,38	0,96	269202095,84
	11	200	86592,47	13318,19	6341,77	418454,75	126422,79	1,46	15982721461,82
	12	1000	101330,17	90296,98	34353,71	242426,77	62207,04	0,61	3869715396,13
<i>Corbicula fluminae</i>	20	2	355,09	201,38	40,32	2131,20	484,09	1,36	234342,32
	21	20	502,86	482,58	123,00	864,70	246,12	0,49	60573,90
	20	200	2873,01	1807,12	170,50	11010,92	3066,95	1,07	9406207,31
	20	1000	3697,07	2061,88	366,81	14799,43	3740,89	1,01	13994251,16

Mi – Mediana; Min. – Mínimo; Máx. – Máximo; s – Desvio padrão; C.V. – Coeficiente de variação; Var – variância.



FOTOGRAFIA 4.5 – OBSERVAÇÃO DO AUMENTO DE ESPESSURA DO CAULE EM *Ranunculus trichophyllus* (Foto **a** – sem qualquer adição de U, considerado o branco; Foto **b** – última colheita da planta com concentração de U do meio de 200µg/l).

O bivalve estudado revela ser uma espécie com capacidade de concentrar U, visto que, em média, a concentração de U nos seus tecidos é superior à do meio. No entanto, apresenta valores baixos de U nos seus tecidos face às plantas estudadas (figura 4.13).

No gráfico da figura 4.13 e na tabela 4.15 é visível o aumento da concentração de U, em todos os seres vivos, à medida que aumenta no meio aquático. Em todos os casos a concentração de U nos seres vivos é sempre superior à concentração de U na água.

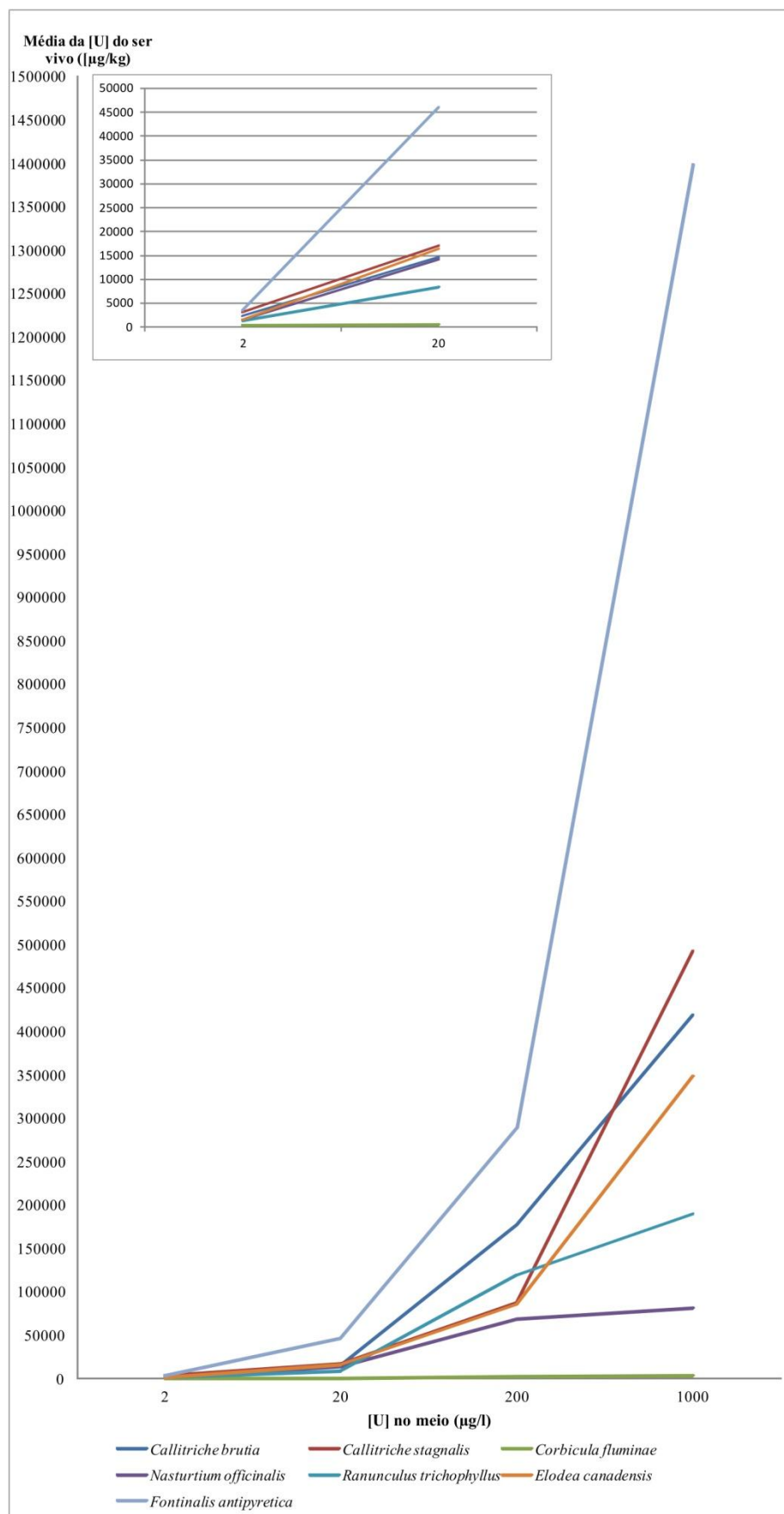


FIGURA 4.13 – VARIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO, EM MÉDIA, DE U NAS ESPÉCIES ESTUDADAS. (*Nasturtium officinalis* é sinóníma de *Rorippa nasturtium*)

4. Resultados e discussão

Os valores da análise estatística descritiva do FBA (anexo 10), representados na tabela 4.15, são elevados para todas as espécies estudadas. No entanto, esses valores sofrem variações à medida que aumenta a concentração de U no meio.

TABELA 4.15 – ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS VALORES DE FBA ([U] NO SER VIVO/[U] NA ÁGUA) PARA AS ESPÉCIES ESTUDADAS.

Espécies	U no meio (µg/l)	n	U nas espécies (µg/kg)						
			Média	Mi	Mín.	Máx.	s	C.V.	Var
<i>Fontinalis antipyretica</i>	2	21	1904,50	1656,70	466,38	4464,75	1146,58	1,66	1314652,68
	20	21	2626,09	1565,48	291,01	20044,06	4150,65	0,63	17227925,25
	200	21	1648,01	438,61	38,56	5830,01	1962,74	0,84	3852347,33
	1000	21	1598,14	1697,95	150,73	3199,26	952,81	1,68	907854,23
<i>Callitriche stagnalis</i>	2	21	1755,41	1243,20	188,97	4895,02	1573,14	1,12	2474778,24
	20	21	968,14	616,94	213,94	2188,95	695,52	1,39	483748,96
	200	21	497,98	172,32	18,07	2709,60	851,79	0,58	725544,09
	1000	21	562,48	211,27	85,79	2549,85	726,36	0,77	527600,81
<i>Callitriche brútia</i>	2	21	1284,82	1136,90	533,08	3061,62	624,64	2,06	390175,94
	20	21	833,30	758,80	319,20	2128,36	492,18	1,69	242244,94
	200	21	1009,64	664,43	214,64	4480,33	968,40	1,04	937796,94
	1000	21	477,90	376,17	70,65	1711,79	434,88	1,10	189122,26
<i>Elodea canadensis</i>	2	21	819,14	714,02	287,99	1499,25	344,35	2,38	118574,67
	20	21	933,94	768,30	53,29	2784,01	729,04	1,28	531499,25
	200	21	487,73	387,55	86,74	1677,14	377,94	1,29	142839,28
	1000	21	397,78	198,57	16,54	1381,94	418,16	0,95	174858,91
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	2	21	704,75	644,72	210,96	1516,01	301,58	2,34	90949,43
	20	21	478,99	453,50	105,01	1085,23	257,86	1,86	66490,94
	200	21	676,71	446,70	75,93	3127,77	766,09	0,88	586898,10
	1000	21	216,72	110,55	39,70	869,76	219,07	0,99	47991,29
<i>Rorippa nasturtium</i>	2	14	931,26	2,00	242,63	2187,53	639,05	1,46	408384,88
	20	14	852,29	434,93	16,81	2171,34	820,37	1,04	673005,24
	200	11	432,96	66,59	31,71	2092,27	632,11	0,68	399568,03
	1000	12	101,33	90,30	34,35	242,43	62,21	1,63	3869,72
<i>Corbicula fluminae</i>	2	21	1050,85	104,00	20,16	18516,82	4008,90	0,26	16071319,01
	20	21	25,14	24,13	6,15	43,23	12,31	2,04	151,43
	200	20	14,37	9,04	0,85	55,05	15,33	0,94	235,16
	1000	20	3,70	2,06	0,37	14,80	3,74	0,99	13,99

Mi – Mediana; Min. – Mínimo; Máx. – Máximo; s – Desvio padrão; C.V. – Coeficiente de variação; Var – variância.

Visto termos utilizado diferentes valores de concentração de U no meio, o valor de FBA é diferente em função desse meio. Esta variação de FBA nas plantas poderá estar

dependente do equilíbrio químico do meio e a acumulação é devida fundamentalmente a mecanismos passivos e não ativos. Em concentrações de U do meio aquático mais elevadas, poderá não haver translocação de U ao longo da planta.

Em *Corbicula fluminae* verifica-se que o valor de FBA vai diminuindo à medida que aumenta a concentração de U no meio, o que evidencia uma resistência à entrada de U.

A tabela 4.16 apresenta o coeficiente de correlação entre duas variáveis, a concentração de U na água e a concentração de U nos seres vivos. Para $p < 0,001$, a correlação é muito significativa com valores de $r > \pm 0,449$ ($n-2=50$), para *Rorippa nasturtium* e $r > \pm 0,408$ ($n < 60$), para as restantes espécies. Pelos valores obtidos, ambas as variáveis relacionam-se de forma muito significativa em todas as espécies.

A correlação positiva e linear, entre a concentração de U na água e nas plantas, revela que todas elas apresentam potencial bioindicador de U.

Apesar de *Corbicula fluminae* também apresentar uma correlação positiva e linear, será necessário um estudo mais pormenorizado para considerar esta espécie bioindicadora de U, pois ao longo do ensaio e pelos resultados anteriores a sua reação à concentração de U é muito variável.

TABELA 4.16 – COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO ENTRE A CONCENTRAÇÃO DE U NA ÁGUA DOS AQUÁRIOS E A CONCENTRAÇÃO DE U NOS SERES VIVOS.

	<i>Fontinalis antipyretica</i> n=84	<i>Callitriche stagnalis</i> n=84	<i>Callitriche brútia</i> n=84	<i>Elodea canadensis</i> n=84	<i>Ranunculus trichophyllus</i> n=84	<i>Rorippa nasturtium</i> n=52	<i>Corbicula fluminae</i> n=81
U na água ($\mu\text{g/l}$)	0,999939	0,999445	0,973265	0,999113	0,904762	0,796157	0,770845

n – n.º de amostras; **Muito significativo ($p < 0,001$)**

Para a planta *Fontinalis antipyretica*, foi possível calcular a taxa de extração (TE), dado pelo produto da concentração de U na planta pelo valor de biomassa (anexo 14). A taxa de extração permite quantificar a concentração de U extraída pela planta numa dada área, logo se apresenta capacidade de fitorremediação.

O valor de biomassa de $63,75\text{g/m}^2$, referenciado por VEGA (2012), foi obtido no mesmo laboratório e nas mesmas condições de ensaio desenvolvidas nesta dissertação.

4. Resultados e discussão

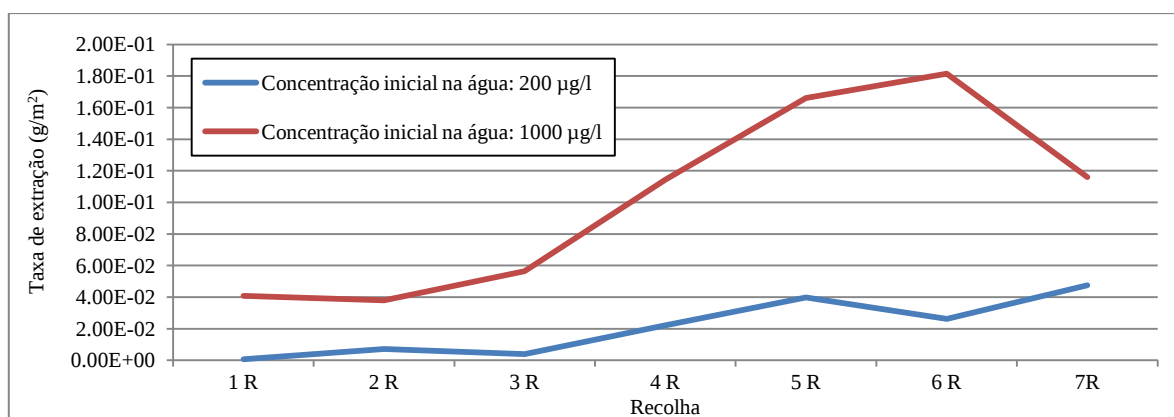


FIGURA 4.14 – TAXAS DE EXTRAÇÃO DE U (g/m^2) EM *Fontinalis antipyretica*.

A figura 4.14 mostra que as taxas de extração, ainda que oscilem ao longo do tempo, apresentam uma tendência crescente à medida que aumenta o tempo de residência.

Da análise da tabela 4.17 pode afirmar-se que se evidencia o potencial de extração de U pela planta, logo esta apresenta capacidade de fitorremediação.

TABELA 4.17 – ANÁLISE DESCRITIVA DOS VALORES DA TAXA DE EXTRAÇÃO (TE) EM *Fontinalis antipyretica* (g/m^2).

Planta	n	[U] meio ($\mu\text{g/l}$)	TE (g/m^2)						
			Média	Mi	Mín.	Máx.	s	C.V.	Var
<i>Fontinalis antipyrética</i>	21	200	0.021	0.0056	4.92E-04	0.074	0.025	0.840	0.001
<i>Fontinalis antipyrética</i>	21	1000	0.1019	0.1082	9.61E-03	0.204	0.061	1.677	0.004

Mi – Mediana; Mín – Mínimo; Máx – Máximo; s – Desvio padrão; C.V. – Coeficiente de variação; Var – Variância.

Em trabalhos futuros, e visto as restantes espécies de plantas aquáticas testadas também apresentarem potencial de acumulação de U nos seus tecidos, seria vantajoso calcular o valor de TE para cada espécie.

4.3. ENSAIOS DE FITOFILTRAÇÃO – INFLUÊNCIA DO pH

Para cada planta, *Elodea canadensis* e *Fontinalis antipyretica*, utilizada no ensaio de fitofiltração, a fim de verificar a influência do pH, fez-se o tratamento dos dados (anexo 11)

por análise univariada, calculando a média, mediana, máximo mínimo, desvio padrão, variância e coeficiente de variação (tabela 4.18). As plantas *Elodea canadensis* e *Fontinalis antipyretica* apresentam um valor de concentração de U na amostra inicial (branco) de 150,23µg/kg e 168,25µg/kg respectivamente.

Analisando a tabela, verifica-se que o valor de pH ao longo do ensaio sobe, em todos os recipientes, para valores acima de 7.

A concentração de U nos recipientes, e ao longo do tempo, diminui, excetuando para as concentrações iniciais de 2µg/l, que apresentam uma subida nas leituras finais de concentração na água

4. Resultados e discussão

TABELA 4.18 – VARIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE U EM DUAS PLANTAS EM RELAÇÃO À VARIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DO MEIO E pH (para cada uma das concentrações e pH n=4).

Espécie	U no meio (µg/l)		pH		U na planta (µg/kg)						
	Inicial	Final	Inicial	Final	Média	Mi	Mín.	Máx.	s	C.V.	Var
<i>Elodea canadensis</i>	2	3	4,4	7,16	4546,51	4264,37	3963,82	5411,35	763,90	0,17	583537,23
	20	19.97	4,4	7,41	17340,73	20712,71	6594,40	24715,08	9519,32	0,55	90617473,72
	200	14.88	4,4	7,15	75941,60	61520,95	44153,85	122150,00	40948,95	0,54	1676816376,50
	1000	147.43	4,4	7,08	193288,45	204311,77	54800,16	320753,42	133318,86	0,69	17773919290,39
	2	5.76	5,5	7,3	5832,47	4825,24	2704,11	9968,07	3735,26	0,64	13952172,79
	20	12.07	5,5	7,43	25195,08	16158,33	11172,95	48253,97	20124,55	0,80	404997667,81
	200	41.85	5,5	7,24	68039,27	80943,95	40340,54	82833,33	24006,40	0,35	576307478,95
	1000	361.56	5,5	6,87	689502,99	745144,93	311564,63	1011799,41	353417,89	0,51	124904207336,37
	2	6.16	6,6	7,44	12978,33	5010,57	1966,74	31957,67	16506,90	1,27	272477878,61
	20	17.07	6,6	7,48	34053,21	27316,43	23111,11	51732,10	15454,08	0,45	238828457,86
	200	131.19	6,6	7,36	106027,88	92483,82	87152,32	138447,49	28202,48	0,27	795379730,34
	1000	684.33	6,6	7,07	467416,14	490948,51	310557,53	600742,39	146516,70	0,31	21467142096,99

continua

Espécie	U no meio (µg/l)		pH		U na planta (µg/kg)						
	Inicial	Final	Inicial	Final	Média	Mi	Mín.	Máx.	s	C.V.	Var
<i>Fontinalis antipyretica</i>	2	3	4,4	7,17	8530,34	9637,27	2250,06	13703,70	5806,50	0,68	33715473,86
	20	19.97	4,4	7,41	46694,07	36245,95	24766,47	79069,77	28619,65	0,61	819084166,37
	200	14.88	4,4	7,15	230033,96	211764,71	132080,49	346256,68	108250,57	0,47	11718185206,12
	1000	147.43	4,4	7,08	1141320,63	1162007,17	495220,70	1766734,01	636009,02	0,56	404507472010,28
	2	5.76	5,5	7,3	28968,35	28223,55	4389,56	54291,94	24959,52	0,86	622977810,38
	20	12.07	5,5	7,43	47846,71	55724,82	30241,02	57574,30	15274,99	0,32	233325435,21
	200	41.85	5,5	7,24	150751,29	161015,98	19751,94	271485,94	126180,53	0,84	15921525373,55
	1000	361.56	5,5	6,87	2186079,91	1892088,20	1875125,88	2791025,64	523967,02	0,24	274541436379,69
	2	6.16	6,6	7,44	4633,59	4131,94	4102,15	5666,67	894,80	0,19	800661,78
	20	17.07	6,6	7,48	75072,19	91290,68	25744,08	51732,10	43546,24	0,58	1896274946,92
	200	131.19	6,6	7,36	157435,01	185126,51	95067,40	192111,11	54124,72	0,34	2929485337,60
	1000	684.33	6,6	7,07	1206472,63	1153504,27	783546,46	1682367,15	451745,38	0,37	204073892125,90

Mi – Mediana; Min. – Mínimo; Máx. – Máximo; s – Desvio padrão; C.V. – Coeficiente de variação; Var – variância.

Com este ensaio pretendia-se avaliar a influência do pH na capacidade de concentração de U nos tecidos das plantas em estudo. Verifica-se, nos três níveis de pH, uma efetiva concentração de U nos tecidos das plantas. A capacidade de acumulação de U, pela espécie *Fontinalis antipyretica*, fica, uma vez mais, demonstrada. Entre as duas espécies testadas, a *Fontinalis antipyretica* é a que apresenta as concentrações de U mais elevadas, para todas as concentrações iniciais na água e para todos os valores de pH (figura 4.14). A concentração de U mais elevada, em ambas as plantas, verifica-se quando a concentração de U no meio é de 1000µg/l e o valor de pH é 5,5 (figuras 4.15, 4.16 e 4.17). No entanto, na espécie *Elodea canadensis*, para concentrações mais baixas de U no meio (2, 20 e 200µg/l), as concentrações bioacumuladas (valores médios) mais elevadas observam-se quando o pH do meio é de 6,6. Já a espécie *Fontinalis antipyretica* revela um comportamento algo errático: para a concentração do meio mais baixa (2µg/l), a concentração acumulada (valor médio) mais elevada verifica-se quando o pH é de 5,5; quando a concentração no meio é de 20µg/l, o valor médio bioacumulado mais elevado observa-se quando o pH é de 6,6; e quando a concentração do meio se situa nos 200µg/l, a concentração acumulada (valor médio) mais elevada corresponde ao pH do meio 4,4.

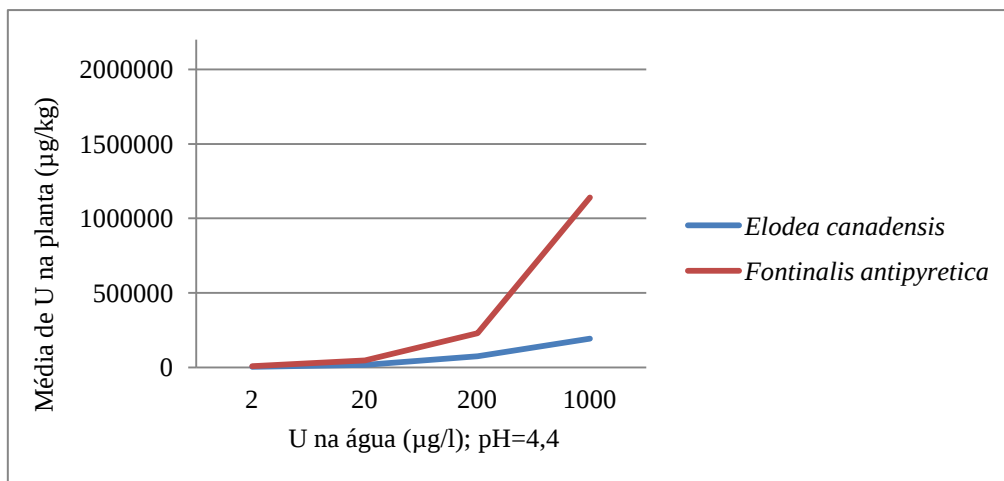


Gráfico 1

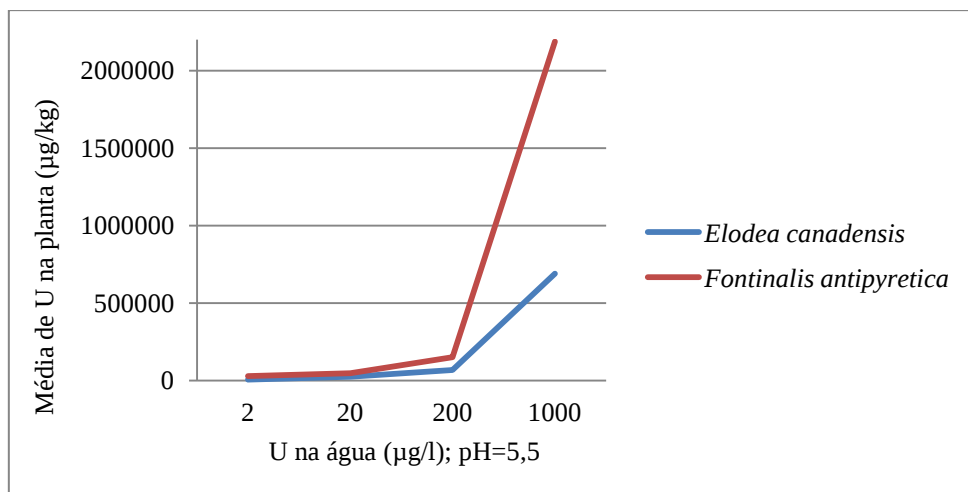


Gráfico 2

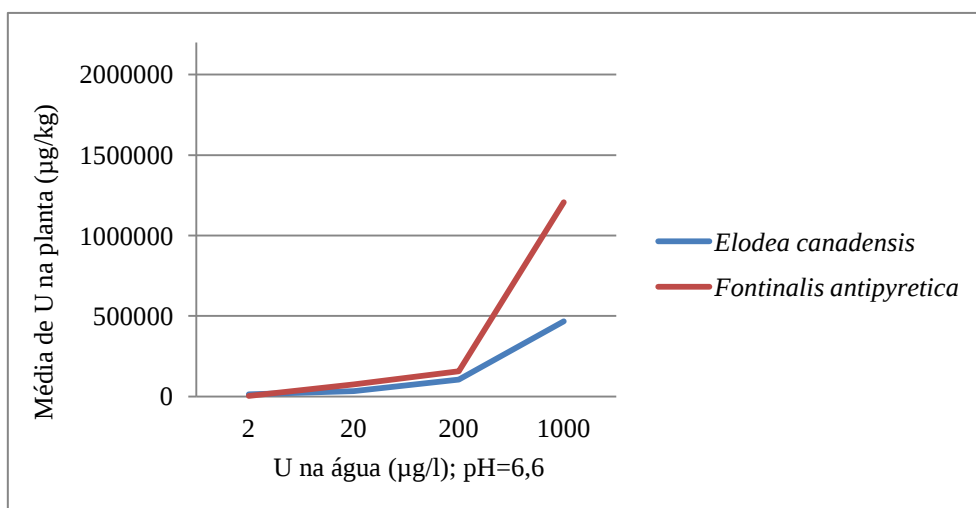


Gráfico 3

FIGURA 4.15 – VARIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO, EM MÉDIA, DE U NAS PLANTAS *Elodea canadensis* E *Fontinalis antipyretica* EM FUNÇÃO DA VARIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE U E DO pH NO MEIO.

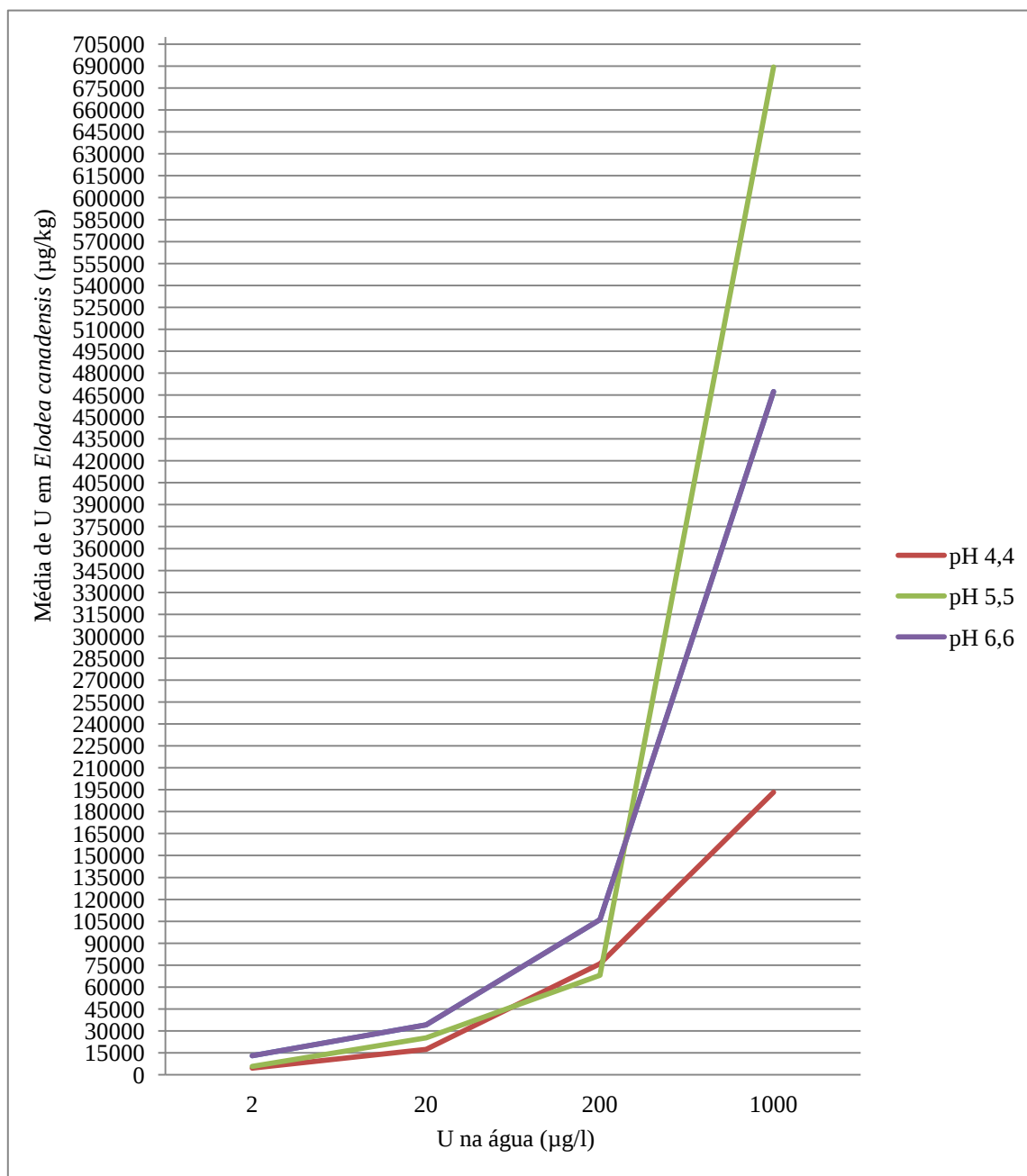


FIGURA 4.16 - VARIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO, EM MÉDIA, DE U EM *Elodea canadensis*, EM FUNÇÃO DA VARIAÇÃO DE pH DA ÁGUA.

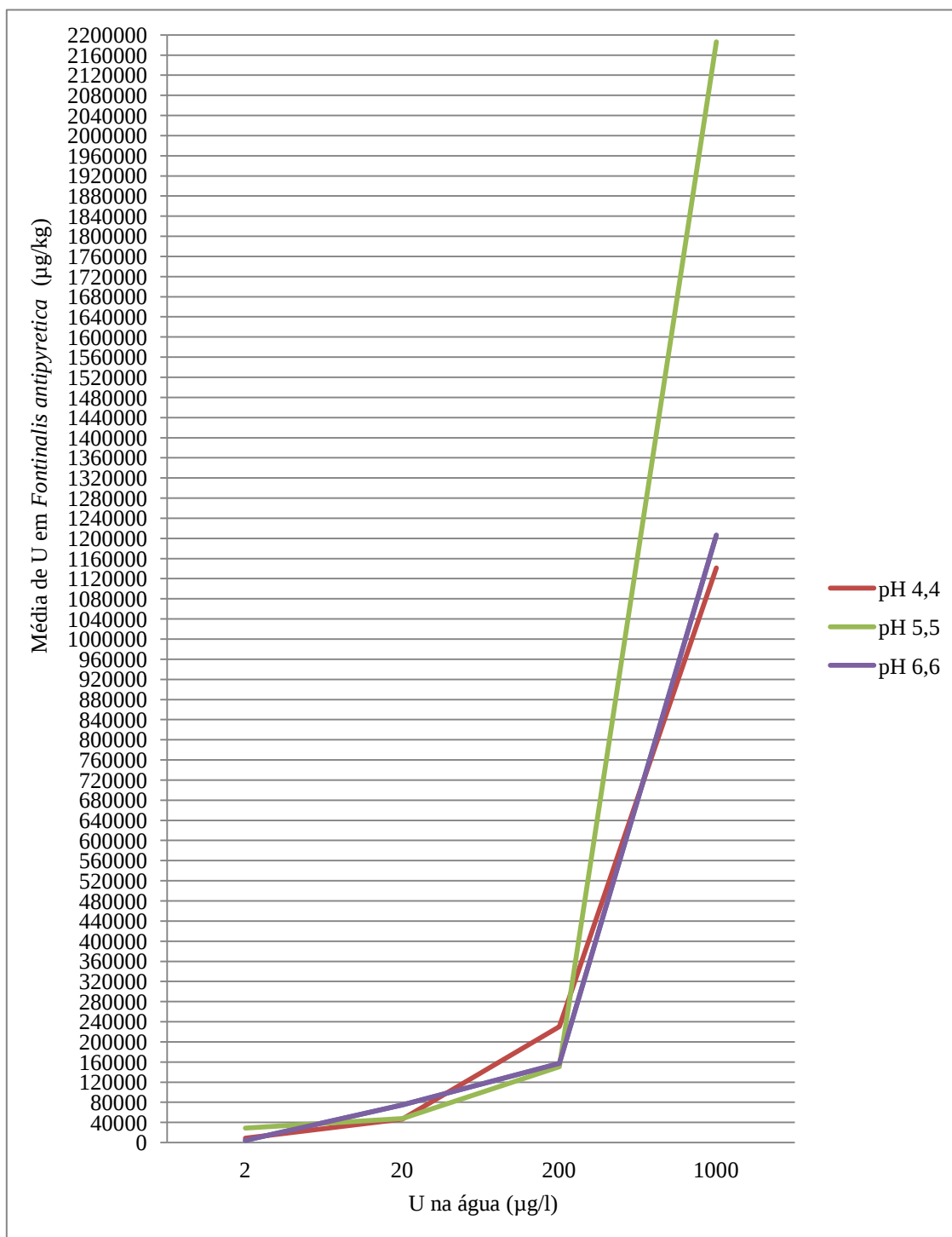


FIGURA 4.17 - VARIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO, EM MÉDIA, DE U EM *Fontinalis antipyretica*, EM FUNÇÃO DA VARIAÇÃO DE pH DA ÁGUA.

O estudo estatístico bivariado revela correlações entre a variável “U nas plantas” e as variáveis “U na água” e “pH da água”, para um total de 36 amostras por planta. Existe uma correlação positiva muito significativa entre a concentração de U nas plantas e no meio, para todos os valores de pH, reforçando, mais uma vez, a capacidade bioindicadora destas plantas. No que se refere à relação entre a concentração de U nas plantas e a variação de pH, observa-se uma correlação positiva bastante significativa apenas no caso da *Elodea canadensis*, para a concentração do meio a 20µg/l, esta planta adapta-se melhor em meios com menor acidez, próximo do neutro. Nas restantes concentrações do meio, esta espécie, apresenta correlações significativas. No caso de *Fontinalis antipyretica* a variação da concentração de U na planta em função do pH é pouco significativa nas concentrações do meio de 2 e 1000µg/l e é significativa para as concentrações do meio de 20µg/l e 200µg/l, sendo uma correlação positiva no primeiro caso e negativa no segundo (tabela 4.19 e 4.20).

Na tabela 4.21 apresentam-se os coeficientes de correlação entre a concentração de U nas plantas e a concentração de U na água e o pH da água, considerando a globalidade das amostras, ou seja, sem diferenciar as gamas de concentrações de U na água e de valores de pH. Continua a verificar-se que a concentração de U nas plantas testadas varia linearmente com a concentração de U no meio, de forma bastante significativa. Já a influência do pH do meio, no intervalo em causa (4,4 – 6,6), parece não ser significativa.

Elodea canadensis revela uma menor capacidade de concentração de U, para pH baixo; contrariamente, a mesma espécie apresenta elevada concentração de U, nos seus tecidos, em pH mais elevado. A *Elodea canadensis* é uma planta que apresenta uma resposta mais favorável em águas com pH mais elevado.

A *Fontinalis antipyretica* revela um comportamento errático relativamente ao pH.

A correlação positiva e linear, entre a concentração de U na água e nas duas plantas, revela que elas apresentam potencial bioindicador de U.

As variações de pH não alteram a capacidade bioindicadora das duas espécies em estudo.

TABELA 4.19 – COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE A CONCENTRAÇÃO DE U NA ÁGUA E A CONCENTRAÇÃO DE U NAS PLANTAS, TENDO EM CONTA O pH DA ÁGUA.

Espécie	n	pH da água		
		4.4	5.5	6.6
<i>Elodea canadensis</i>	36	0,98387	0,993383	0,999672
<i>Fontinalis antipyretica</i>	36	0,999859	0,990189	0,995151

Muito significativo ($p < 0,001$); bastante significativo ($p < 0,01$); significativo ($p < 0,05$); pouco significativo ($p < 0,1$).

TABELA 4.20 – COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE O pH DA ÁGUA E A CONCENTRAÇÃO DE U NAS PLANTAS, TENDO EM CONTA A CONCENTRAÇÃO DE U DA ÁGUA.

Espécie	n	[U] da água ($\mu\text{g/l}$)			
		2	20	200	1000
<i>Elodea canadensis</i>	36	0,3909	0,4710	0,3995	0,4016
<i>Fontinalis antipyretica</i>	36	-0,0987	0,4028	-0,3297	0,0408

Muito significativo ($p < 0,001$); bastante significativo ($p < 0,01$); significativo ($p < 0,05$); pouco significativo ($p < 0,1$).

TABELA 4.21 – COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE A CONCENTRAÇÃO DE U NAS PLANTAS E A CONCENTRAÇÃO DE U NA ÁGUA E O pH DA ÁGUA, CONSIDERANDO A GLOBALIDADE DAS AMOSTRAS.

	<i>Elodea canadensis</i> n=36	<i>Fontinalis antipyretica</i> n=36
[U] água	0,7881	0,8795
pH água	0,1471	0,0025

Muito significativo ($p < 0,001$); bastante significativo ($p < 0,01$); significativo ($p < 0,05$); pouco significativo ($p < 0,1$).

5. APLICAÇÃO PEDAGÓGICA

Desenvolveu-se um projeto de trabalho que envolveu uma equipa de alunos de várias turmas e respetivos docentes, de diferentes áreas disciplinares (Ciências Naturais e Ciências Físico-químicas; Biologia e Geologia; Biologia; Física e Química; Química; Matemática; Português; Área de Projeto) da Escola EB3 e Secundária de Mirandela. Os alunos foram convidados a desenvolver um projeto ambiental durante o ano letivo 2010/2011, numa zona perto da escola e que apresentava indícios de contaminação por U (Horta da Vilarça). A duração do projeto prendeu-se com o fato da escola não poder garantir a continuidade de alguns dos docentes; alguns dos alunos pertenciam ao 12º ano, o que implicava, no final do ano letivo, exames nacionais e o término do ensino secundário; pesou ainda, a falta de verbas por parte da escola para financiamento.

No início do projeto, com o objetivo de avaliar os conhecimentos prévios dos alunos, acerca da fitorremediação, aplicou-se um questionário (anexo 13). Ao longo do questionário existem desafios que permitem aos alunos delinear, de forma mais autónoma, o projeto. Este, envolveu uma saída de campo, um trabalho experimental em laboratório, e uma apresentação para toda a comunidade escolar. Estiveram envolvidos 22 alunos do 3º ciclo do ensino básico, com idades compreendidas entre os 12 e os 14 anos, dos quais 11 são do sexo masculino e os restantes do sexo feminino; e 24 alunos do ensino secundário, com idades compreendidas entre os 16 e os 18 anos, dos quais 11 são do sexo masculino e os restantes 13 são do sexo feminino.

No ano letivo 2011/2012, procedeu-se à construção de modelos experimentais, com alunos do ensino profissional, da Escola Profissional de Agricultura e Desenvolvimento Rural de Carvalhais. Os alunos estão motivados para um ensino mais cooperativo e técnico. Todos eles apresentam idade superior a 16 anos e frequentam vários cursos profissionais, nomeadamente: Técnico de Proteção Civil; Técnico de Processamento e Controlo de Qualidade; Técnico de Produção Agrícola, entre outros.

A opção por duas escolas teve como finalidade que o trabalho técnico-científico, desenvolvido para a presente dissertação, fosse acompanhado por vários grupos de alunos, de níveis de ensino diferentes, permitindo adaptar os trabalhos às diversas vivências e objetivos educacionais.

5.1. RESULTADO DOS QUESTIONÁRIOS

Os resultados do inquérito foram analisados em duas fases, tendo em conta o nível de escolaridade dos alunos. Para cada questão são analisados, separadamente, os resultados dos alunos do ensino básico e do ensino secundário (tabelas 5.1 a 5.8), mas ambos trabalharam em cooperação. Havendo a preocupação na atribuição de tarefas adaptadas ao nível de conhecimento exigido nos programas das diversas disciplinas.

TABELA 5.1 – RESPOSTAS DOS ALUNOS À QUESTÃO 1: “REFERE DUAS VANTAGENS E DUAS DESVANTAGENS DA UTILIZAÇÃO DE URÂNIO PELO HOMEM”.

ENSINO BÁSICO (N= 22)

Vantagens	F	%	Desvantagens	F	%
Mais barato	9	40,9	Impactes ambientais	20	90,9
Combate a crise do petróleo	8	36,4	Problemas de saúde pública	14	63,6
Produção de energia	5	22,7			

ENSINO SECUNDÁRIO (N= 24)

Vantagens	F	%	Desvantagens	F	%
Independência energética dos combustíveis fósseis	12	50	Muito poluente	10	41,7
Fonte de energia	9	37,5	Provoca doenças	10	41,7
Produção de energia nuclear	7	29,2	Poluente químico e radioativo	7	29,2
Barato	3	12,5	Impacte ambiental	6	25
Fortalece a economia	1	4,2	Desastres ecológicos com reatores nucleares	6	25
			Requer um grande investimento	3	12,5
			Requer elevada segurança	3	12,5

TABELA 5.2 – RESPOSTAS DOS ALUNOS À QUESTÃO 2: “A PARTIR DA ANÁLISE DO TEXTO, ASSINALA A CANETA OS JAZIGOS URANÍFEROS DO PAÍS, NO MAPA TURÍSTICO DE PORTUGAL”.

ENSINO BÁSICO (N= 22)

Zonas uraníferas	F	%
Todos os locais identificados	20	90,9
Apenas identifica 2 locais	1	4,5
Não identifica	1	4,5

ENSINO SECUNDÁRIO (N= 24)

Zonas uraníferas	F	%
Todos os locais identificados	21	87,5
Apenas identifica 2 locais	1	4,2
Não identifica	2	8,3

TABELA 5.3 – RESPOSTAS DOS ALUNOS À QUESTÃO 3: “REFERE DE QUE NATUREZA É O MATERIAL ROCHOSO ONDE SE ENCONTRAM OS JAZIGOS URANÍFEROS DO PAÍS”.

ENSINO BÁSICO (N= 22)

Litologia	F	%
Granodioritos e tonalitos	22	100

ENSINO SECUNDÁRIO (N= 24)

Litologia	F	%
Rochas magmáticas	14	58,3
Granito	8	33,3
Granodioritos e tonalitos	1	4,2
Não respondem	1	4,2

TABELA 5.4 – RESPOSTAS DOS ALUNOS À QUESTÃO 4: “ENUMERA QUATRO CONSEQUÊNCIAS, PARA A NATUREZA, QUE ADVÊM DA PRESENÇA DE MINERALIZAÇÕES DE URÂNIO”.

ENSINO BÁSICO (N= 22)

Consequências	F	%
Poluição da água e/ou solo	19	86,4
Alterações dos ecossistemas naturais	11	50
Diminuição da biodiversidade	9	40,9
Toxicidade	5	22,7
Doenças	3	13,6
Desflorestação	3	13,6
Radioatividade	2	9,1
Erosão do solo	1	4,5
Eutrofização	1	4,5
Chuvas ácidas	1	4,5

ENSINO SECUNDÁRIO (N= 24)

Consequências	F	%
Contaminação da água e solo	18	75
Destruição de habitats	11	45,8
Morte de seres vivos	11	45,8
Degradação da paisagem	7	29,2
Doenças	3	12,5
Crianças com deficiências por alterações genéticas	3	12,5
Poluição	3	12,5
Contaminação das teias alimentares	2	8,3
Contaminação de alimentos	1	4,2
Radioatividade do meio	1	4,2
Alterações físicas e químicas das rochas	1	4,2

TABELA 5.5 – RESPOSTAS DOS ALUNOS À QUESTÃO 5: “ASSINALA COM UMA CRUZ (X) AQUELAS QUE DIZEM RESPEITO A SOLUÇÕES AMIGAS DO AMBIENTE”.

ENSINO BÁSICO (N= 22)

Opções	F	%
a) ETAR	13	59,1
b) Incineração	0	0
c) Isolamento da área	9	40,9
d) Tratamento químico	9	40,9
e) Fitorremediação	14	63,6
f) Tratamento térmico	11	50

ENSINO SECUNDÁRIO (N= 24)

Opções	F	%
a) ETAR	20	83,3
b) Incineração	3	12,5
c) Isolamento da área	8	33,3
d) Tratamento químico	8	33,3
e) Fitorremediação	17	70,8
f) Tratamento térmico	8	33,3

TABELA 5.6 – RESPOSTAS DOS ALUNOS À QUESTÃO 6: “DAS AFIRMAÇÕES QUE SE SEGUEM ASSINALA COM UM **V** AS VERDADEIRAS, E COM UM **F** AS FALSAS”.

ENSINO BÁSICO (N= 22)

Opções	F	%
a) A toxicidade de uma substância é independente da dose administrada.	16	72,7
b) Os efeitos nefastos causados por uma substância tóxica são independentes da frequência de exposição à substância.	19	86,4
c) A toxicidade de uma substância pode ser estimada através de testes laboratoriais.	20	90,9
d) Certas substâncias tóxicas podem ser armazenadas em determinados tecidos, em níveis de concentração superiores ao normal.	16	72,7

Alínea c) e d) são verdadeiras

ENSINO SECUNDÁRIO (N= 24)

Opções	F	%
a) A toxicidade de uma substância é independente da dose administrada.	18	75
b) Os efeitos nefastos causados por uma substância tóxica são independentes da frequência de exposição à substância.	18	75
c) A toxicidade de uma substância pode ser estimada através de testes laboratoriais.	21	87,5
d) Certas substâncias tóxicas podem ser armazenadas em determinados tecidos, em níveis de concentração superiores ao normal.	20	83,3
Não responde	1	4,2

Alínea c) e d) são verdadeiras

TABELA 5.7 – RESPOSTAS DOS ALUNOS À QUESTÃO 7: “REFERE A DESIGNAÇÃO ATRIBUÍDA AO PROCESSO DE RECUPERAÇÃO BIOLÓGICA POSTO EM PRÁTICA PELOS INVESTIGADORES PORTUGUESES”.

ENSINO BÁSICO (N= 22)

Processo	F	%
Fitorremediação	17	77,3
Proteção do ambiente	4	18,2
Não responde	1	4,5
Justificação para a resposta fitorremediação		
Não responde	6	35,3
A planta aquática retém nos seus tecidos uma concentração apreciável de U	4	23,5
A alga absorve U	3	17,6
Protege o ambiente	2	11,8
Voltar a repor a vida animal e vegetal	1	5,9
Fito (planta), remediação (reparar)	2	11,8

ENSINO SECUNDÁRIO (N= 24)

Processo	F	%
Fitorremediação	19	79,2
<i>Callitriche</i>	2	8,3
Não responde	3	12,5
Justificação para a resposta fitorremediação		
Não responde	10	52,6
Utilizam plantas aquáticas para absorver U	6	31,6
Através da alga (fito – planta) diminui a concentração de U, “remediando”	1	5,3
Aumenta a quantidade de matéria orgânica	1	5,3
Utilização de plantas para o tratamento de águas com resíduos nucleares	1	5,3

TABELA 5.8 – RESPOSTAS DOS ALUNOS À QUESTÃO 8: “ENUMERAR DUAS VANTAGENS E DUAS DESVANTAGENS INERENTES À TÉCNICA ANTERIORMENTE DESCRITA”.

ENSINO BÁSICO (N= 22)

Vantagens	F	%
Diminui o U da água	9	40,9
Reduzir a poluição da água	4	18,2
Reter U nas plantas	2	9,1
Não prejudicar o ambiente	2	9,1
Não prejudicar o ecossistema	2	9,1
Equilíbrio ecológico	1	4,5
Não é poluente	1	4,5
Retirar U das plantas	1	4,5
Desvantagens		
Não responde	7	31,8
A ingestão dessas plantas é perigosa para os animais	6	27,3
Não tem desvantagens	5	22,7
Morte da planta	3	13,6
Impactes ambientais	1	5,9
Poluição do solo	1	5,9
Prejudica o ecossistema	1	5,9

ENSINO SECUNDÁRIO (N= 24)

Vantagens	F	%
Diminui a concentração de U da água	12	50
Processo limpo e natural	3	12,5
Diminui a poluição	2	8,3
As plantas precisam de U	1	4,2
Diminui doenças	1	4,2
Retirar U das plantas	1	4,2
Baixo custo	1	4,2
Desvantagens		
Diminui a biodiversidade	8	33,3
Não responde	6	25
Alteração dos ecossistemas	4	16,7
Destruição de habitats	4	16,7
Alteração das cadeias alimentares	2	8,3
Processo não possível para elevadas concentrações de U e condições difíceis do meio	1	4,2
Taxa de sucesso baixa	1	4,2
Minimizar os impactes ambientais	1	4,2

Analisando as várias respostas, denota-se que 17% dos alunos do ensino básico e 19% dos alunos do ensino secundário ouviram falar da fitorremediação e que 4% dos alunos do ensino básico e 7% dos alunos do ensino secundário apresentam uma noção próxima da correta que, provavelmente, retiraram da interpretação dos textos. Os restantes têm uma noção deturpada e por vezes até errada. Não é significativa a diferença de resultados obtidos no ensino básico e secundário, apenas se salienta que os alunos do ensino secundário apresentam uma preocupação na forma como respondem às questões com justificações mais elaboradas.

No final dos vários desafios propostos e concretizados, os alunos responderam novamente às questões 7 e 8 do questionário. Os resultados (tabelas 5.9 e 5.10) expressam claramente a mais-valia de projetos científicos transdisciplinares, que envolvam os alunos diretamente na preparação, na execução e na conclusão dos mesmos. Também pesou, nos resultados obtidos, o facto de os professores envolvidos avaliarem o tema como conteúdo, o que implicou que nos testes escritos surgissem questões em avaliação. Pois os professores consideraram que as grelhas de observação, para tantos alunos e a trabalharem em horários e em tarefas diferentes, implicariam uma variedade de parâmetros por vezes difíceis de avaliar.

TABELA 5.9 – RESPOSTAS DOS ALUNOS À QUESTÃO 7: “REFERE A DESIGNAÇÃO ATRIBUÍDA AO PROCESSO DE RECUPERAÇÃO BIOLÓGICA POSTO EM PRÁTICA PELOS INVESTIGADORES PORTUGUESES” (Após implementação do projeto).

ENSINO BÁSICO (N= 22)

Processo	F	%
Fitorremediação	22	100
Justificação para a resposta fitorremediação		
Algumas plantas são capazes de acumular nos seus tecidos uma concentração de elementos poluidores das águas e solos	16	72,7
Fito (planta), remediação (reparar) o que está poluído	3	13,6
Utilização de plantas para o tratamento de águas poluídas	3	13,6

ENSINO SECUNDÁRIO (N= 24)

Processo	F	%
Fitorremediação	24	100
Justificação para a resposta fitorremediação		
Utilizam plantas aquáticas para absorver U	8	33,3
Utilização de plantas para o tratamento de águas com resíduos de várias naturezas, neste caso o U	7	29,2
Diminuir a concentração de U nas águas utilizando plantas capazes de reter o U	5	20,8
Utilizar plantas para recuperar áreas poluídas	4	16,7

TABELA 5.10 – RESPOSTAS DOS ALUNOS À QUESTÃO 8: “ENUMERAR DUAS VANTAGENS E DUAS DESVANTAGENS INERENTES À TÉCNICA ANTERIORMENTE DESCRITA” (Após implementação do projeto).

ENSINO BÁSICO (N= 22)

Vantagens	F	%
Não poluente	15	68,2
Barato	14	63,6
Utilização de plantas locais	11	50
Não prejudicar o ambiente	8	36,4
Não prejudicar o ecossistema	7	31,2
Desvantagens		
Controlar as plantas para não entrarem nas cadeias alimentares	19	86,4
Demora muito tempo	17	77,3
As plantas são pequenas	17	77,3
Difícil de fazer numa grande área poluída	8	36,4

ENSINO SECUNDÁRIO (N= 24)

Vantagens	F	%
Não poluente	22	91,7
Baixo custo	21	87,5
Utilização de plantas autóctones	16	66,7
Fácil de manter e avaliar	12	50
Não requer estruturas físicas específicas	7	29,2
Não causa impacto visual	5	20,8
Desvantagens		
Riscos de contaminação ao longo dos níveis tróficos	18	75
Fator tempo	17	70,8
As plantas são pequenas (baixa biomassa)	16	66,7
Difícil de implementar numa grande área poluída	14	58,3
As plantas a utilizar ainda são pouco conhecidas	5	20,8

5.2. SAÍDA DE CAMPO

Ao longo do questionário os alunos tinham alguns desafios que os auxiliavam na elaboração de materiais, na orientação de pesquisas e na organização de atividades.

No primeiro desafio, os alunos construíram uma “carta geológica simplificada” onde registaram locais de interesse geológico na Província de Trás-os-Montes (Distrito de Bragança). A fim de desenvolver a capacidade de pesquisa geológica e servir de roteiro à saída de campo (figura 5.1).

Devido à facilidade de transporte e a alguns resultados obtidos no trabalho científico, os docentes das turmas prepararam, com os alunos, uma saída de campo para a zona da Horta da Vilariça, zona que apresenta mineralizações de U. Nesta saída, os alunos observaram algumas das características geológicas da região e levaram para a escola algum material geológico para estudarem.

Recolheram uma planta aquática representativa do local (fotografias 5.1 e 5.2) que, segundo alguma bibliografia consultada pelos alunos, permitiria obter alguns resultados em termos de fitorremediação ou bioindicação de U.



FOTOGRAFIA 5.2 – RECOLHA DA PLANTA AQUÁTICA *Ranunculus trichophyllus* POR PARTE DOS ALUNOS.

5.3. ENSAIOS DE LABORATÓRIO EM CONTEXTO DE SALA DE AULA

No segundo e terceiro desafios, os alunos criaram um ambiente propício ao desenvolvimento da planta, mas contendo nitrato de urânio.



FOTOGRAFIA 5.3 – MONITORIZAÇÃO DE ALGUNS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA ÁGUA DOS AQUÁRIOS.

Utilizaram aquários (total de 4 – 2 repetições) contendo água da rede pública. Esta última foi monitorizada durante toda a atividade, com registos de valores de temperatura e pH da água e de luminosidade através de sensores (fotografia 5.3).

A planta foi devidamente lavada com água corrente e mantida em recipientes, durante alguns dias, para aclimatização (fotografia 5.4).



FOTOGRAFIA 5.4 – MANUTENÇÃO DE *Ranunculus trichophyllus* EM RECIPIENTE COM ÁGUA.

Os alunos do secundário, junto com os docentes de Biologia e Geologia, Física e Química e Matemática, calcularam o valor de nitrato de urânio que deveriam adicionar à água dos aquários a fim de obterem uma concentração de U de $2\mu\text{g/l}$ (valor de referência encontrado nas Beiras – Portugal) e $20\mu\text{g/l}$ (valor que descobriram ser o recomendável pela OMS em 1998, para a água de consumo humano). Após adição de nitrato de urânio nos aquários, os alunos do ensino básico colocaram as plantas nos aquários (fotografia 5.5).



FOTOGRAFIA 5.5 – PREPARAÇÃO E MONTAGEM DOS AQUÁRIOS.

Os alunos, em grupos organizados, recolheram amostras de planta dos aquários: o branco e após 2 horas, 4 horas, 1 dia, 2 dias, 4 dias e 1 semana. As plantas foram colocadas em papel devidamente legendado e secas naturalmente ao ar. Foi feita uma colheita de água dos aquários no final do ensaio (fotografia 5.6).



FOTOGRAFIA 5.6 – RECOLHA DE AMOSTRAS DE PLANTA A PARTIR DOS AQUÁRIOS.

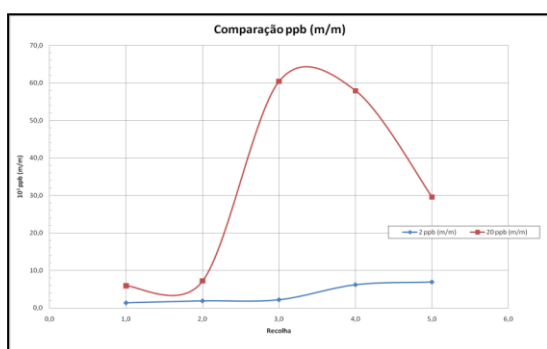
Após o material seco, este foi pesado e encaminhado, juntamente com a água que se manteve no frigorífico, para o Laboratório de Biogeoquímica da Universidade de Coimbra, onde foi analisada a concentração de U nas amostras (fotografia 5.7).



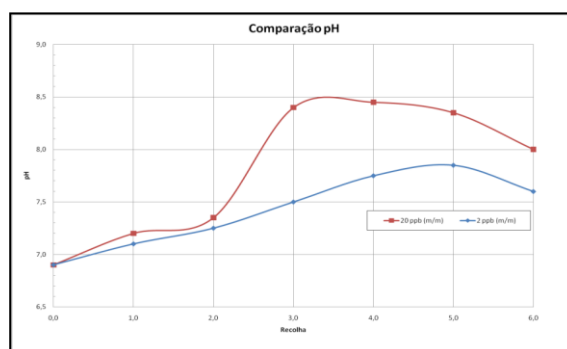
FOTOGRAFIA 5.7 – AMOSTRAS SECAS E PRONTAS PARA A ANÁLISE DA CONCENTRAÇÃO DE U.

Os alunos, por questões de ordem pedagógica, não se deslocaram ao Laboratório. No entanto foi-lhes descrita toda a técnica, através de fotografias e simulações.

Os resultados foram tratados pelos alunos, que construíram gráficos (figura 5.2) e, no final do ano, durante a semana cultural, o projeto foi divulgado a toda a comunidade escolar.



a)



b)

FIGURA 5.2 – EXEMPLOS DE ALGUNS GRÁFICOS ELABORADOS PELOS ALUNOS. O gráfico a) representa a variação da concentração de U na planta nas cinco recolhas, para os aquários com concentrações de 2 µg/l (curva azul) e 20 µg/l (curva vermelha) de U. O gráfico b) representa a variação de pH ao longo da atividade experimental, nos aquários com a concentração de U de 2 µg/l (curva azul) e 20 µg/l (curva vermelha).

5.4. CONSTRUÇÃO DE MODELOS

A partir do estudo de “wetlands” artificiais foram construídos cinco modelos experimentais, ou modelos, passíveis de serem utilizados em laboratório ou até mesmo em sala de aula. A maior dificuldade encontrada foi a disponibilidade de materiais com dimensões apropriadas e que não reajam com os poluentes que queremos testar. Em todos os modelos é necessário o cálculo preciso do caudal (Q) pretendido, ou seja a quantidade e a velocidade de água que deve circular ao longo do modelo no período de tempo desejável para um ensaio. Para os modelos construídos utilizaram-se fechos de rega gota a gota, permitindo um volume de água contínuo que se adapta às pequenas áreas atravessadas pela água, em cada modelo. Os fechos são reguláveis, tendo em conta o tempo de permanência da circulação da água.

O primeiro modelo (figura 5.3 e fotografia 5.8) é constituído por um conjunto de quatro recipientes em polietileno (vasos usuais), que estão colocados em diferentes patamares, com diferentes plantas estudadas, unidos entre si por tubos também de polietileno. A água movimenta-se devido à instalação de uma a duas bombas. No primeiro recipiente, as plantas devem ser filtradoras, pois promovem reações de oxidação, e nos restantes, concentradoras. No depósito de água inicial, a água encontra-se contaminada com determinada concentração de nitrato de urânio, e pretende-se que ao depósito de recolha chegue água com menor grau de contaminação. Dependendo da concentração do poluente, assim se podem fazer vários ciclos no modelo utilizando o circuito alternativo (circuito fechado).

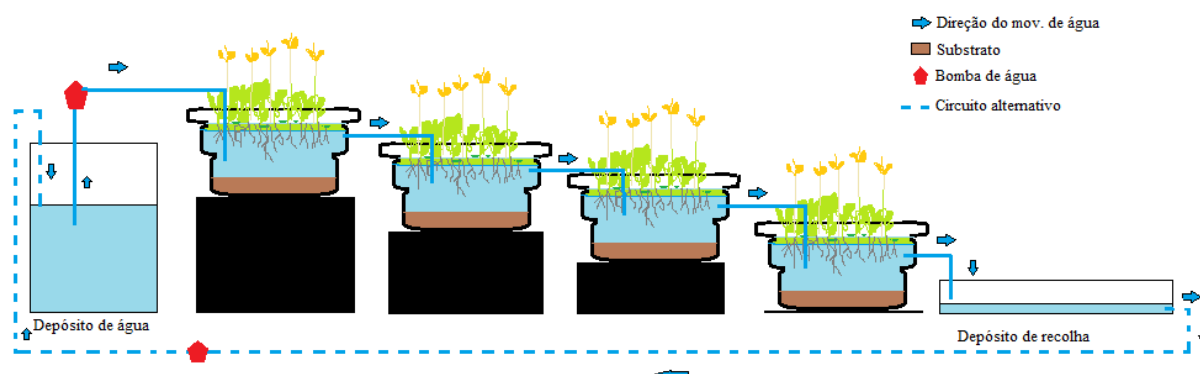


FIGURA 5.3 – REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO PRIMEIRO MODELO. Adaptado de ALMEIDA & ALMEIDA (2005).



FOTOGRAFIA 5.8 – PREPARAÇÃO E CONCLUSÃO DO MODELO 1 EM SALA DE AULA.

O segundo modelo (figura 5.4) é de tamanho mais reduzido, permitindo apenas testar concentrações reduzidas de um poluente. Trata-se de uma série de quatro colunas em polietileno, cada uma delas com a extremidade inferior tapada, contactando com a coluna adjacente apenas através de um tubo de polietileno. Este modelo tem necessidade de maior número de bombas, pois as colunas estão na vertical, o que obriga a vencer a força da gravidade.

O modelo, construído, foi ajustado ao espaço sala de aula e ao material disponível, sendo assim: as colunas foram substituídas por garrafas de plástico de 1,5l de capacidade; e o movimento da água efetua-se por gravidade, colocando as garrafas em alturas diferentes, evitando a utilização de bombas de água (fotografia 5.9).

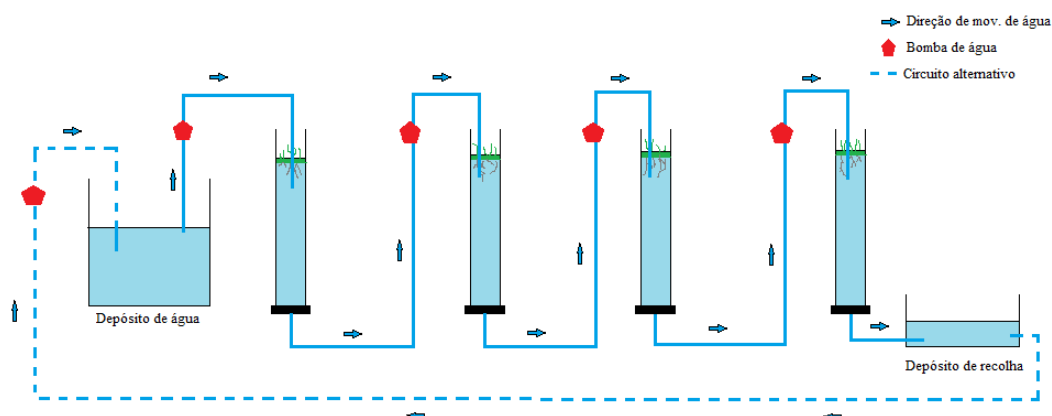
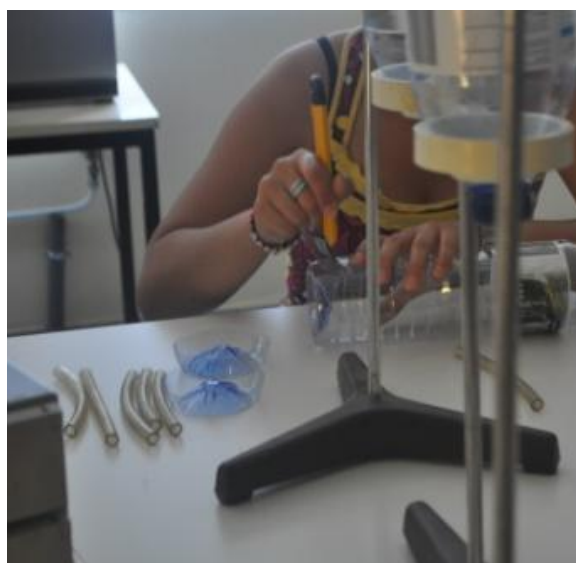


FIGURA 5.4 – REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO SEGUNDO MODELO. Adaptado de PELEGRINI (s.d.); ESAB (s.d.); SUNTTI *et al.* (2011).



FOTOGRAFIA 5.9 – PREPARAÇÃO E CONCLUSÃO DO MODELO 2 EM SALA DE AULA.

O terceiro modelo (figura 5.5 e fotografia 5.10) é constituído por uma calha de polietileno. Ao longo da mesma são colocadas estruturas permeáveis com plantas. Estas últimas estão mergulhadas na água que atravessa a calha.

O modelo, e a fim de evitar a utilização de bomba de água, foi instalado num local com uma ligeira inclinação (ângulo inferior a 25°), permitindo a circulação natural da água.

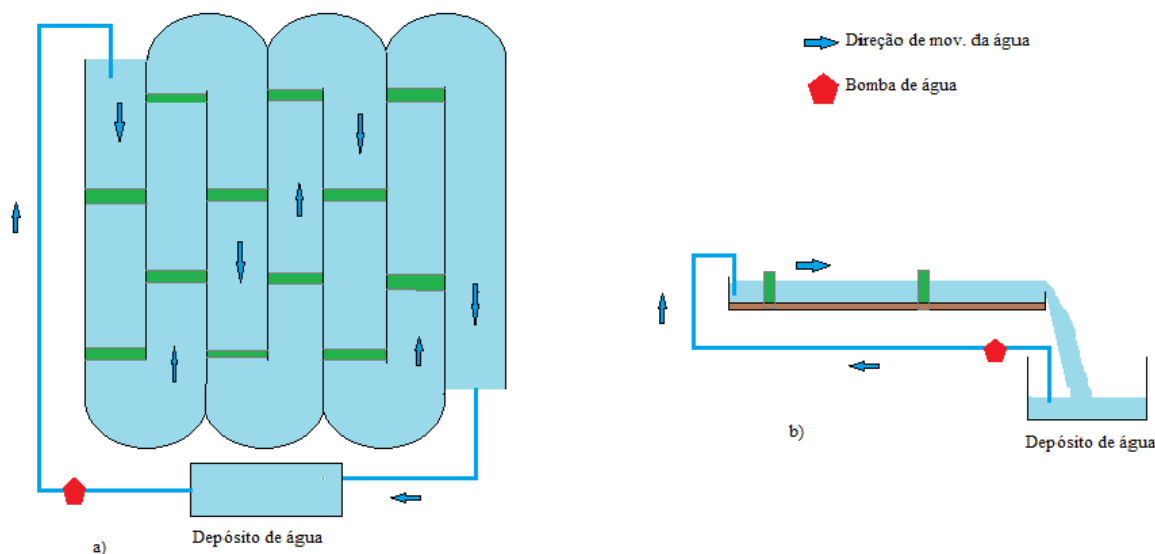


FIGURA 5.5 – REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO TERCEIRO MODELO. Adaptado de MARQUES (2008). a)

Esquema geral em planta; b) Posição lateral do esquema.



FOTOGRAFIA 5.10 – MODELO 3 CONCLUÍDO.

O quarto modelo (figura 5.6 e fotografia 5.11) é constituído por um tabuleiro de polietileno que contém, no seu interior 6 a 10 recipientes também de polietileno ligados num único circuito. Apresenta a particularidade de ter, entre cada recipiente, um dispositivo de amostragem de água. Mais uma vez foi utilizado material recuperado, pois os recipientes são vasilhas de gelado.



FOTOGRAFIA 5.11 – PREPARAÇÃO E CONCLUSÃO DO MODELO 4 EM SALA DE AULA.

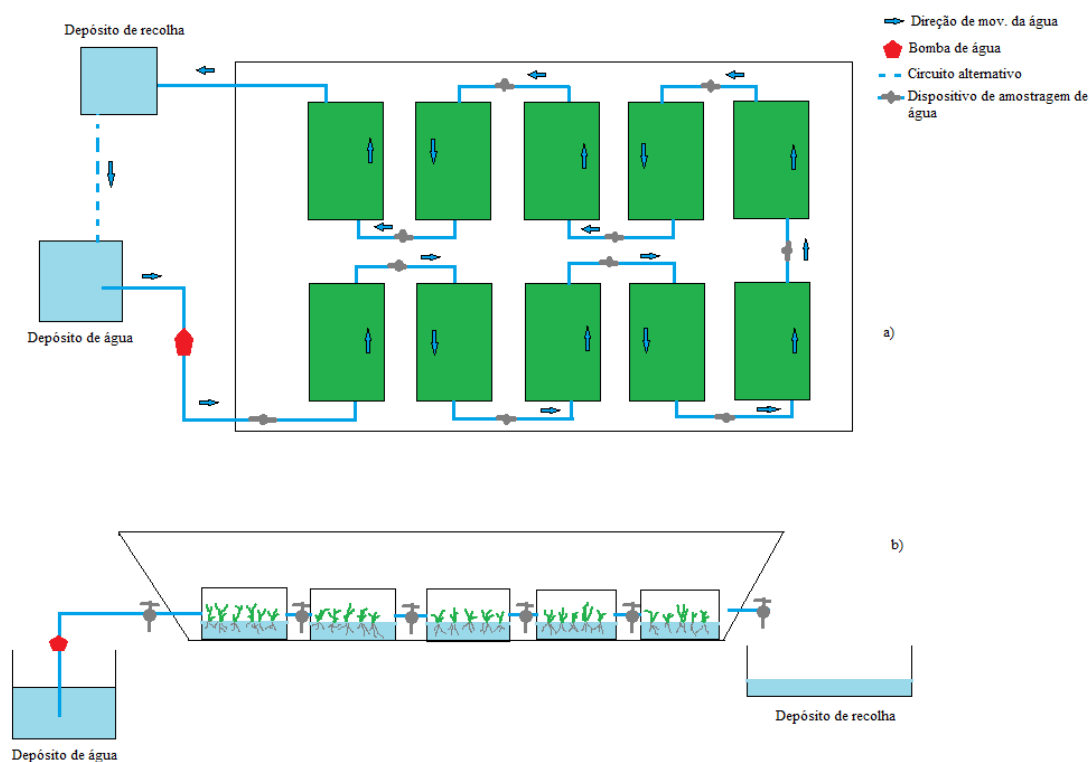


FIGURA 5.6 – REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO QUARTO MODELO. Adaptado de DUSHENKOV *et al.* (1997); LEE & YANG (2010). a) Esquema geral em planta; b) Posição lateral do esquema.

O quinto modelo (figura 5.7 e fotografia 5.12) é também um sistema de calhas, mas neste caso independentes, o que permite testar separadamente um poluente em diferentes concentrações ou até vários poluentes, pois as calhas têm um sistema de depósitos próprios.

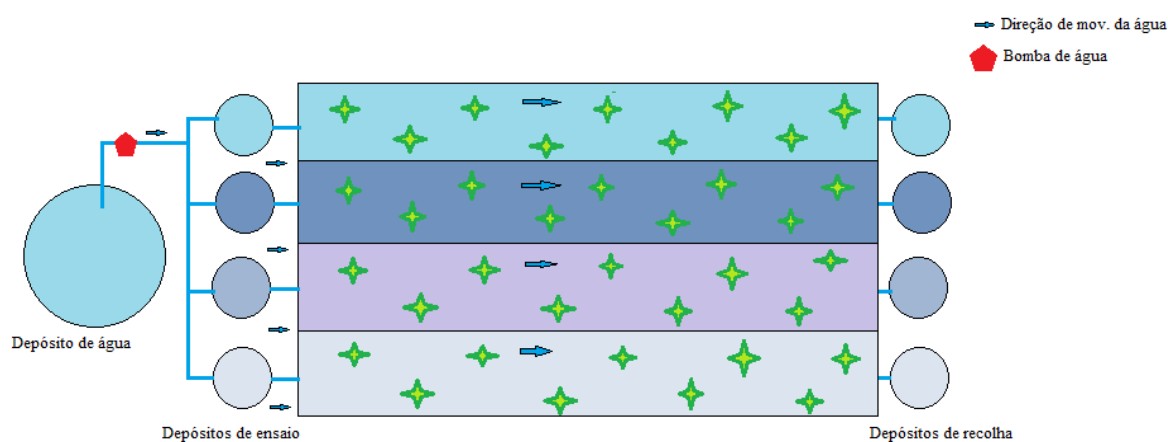


FIGURA 5.7 – REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO QUINTO MODELO. Adaptado de Nysmea & Re-Team (s.d.); ESB (s.d.).



FOTOGRAFIA 5.12 – PREPARAÇÃO E CONCLUSÃO DO MODELO 5.

Os modelos foram construídos com dimensões apropriadas à sala de aula, com materiais leves (tentando sempre recuperar ou adaptar), permitindo um fácil transporte para o exterior ou para outra sala de aula. Têm a particularidade de poderem ser utilizados em diferentes conteúdos programáticos das disciplinas científicas e técnicas, assim como em diversos projetos educativos.

Os modelos experimentais concebidos e construídos podem ser utilizados para a simulação de situações alternativas de contaminação e fitorremediação. As espécies de plantas utilizadas, além da capacidade de acumulação de U, têm revelado também grande capacidade de acumulação de outros importantes contaminantes ambientais, tais como As, Sb, Cu, Pb e Zn (PAULO, 2006; ALVES, 2011 FAVAS *et al.*, 2012). Pelo que é possível, utilizando os modelos construídos, simular fenómenos de contaminação com outros elementos químicos, incluindo combinações multielementares, e sistemas de fitorremediação em monocultura ou com combinações de diversas espécies, simulando condições mais próximas das naturais.

6. CONCLUSÕES

A presente dissertação teve como principal finalidade investigar métodos de fitorremediação e biomonitorização com viabilidade para serem reproduzidos em modelos experimentais, com aplicabilidade ao ensino das ciências, em contexto de sala de aula.

Para tal, o plano de trabalhos iniciou-se com o estudo da relação entre as concentrações de urânio encontradas nas águas superficiais e nos sedimentos de linhas de água, da região da Horta da Vilariça, e a capacidade das plantas aquáticas autóctones acumularem nos seus tecidos concentrações apreciáveis desse elemento químico. A escolha por esta região (Horta da Vilariça) e por este elemento químico (U), como objetos de estudo, está relacionada, por um lado, com a proximidade geográfica às escolas onde foi feita a aplicação pedagógica do estudo e, por outro, com a grande relevância do U como contaminante ambiental, sendo escassos os estudos desta índole na região em questão.

Após a análise dos resultados de campo, fizeram-se dois tipos de ensaios de fitofiltração, o primeiro com o objetivo de diferenciar espécies com capacidade de bioindicação e fitorremediação e o segundo com o objetivo de verificar a influência do pH na capacidade de absorção de U por parte de duas plantas aquáticas.

Estes primeiros trabalhos (campo e laboratório) constituíram a primeira etapa deste trabalho, de cariz essencialmente científico-tecnológico. À qual se seguiu, como segunda etapa, uma abordagem científico-pedagógica, não menos importante, direcionada pela necessidade, enquanto docente do ensino básico e secundário, de aplicar os conhecimentos adquiridos em projetos passíveis de desenvolver em sala de aula, mediante a construção de modelos experimentais de fácil utilização e com materiais reutilizáveis.

São pois, conclusões desta dissertação:

- a) As mineralizações secundárias de urânio encontram-se, preferencialmente, preenchendo fraturas e interstícios mineralógicos, associadas ao quartzo, feldspato, plagioclase e micas. Surgem muitas vezes acoplados aos óxidos de ferro, típicos da região estudada. Dos minerais secundários de U destacam-se os pertencentes ao grupo da autunite, torbernite. Mas devido a uma elevada alteração geoquímica do material rochoso, a composição química destes minerais é muito variável e difícil de precisar, mesmo através da análise por microsonda eletrónica;
- b) As águas superficiais analisadas, ainda que com tendência pouco mineralizada, apresentam, no entanto, concentrações apreciáveis em ferro, sódio, zinco e

manganês. Todas as amostras de água apresentam uma fácies hidroquímica bicarbonatada sódica. Refletem um caráter próximo da neutralidade, ligeiramente alcalinas, contrariando a normalidade em tipologia de rochas silicatadas. As amostras de água HV2, HV4, HV5, HV12, HV14 e HV15 revelam valores anómalos em algumas concentrações, nomeadamente dos elementos químicos PO_4 , As, Cr, Fe, Cu e U, evidenciando fenómenos de contaminação;

Na ACP, o primeiro fator agrupa os macroelementos correspondentes ao quimismo natural da água, nomeadamente Ca, HCO_3 , Na, entre outros. O fator 2 está intimamente ligado com o componente químico PO_4 e o elemento químico U, aos quais o Cr revela alguma afinidade. Visto que o pH é tendencialmente neutro a alcalino pode originar uma dissolução de U e PO_4 , provenientes de minerais secundários de U, como sejam a chernikovite, o grupo da meta-autunite e a sabugalite (todos minerais altamente hidratados). Estes minerais foram observados e analisados, e assim confirmada a sua presença na região, com microsonda eletrónica. O fator 3 revela uma associação Mn-Zn, independente dos elementos agrupados no primeiro fator;

A variância explicada pelo fator 4 é muito reduzida, mas levanta algumas hipóteses: acerca do comportamento independente do Cu, que poderá estar associado à sulfatação das vinhas da região; quando em ACP se suplementam os catiões, os elementos Cu, Cr e U agrupam-se, revelando uma relação com a alteração geoquímica de minerais secundário de U, como sejam os pertencentes ao grupo da meta-torbernite, presentes na área estudada;

A projeção das amostras (ACP) destaca três populações: P1 – formada pelas amostras representativas do fundo hidroquímico local; P2 – constituída pelas amostras que se encontram na área de influência da associação Na-Ca- HCO_3 -Mg- SO_4 -K; P3 – associada às variáveis U, PO_4 , As, Cr, Fe e Cu;

- c) Todas as plantas recolhidas na região estudada revelam acumulação de U nos seus tecidos. Os valores médios do fator de transferência, entre o sedimento e a planta, são notoriamente elevados nas espécies *Rorippa nasturtium* e *Mentha rotundifolia*. Os valores médios de bioacumulação são também significativos em ambas as espécies enumeradas;

As plantas que apresentam, em média, uma maior concentração de U nos seus tecidos são *Fontinalis antipyretica* e *Rorippa sylvestris* (zona aérea). Esta última é a única planta que apresenta valores de concentração de U, em média,

superiores na zona aérea face à zona radicular, o que revela grande capacidade de translocação. Apresenta pois um índice de translocação elevado;

As plantas que apresentam valores, em média, mais elevados do fator de bioacumulação são: *Scorpiurium deflexifolium*, *Fontinalis antipyretica*, *Rorippa nasturtium* (zona radicular) e *Rorippa Sylvestris* (zona aérea).

Pelos valores obtidos, a planta *Rorippa sylvestris* deverá ser objeto de novos estudos de avaliação do seu potencial para fitorremediação e bioindicação;

A taxa de remoção em *Fontinalis antipyretica* reforça a sua capacidade de acumulação de U e por sua vez de planta fitorremediadora. Novos estudos devem ser propostos para obter a capacidade de fitorremediação das restantes espécies vegetais.

- d) Os resultados do primeiro ensaio de fitofiltração mostram que todos os seres vivos utilizados acumulam urânio nos seus tecidos, no entanto destacam-se três espécies, cuja concentração de U, em média, é muito elevada: *Fontinalis antipyrética*, *Callitriche stagnalis* e *Callitriche brutia*. Estas plantas têm, assim um elevado potencial de acumulação. Sendo a primeira, devido à elevada taxa de remoção, também fitorremediadora.

De notar, ainda, que a partir da concentração de U na água de 200µg/l, algumas plantas apresentam alterações morfológicas, como é o caso do aumento de espessura do caule em *Ranunculus trichophyllus*.

No ensaio de fitofiltração para avaliar a influência do pH, ao longo do tempo, verifica-se uma subida de pH em todos os recipientes. A concentração de U em todos os recipientes diminuiu, à exceção dos recipientes com concentração de U do meio de 2µg/l. Verifica-se que, nos três níveis de pH, as plantas apresentam uma elevada concentrações de U nos seus tecidos. A espécie *Fontinalis antipyretica* é aquela que apresenta as concentrações de U mais elevadas. A concentração de U mais elevada, em ambas as plantas, verifica-se quando a concentração de U do meio é de 1000µg/l e o valor de pH é de 5,5. Este ensaio de fitofiltração não foi conclusivo quanto à influência do pH na capacidade de acumulação de U por parte das plantas. Um novo ensaio deve alargar o leque de valores de pH, assim como o fator tempo e número de espécies em estudo;

- e) Quanto à aplicação científico-pedagógica, no início do projeto, a maioria dos alunos (do ensino básico e secundário) tinha uma noção deturpada acerca do processo de fitorremediação. Após a aplicação do projeto/desafio, os resultados

revelaram que o processo de ensino/aprendizagem por cooperação, entre grupos de alunos e grupos disciplinares de docência, se tornou mais motivador para alunos e professores. De notar que os resultados finais tiveram uma auto e hetero avaliação muito positivas;

Os modelos foram construídos recorrendo ao aproveitamento de materiais (recuperação) leves, permitindo um fácil manuseamento e transporte. Os cinco modelos experimentais concebidos e construídos podem ser utilizados para a simulação de situações alternativas de contaminação e fitorremediação. Pelo que é possível, utilizando os modelos construídos, simular fenómenos de contaminação com um elemento químico ou combinações multielementares, e sistemas de fitorremediação em monocultura ou com combinações de diversas espécies, simulando condições mais próximas das naturais.

Os modelos podem ser adaptados a vários trabalhos de projeto de cariz ambiental. O lema dos modelos, atribuído pelos alunos, foi: “Aluno + ambiente, ambientando a escola!”.

7. BIBLIOGRAFIA

- ALMEIDA, R. & ALMEIDA, N. (2005). Remoção de coliformes do esgoto por meio de espécies vegetais. *Revista eletrônica de enfermagem*, 7(3): 308-318.
- ALVES, F. M. S. P. (2011). Culturas in vitro de *Fontinalis* spp.: ensaios de bioacumulação de ouro e elementos associados. Tese de mestrado, Universidade de Coimbra, 83 pp.
- AMADOR, F. & SILVA, M. (2004). *Programa de Geologia do 12º ano* - Curso Científico-Humanístico de Ciências e Tecnologia. Lisboa: Ministério da Educação.
- ANTOSIEWICZ, D. M.; ESCUDÉ-DURAN, C.; Wierzbowska, E. & Sklodowska, A. (2008). Indigenous Plant Species With the Potential for the Phytoremediation of Arsenic and Metals Contaminated Soil. *Water Air Soil Pollut*, 193: 197-210.
- BARTELL, S. (2006). Biomarkers, bioindicators, and ecological risk assessment – A brief review and evaluation. *Environmental Bioindicators*, 1: 60-73.
- BOLLE, J. N., MARTIN, H., SONDAG, F. & CARDOSO FONSECA, E. (1988a). Selective chemical extraction of uranium from mineral, soil and stream sediment samples at Horta da Vilariça, Northeastern Portugal. *Uranium*, 4 : 327-340.
- BOLLE, J. N., MARTIN, H., SONDAG, F. & CARDOSO FONSECA, E. (1988b). Evolution de la minéralogie de U dans les fractions granulométriques de sols et de sédiments de ruisseau dans l'environnement de la minéralisation uranifère de Horta da Vilariça (NE Portugal). *Geociências, Universidade de Aveiro*, 3 (1-2): 303-312.
- BRACAMONTE, S. C. & DOMINGO, L. M. (2002). Plantas acuáticas de las lagunas y humedades de Castilla-La Mancha. *Jardín Botánico y Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha*. Madrid: Real Jardín Botánico, 340pp.
- BURGER, J. (2006). Bioindicators: types, development, and use in ecological assessment and research. *Environmental Bioindicators*, 1: 22-39.
- CABRAL, J. (1995). Neotectónica em Portugal Continental. *Memórias do Instituto Geológico e Mineiro*, 31, 265pp.
- CARDWELL, A. J.; HAWKER, D. W. & GREENWAY, M. (2002). Metal accumulation in Aquatic Macrophytes from Southeast Queensland, Australia. *Chemosphere*, 48: 653-663.
- CHANEY, R. L.; MALIK, M.; LI, Y. M.; BROWN, S. L.; ANGLE, J. S.; BAKER, A. J. M. (1997). Phytoremediation of soil metals. *Current Opinion in Biotechnology*, 8: 279-284.

7. Bibliografia

- COMISSÃO DE COORDENAÇÃO E DESENVOLVIMENTO REGIONAL DO NORTE. 2006. *Plano Regional do Ordenamento Florestal do Nordeste Transmontano*. Vila Real: Direção Geral dos Recursos Florestais (DGRF)
- CONSULTORES/COBA. 1991. Carta dos solos do nordeste de Portugal, folha n.º 11, à escala 1:100.000.
- COTELO NEIVA, J. M. (2003). Jazigos Portugueses de Minérios de Urânio e sua Génese. A Geologia de Engenheiros e os Recursos Geológicos. Coimbra – Imprensa da Universidade. *Geologia de Engenharia* 1: 15-76.
- CUNHA, P. P. & PEREIRA, D. I. (2000). Evolução cenozóica da área de Longroiva-Vilariça (NE Portugal). *Ciências da Terra (UNL)*, 14: 89-98.
- CUSTÓDIO, E. e LLAMAS, M. R. (1983). *Hidrologia Subterrânea*. Tomo I e II. Barcelona: Ediciones Ómega, S.A. 2350pp.
- DANA, J. D. & DANA, E. S. (1951). *The system of mineralogy*. Vol II. New York: John Wiley and Sons, Inc.
- DAVIS, J. C. (1986). *Statistics and Data Analysis in Geology*. J. Wiley e Sons: New York, 463pp.
- DIAS, R. & RIBEIRO, A. (1995). The Ibero-Armorican Arc: a collisional effect against an irregular continent? *Tectonophysics*, 246: 113-128.
- DIAS, G., LETERRIER, J., MENDES, A., SIMÕES, P. & BERTRAND, J. (1998). U-Pb zircon and monazite geochronology of post-collisional Hercynian granitoids from the Central Iberian Zone (Northern Portugal). *Lithos*, 45. 349-369.
- DIAS, G. (2001). Fontes de granitóides Hercínicos da Zona Centro-Ibérica (Norte de Portugal): evidências isotópicas (Sr, Nd). *Memórias da Academia das Ciências de Lisboa*, XXXIX: 121-143.
- DIAS, R., COKE, C. & RIBEIRO (2006). Da deformação na Serra do Marão ao zonamento do autóctone da Zona Centro-Ibérica. In Dias, R., Araújo, A., Terrinha, P. & Kullberg, J. (2006). *Geologia de Portugal no contexto da Ibéria* (pp. 35-61). Évora: Universidade de Évora.
- DIEHL, P. (2003). Uranium Mining and Milling Wastes [em linha] – [consultado em 27 de outubro de 2010]. Disponível em <http://www.antenna.nl/wise/uranium/uwai.html>.

- DIETZ A. C. and SCHNOOR J. L. (2001). Advances in Phytoremediation. *Environmental Health Perspective*, 109: 163-167.
- DOWLING, D. N.; DOTY, S. L. (2009). Improving phytoremediation through biotechnology. *Current Opinion in Biotechnology*, 20: 204-206.
- DUSHENKOV S.; VASUDEV D.; KAPULNIK Y.; GLEBA D.; FLEISHER D.; TING K.C.; ENSLEY B. (1997). Removal of Uranium from Water Using Terrestrial Plants. *Environmental Science Tehnology*, 31: 3468-3474.
- DUSHENKOV, S. (2003). Trends in phytoremediation of radionuclides. *Plant and Soil*, 249: 167-175.
- ENSLEY, B. D. (2000). Rationale for use of phytoremediation. In: I. Raskin & B.D. Ensley (ed.). *Phytoremediation of toxic metals. Using plants to clean up the environment*, (3-11 p.). John Wiley & Sons, Inc. New York. 304 pp.
- ERNST W. H. D. (2005). Phytoextraction of mine wastes-options and impossibilities. *Chemie der Erde Geochemistry*, 65(S1): 29-42.
- Escola Superior Agrária de Beja (s.d.). Demonstração de tratamentos de fitorremediação de efluentes [em linha] – [consultado em 15 de abril de 2012]. Disponível em: www.esab.ipbeja.pt.
- FAVAS, P. J. C. (2008). Biogeoquímica em áreas mineiras estano-volframíticas. *Tese de Doutoramento*. Vila Real: UTAD (Centro de Geociências), 805 pp.
- FAVAS, P. J. C., PRATAS, J. & PRASAD, M.N.V. (2012). Accumulation of arsenic by aquatic plants in large-scale field conditions: Opportunities for phytoremediation and bioindication. *Science of the Total Environment*, 433: 390-397.
- FERREIRA, N., IGLÉSIAS M., NORONHA F., PEREIRA E., RIBEIRO A. & RIBEIRO M. L. (1987). Granitóides da zona Centro-Ibérica e seu enquadramento geodinâmico. In Bea, F., Carmina, A., Gonzalo, J. C., Plaza, M. L. & Rodrigues J. M. L. (1987). *Geologia de los granitoides y rocas asociadas del Macizo Hespérico. Libro Homenage a L. C. G. Figueirola* (pp. 37-53). Madrid: Editorial Rueda.
- Flora Ibérica [em linha] – [consultada em 5 de dezembro de 2011]. Disponível em <http://www.floraiberica.org>.

7. Bibliografia

- FONTES, A. (2003) *A educação em ciências através da abordagem CTS: um contributo para a literacia científica dos cidadãos*. Vila Real: Série Didáctica Ciências Aplicadas nº 221 – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.
- FRANCO, J. A. (1971). *Nova Flora de Portugal (Continente e Açores)* – Vol I, Instituto de Agronomia de Lisboa. Lisboa: Escolar Editores.
- FRANCO, J. A. (1984). *Nova Flora de Portugal (Continente e Açores)* – Vol II, Instituto de Agronomia de Lisboa. Lisboa: Escolar Editores.
- FRANCO, J. A. & AFONSO M. L. R. (1994). *Nova Flora de Portugal (Continente e Açores)* – Vol 3, Fasc. I, Instituto de Agronomia de Lisboa. Lisboa: Escolar Editores.
- FRANCO, J. A. & AFONSO M. L. R. (1998). *Nova Flora de Portugal (Continente e Açores)* – Vol 3, Fasc. II, Instituto de Agronomia de Lisboa. Lisboa: Escolar Editores.
- FRANCO, J. A. & AFONSO M. L. R. (2003). *Nova Flora de Portugal (Continente e Açores)* – Vol 3, Fasc. III, Instituto de Agronomia de Lisboa. Lisboa: Escolar Editores.
- GADD, G. M. (2009). Biosorption: critical review of scientific rationale, environmental importance and significance for pollution treatment. *Journal Chemistry Technology Biotechnology*. 84: 13-28.
- GALVÃO, C. (Coord.). (2001). *Ensino Básico: Ciências físicas e naturais – Orientações Curriculares para o 3º Ciclo do Ensino Básico*. Lisboa: Departamento de Educação Básica – Ministério da Educação.
- GARCIA, T. (2001) Aprendizaje de las ciencias y ejercicio de la ciudadanía. In Membiela P. (Ed.) *Enseñanza de las Ciencias desde la Perspectiva Ciencia-Tecnología-Sociedad: información científica para la ciudadanía* (pp. 77-89). Madrid: Narcea, S.A. de Ediciones.
- GLASS, D. J. (2000). Economic Potential of phytoremediation. In: I. Raskin & B.D. Ensley (ed.). *Phytoremediation of toxic metals. Using plants to clean up the environment*, (15-31pp.). John Wiley & Sons, Inc. New York. 304 pp.
- GOMES, M. E. P. (1996). Mineralogia, petrologia e geoquímica das rochas granitóides da área de Rebordelo- Bouça- Torre de D. Chama - Agrochão e as mineralizações associadas. Tese de doutoramento, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, 323 pp.

- GOMES, M. E. P. & Neiva A. M. R. (2005). Geochemistry of granitoids and their minerals from Rebordelo –Agrochão area, northern Portugal. *Lithos*, 81(1-4): 235-254.
- HANDLEY-SIDHU, S.; KEITH-ROACH, M. J., LLOYD, J. R.; VAUGHAN, D. J. (2010). A review of the environmental corrosion, fate and bioavailability of munitions grade depleted uranium. *Science of the Total Environment*, 408: 5690-5700.
- Herbário da Universidade de Coimbra (COI – Coimbra herbarium) [em linha] – [consultado em 5 de dezembro de 2011]. Disponível em: www.uc.pt/herbario_digital/Flora_Pt.
- HODSON, J.; HODSON, D. (1998). from construtivism to social construtivism: A Vogotsisian peroective on teaching and learning science. *School Science Review*, 79(289): 33-41.
- HOLTZ, F. & BARBEY P. (1991). Genesis of peraluminous granites II. Mineralogy and chemistry of the Tourem Complex (North Portugal) sequential melting vs restite unmixing. *Journal of Petrology*, 32: 959-978.
- HOLTZ, F. & JOHANNES, W. (1991). Genesis of peraluminous granites I. Experimental investigation of melt compositions at 3 and 5 Kb and various H₂O activities. *Journal of Petrology*, 32: 935-958.
- Instituto Geográfico do Exército. (2001). Carta Militar de Portugal, Folha 118-Castedo à escala 1:25.000.
- Jardim Botânica da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Flora digital de Portugal [em linha] – [consultado em 5 de dezembro de 2011]. Disponível em: <http://www.fb.utad.pt>.
- JOHNSON, D. B.; HALLBERG, K. B. (2005). Acid mine drainage remediation options: a review. *Science of the total environment*, 338: 3-14.
- KALIN, M.; WHEELER, W.N.; MEINRATH, G. (2005). The removal of uranium from mining waste water using algal/microbial biomass. *Journal of Environmental Radioactivity*, 78: 151-177.
- LEE, M.; YANG, M. (2010). Rhizofiltration using sunflower (*Helianthus annus* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L. Var. *vulgaris*) to remediate uranium contaminated groundwater. *Journal of Hazardous Materials*, 173: 589-596.
- LASAT, M. M. (2002). Phytoextraction of Toxic Metals: a review of Biological Mechanisms. *Reviews and Analyses*, 31: 109-120.

7. Bibliografia

- LONDON, D.; ČERNÝ, P.; LOOMIS, J. L. & PAN, J. J. (1990). Phosphorus in alkali feldspars of rare-element granitic pegmatites. *The Canadian Mineralogist*, 28: 771-786.
- LUKAS CALMBACH and Waterloo Hydrogeologic, IC. (1998-1999). Aqachem v3.7 for Windows 95/98/NT – *Aqueous Geochemical Analysis, Plotting and Modeling Waterloo Hydrogeologic Software, Consulting, Training*.
- MARQUES, R. (2008). Biomonitorização de metais pesados. *Dissertação de mestrado*. Coimbra – FCTUC.
- MATOS DIAS, J. M. e CORREIA MARQUES, J. A. (1980a). Aspectos geológico-mineiros dos jazigos uraníferos em exploração pela Empresa Nacional de Urânio. *Comunicação dos Serviços de Geologia de Portugal*. 66: 167-175.
- MATOS DIAS, J. M. e CORREIA MARQUES, J. A. (1980b). Potencialidades uraníferas de Portugal. *Comunicação dos Serviços de Geologia de Portugal*. 66: 177-184.
- MCGRATH, S. P.; ZHAO, F. (2003). Phytoextraction of metals and metalloids from contaminated soils. *Current Opinion in Biotechnology*, 14: 277-282.
- MEMBIELA, P. (2001) Una revisión del movimiento CTS en la enseñanza de las ciencias. In Membiela P. (Ed.) *Enseñanza de las Ciencias desde la Perspectiva Ciencia-Tecnología-Sociedad: información científica para la ciudadanía* (pp. 91-103). Madrid: Narcea, S.A. de Ediciones.
- MENDEZ, M. O.; MAIER, R. M. (2008). Phytoremediation of mine tailings in temperate and arid environments. *Review Environmental Science Biotechnology* 7: 47-59.
- MILES, J.; SHEVLIN, M. *Applying Regression and correlation: A Guide for Students and Researchers* [em linha] – [consultado em 12 de março de 2012]. Disponível em: www.jeremymiles.co.uk/misc/table/pearson.html.
- Minerais [em linha] – [consultado em 11 de setembro de 2012]. Disponível em WWW.webmineral.com.
- MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. (2004). *Orientação de Gestão de Programas de Biologia e Geologia*. Departamento do Ensino Secundário. Lisboa: Editorial do Ministério da Educação.

- MISHRA, V. K.; UPADHYAY, A. R.; PANDEY, S. K.; TRIPATHI, B. D. (2008). Concentrations of heavy metals and aquatic macrophytes of Govind Ballabh Pant Sagar an anthropogenic lake affected by coal mining effluent. *Environmental Monitor Assess*, 141: 49-58.
- MKANDAWIRE, M.; DUDEL, E. G. (2005). Accumulation of arsenic in *Lemna gibba* L. (duckweed) in tailing waters of two abandoned uranium mining sites in Saxony, Germany. *Science of the Total Environment*, 336: 81-89.
- NEIVA, A. M. R. & GOMES, M. E. P. (2001). Diferentes tipos de granitos e seus processos petrogenéticos: Granitos Hercínicos Portugueses. *Memórias da Academia das Ciências de Lisboa*, XXXIX: 53-95.
- NEIVA, J. M. C. (2003). *A Geologia de Engenharia e os Recursos Geológicos*. Geologia de Engenharia Vol.1. Coimbra: Imprensa da Universidade.
- NEIVA, A. M. R. (2007). Geoquímica de Rochas Graníticas e seus Minerais da Área de Gouveia, Centro de Portugal. In E. P. Gomes & A. M. Alencão (Eds.) *Livro de resumos da XV Semana de Geoquímica/VI Congresso Ibérico de Geoquímica* (pp. 53-58). Vila Real: Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.
- NEVES, O.; ABREU, M. M. & MATIAS, M. J. (2009). *Distribuição do urânio nas várias fases-suporte em solos da área mineira da Cunha Baixa (Portugal)*. Lisboa: Repositório da Universidade Técnica de Lisboa.
- NORONHA, F., RAMOS, J. M. F., REBELO, J. A., RIBEIRO, A. & RIBEIRO, M. L. (1979). Essai de corrélation des phases de déformation hercynienne dans le Nord – Ouest Péninsulaire. *Boletim da Sociedade Geológica de Portugal*, 21: 227-237.
- NYQUIST J.; GREGER M. (2009). A field Study of Constructed Wetlands for preventing and treating acid mine drainage. *Ecological Engeneering*, 35: 630-642.
- NYSMEA & RE-TEAM (s.d.). *Habitat Restoration Efforts and Wetlands Loss Education* [em linha] – [consultado em 22 de fevereiro de 2012]. Disponível em <http://nysmea.blogspot.pt>.
- OLIVEIRA, R. S.; MARQUES, A. P. G.; VOSÁTKA, M.; DODD, J. C.; RANGEL, A. O. S. & CASTRO, P. M. L. *Fitorremediação na requalificação de solos – abordagem biotecnológica*. Escola Superior de Biotecnologia da Universidade Católica. [em linha] – [consultado em 22 de fevereiro de 2012]. Disponível em: <http://www.esb.ucp.pt>.

7. Bibliografia

- PAIVA, H. N.; CARVALHO, J. G. & SIQUEIRA, J. O. (2002). Índice de translocação de nutrientes em mudas de cedro (*Cedrela fissilis* Vell.) e ipê roxo (*Tabebuia impetiginosa* Mart. Standl.) submetidas a doses crescentes de cádmio, níquel e chumbo. *Revista Árvore*, 26: 467-473.
- PAULO, C. (2006). Seleção de plantas aquáticas e perspectivas na fitorremediação de escorrências uraníferas. Tese de mestrado, Instituto superior Técnico, 71 pp.
- PAULO, C.; PRATAS, J.; RODRIGUES, N. (2006). Rhizofiltration of uranium from contaminated mine waters. In: Alpoim, M.C.; Morais, P.V.; Santos, M.A.; Cristovão, A.J.; Centeno, J.A.; Collery, P. (editors). *Metal Ions in Biology and Medicine*, 9: 187-192.
- PAULO, C.; PRATAS, J. (2008). Environmental contamination control of water drainage from uranium mines by aquatic plants. In: Prasad, M.N.V. (Edt.), *Trace Elements as Contaminants and Nutrients: Consequences in Ecosystems and Human Health*, John Wiley & Sons, Inc., pp. 623-651.
- PEDROSA, M.; MARTINS, I. (2001) Integración de CTS en el sistema educativo portugués. In Membiela P. (Ed.) *Enseñanza de las Ciencias desde la Perspectiva Ciencia-Tecnología-Sociedad: información científica para la ciudadanía*. Madrid: Narcea, S.A. de Ediciones, pp. 107-119.
- PÉGUI, C. H. P. (1970). *Précis de Climatologie* (2^{ème}. ed.). Paris: Masson & C^{ie}.
- PELEGRI, R. (s.d.) Fitotratamento de solos [em linha] – [consultado em 15 de abril de 2012]. Disponível em: www.ronaldopelegri.com.
- PENG, K.; LUO, C.; LOU, L.; LI, X.; SHEN, Z. (2008). Bioaccumulation of heavy metals by the aquatic plants *Potamogeton pectinatus* L. and *Potamogeton malaianus* Miq. And their potential use for contamination indicators and in wastewater treatment. *Science of the Total Environment*, 392: 22-29.
- PEREIRA, E., GONÇALVES, L. S. M., MOREIRA, A. (1980). Carta Geológica de Portugal à escala 1:50 000 (Folha 13-D, Oliveira de Azémeis). Serviços Geológicos de Portugal.
- PEREIRA, E. (1987). Estudo geológico-estrutural da região de Celorico de Basto e sua interpretação geodinâmica. *Tese de doutoramento*, Universidade de Lisboa, 274 pp.
- PEREIRA, A. J. S. C.; PINTO, P. G. N.; NEVES, L. J. P. F.; COSTA, M. R. M. (2010). Avaliação dos níveis de radioatividade natural em águas subterrâneas da região da Horta da

- Vilarica (Norte de Portugal). VIII Congresso Nacional de Geologia 2010. *Revista Electrónica de Ciências da Terra*, 14(5).
- PÉREZ-ESTAÚN, A.; BEA, F.; BASTIDA, F.; MARCOS, A.; MARTÍNEZ CATALÁN, J. R.; MARTÍNEZ POYATOS, D.; ARENAS, R.; DÍAZ GARCÍA, F.; AZOR, A.; SIMANCAS, J. F. & GONZÁLEZ LODEIRO, F. (2004). Macizo Ibérico. 2.1. La cordillera varisca europea: El Macizo Ibérico. En: Vera, J.A. (ed.). *Geología de España* (pp. 21-25). Madrid. SGE-IGME.
- PICHAVANT, M.; MONTEL, J. M. & RICHARD, L. R. (1992). Apatite solubility in peraluminous liquids: experimental data and an extension of the Harrison-Watson model. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 56: 3855-3861.
- PINTO, M. M. S. C.; SILVA, M. M. V. G.; NEIVA, A. M. R.; GUIMARÃES, F. M.; SILVA, P. B. (2009). Uranium Minerals From a Portuguese Variscan Peraluminous Granite, Its Alteration, and Related Uranium-Quartz Veins. *Nova Science Publishers. Inc*, Chapter 9: 287-313.
- PIRES M. A. R. & VINTEM, C. M. S. (1987). Relatório de Execução do Plano de Sondagens nº 146 – Horta da Vilarica. *Relatório Inédito do Serviço de Fomento Mineiro*, Lisboa, 66 pp.
- PRASAD, M. N. V. (2004). Fitorremediación. Aplicaciones, ventajas e inconvenientes. En: M.J. Reigosa; N. Pedrol; A. Sánchez (eds.). *La ecofisiologia vegetal: Una ciencia de síntesis* (pp. 1075-1109). Thomson. Madrid. 1193 p.
- PRATAS, J.; FAVAS, P.; RODRIGUES, N. & PRASAD, M. N. V. (2010). Acumulação de urânio em plantas aquáticas (região uranífera das Beiras): possibilidades de bioindicação e fitorremediação. *Resumos do VIII Congresso Nacional de Geologia; e-Terra Revista Electrónica de Ciências da Terra*, 9(15) em: <http://e-terra.geopor.pt>.
- PRATAS, J.; FAVAS, P.; PAULO, C.; RODRIGUES, N. & PRASAD, M. N. V. (2012). Uranium accumulation by aquatic plants from uranium-contaminated water in central Portugal. *International Journal of Phytoremediation*, 14: 221-234.
- PROT-NORTE. (2009). Plano Regional de Ordenamento do Território do Norte. *Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte: Ordenamento Agrícola, Florestal e Desenvolvimento Rural*.

- RAI, P. K. (2009). Heavy metal phytoremediation from aquatic ecosystems with special reference to aquatic macrophytes. *Review. Environmental. Science. Tecnology*. 39: 697-753.
- RAIZE, O.; ARGAMAN, Y.; YANNAL, S. (2004). Mechanisms of biosorption of different heavy metals by brown marine macroalgae. *Biotechnology Bioengineering*. 87: 451-458.
- RIBEIRO, A. (1974). *Contribution à l'étude tectonique de Trás-os-Montes Oriental*. Serviços Geológicos de Portugal (Memória nº 24 - Nova Série), 168 pp.
- RIBEIRO, A., ANTUNES, M. T., FERREIRA, M. P., ROCHA, R. P., SOARES, A. F., ZBYSZEWSKI, G., ALMEIDA, J.H.M., CARVALHO, D. & MONTEIRO, J. H. (1979). *Introduction a la Géologie Générale du Portugal*. Lisboa: Serviços Geológicos de Portugal.
- RIBEIRO, A., PEREIRA, E., DIAS, R., (1990a). Structure of the Northwest of the Iberian Peninsula. In Dallmeyer, R. D. & Martínez Garcia (1990). *Pre-Mesozoic Geology of Iberia* (pp. 220-236). Berlin: Springer-Verlag.
- RIBEIRO, A., QUESADA, C. & DALLMEYER, R. D. (1990b). Geodynamic Evolution of the Iberian Massif. In Dallmeyer, R. D. & Martínez Garcia (1990). *Pre-Mesozoic Geology of Iberia* (pp. 399-409). Berlin: Springer-Verlag.
- RIBEIRO, A., SILVA, J., DIAS, R., PEREIRA, E., OLIVEIRA, J., REBELO, J., ROMÃO, J. & SILVA, A. (1991). Sardinian inversion tectonics in the Centro-Iberian Zone. In *Resumos do III Congresso Nacional de Geologia* (p. 71). Coimbra: Universidade de Coimbra.
- RIBEIRO, A., IGLÉSIAS, M., RIBEIRO, M. L. & PEREIRA, E. (1983). Modèle géodynamique des Hercynides Ibériques. *Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal*, 69(2): 291-293.
- RIBEIRO, A. (2006). A evolução geodinâmica de Portugal In Dias, R., Araújo, A., Terrinha, P. & Kullberg, J. (2006). *Geologia de Portugal no contexto da Ibéria* (pp. 1-27). Évora: Universidade de Évora.
- ROMÃO, R. (1994). Litoestratigrafia e tectónica do Grupo das Beiras (Complexo Xisto-Grauváquico) entre o rio Erges e a Serra do Moradal. *Boletín Geológico y Minero Espanha*, 105(6): 521-530.
- ROUBAULT, M. (1972). *Détermination des Minéraux des roches au Microscope Polarissant*. Paris: Editions Lamarre-Poinat.

- SÁ, A. (2005). Bioestratigrafia do Ordovícico do nordeste de Portugal. Tese de doutoramento, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, 571 pp.
- SÁEZ, M., RIQUEARTS, K. (2001) Educación científica para el desarrollo sostenible. In Membiela P. (Ed.) *Enseñanza de las Ciencias desde la Perspectiva Ciencia-Tecnología-Sociedad: información científica para la ciudadanía* (pp. 47-59). Madrid: Narcea, S.A. de Ediciones.
- SAMPAIO, G. (1988). *Flora Portuguesa*, 3ª ed. Instituto Nacional de Investigação Científica, Lisboa.
- SANTOS, M. (2001) Relaciones entre Ciencia, Tecnología y sociedad. In Membiela P. (Ed.) *Enseñanza de las Ciencias desde la Perspectiva Ciencia-Tecnología-Sociedad: información científica para la ciudadanía* (pp. 61-75). Madrid: Narcea, S.A. de Ediciones.
- SCHOELLER, H. (1962). *Les eaux Souterraines*. Paris: Ed. Masson.
- SCHÖNER, A.; NOUBACTEP, C.; BÜCHEL, G.; SOUTER, M. (2009). Geochemistry of natural wetlands in former uranium milling sites (eastern Germany) and implications for uranium retention. *Chemie der erde*, 69S2: 91-107.
- SILVA, A. F.; REBELO, J. A. & RIBEIRO, M. L. (1989). *Notícia explicativa da Folha 11-C* (Torre de Moncorvo). Lisboa: Serviços Geológicos de Portugal.
- Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos [em linha] – [consultado em 3 de janeiro de 2012]. Disponível em: <http://www.snirh.pt>.
- SOUSA, M. B. (1982). *Litoestratigrafia e estrutura do Complexo Xisto-Grauváquico Ante-Ordovícico Grupo do Douro (Nordeste de Portugal)*. Tese de doutoramento, Universidade de Coimbra, 222 pp.
- SOUSA, M. B. (1984). Considerações paleogeográficas sobre a estratigrafia do Complexo Xisto-Grauváquico (CXG) e sua relação com o Paleozóico Inferior. *Cuadernos de Geología Ibérica*, 9: 9-36.
- SRIVASTAVA, S.; BHAINSA, K. C.; D'SOUZA, S. F. (2010). Investigation of uranium accumulation potencial and biochemical responses of an aquatic weed *Hydrilla verticillata* (L.J.) royle. *Bioresource Technology*, 101: 2573-2579.
- STRAHLER, A. N. (1981). *Geografía Física* (5º ed.). Barcelona: Ediciones Omega.

7. Bibliografia

- STOUT, L.; NÜSSLEIN, K. (2010). Biotechnological potential of aquatic plant-microbe interactions. *Current. Opinion. Biotechnology*, 21: 339-345.
- SUNTTI C.; MAGRI, M.; PHILIPPI, L. (2011). Vertical flow constructed wetlands for septic sludge mineralization and dewatering. *Ecological Engineering*, 16(1): 63-72.
- TEIXEIRA, R. J. (2008). Mineralogia, petrologia e geoquímica dos granitos e seus enclaves da região de Carrazeda de Ansiães. *Tese de Doutorado*. Vila Real: Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, 463pp.
- TSEZOS, M.; VOLESKY, B. (1981). Biosorption of uranium and thorium. *Biotechnology Bioengineering*. 23: 583-604.
- UYSAL, Y.; TANER, F. (2009). Effect of pH, temperature, and lead concentration on the bioremoval of lead from water using *Lemna minor*. *Journal Phytoremediation*, 11: 591-608.
- VAN LOON, J. C.; BAREFOOT, R. R. (1989). Analytical Methods for Geochemical Exploration. *Academic Press, inc*, 316-317.
- VAMERALI, T.; BANDIERA, M.; MOSCA, G. (2010). Field Crops for Phytoremediation of metal-contaminated land. *Review Environmental Chemistry Letter*, 8: 1-17.
- VEGA, J. A. V. (2012). Propuesta para el dimensionamento de un humedal artificial para el tratamiento de aguas contaminadas con uranio. *Tese de mestrado em Engenharia Geológica e de Minas*. Departamento de Ciências da Terra, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra.
- VOLESKY, B.; HOLAN, Z. R. (1995). Biosorption of heavy metals. *Biotechnology Program*. 11: 235-250.
- VYMAZAL, J. (2009). The use constructed wetlands with horizontal sub-surface flow for various types of wastewater. *Ecological Engineering*, 35: 1-17.
- WALKER, C. H.; HOPKIN, S. P.; SIBLY, R. M.; PEAKALL, D. B. (2007). *Principles of Ecotoxicology*. USA: Taylor & Francis Publishers.
- WANG J.; HU, X.; WANG, J.; BAO, Z.; XIE, S.; YANG, J. (2010). The tolerance of *Rhizopus arrhizus* to U (VI) and biosorption behaviour of U (VI) onto *R. arrhizus*. *Biochemistry Engineering. J.* 51: 19-23.

- WITTIG, R. (1993). General aspects of biomonitoring heavy metals by plants. In: B. Markert (ed.). *Plants as biomonitors: indicators for heavy metals in the terrestrial environment* (3-27 pp.). Weinheim; New York; Basel; Cambridge. VCH. 644 pp.
- WOLF, M. B. & LONDON, D. (1994). Apatite dissolution into peraluminous haplogranitic melts: an experimental study of solubilities and mechanisms. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 58: 4127-4146.

ANEXOS

ANEXO 1 – RESULTADOS ANALÍTICOS DAS AMOSTRAS DE ÁGUA COLHIDAS NA ÁREA DA HORTA DA VILARIÇA

Parâmetros	HVF1	HVP1	HV1	HV2	HV3	HV4	HV5	HV6	HV7	HV8	HV9	HV10	HV11	HV12	HV13	HV14	HV15
Cond. (µS/cm)	246,00	121,00	24,60	29,00	76,70	274,00	252,00	93,70	91,10	119,80	92,40	259,00	93,40	197,40	56,60	64,20	193,90
Temp. (°C)	19,80	19,60	19,60	18,90	16,80	18,20	17,80	17,00	16,60	18,10	17,30	20,80	21,20	24,80	18,20	17,20	19,20
pH	6,97	6,47	6,49	6,16	7,25	7,47	6,70	7,16	7,55	6,80	7,60	8,27	8,57	8,53	6,08	6,75	7,60
F ⁻ (mg/l)	0,31	0,10	0,13	0,10	0,06	0,14	0,11	0,18	0,18	0,10	0,15	0,26	0,12	1,00	0,17	0,50	0,17
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	94,55	76,25	54,90	48,80	51,85	131,15	76,25	51,85	45,75	54,90	54,90	146,40	45,75	97,60	36,60	51,85	91,50
Cl ⁻ (mg/l)	4,20	2,90	0,50	0,30	2,00	22,50	21,10	4,70	4,70	5,60	4,10	13,50	3,20	13,20	2,80	1,40	7,80
NO ₂ ⁻ (mg/l)	2,20	0,68	2,00	1,70	0,60	0,83	0,51	2,10	2,50	0,72	1,60	1,60	1,00	0,30	2,60	1,80	1,30
Br ⁻ (mg/l)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,04	0,02	0,00	<0,025
NO ₃ ⁻ (mg/l)	0,04	0,08	0,01	0,01	0,02	7,70	0,05	0,46	0,60	0,56	0,38	1,20	0,12	0,01	0,08	0,15	0,83
PO ₄ ³⁻ (mg/l)	0,00	0,11	0,07	0,06	0,00	0,00	0,06	0,08	0,00	0,00	0,07	0,22	0,05	0,95	0,25	0,19	0,09
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	46,00	4,20	0,06	0,04	1,28	15,20	18,70	6,40	6,50	4,20	5,50	15,30	4,30	4,10	1,40	0,83	9,70
Ca (mg/l)	9,40	4,70	0,49	0,49	2,30	11,10	9,10	3,00	2,80	3,30	3,20	9,30	3,00	7,30	1,30	1,10	6,30
Fe (mg/l)	203,00	169,00	22,00	169,00	155,00	611,00	61,00	44,00	47,00	27,00	47,00	92,00	58,00	617,00	95,00	294,00	87,00
Mg (mg/l)	8,70	3,70	0,10	0,20	1,90	11,20	10,50	2,60	2,60	3,30	2,80	7,60	2,80	3,90	1,00	0,70	5,80
K (mg/l)	2,70	1,80	1,10	1,20	1,80	1,20	1,50	1,80	1,70	1,50	1,70	3,50	1,70	2,60	1,30	1,50	2,80
Na (mg/l)	23,80	13,30	6,70	6,70	11,30	22,30	19,90	11,50	11,70	15,20	12,00	31,60	11,70	27,80	10,20	13,90	23,60
As (µg/l)	3,70	6,50	1,10	1,54	11,00	3,59	2,50	6,95	4,36	0,52	4,46	6,20	4,30	14,00	1,82	3,60	4,80
Cd (µg/l)	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5
Pb (µg/l)	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Cu (µg/l)	0,83	1,60	0,76	0,90	0,54	1,50	1,76	1,08	0,97	1,55	1,42	1,04	1,17	1,85	0,95	6,00	0,78
Co (µg/l)	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Ni (µg/l)	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Zn (µg/l)	30,00	18,00	16,00	28,00	17,00	14,00	17,00	33,00	17,00	13,00	15,00	13,00	18,00	14,00	11,00	24,00	8,00
Cr (µg/l)	0,19	0,53	0,05	0,25	0,17	0,31	0,13	0,15	0,10	0,17	0,09	0,10	0,10	0,49	0,10	0,13	0,19
Mn (µg/l)	58,00	107,00	5,00	17,00	23,00	50,00	48,00	53,00	14,00	23,00	38,00	24,00	28,00	41,00	10,00	8,00	5,00
U (µg/l)	111,00	2,00	1,34	2,06	1,00	1,34	1,52	1,54	1,48	0,61	0,93	1,56	1,26	5,56	1,82	4,54	3,18

ANEXO 2 – VALORES DO FATOR DE TRANSFERÊNCIA (FT) PARA AS PLANTAS ENRAIZADAS E EMERSAS

Planta	[U] µg/kg, zona aérea	[U] µg/kg, raiz	[U] µg/kg, sedimento	FT
<i>Cyperus longus</i>	230,03721	5014,4336	23909,488	0,22
<i>Cyperus longus</i>	445,48411	1679,399	4354,0483	0,49
<i>Cyperus longus</i>	151,48705	1558,7263	3362,556	0,51
<i>Cyperus longus</i>	1415,2957	645,57852	347,36991	5,93
<i>Cyperus longus</i>	688,74702	3584,9518	359,95962	11,87
<i>Cyperus longus</i>	786,03686	557,06354	123,477	10,88
<i>Cyperus longus</i>	291,2235	2439,6682	1097,0464	2,49
<i>Cyperus longus</i>	21,551671	772,70502	2466,5833	0,32
<i>Cyperus longus</i>	233,35328	1075,5857	1385,5193	0,94
<i>Cyperus longus</i>	73,735355	174,91102	2478,4689	0,10
<i>Cyperus longus</i>	311,8543	3293,1787	1408,6919	2,56
<i>Cyperus longus</i>	313,99917	1457,6683	8115,1309	0,23
<i>Cyperus longus</i>	293,47292	1380,0736	3680,6933	0,45
<i>Cyperus longus</i>	127,47392	4562,8261	5437,4108	0,86
<i>Cyperus longus</i>	9,0698254	706,14212	411,88309	1,74
<i>Oenanthë crocata</i>	2105,9153	17806,531	23909,488	0,83
<i>Oenanthë crocata</i>	1104,9724	1758,6665	3362,556	0,85
<i>Oenanthë crocata</i>	435,60684	220,34276	2466,5833	0,27
<i>Oenanthë crocata</i>	194,86887	1750,42	1385,5193	1,40
<i>Oenanthë crocata</i>	131,04355	174,66907	8115,1309	0,04
<i>Oenanthë crocata</i>	348,34201	3856,0411	3680,6933	1,14
<i>Mentha rotundifolia</i>	1210,8462	3012,256	4354,0483	0,97
<i>Mentha rotundifolia</i>	93,020003	8429,1017	347,36991	24,53
<i>Mentha rotundifolia</i>	1054,2169	286,78698	123,477	10,86
<i>Mentha rotundifolia</i>	589,07104	988,17858	2466,5833	0,64
<i>Mentha rotundifolia</i>	310,032525	1159,334	1385,5193	1,06
<i>Mentha rotundifolia</i>	357,96503	524,87455	5437,4108	0,16
<i>Rorippa sylvestris</i>	1273,866	1404,799	3362,556	0,80
<i>Rorippa sylvestris</i>	33836,603	16,591392	2478,4686	13,66
<i>Rorippa sylvestris</i>	14,437539	22,982983	411,88309	0,09
<i>Apium nodiflorum</i>	187,66943	2778,6753	3362,556	0,88
<i>Apium nodiflorum</i>	378,30177	1739,6191	123,477	17,15
<i>Apium nodiflorum</i>	19,314587	711,99321	2478,4689	0,30
<i>Apium nodiflorum</i>	18,044077	453,22359	1408,6919	0,33
<i>Apium nodiflorum</i>	357,29167	4299,3197	8115,1309	0,57
<i>Apium nodiflorum</i>	158,4832	1931,6038	411,88309	5,07
<i>Nasturtium officinale</i>	903,15726	3764,9402	347,36991	13,44
<i>Nasturtium officinale</i>	1965,5061	10995,295	123,477	104,97
<i>Cyperus eragrostis</i>	14,938556	393,95438	123,477	3,31
<i>Cyperus eragrostis</i>	9,1165083	1209,6626	2466,5833	0,49
<i>Cyperus eragrostis</i>	197,5945	806,56515	1385,5193	0,72

continua

Planta	[U] µg/kg, zona aérea	[U] µg/kg, raíz	[U] µg/kg, sedimento	FT
<i>Cyperus eragrostis</i>	88,023341	5,8204321	2478,4689	0,04
<i>Cyperus eragrostis</i>	64,034777	2057,7894	1408,6919	1,51
<i>Cyperus eragrostis</i>	83,852635	1518,8969	8115,1309	0,20
<i>Cyperus eragrostis</i>	119,40679	2894,1345	5437,4108	0,55
<i>Cyperus eragrostis</i>	9,7587929	817,75148	411,88309	2,01
<i>Thypha latifolia</i>	15,693263	15,724795	123,477	0,25
<i>Thypha latifolia</i>	279,07257	204,44279	2478,4689	0,20
<i>Thypha latifolia</i>	26,829808	2486,7874	1408,6919	1,78
<i>Mentha pulegium</i>	307,51281	126,03648	2466,5833	0,18
<i>Mentha pulegium</i>	15,651282	428,74238	2478,4689	0,18
<i>Ranunculus peltatus</i>	362,90384	4522,7606	2466,5833	1,98
<i>Ranunculus peltatus</i>	257,16121	4056,8889	8115,1309	0,53
<i>Eleocharis palustris</i>	18,558336	5463,316	2478,4689	2,21
<i>Eleocharis palustris</i>	323,60874	242,70225	1408,6919	0,40
<i>Eleocharis palustris</i>	22,348322	451,89391	411,88309	1,15

ANEXO 3 – VALORES DO FATOR DE BIOCONCENTRAÇÃO (FBA =[U] NA PLANTA/[U] NOS SOLO/SEDIMENTO) PARA AS PLANTAS COM ZONA RADICULAR.

Planta	FBA
<i>Cyperus longus</i> (zona radicular)	0,21
<i>Cyperus longus</i> (zona radicular)	0,39
<i>Cyperus longus</i> (zona radicular)	0,46
<i>Cyperus longus</i> (zona radicular)	1,86
<i>Cyperus longus</i> (zona radicular)	9,96
<i>Cyperus longus</i> (zona radicular)	4,51
<i>Cyperus longus</i> (zona radicular)	2,22
<i>Cyperus longus</i> (zona radicular)	0,31
<i>Cyperus longus</i> (zona radicular)	0,78
<i>Cyperus longus</i> (zona radicular)	0,07
<i>Cyperus longus</i> (zona radicular)	2,34
<i>Cyperus longus</i> (zona radicular)	0,18
<i>Cyperus longus</i> (zona radicular)	0,37
<i>Cyperus longus</i> (zona radicular)	0,84
<i>Cyperus longus</i> (zona radicular)	1,71
<i>Oenanthe crocata</i> (zona radicular)	0,74
<i>Oenanthe crocata</i> (zona radicular)	0,52
<i>Oenanthe crocata</i> (zona radicular)	0,09
<i>Oenanthe crocata</i> (zona radicular)	1,26
<i>Oenanthe crocata</i> (zona radicular)	0,02
<i>Oenanthe crocata</i> (zona radicular)	1,05
<i>Mentha rotundifolia</i> (zona radicular)	0,69
<i>Mentha rotundifolia</i> (zona radicular)	24,27
<i>Mentha rotundifolia</i> (zona radicular)	2,32
<i>Mentha rotundifolia</i> (zona radicular)	0,40
<i>Mentha rotundifolia</i> (zona radicular)	0,84
<i>Mentha rotundifolia</i> (zona radicular)	0,10
<i>Rorippa sylvestris</i> (zona radicular)	0,42
<i>Rorippa sylvestris</i> (zona radicular)	0,01
<i>Rorippa sylvestris</i> (zona radicular)	0,06
<i>Apium nodiflorum</i> (zona radicular)	0,83
<i>Apium nodiflorum</i> (zona radicular)	14,09
<i>Apium nodiflorum</i> (zona radicular)	0,29
<i>Apium nodiflorum</i> (zona radicular)	0,32
<i>Apium nodiflorum</i> (zona radicular)	0,53
<i>Apium nodiflorum</i> (zona radicular)	4,69
<i>Nasturtium officinale</i> (zona radicular)	10,84
<i>Nasturtium officinale</i> (zona radicular)	89,05
<i>Cyperus eragrostis</i> (zona radicular)	3,19
<i>Cyperus eragrostis</i> (zona radicular)	0,49
<i>Cyperus eragrostis</i> (zona radicular)	0,58

continua

Planta	FBA
<i>Cyperus eragrostis</i> (zona radicular)	0,00
<i>Cyperus eragrostis</i> (zona radicular)	1,46
<i>Cyperus eragrostis</i> (zona radicular)	0,19
<i>Cyperus eragrostis</i> (zona radicular)	0,53
<i>Cyperus eragrostis</i> (zona radicular)	1,99
<i>Thypha latifolia</i> (zona radicular)	0,13
<i>Thypha latifolia</i> (zona radicular)	0,08
<i>Thypha latifolia</i> (zona radicular)	1,77
<i>Mentha pulegium</i> (zona radicular)	0,05
<i>Mentha pulegium</i> (zona radicular)	0,17
<i>Ranunculus peltatus</i> (zona radicular)	1,83
<i>Ranunculus peltatus</i> (zona radicular)	0,50
<i>Eleocharis palustris</i> (zona radicular)	2,20
<i>Eleocharis palustris</i> (zona radicular)	0,17
<i>Eleocharis palustris</i> (zona radicular)	1,10

ANEXO 4 – RESULTADOS DA CONCENTRAÇÃO DE U NAS AMOSTRAS DE PLANTAS COLHIDAS NA ÁREA ESTUDADA (HORTA DA VILARIÇA).

Amostra	Local/ser vivo	Peso (g)	Leitura 1	Leitura 2	Leitura 3	Média Leituras	[U] (µg/kg)
1	HV1-1	1,332	3540	3420	3250	3403,33	35770,771
2	HV1-2	1,0123	16,8	16,6	16,5	16,63	230,03721
3	HV1-2R	1,8129	649	651	648	649,33	5014,4336
4	HV1-4	1,3451	202	202	203	202,33	2105,9153
5	HV1-4R	1,5148	1980	1920	1880	1926,67	17806,531
6	HV1-5	1,3077	4810	4600	4500	4636,67	49639,316
7	HV1-6	1,0991	703	706	703	704,00	8967,3369
8	HV1-7	1,3013	21,2	22	21,5	21,57	232,02439
9	HV1-7R	1,0591	31,4	31,4	30,9	31,23	412,86627
10	HV1-19	1,7987	250	252	253	251,67	1958,8221
11	HV2-2	1,0046	32,1	31,7	32,1	31,97	445,48411
12	HV2-2R	1,5839	191	189	190	190,00	1679,399
13	HV2-6	1,3887	604	599	542	581,67	5863,9975
14	HV2-7	1,1446	227	229	228	228,00	2788,7472
15	HV2-8	1,5355	988	995	992	991,67	9041,5717
16	HV2-9	0,3565	30,4	31,1	31	30,83	1210,8462
17	HV2-9R	1,0008	215	216	215	215,33	3012,2569
18	HV3-2	2,1564	23,3	23,3	23,4	23,33	151,48705
19	HV3-2R	2,1586	241	240	240	240,33	1558,7263
20	HV3-4	1,5204	120	120	120	120,00	1104,9724
21	HV3-4R	0,8279	103	104	105	104,00	1758,6665
22	HV3-6	1,6652	213	215	215	214,33	1801,9857
23	HV3-10	0,5372	116	113	115	114,67	2988,3346
24	HV3-11	0,5049	147	148	146	147,00	4076,0547
25	HV3-12	1,4598	571	572	571	571,33	5479,2894
26	HV3-13	1,9715	277	275	275	275,67	1957,5619
27	HV3-14	1,3049	203	202	203	202,67	2174,3684
28	HV3-15	1,7511	158	160	160	159,33	1273,866
29	HV3-15R	1,6045	161	161	161	161,00	1404,799
30	HV3-16	1,5194	280	284	281	281,67	2595,3227
31	HV3-17	1,3403	18,1	17,7	18,1	17,97	187,66943
32	HV3-17R	0,8666	172	172	172	172,00	2778,6753
33	HV4-2	1,5926	162	161	160	161,00	1415,2957
34	HV4-2R	1,6597	76	77,4	76,2	76,53	645,57852
35	HV4-4	1,4641	169	167	168	168,00	1606,4476
36	HV4-6	1,3269	59,3	59,4	59,7	59,47	627,42734
37	HV4-9	1,4298	9,55	9,73	9,22	9,50	93,020003
38	HV4-9R	0,0898	54,8	53,6	53,8	54,07	8429,1017
39	HV4-10	1,7284	27,2	26,9	27,4	27,17	220,04937
40	HV4-11	1,8784	168	169	169	168,67	1257,0982
41	HV4-17	1,3031	16,7	16,4	16,5	16,53	177,62771

continua

Amostra	Local/ser vivo	Peso (g)	Leitura1	Leitura2	Leitura3	Média Leituras	[U] (µg/kg)
42	HV4-18	1,7568	114	113	113	113,33	903,15726
43	HV4-18R	0,0502	13,5	13,5	13,5	13,50	3764,9402
44	HV5-1	1,2881	1760	1720	1690	1723,33	18730,43
45	HV5-2	1,5821	76,2	78,6	78,7	77,83	688,74702
46	HV5-2R	1,4983	385	382	384	383,67	3584,9518
47	HV5-3	1,7574	36,6	36,3	36,5	36,47	290,50491
48	HV5-3R	1,6699	267	267	267	267,00	2238,4574
49	HV5-4	1,9278	0,16	0,156	0,177	0,16	1,1934156
50	HV5-5	0,6367	851	854	856	853,67	18770,745
51	HV5-6	0,4308	76,9	75,5	75,6	76,00	2469,8236
52	HV5-8	1,6282	253	254	253	253,33	2178,2746
53	HV5-9	1,4507	151	152	151	151,33	1460,4444
54	HV5-11	1,5668	0,201	0,231	0,294	0,24	2,1623692
55	HV5-19	1,8896	269	267	267	267,67	1983,1358
56	HV5-19R	1,4529	156	156	156	156,00	1503,2005
57	HV5-20	1,3201	11,2	11,3	11,6	11,37	120,54642
58	HV6-2	1,9117	108	107	107	107,33	786,03686
59	HV6-2R	1,621	64,7	64,7	64,1	64,50	557,06354
60	HV6-3	1,5892	1,06	1,01	1,05	1,04	9,1618424
61	HV6-8	1,0609	85,6	85,4	84,5	85,17	1123,8885
62	HV6-9	1,5936	119	121	120	120,00	1054,2169
63	HV6-9R	1,5182	30,8	31,3	31,2	31,10	286,78698
64	HV6-10	1,5928	21,8	21,5	21,3	21,53	189,26837
65	HV6-13	1,4147	275	275	275	275,00	2721,425
66	HV6-14	1,515	437	435	438	436,67	4035,2035
67	HV6-17	1,8109	48,4	49,6	48,8	48,93	378,30177
68	HV6-17R	0,3203	40,2	39,7	39,5	39,80	1739,6191
69	HV6-18	0,4136	58,9	57,4	57,9	58,07	1965,5061
70	HV6-18R	0,1842	146	144	144	144,67	10995,295
71	HV6-19	1,4983	0,829	0,84	0,833	0,83	7,7928319
72	HV6-21	1,2152	1,32	1,3	1,27	1,30	14,938556
73	HV6-21R	1,213	34,1	33,9	34,4	34,13	393,95438
74	HV6-22	1,7396	1,92	1,94	1,99	1,95	15,693263
75	HV6-22R	1,6085	1,82	1,77	1,83	1,81	15,724795
76	HV7-2	1,8428	38,6	37,6	38,8	38,33	291,2235
77	HV7-2R	1,2376	217	215	215	215,67	2439,6682
78	HV7-6	1,4051	144	143	144	143,67	1431,4521
79	HV7-13	1,8017	432	439	438	436,33	3390,5016
80	HV7-14	1,6362	347	348	347	347,33	2971,9268
81	HV7-15	1,0968	32,7	32,6	32,8	32,70	417,39606
82	HV7-19	1,2366	2,44	2,29	2,64	2,46	27,81282

continua

Amostra	Local/ser vivo	Peso (g)	Leitura1	Leitura2	Leitura3	Média Leituras	[U] (µg/kg)
83	HV8-2	1,087	1,66	1,69	1,67	1,67	21,551671
84	HV8-2R	1,7019	94,5	91,9	95,4	93,93	772,70502
85	HV8-4	1,9412	60,8	60,4	60	60,40	435,60684
86	HV8-4R	0,3287	4,98	4,87	5,67	5,17	220,34276
87	HV8-7	0,1734	15,4	15	15,3	15,23	1229,9116
88	HV8-8	1,5443	115	115	115	115,00	1042,5435
89	HV8-9	1,159	48,3	47,9	50,1	48,77	589,07104
90	HV8-9R	1,7426	124	121	124	123,00	988,17858
91	HV8-11	1,2761	207	209	207	207,67	2278,2958
92	HV8-21	1,7046	1,07	1,12	1,14	1,11	9,1165083
93	HV8-21R	1,4544	127	125	125	125,67	1209,6626
94	HV8-23	1,9713	43,7	43,3	42,9	43,30	307,51281
95	HV8-23R	0,1407	1,33	1,25	1,22	1,27	126,03648
96	HV8-24	0,4385	11,4	11,7	11	11,37	362,90384
97	HV8-24R	0,0454	15,1	14,3	14,6	14,67	4522,7606
98	HV9-2	1,1699	19,4	20	19,1	19,50	233,35328
99	HV9-2R	1,181	91,7	90,8	89,7	90,73	1075,5857
100	HV9-4	1,0537	14,5	14,8	14,7	14,67	194,86887
101	HV9-4R	0,5556	69,1	69,4	69,9	69,47	1750,42
102	HV9-6	1,3162	194	195	194	194,33	2067,0617
103	HV9-9	1,1894	1,55	1,57	1,6	1,57	18,519141
104	HV9-9R	0,6046	50	49,9	50,3	50,07	1159,334
105	HV9-13	1,766	115	115	113	114,33	906,37977
106	HV9-19	1,7145	13,2	12,9	13,4	13,17	107,51434
107	HV9-21	1,0864	15,2	15,3	15,5	15,33	197,5945
108	HV9-21R	1,7994	103	105	103	103,67	806,56515
109	HV9-25	1,8804	0,999	0,914	0,974	0,96	7,1647876
110	HV10-2	1,2006	6,46	6,41	6,1	6,32	73,735355
111	HV10-2R	1,3767	17,1	17,7	16,8	17,20	174,91102
112	HV10-4	1,5026	0,703	0,671	0,702	0,69	6,447491
113	HV10-10	1,1837	15,5	15,4	15,3	15,40	182,14075
114	HV10-13	1,8402	37,7	37,6	36,6	37,30	283,7735
115	HV10-14	1,2942	27,2	27,3	26,6	27,03	292,43291
116	HV10-15	1,1061	2680	2660	2680	2673,33	33836,603
117	HV10-15R	0,1727	0,197	0,211	0,206	0,20	16,591392
118	HV10-17	1,138	1,53	1,59	1,59	1,57	19,314587
119	HV10-17R	0,1965	9,97	9,81	10,2	9,99	711,99321
120	HV10-19	1,2155	0,575	0,597	0,515	0,56	6,4768957
121	HV10-21	1,5995	9,17	10,3	10,7	10,06	88,023341
122	HV10-21R	1,4921	0,642	0,66	0,559	0,62	5,8204321
123	HV10-22	1,107	22,1	22,3	21,8	22,07	279,07257

Continua

Amostra	Local/ser vivo	Peso (g)	Leitura1	Leitura2	Leitura3	Média Leituras	[U] (µg/kg)
124	HV10-22R	1,6161	24	23,9	22,9	23,60	204,44279
125	HV10-23	1,625	1,72	1,85	1,88	1,82	15,651282
126	HV10-23R	0,3064	8,3	9,35	10,5	9,38	428,74238
127	HV10-26	1,0511	1,41	1,38	1,39	1,39	18,558336
128	HV10-26R	0,1154	45,4	45	44,7	45,03	5463,316
129	HV11-2	1,6326	35,3	37	36,8	36,37	311,8543
130	HV11-2R	1,3448	317	318	314	316,33	3293,1787
131	HV11-10	0,8798	93,8	95,2	92,8	93,93	1494,7337
132	HV11-13	1,6328	78,5	78	77,9	78,13	669,93304
133	HV11-14	1,7777	125	125	130	126,67	997,54364
134	HV11-15	1,0752	63,1	65,9	68,8	65,93	858,50694
135	HV11-16	0,3449	19,6	20	19,6	19,73	801,00512
136	HV11-17	1,0164	1,29	1,36	1,28	1,31	18,044077
137	HV11-17R	0,0729	2,66	2,11	2,31	2,36	453,22359
138	HV11-19	1,278	1,77	2,02	2,35	2,05	22,420449
139	HV11-21	1,4109	6,84	6,2	6,32	6,45	64,034777
140	HV11-21R	1,2609	185	186	185	185,33	2057,7894
141	HV11-22	1,3567	2,48	2,6	2,72	2,60	26,829808
142	HV11-22R	1,0659	188	189	191	189,33	2486,7874
143	HV11-26	1,755	41,2	40	40,5	40,57	323,60874
144	HV11-26R	1,6786	29,4	29	28,9	29,10	242,70225
145	HV12-2	1,5189	33	34,7	34,5	34,07	313,99917
146	HV12-2R	1,7544	179	183	186	182,67	1457,6683
147	HV12-4	1,7236	15,6	16,3	16,5	16,13	131,04355
148	HV12-4R	1,4454	18,4	17,5	18,2	18,03	174,66907
149	HV12-9	1,5479	6,61	6,17	6,43	6,40	57,915025
150	HV12-10	0,506	93,6	96,5	94,7	94,93	2626,614
151	HV12-12	1,108	125	123	123	123,67	1562,5752
152	HV12-12R	0,4591	20,7	20,5	20,9	20,70	631,23503
153	HV12-13	1,5925	78,9	76,5	75	76,80	675,16484
154	HV12-17	0,96	24,7	23,8	25	24,50	357,29167
155	HV12-17R	0,1715	52	53,5	52,5	52,67	4299,3197
156	HV12-19	1,5849	4,3	4,68	3,93	4,30	38,012914
157	HV12-21	1,6657	10,3	9,53	10,1	9,98	83,852635
158	HV12-21R	1,2136	130	132	133	131,67	1518,8969
159	HV12-24	0,2076	3,81	3,59	4,04	3,81	257,16121
160	HV12-24R	0,075	21,4	21,6	22,2	21,73	4056,8889
161	HV12-25	1,407	1,87	1,87	1,94	1,89	18,839138
162	HV12-27	1,136	47,6	46,7	47,5	47,27	582,51174
163	HV12-27R	0,4589	74,1	75,4	75,8	75,10	2291,131
164	HV12-28	1,5525	20	19,9	19,3	19,73	177,94954

Continua

Amostra	Local/ser vivo	Peso (g)	Leitura1	Leitura2	Leitura3	Média Leituras	[U] (µg/kg)
165	HV12-28R	1,479	148	146	148	147,33	1394,636
166	HV13-1	1,2306	1960	1960	1970	1963,33	22335,988
167	HV13-2	1,3564	28,2	28,4	28,7	28,43	293,47292
168	HV13-2R	1,2951	128	127	128	127,67	1380,0736
169	HV13-4	1,4214	35,3	35,1	35,7	35,37	348,34201
170	HV13-4R	0,8169	225	226	224	225,00	3856,0411
171	HV13-8	0,2214	73,5	72,4	72,6	72,83	4605,5405
172	HV13-11	0,8045	362	363	364	363,00	6316,9671
173	HV13-25	1,4427	2,85	2,91	3,37	3,04	29,532589
174	HV14-2	1,5815	14,9	14	14,3	14,40	127,47392
175	HV14-2R	1,0606	345	345	347	345,67	4562,8261
176	HV14-3	1,1691	3,25	3,08	2,79	3,04	36,404072
177	HV14-9	1,1381	29,6	29,6	28,1	29,10	357,96503
178	HV14-9R	0,465	17,8	16,7	17,8	17,43	524,87455
179	HV14-19	1,7067	1,2	1,22	1,23	1,22	9,9802738
180	HV14-21	1,5711	13,1	14	13,1	13,40	119,40679
181	HV14-21R	1,864	388	384	384	385,33	2894,1345
182	HV14-25	1,5195	0,477	0,443	0,435	0,45	4,1614566
183	HV15-2	1,7391	1,11	1,17	1,1	1,13	9,0698254
184	HV15-2R	1,7361	87,6	87,9	87,2	87,57	706,14212
185	HV15-10	0,7974	13,6	13,2	13,3	13,37	234,67937
186	HV15-13	1,3977	33,9	34	33,9	33,93	339,89173
187	HV15-14	1,3502	9,87	9,21	9,79	9,62	99,782748
188	HV15-15	1,4804	1,54	1,53	1,51	1,53	14,437539
189	HV15-15R	0,2997	0,414	0,568	0,494	0,49	22,982983
190	HV15-16	1,4593	54	53,7	53,2	53,63	514,53893
191	HV15-17	1,1955	13,4	13,7	13,5	13,53	158,4832
192	HV15-17R	0,2544	34,9	35,3	35,1	35,10	1931,6038
193	HV15-21	1,5685	1,13	1,11	1,04	1,09	9,7587929
194	HV15-21R	1,183	69,4	69,3	68,6	69,10	817,75148
195	HV15-22	1,1927	3,8	3,83	3,88	3,84	45,035074
196	HV15-26	1,1631	1,87	1,84	1,86	1,86	22,348322
197	HV15-26R	1,2857	41,4	41,9	41,2	41,50	451,89391
198	HVP1-10	1,4091	25,8	25,7	26,5	26,00	258,32091

HV – Horta da Vilarça; O n.º que segue a sigla HV corresponde ao local de colheita seguido do n.º da amostra da planta aquática.

ANEXO 5 - VALORES DE ÍNDICE DE TRANSLOCAÇÃO (IT) PARA AS PLANTAS ENRAIZADAS EMERSAS.

Planta	[U] µg/kg, zona aérea	[U] µg/kg, raiz	IT (%)
<i>Cyperus longus</i>	230,03721	5014,4336	4,4
<i>Cyperus longus</i>	445,48411	1679,399	20,97
<i>Cyperus longus</i>	151,48705	1558,7263	8,86
<i>Cyperus longus</i>	1415,2957	645,57852	68,67
<i>Cyperus longus</i>	688,74702	3584,9518	16,12
<i>Cyperus longus</i>	786,03686	557,06354	58,52
<i>Cyperus longus</i>	291,2235	2439,6682	10,66
<i>Cyperus longus</i>	21,551671	772,70502	2,71
<i>Cyperus longus</i>	233,35328	1075,5857	17,83
<i>Cyperus longus</i>	73,735355	174,91102	29,65
<i>Cyperus longus</i>	311,8543	3293,1787	8,65
<i>Cyperus longus</i>	313,99917	1457,6683	17,72
<i>Cyperus longus</i>	293,47292	1380,0736	17,54
<i>Cyperus longus</i>	127,47392	4562,8261	2,72
<i>Cyperus longus</i>	9,0698254	706,14212	1,27
<i>Oenanthe crocata</i>	2105,9153	17806,531	10,58
<i>Oenanthe crocata</i>	1104,9724	1758,6665	38,59
<i>Oenanthe crocata</i>	435,60684	220,34276	66,41
<i>Oenanthe crocata</i>	194,86887	1750,42	10,02
<i>Oenanthe crocata</i>	131,04355	174,66907	42,86
<i>Oenanthe crocata</i>	348,34201	3856,0411	8,29
<i>Mentha rotundifolia</i>	1210,8462	3012,256	28,67
<i>Mentha rotundifolia</i>	93,020003	8429,1017	1,09
<i>Mentha rotundifolia</i>	1054,2169	286,78698	78,61
<i>Mentha rotundifolia</i>	589,07104	988,17858	37,35
<i>Mentha rotundifolia</i>	310,032525	1159,334	21,10
<i>Mentha rotundifolia</i>	357,96503	524,87455	40,55
<i>Rorippa sylvestris</i>	1273,866	1404,799	47,56
<i>Rorippa sylvestris</i>	33836,603	16,591392	99,95
<i>Rorippa sylvestris</i>	14,437539	22,982983	38,58
<i>Apium nodiflorum</i>	187,66943	2778,6753	6,33
<i>Apium nodiflorum</i>	378,30177	1739,6191	17,86
<i>Apium nodiflorum</i>	19,314587	711,99321	2,64
<i>Apium nodiflorum</i>	18,044077	453,22359	3,83
<i>Apium nodiflorum</i>	357,29167	4299,3197	7,67
<i>Apium nodiflorum</i>	158,4832	1931,6038	7,58
<i>Nasturtium officinale</i>	903,15726	3764,9402	19,35
<i>Nasturtium officinale</i>	1965,5061	10995,295	15,17
<i>Cyperus eragrostis</i>	14,938556	393,95438	3,65
<i>Cyperus eragrostis</i>	9,1165083	1209,6626	0,75

continua

Planta	[U] µg/kg, zona aérea	[U] µg/kg, raíz	IT (%)
<i>Cyperus eragrostis</i>	197,5945	806,56515	19,68
<i>Cyperus eragrostis</i>	88,023341	5,8204321	93,8
<i>Cyperus eragrostis</i>	64,034777	2057,7894	3,02
<i>Cyperus eragrostis</i>	83,852635	1518,8969	5,23
<i>Cyperus eragrostis</i>	119,40679	2894,1345	3,96
<i>Cyperus eragrostis</i>	9,7587929	817,75148	1,18
<i>Thypha latifolia</i>	15,693263	15,724795	49,95
<i>Thypha latifolia</i>	279,07257	204,44279	57,72
<i>Thypha latifolia</i>	26,829808	2486,7874	1,07
<i>Mentha pulegium</i>	307,51281	126,03648	70,93
<i>Mentha pulegium</i>	15,651282	428,74238	3,52
<i>Ranunculus peltatus</i>	362,90384	4522,7606	7,43
<i>Ranunculus peltatus</i>	257,16121	4056,8889	5,96
<i>Eleocharis palustris</i>	18,558336	5463,316	0,34
<i>Eleocharis palustris</i>	323,60874	242,70225	57,14
<i>Eleocharis palustris</i>	22,348322	451,89391	4,71

ANEXO 6 - VALORES DO FATOR DE BIOCONCENTRAÇÃO (FBA =[U] NA PLANTA/[U] NA ÁGUA) PARA AS PLANTAS ESTUDADAS.

Planta	FBA
<i>Fontinalis antipyretica</i>	26694,61
<i>Fontinalis antipyretica</i>	12322,65
<i>Fontinalis antipyretica</i>	12272,52
<i>Cyperus longus</i> (zona aérea)	171,67
<i>Cyperus longus</i> (zona aérea)	216,25
<i>Cyperus longus</i> (zona aérea)	151,49
<i>Cyperus longus</i> (zona aérea)	1056,19
<i>Cyperus longus</i> (zona aérea)	453,12
<i>Cyperus longus</i> (zona aérea)	510,41
<i>Cyperus longus</i> (zona aérea)	196,77
<i>Cyperus longus</i> (zona aérea)	35,33
<i>Cyperus longus</i> (zona aérea)	250,92
<i>Cyperus longus</i> (zona aérea)	47,27
<i>Cyperus longus</i> (zona aérea)	247,50
<i>Cyperus longus</i> (zona aérea)	56,47
<i>Cyperus longus</i> (zona aérea)	161,25
<i>Cyperus longus</i> (zona aérea)	28,08
<i>Cyperus longus</i> (zona aérea)	2,85
<i>Cyperus longus</i> (zona radicular)	3742,11
<i>Cyperus longus</i> (zona radicular)	815,24
<i>Cyperus longus</i> (zona radicular)	1558,73
<i>Cyperus longus</i> (zona radicular)	481,77
<i>Cyperus longus</i> (zona radicular)	2358,52
<i>Cyperus longus</i> (zona radicular)	361,73
<i>Cyperus longus</i> (zona radicular)	1648,42
<i>Cyperus longus</i> (zona radicular)	1266,73
<i>Cyperus longus</i> (zona radicular)	1156,54
<i>Cyperus longus</i> (zona radicular)	112,12
<i>Cyperus longus</i> (zona radicular)	2613,63
<i>Cyperus longus</i> (zona radicular)	262,17
<i>Cyperus longus</i> (zona radicular)	758,28
<i>Cyperus longus</i> (zona radicular)	1005,03
<i>Cyperus longus</i> (zona radicular)	222,06
<i>Juncus effusus</i>	191,12
<i>Juncus effusus</i>	5,95
<i>Juncus effusus</i>	8,02
<i>Oenanthe crocata</i> (zona aérea)	1571,58
<i>Oenanthe crocata</i> (zona aérea)	1104,97
<i>Oenanthe crocata</i> (zona aérea)	1198,84

continua

Planta	FBA
<i>Oenanthe crocata</i> (zona aérea)	0,78
<i>Oenanthe crocata</i> (zona aérea)	714,11
<i>Oenanthe crocata</i> (zona aérea)	209,54
<i>Oenanthe crocata</i> (zona aérea)	4,13
<i>Oenanthe crocata</i> (zona aérea)	23,57
<i>Oenanthe crocata</i> (zona aérea)	191,40
<i>Oenanthe crocata</i> (zona radicular)	13288,46
<i>Oenanthe crocata</i> (zona radicular)	1758,67
<i>Oenanthe crocata</i> (zona radicular)	361,22
<i>Oenanthe crocata</i> (zona radicular)	1882,17
<i>Oenanthe crocata</i> (zona radicular)	31,41
<i>Oenanthe crocata</i> (zona radicular)	2118,70
<i>Scorpiurium deflexifolium</i>	37044,27
<i>Scorpiurium deflexifolium</i>	12349,17
<i>Lemanea fluviatilis</i>	6692,04
<i>Lemanea fluviatilis</i>	2846,60
<i>Lemanea fluviatilis</i>	1801,99
<i>Lemanea fluviatilis</i>	468,23
<i>Lemanea fluviatilis</i>	1624,88
<i>Lemanea fluviatilis</i>	967,20
<i>Lemanea fluviatilis</i>	2222,65
<i>Lotus uliginosus</i>	173,15
<i>Lotus uliginosus</i>	1353,76
<i>Lotus uliginosus</i>	2016,25
<i>Callitriche stagnalis</i>	4389,11
<i>Callitriche stagnalis</i>	1433,07
<i>Callitriche stagnalis</i>	729,80
<i>Callitriche stagnalis</i>	1709,09
<i>Callitriche stagnalis</i>	2530,52
<i>Mentha rotundifolia</i> (zona aérea)	587,79
<i>Mentha rotundifolia</i> (zona aérea)	69,42
<i>Mentha rotundifolia</i> (zona aérea)	960,82
<i>Mentha rotundifolia</i> (zona aérea)	684,56
<i>Mentha rotundifolia</i> (zona aérea)	965,69
<i>Mentha rotundifolia</i> (zona aérea)	333,37
<i>Mentha rotundifolia</i> (zona aérea)	10,42
<i>Mentha rotundifolia</i> (zona aérea)	78,85
<i>Mentha rotundifolia</i> (zona radicular)	1462,26
<i>Mentha rotundifolia</i> (zona radicular)	6290,37
<i>Mentha rotundifolia</i> (zona radicular)	186,22
<i>Mentha rotundifolia</i> (zona radicular)	1619,96

continua

Planta	FBA
<i>Mentha rotundifolia</i> (zona radicular)	1246,60
<i>Mentha rotundifolia</i> (zona radicular)	115,61
<i>Lemna minor</i>	2988,33
<i>Lemna minor</i>	164,22
<i>Lemna minor</i>	122,90
<i>Lemna minor</i>	116,76
<i>Lemna minor</i>	1186,30
<i>Lemna minor</i>	472,41
<i>Lemna minor</i>	73,80
<i>Lemna minor</i>	129,16
<i>Brachythecium plumosum</i>	4076,05
<i>Brachythecium plumosum</i>	938,13
<i>Brachythecium plumosum</i>	1,42
<i>Brachythecium plumosum</i>	3734,91
<i>Brachythecium plumosum</i>	3470,86
<i>Fontinalis squanosa</i>	5479,29
<i>Fontinalis squanosa</i>	281,04
<i>Ranunculus penicillatus</i>	1957,56
<i>Ranunculus penicillatus</i>	1767,16
<i>Ranunculus penicillatus</i>	2290,88
<i>Ranunculus penicillatus</i>	974,60
<i>Ranunculus penicillatus</i>	181,91
<i>Ranunculus penicillatus</i>	531,69
<i>Ranunculus penicillatus</i>	121,43
<i>Ranunculus penicillatus</i>	106,88
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	2174,37
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	2620,26
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	2008,06
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	187,46
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	791,70
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	31,39
<i>Rorippa sylvestris</i> (zona aérea)	1273,87
<i>Rorippa sylvestris</i> (zona aérea)	282,02
<i>Rorippa sylvestris</i> (zona aérea)	21690,13
<i>Rorippa sylvestris</i> (zona aérea)	681,35
<i>Rorippa sylvestris</i> (zona aérea)	4,54
<i>Rorippa sylvestris</i> (zona radicular)	1404,80
<i>Rorippa sylvestris</i> (zona radicular)	10,63
<i>Rorippa sylvestris</i> (zona radicular)	7,23
<i>Callitriche lusitânica</i>	2595,32
<i>Callitriche lusitânica</i>	635,72

continua

Planta	FBA
<i>Callitriche lusitânica</i>	161,81
<i>Apium nodiflorum</i> (zona aérea)	187,67
<i>Apium nodiflorum</i> (zona aérea)	132,56
<i>Apium nodiflorum</i> (zona aérea)	245,65
<i>Apium nodiflorum</i> (zona aérea)	12,38
<i>Apium nodiflorum</i> (zona aérea)	14,32
<i>Apium nodiflorum</i> (zona aérea)	64,26
<i>Apium nodiflorum</i> (zona aérea)	49,84
<i>Apium nodiflorum</i> (zona radicular)	2778,68
<i>Apium nodiflorum</i> (zona radicular)	1129,62
<i>Apium nodiflorum</i> (zona radicular)	456,41
<i>Apium nodiflorum</i> (zona radicular)	359,70
<i>Apium nodiflorum</i> (zona radicular)	773,26
<i>Apium nodiflorum</i> (zona radicular)	607,42
<i>Nasturtium officinale</i> (zona aérea)	674,00
<i>Nasturtium officinale</i> (zona aérea)	1276,30
<i>Nasturtium officinale</i> (zona radicular)	2809,66
<i>Nasturtium officinale</i> (zona radicular)	7139,80
<i>Juncus conglomeratus</i>	1461,81
<i>Juncus conglomeratus</i>	1304,69
<i>Juncus conglomeratus</i>	5,06
<i>Juncus conglomeratus</i>	18,79
<i>Juncus conglomeratus</i>	115,60
<i>Juncus conglomeratus</i>	4,15
<i>Juncus conglomeratus</i>	17,79
<i>Juncus conglomeratus</i>	6,84
<i>Juncus conglomeratus</i>	2,20
<i>Cyperus eragrostis</i> (zona aérea)	9,70
<i>Cyperus eragrostis</i> (zona aérea)	14,95
<i>Cyperus eragrostis</i> (zona aérea)	212,47
<i>Cyperus eragrostis</i> (zona aérea)	56,42
<i>Cyperus eragrostis</i> (zona aérea)	50,82
<i>Cyperus eragrostis</i> (zona aérea)	15,08
<i>Cyperus eragrostis</i> (zona aérea)	26,30
<i>Cyperus eragrostis</i> (zona aérea)	3,07
<i>Cyperus eragrostis</i> (zona radicular)	255,81
<i>Cyperus eragrostis</i> (zona radicular)	1983,05
<i>Cyperus eragrostis</i> (zona radicular)	867,27
<i>Cyperus eragrostis</i> (zona radicular)	3,73
<i>Cyperus eragrostis</i> (zona radicular)	1633,17

continua

Planta	FBA
<i>Cyperus eragrostis</i> (zona radicular)	273,18
<i>Cyperus eragrostis</i> (zona radicular)	637,47
<i>Cyperus eragrostis</i> (zona radicular)	257,15
<i>Thypha latifolia</i> (zona aérea)	10,19
<i>Thypha latifolia</i> (zona aérea)	178,89
<i>Thypha latifolia</i> (zona aérea)	21,29
<i>Thypha latifolia</i> (zona aérea)	14,16
<i>Thypha latifolia</i> (zona radicular)	10,21
<i>Thypha latifolia</i> (zona radicular)	131,05
<i>Thypha latifolia</i> (zona radicular)	1973,64
<i>Mentha pulegium</i> (zona aérea)	504,12
<i>Mentha pulegium</i> (zona aérea)	10,03
<i>Mentha pulegium</i> (zona radicular)	206,62
<i>Mentha pulegium</i> (zona radicular)	274,83
<i>Ranunculus peltatus</i> (zona aérea)	594,92
<i>Ranunculus peltatus</i> (zona aérea)	46,25
<i>Ranunculus peltatus</i> (zona radicular)	7414,36
<i>Ranunculus peltatus</i> (zona radicular)	729,66
<i>Lythrum salicaria</i>	7,70
<i>Lythrum salicaria</i>	3,39
<i>Lythrum salicaria</i>	16,23
<i>Lythrum salicaria</i>	0,92
<i>Eleocharis palustris</i> (zona aérea)	11,90
<i>Eleocharis palustris</i> (zona aérea)	256,83
<i>Eleocharis palustris</i> (zona aérea)	7,03
<i>Eleocharis palustris</i> (zona radicular)	3502,13
<i>Eleocharis palustris</i> (zona radicular)	192,62
<i>Eleocharis palustris</i> (zona radicular)	142,10

ANEXO 7 – RESULTADOS DA CONCENTRAÇÃO DE U NAS AMOSTRAS DE SEDIMENTOS DA ÁREA ESTUDADA (HORTA DA VILARIÇA).

Amostra	Local/ser vivo	Peso (g)	Leitura1	Leitura2	Leitura3	Média Leituras	[U] (µg/kg)
199	SED1	1,2433	2120	2140	2110	2123,33	23909,488
200	SED2	1,1972	378	371	368	372,33	4354,0483
201	SED3	1,1977	287	289	287	287,67	3362,556
202	SED4	1,1755	29,6	28,6	29,3	29,17	347,36991
203	SED5	1,0566	27,4	27,3	26,8	27,17	359,95962
204	SED6	1,4664	12,4	12,8	13,6	12,93	123,477
205	SED7	1,4931	116	114	121	117,00	1097,0464
206	SED8	1,1995	210	211	213	211,33	2466,5833
207	SED9	1,4921	144	151	148	147,67	1385,5193
208	SED10	1,045	187	183	185	185,00	2478,4689
209	SED11	1,0899	108	112	109	109,67	1408,6919
210	SED12	1,0006	576	583	581	580,00	8115,1309
211	SED13	1,3617	357	363	354	358,00	3680,6933
212	SED14	1,0505	414	399	411	408,00	5437,4108
213	SED15	1,0435	28,7	31,3	32,1	30,70	411,88309

SED – sedimento. O n.º que segue a sigla SED corresponde ao local de amostragem.

ANEXO 8 – MONITORIZAÇÃO DE U NA ÁGUA DOS AQUÁRIOS E CORREÇÕES

15 de Fevereiro de 2011					
Calibragem do aparelho					
Concentrações		L1	L2	L3	Média
Branco		0,0131	0,0133	0,0131	0,0132
2µg/l		0,0393	0,0397	0,0394	0,0395
10µg/l		0,1110	0,1137	0,1110	0,1119
100µg/l		0,9860	0,9957	1,0000	0,9939
1000µg/l		10,6300	10,5700	10,6400	10,6133
Aquários					
Aquários	Concentrações	L1	L2	L3	Média
1	2µg/l	1,7600	1,8800	1,8000	1,8133
2		1,9500	1,8700	1,8800	1,9000
3		1,8800	1,8900	1,7700	1,8467
1	20µg/l	21,6000	21,8000	21,6000	21,6667
2		19,3000	19,0000	19,2000	19,1667
3		19,8000	20,0000	20,2000	20,0000
1	200µg/l	211,0000	210,0000	213,0000	211,3333
2		225,0000	225,0000	225,0000	225,0000
3		198,0000	199,0000	199,0000	198,6667
1	1000µg/l	777,0000	779,0000	776,0000	777,3333
2		801,0000	808,0000	810,0000	806,3333
3		724,0000	723,0000	725,0000	724,0000

16 de Fevereiro de 2011						
Calibragem do aparelho						
Concentrações		L1	L2	L3	Média	
Branco		0,0131	0,0133	0,0131	0,0132	
2µg/l		0,0393	0,0397	0,0394	0,0395	
10µg/l		0,1110	0,1137	0,1110	0,1119	
100µg/l		0,9860	0,9957	1,0000	0,9939	
1000µg/l		10,6300	10,5700	10,6400	10,6133	
Aquários						
Aquários	Concentrações	L1	L2	L3	Média	Correcção
1	2µg/l				1,2000	
2					1,3100	0,64ml (10ppm)
3					1,1600	0,64ml (10ppm)
1	20µg/l				11,6000	6,4ml (10 ppm)
2					11,9000	6,4ml (10 ppm)
3					11,9000	6,4ml (10 ppm)
1	200µg/l				100,0000	0,8ml (1000ppm)
2					103,0000	0,8ml (1000ppm)
3					98,0000	0,8ml (1000ppm)
1	1000µg/l				575,0000	3,44ml (1000ppm)
2					568,0000	3,44ml (1000ppm)
3					579,0000	3,44ml (1000ppm)

17 de Fevereiro de 2011						
Calibragem do aparelho						
Concentrações		L1	L2	L3	Média	
Branco		0,0131	0,0133	0,0131	0,0132	
2µg/l		0,0393	0,0397	0,0394	0,0395	
10µg/l		0,1110	0,1137	0,1110	0,1119	
100µg/l		0,9860	0,9957	1,0000	0,9939	
1000µg/l		10,6300	10,5700	10,6400	10,6133	
Aquários						Correcção
Aquários	Concentrações	L1	L2	L3	Média	
1	2µg/l	1,2800	1,2700	1,2700	1,2733	0,576ml (10ppm)
2		1,8600	1,9700	1,8700	1,9000	0,104ml (10ppm)
3		1,2000	1,1600	1,1900	1,1833	0,648ml (10ppm)
1	20µg/l	9,4600	9,4700	9,4600	9,4633	8,432ml (10ppm)
2		12,0000	12,1000	12,0000	12,0333	6,4ml (10ppm)
3		12,5000	12,5000	12,5000	12,5000	6ml (10ppm)
1	200µg/l	141,0000	142,0000	142,0000	141,6667	0,464ml (1000ppm)
2		182,0000	183,0000	184,0000	183,0000	0,136ml (1000ppm)
3		137,0000	137,0000	136,0000	136,6667	0,504ml (1000ppm)
1	1000µg/l	738,0000	740,0000	742,0000	740,0000	2,080ml (1000ppm)
2		810,0000	811,0000	813,0000	811,3333	1,512ml (1000ppm)
3		729,0000	725,0000	727,0000	727,0000	2,184ml (1000ppm)

18 de Fevereiro de 2011						
Calibragem do aparelho						
	Concentrações	L1	L2	L3	Média	
	Branco	0,0131	0,0133	0,0131	0,0132	
	2µg/l	0,0393	0,0397	0,0394	0,0395	
	10µg/l	0,1110	0,1137	0,1110	0,1119	
	100µg/l	0,9860	0,9957	1,0000	0,9939	
	1000µg/l	10,6300	10,5700	10,6400	10,6133	
Aquários						Correcção
Aquários	Concentrações	L1	L2	L3	Média	
1	2µg/l	1,8300	1,8000	1,8500	1,8267	
2		2,2100	2,4800	2,4700	2,3867	
3		1,7700	1,7500	1,7900	1,7700	
1	20µg/l	18,4000	18,5000	18,7000	18,5333	1,2ml (10ppm)
2		16,5000	16,7000	16,6000	16,6000	2,72ml (10ppm)
3		15,9000	15,8000	15,7000	15,8000	3,36ml (10ppm)
1	200µg/l	140,0000	140,0000	140,0000	140,0000	0,480ml (1000ppm)
2		170,0000	170,0000	170,0000	170,0000	0,24ml (1000ppm)
3		198,0000	197,0000	197,0000	197,3333	
1	1000µg/l	871,0000	870,0000	866,0000	869,0000	1,048ml (1000ppm)
2		901,0000	910,0000	908,0000	906,3333	0,752ml (1000ppm)
3		902,0000	895,0000	899,0000	898,6667	0,808ml (1000ppm)

21 de Fevereiro de 2011						
Calibragem do aparelho						
Concentrações		L1	L2	L3	Média	
Branco		0,0131	0,0133	0,0131	0,0132	
2µg/l		0,0393	0,0397	0,0394	0,0395	
10µg/l		0,1110	0,1137	0,1110	0,1119	
100µg/l		0,9860	0,9957	1,0000	0,9939	
1000µg/l		10,6300	10,5700	10,6400	10,6133	
Aquários						Correcção
Aquários	Concentrações	L1	L2	L3	Média	
1	2µg/l	1,1600	1,2700	1,2000	1,2100	0,632ml (10ppm)
2		1,9000	1,9200	1,9000	1,9067	
3		1,4500	1,4600	1,4500	1,4533	0,44ml (10ppm)
1	20µg/l	8,5000	8,3500	8,4900	8,4467	9,24ml (10ppm)
2		15,0000	14,9000	15,0000	14,9667	4ml (10ppm)
3		13,6000	13,7000	13,8000	13,7000	5,04ml (10ppm)
1	200µg/l	123,0000	123,0000	123,0000	123,0000	0,616ml (1000ppm)
2		164,0000	165,0000	165,0000	164,6667	0,28ml (1000ppm)
3		99,9000	99,9000	99,8000	99,8667	0,8ml (1000ppm)
1	1000µg/l	745,0000	745,0000	751,0000	747,0000	2,024ml (1000ppm)
2		748,0000	748,0000	748,0000	748,0000	2,016ml (1000ppm)
3		753,0000	754,0000	753,0000	753,3333	1,976ml (1000ppm)

22 de Fevereiro de 2011					
Calibragem do aparelho					
Concentrações		L1	L2	L3	Média
Branco		0,0131	0,0133	0,0131	0,0132
2µg/l		0,0393	0,0397	0,0394	0,0395
10µg/l		0,1110	0,1137	0,1110	0,1119
100µg/l		0,9860	0,9957	1,0000	0,9939
1000µg/l		10,6300	10,5700	10,6400	10,6133
Aquários					
Aquários	Concentrações	L1	L2	L3	Média
1	2µg/l	3,4700	3,5800	3,3800	3,4767
2		5,3000	5,3500	5,3000	5,3167
3		6,2400	6,1000	6,0600	6,1333
1	20µg/l	20,4000	22,5000	20,1000	21,0000
2		18,5000	18,7000	18,3000	18,5000
3		20,0000	19,8000	19,6000	19,8000
1	200µg/l	148,0000	150,0000	149,0000	149,0000
2		173,0000	170,0000	172,0000	171,6667
3		171,0000	170,0000	171,0000	170,6667
1	1000µg/l	962,0000	954,0000	956,0000	957,3333
2		950,0000	952,0000	955,0000	952,3333
3		949,0000	951,0000	950,0000	950,0000

3 de Março de 2011						
Calibragem do aparelho						
Concentrações		L1	L2	L3	Média	
Branco		0,0131	0,0133	0,0131	0,0132	
2µg/l		0,0393	0,0397	0,0394	0,0395	
10µg/l		0,1110	0,1137	0,1110	0,1119	
100µg/l		0,9860	0,9957	1,0000	0,9939	
1000µg/l		10,6300	10,5700	10,6400	10,6133	
Aquários						
Aquários	Concentrações	L1	L2	L3	Média	Correcção
1	2µg/l	9,8700	9,9200	9,9500	9,9133	
2		11,2000	11,1000	11,4000	11,2333	
3		9,7700	9,7700	9,8000	9,7800	
1	20µg/l	17,4000	17,4000	17,6000	17,4667	
2		18,9000	18,8000	18,8000	18,8333	
3		18,5000	18,3000	18,5000	18,4333	
1	200µg/l	116,0000	116,0000	116,0000	116,0000	0,672ml (1000ppm)
2		150,0000	150,0000	150,0000	150,0000	0,4ml (1000ppm)
3		133,0000	132,0000	133,0000	132,6667	0,536ml (1000ppm)
1	1000µg/l	655,0000	652,0000	654,0000	653,6667	2,768ml (1000ppm)
2		547,0000	547,0000	549,0000	547,6667	3,616ml (1000ppm)
3		701,0000	699,0000	704,0000	701,3333	2,4ml (1000ppm)

15 de Março de 2011					
Calibragem do aparelho					
Concentrações	L1	L2	L3	Média	
Branco	0,0333	0,0335	0,0335	0,0334	
2µg/l	0,0670	0,0656	0,0661	0,0662	
10µg/l	0,2237	0,2161	0,2199	0,2199	
100µg/l	1,0450	1,0670	1,1060	1,0727	
1000µg/l	11,6800	11,6600	12,0300	11,7900	
Aquários					
Aquários	Concentrações	L1	L2	L3	Média
1	2µg/l	1,9800	1,9300	2,0600	1,9900
2		1,7700	1,7100	1,8000	1,7600
3		2,2300	2,2300	2,2700	2,2433
1	20µg/l	5,1200	5,2000	5,1700	5,1633
2		5,0600	5,1300	5,1100	5,1000
3		5,1900	5,1500	5,3400	5,2267
1	200µg/l	236,0000	236,0000	235,0000	235,6667
2		155,0000	155,0000	156,0000	155,3333
3		118,0000	118,0000	119,0000	118,3333
1	1000µg/l	808,0000	815,0000	810,0000	811,0000
2		726,0000	729,0000	730,0000	728,3333
3		815,0000	818,0000	824,0000	819,0000

ANEXO 9 – RESULTADOS DA CONCENTRAÇÃO DE U NAS AMOSTRAS DE PLANTAS E BIVALVES DOS AQUÁRIOS A DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE U

Amostra	Ser Vivo	Aquário	[Meio] (µg/l)	Recolha	Peso (g)	Leitura1	Leitura2	Leitura3	Média Leit	[U] (µg/kg)
41	<i>Elodea canadensis</i>	1	2	0R	0,3471	5,12	5,03	4,95	3,72	150,2314415
41	<i>Elodea canadensis</i>	2	2	0R	0,3471	5,12	5,03	4,95	3,72	150,2314415
41	<i>Elodea canadensis</i>	3	2	0R	0,3471	5,12	5,03	4,95	3,72	150,2314415
1	<i>Elodea canadensis</i>	1	2	1 R	0,0331	3,64	3,68	3,76	2,73	1155,979859
2	<i>Elodea canadensis</i>	2	2	1 R	0,045	4,1	3,85	3,85	2,91	905,5407407
3	<i>Elodea canadensis</i>	3	2	1 R	0,0401	3,76	4,03	3,85	2,87	1002,413965
4	<i>Elodea canadensis</i>	1	2	2 R	0,0534	4,5	4,56	4,55	3,36	880,1473159
5	<i>Elodea canadensis</i>	2	2	2 R	0,0548	2,93	3,14	3,07	2,25	575,9756691
6	<i>Elodea canadensis</i>	3	2	2 R	0,031	4,04	4,02	4,02	2,98	1345,686022
7	<i>Elodea canadensis</i>	1	2	3 R	0,0361	6,01	6,16	6,18	4,53	1755,364728
8	<i>Elodea canadensis</i>	2	2	3 R	0,0247	3,36	3,34	3,18	2,44	1381,333333
9	<i>Elodea canadensis</i>	3	2	3 R	0,0358	4,29	4,31	4,3	3,18	1244,357542
10	<i>Elodea canadensis</i>	1	2	4 R	0,041	11,9	11,8	11,9	8,78	2998,504065
11	<i>Elodea canadensis</i>	2	2	4 R	0,0199	3,17	3,14	3,23	2,35	1655,517588
12	<i>Elodea canadensis</i>	3	2	4 R	0,0231	4,94	4,93	4,93	3,65	2212,525253
13	<i>Elodea canadensis</i>	1	2	5 R	0,0425	8,07	8,14	8,16	6,01	1980,181961
14	<i>Elodea canadensis</i>	2	2	5 R	0,0175	3,7	3,68	3,59	2,71	2164,746667
15	<i>Elodea canadensis</i>	3	2	5 R	0,0588	6,05	6,14	5,84	4,45	1058,904762
16	<i>Elodea canadensis</i>	1	2	6 R	0,0605	13,7	13,2	13,3	9,92	2294,61157
17	<i>Elodea canadensis</i>	2	2	6 R	0,0638	9,62	9,51	9,53	7,07	1551,293626
18	<i>Elodea canadensis</i>	3	2	6 R	0,0655	17,6	17,7	17,5	13,02	2783,755725
420	<i>Elodea canadensis</i>	1	2	7 R	0,2064	56,4	56,2	56	41,59	2820,891473
421	<i>Elodea canadensis</i>	2	2	7 R	0,3722	42,7	43,9	43,6	32,12	1208,017195
422	<i>Elodea canadensis</i>	3	2	7 R	0,281	38,3	39,2	38,7	28,66	1428,033215
37	<i>Fontinalis antipyretica</i>	1	2	0R	0,5357	8,69	8,68	8,73	6,44	168,2508867

continua

Amostra	Ser Vivo	Aquário	[Meio] (µg/l)	Recolha	Peso (g)	Leitura1	Leitura2	Leitura3	Média Leit	[U] (µg/kg)
37	<i>Fontinalis antipyretica</i>	2	2	0R	0,5357	8,69	8,68	8,73	6,44	168,2508867
37	<i>Fontinalis antipyretica</i>	3	2	0R	0,5357	8,69	8,68	8,73	6,44	168,2508867
19	<i>Fontinalis antipyretica</i>	1	2	1 R	0,0589	5,8	5,9	5,67	4,28	1018,410866
20	<i>Fontinalis antipyretica</i>	2	2	1 R	0,0417	6,04	6,01	5,97	4,44	1492,303757
21	<i>Fontinalis antipyretica</i>	3	2	1 R	0,0784	13,1	13,1	13,1	9,69	1731,071429
22	<i>Fontinalis antipyretica</i>	1	2	2 R	0,0404	9,76	9,78	9,79	7,23	2507,085809
23	<i>Fontinalis antipyretica</i>	2	2	2 R	0,0572	5,16	5,24	5,05	3,81	932,7622378
24	<i>Fontinalis antipyretica</i>	3	2	2 R	0,0357	6,67	6,88	6,66	4,99	1954,954248
25	<i>Fontinalis antipyretica</i>	1	2	3 R	0,0322	6,99	7,07	7,28	5,26	2288,637681
26	<i>Fontinalis antipyretica</i>	2	2	3 R	0,0439	7,75	7,56	7,55	5,64	1798,250569
27	<i>Fontinalis antipyretica</i>	3	2	3 R	0,0431	19,3	18,9	19	14,11	4583,078113
28	<i>Fontinalis antipyretica</i>	1	2	4 R	0,1066	37,5	37,4	37,6	27,75	3644,465291
29	<i>Fontinalis antipyretica</i>	2	2	4 R	0,0948	42,7	42,4	42,1	31,38	4633,586498
30	<i>Fontinalis antipyretica</i>	3	2	4 R	0,0683	31,4	30,4	30,7	22,82	4676,915569
31	<i>Fontinalis antipyretica</i>	1	2	5 R	0,2501	143	143	143	105,82	5923,55058
32	<i>Fontinalis antipyretica</i>	2	2	5 R	0,1129	56,4	56,6	54,8	41,39	5132,589312
33	<i>Fontinalis antipyretica</i>	3	2	5 R	0,1361	76,3	76,2	76,8	56,56	5818,143522
34	<i>Fontinalis antipyretica</i>	1	2	6 R	0,2303	150	146	149	109,77	6672,745694
35	<i>Fontinalis antipyretica</i>	2	2	6 R	0,0618	53,4	53,3	53,1	39,42	8929,492988
36	<i>Fontinalis antipyretica</i>	3	2	6 R	0,1594	122	123	122	90,53	7950,899205
423	<i>Fontinalis antipyretica</i>	1	2	7R	0,5503	176	176	176	130,24	3313,392695
424	<i>Fontinalis antipyretica</i>	2	2	7R	0,2562	50,5	52,5	51,5	38,11	2082,513661
425	<i>Fontinalis antipyretica</i>	3	2	7R	0,3044	85,2	84,8	86	63,15	2904,248795
38	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	1	2	0R	0,5146	5,48	5,38	5,22	3,97	107,9082783
38	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	2	2	0R	0,5146	5,48	5,38	5,22	3,97	107,9082783

continua

Amostra	Ser Vivo	Aquario	[Meio] (µg/l)	Recolha	Peso (g)	Leitura1	Leitura2	Leitura3	Média Leit	[U] (µg/kg)
38	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	3	2	0R	0,5146	5,48	5,38	5,22	3,97	107,9082783
43	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	1	2	1 R	0,0294	4,03	4,08	4,13	3,02	1437,714286
44	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	2	2	1 R	0,0707	6,33	6,19	6,23	4,63	915,8415842
45	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	3	2	1 R	0,0473	4,52	4,42	4,34	3,28	969,5616631
46	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	1	2	2 R	0,0637	7,68	7,76	7,63	5,69	1250,681319
47	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	2	2	2 R	0,0702	5,5	5,49	5,49	4,07	810,697056
48	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	3	2	2 R	0,0437	5,65	5,5	5,47	4,10	1313,372998
49	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	1	2	3 R	0,0357	4,55	4,28	4,5	3,29	1289,437908
50	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	2	2	3 R	0,0474	5,7	5,55	5,54	4,14	1223,237693
51	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	3	2	3 R	0,055	4,58	4,76	4,67	3,46	879,6581818
52	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	1	2	4 R	0,0481	4,7	4,74	4,73	3,50	1017,333333
53	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	2	2	4 R	0,0361	8,2	8,15	8,38	6,10	2365,676824
54	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	3	2	4 R	0,0648	10,1	9,99	10,1	7,45	1608,890947
55	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	1	2	5 R	0,0443	5,84	5,72	5,84	4,29	1356,388262
56	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	2	2	5 R	0,0316	5,38	5,41	5,54	4,03	1784,586498
57	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	3	2	5 R	0,0462	5,27	5,13	5,38	3,89	1179,515152
58	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	1	2	6 R	0,0736?	7,7	7,66	7,67	5,68	#VALOR!
59	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	2	2	6 R	0,0247	5,58	5,57	5,79	4,18	2368,39946
60	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	3	2	6 R	0,05	14,7	14,8	14,4	10,83	3032,026667
411	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	1	2	7R	0,1179	16,8	16,7	16,7	12,38	1470,376025
412	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	2	2	7R	0,0496	1,68	2,03	2,35	1,49	421,9193548
413	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	3	2	7R	0,1994	34,8	35,2	35,3	25,97	1823,650953
40	<i>Callitriche brutia</i>	1	2	0R	0,5307	5,97	5,7	5,85	4,32	114,0048992
40	<i>Callitriche brutia</i>	2	2	0R	0,5307	5,97	5,7	5,85	4,32	114,0048992
40	<i>Callitriche brutia</i>	3	2	0R	0,5307	5,97	5,7	5,85	4,32	114,0048992

continua

Amostra	Ser Vivo	Aquário	[Meio] (µg/l)	Recolha	Peso (g)	Leitura1	Leitura2	Leitura3	Média Leit	[U] (µg/kg)
61	<i>Callitriche brutia</i>	1	2	1 R	0,0578	6,24	6,2	6,16	4,59	1111,280277
62	<i>Callitriche brutia</i>	2	2	1 R	0,0486	10,6	10,6	10,8	7,89	2273,799726
63	<i>Callitriche brutia</i>	3	2	1 R	0,0355	3,65	3,66	3,65	2,70	1066,155869
64	<i>Callitriche brutia</i>	1	2	2 R	0,0318	5,25	5,19	5,22	3,86	1700,603774
65	<i>Callitriche brutia</i>	2	2	2 R	0,0572	6,75	6,71	6,72	4,98	1218,32634
66	<i>Callitriche brutia</i>	3	2	2 R	0,0377	5,03	5,01	5,13	3,74	1389,577365
67	<i>Callitriche brutia</i>	1	2	3 R	0,0289	6,16	6,17	6,21	4,57	2215,391003
68	<i>Callitriche brutia</i>	2	2	3 R	0,0373	6,87	6,94	7,06	5,15	1932,200179
69	<i>Callitriche brutia</i>	3	2	3 R	0,0308	6,48	6,33	6,34	4,72	2147,121212
70	<i>Callitriche brutia</i>	1	2	4 R	0,0399	7,77	7,86	7,61	5,73	2011,415205
71	<i>Callitriche brutia</i>	2	2	4 R	0,0412	9,41	9,15	9,09	6,82	2317,588997
72	<i>Callitriche brutia</i>	3	2	4 R	0,055	21,4	21,5	21,4	15,86	4037,260606
73	<i>Callitriche brutia</i>	1	2	5 R	0,0585	22,3	21,8	22	16,30	3901,97151
74	<i>Callitriche brutia</i>	2	2	5 R	0,0243	6,08	5,9	6,03	4,44	2559,445816
75	<i>Callitriche brutia</i>	3	2	5 R	0,0627	13,8	14	14,1	10,34	2307,729931
76	<i>Callitriche brutia</i>	1	2	6 R	0,0886	52,5	52,5	52,1	38,75	6123,235515
77	<i>Callitriche brutia</i>	2	2	6 R	0,0421	7,44	7,57	7,56	5,57	1851,347585
78	<i>Callitriche brutia</i>	3	2	6 R	0,0327	9,41	9,44	9,24	6,93	2966,487258
417	<i>Callitriche brutia</i>	1	2	7R	0,0725	29,5	30,4	30,3	22,25	4296,422989
418	<i>Callitriche brutia</i>	2	2	7R	0,0961	25,8	26,1	26,2	19,26	2806,507111
419	<i>Callitriche brutia</i>	3	2	7R	0,0979	34,9	35,3	35,5	26,07	3728,471229
42	<i>Callitriches stagnalis</i>	1	2	0R	0,5044	5,01	5,06	5	3,72	103,1755221
42	<i>Callitriches stagnalis</i>	2	2	0R	0,5044	5,01	5,06	5	3,72	103,1755221
42	<i>Callitriches stagnalis</i>	3	2	0R	0,5044	5,01	5,06	5	3,72	103,1755221
79	<i>Callitriches stagnalis</i>	1	2	1 R	0,0578	2,3	2,21	2,29	1,68	406,2745098

continua

Amostra	Ser Vivo	Aquário	[Meio] (µg/l)	Recolha	Peso (g)	Leitura1	Leitura2	Leitura3	Média Leit	[U] (µg/kg)
80	<i>Callitriches stagnalis</i>	2	2	1 R	0,0486	3,29	3,43	3,39	2,49	718,3786008
81	<i>Callitriches stagnalis</i>	3	2	1 R	0,0355	4,08	4,01	4,07	3,00	1182,888263
82	<i>Callitriches stagnalis</i>	1	2	2 R	0,0318	4,86	4,89	4,88	3,61	1588,750524
83	<i>Callitriches stagnalis</i>	2	2	2 R	0,0572	2,1	2,08	2,08	1,54	377,9347319
84	<i>Callitriches stagnalis</i>	3	2	2 R	0,0377	3,5	3,62	3,62	2,65	983,7877984
85	<i>Callitriches stagnalis</i>	1	2	3 R	0,0289	7,36	7,2	7,2	5,37	2600,156863
86	<i>Callitriches stagnalis</i>	2	2	3 R	0,0373	6,7	6,72	6,71	4,97	1863,689008
87	<i>Callitriches stagnalis</i>	3	2	3 R	0,0308	15,2	15	15,4	11,25	5112,727273
88	<i>Callitriches stagnalis</i>	1	2	4 R	0,0399	32,5	32,1	32,9	24,05	8438,596491
89	<i>Callitriches stagnalis</i>	2	2	4 R	0,0412	4,54	4,37	4,48	3,30	1122,333333
90	<i>Callitriches stagnalis</i>	3	2	4 R	0,055	13,1	13,5	13	9,77	2486,4
91	<i>Callitriches stagnalis</i>	1	2	5 R	0,0585	37	36,6	36,7	27,21	6511,156695
92	<i>Callitriches stagnalis</i>	2	2	5 R	0,0243	6,15	6,12	6,26	4,57	2633,344307
93	<i>Callitriches stagnalis</i>	3	2	5 R	0,0627	17,8	17,3	17,8	13,05	2913,577884
94	<i>Callitriches stagnalis</i>	1	2	6 R	0,0886	11,9	12,4	12	8,95	1414,853273
95	<i>Callitriches stagnalis</i>	2	2	6 R	0,0421	5,57	4,48	4,59	3,61	1200,874109
96	<i>Callitriches stagnalis</i>	3	2	6 R	0,0327	28,1	28,5	28,5	20,99	8987,115189
414	<i>Callitriches stagnalis</i>	1	2	7R	0,0103	9,76	9,49	9,95	7,20	9790,032362
415	<i>Callitriches stagnalis</i>	2	2	7R	0,0301	13,4	13,4	13,6	9,97	4635,03876
416	<i>Callitriches stagnalis</i>	3	2	7R	0,0085	7,23	7,22	7,11	5,32	8759,278431
562	<i>Corbicula fluminae</i>	1	2	0R	0,5372	9,86	10,1	10,1	10,02	261,1317945
562	<i>Corbicula fluminae</i>	2	2	0R	0,5372	9,86	10,1	10,1	10,02	261,1317945
562	<i>Corbicula fluminae</i>	3	2	0R	0,5372	9,86	10,1	10,1	10,02	261,1317945
478	<i>Corbicula fluminae</i>	1	2	1 R	0,2591	10,7	11,1	11	10,93	590,7628972
479	<i>Corbicula fluminae</i>	2	2	1 R	0,8118	6,02	6,02	6,06	6,03	104,0486162

continua

Amostra	Ser Vivo	Aquario	[Meio] (µg/l)	Recolha	Peso (g)	Leitura1	Leitura2	Leitura3	Média Leit	[U] (µg/kg)
480	<i>Corbicula fluminae</i>	3	2	1 R	0,1062	16,1	16,1	16,3	16,17	2131,198996
481	<i>Corbicula fluminae</i>	1	2	2 R	1,1779	11,7	11,5	11,7	11,63	138,2686702
482	<i>Corbicula fluminae</i>	2	2	2 R	0,9511	6,91	6,89	6,98	6,93	101,959135
483	<i>Corbicula fluminae</i>	3	2	2 R	0,0847	6,9	6,76	6,64	6,77	1118,4573
484	<i>Corbicula fluminae</i>	1	2	3 R	0,7703	6,01	6,25	6,29	6,18	112,3804578
485	<i>Corbicula fluminae</i>	2	2	3 R	0,3938	7,89	7,98	7,93	7,93	282,0382597
486	<i>Corbicula fluminae</i>	3	2	3 R	0,2874	6,23	6,26	6,2	6,23	303,4794711
487	<i>Corbicula fluminae</i>	1	2	4 R	0,2144	3,37	3,47	3,42	3,42	223,3208955
488	<i>Corbicula fluminae</i>	2	2	4 R	0,5786	6,57	6,82	6,56	6,65	160,9056343
498	<i>Corbicula fluminae</i>	3	2	4 R	0,4209	6,27	6,43	6,06	6,25	207,9987329
490	<i>Corbicula fluminae</i>	1	2	5 R	0,2071	7,32	7,6	7,36	7,43	502,0441011
491	<i>Corbicula fluminae</i>	2	2	5 R	0,7868	6,61	6,72	6,81	6,71	119,4543298
492	<i>Corbicula fluminae</i>	3	2	5 R	0,588	11,7	11,5	11,9	11,70	278,5714286
493	<i>Corbicula fluminae</i>	1	2	6 R	2,4273	33,6	33,9	33,8	33,77	194,7568629
494	<i>Corbicula fluminae</i>	2	2	6 R	1,3467	27,5	28,1	28,3	27,97	290,7353778
495	<i>Corbicula fluminae</i>	3	2	6 R	0,0436	112	116	118	115,33	37033,63914
496	<i>Corbicula fluminae</i>	1	2	7R	4,6718	27	28,9	28,8	28,23	84,60693237
497	<i>Corbicula fluminae</i>	2	2	7R	5,9318	48,9	49,9	49,4	49,40	116,5919283
489	<i>Corbicula fluminae</i>	3	2	7R	3,5302	10,4	10,1	10	10,17	40,31877325
39	<i>Rorippa nasturtium</i>	1	2	0R	0,3504	3,59	3,62	3,61	2,67	106,6354642
39	<i>Rorippa nasturtium</i>	2	2	0R	0,3504	3,59	3,62	3,61	2,67	106,6354642
39	<i>Rorippa nasturtium</i>	3	2	0R	0,3504	3,59	3,62	3,61	2,67	106,6354642
	<i>Rorippa nasturtium</i>	1	2	1 R						
97	<i>Rorippa nasturtium</i>	2	2	1 R	0,0451	2,47	2,48	2,46	1,83	567,3880266
98	<i>Rorippa nasturtium</i>	3	2	1 R	0,0548	4,24	4,26	4,25	3,15	803,4671533

continua

Amostra	Ser Vivo	Aquario	[Meio] (µg/l)	Recolha	Peso (g)	Leitura1	Leitura2	Leitura3	Média Leit	[U] (µg/kg)
	<i>Rorippa nasturtium</i>	1	2	2 R						
99	<i>Rorippa nasturtium</i>	2	2	2 R	0,0564	9,36	9,29	9,17	6,86	1703,399527
100	<i>Rorippa nasturtium</i>	3	2	2 R	0,0558	4,41	4,37	4,51	3,28	822,4874552
	<i>Rorippa nasturtium</i>	1	2	3 R						
101	<i>Rorippa nasturtium</i>	2	2	3 R	0,0345	2,96	2,92	2,95	2,18	883,8531401
102	<i>Rorippa nasturtium</i>	3	2	3 R	0,0237	3,22	3,15	3,3	2,39	1409,018284
	<i>Rorippa nasturtium</i>	1	2	4 R						
103	<i>Rorippa nasturtium</i>	2	2	4 R	0,0464	2,26	2,14	2,12	1,61	485,2528736
104	<i>Rorippa nasturtium</i>	3	2	4 R	0,0264	2,24	2,29	2,35	1,70	899,959596
	<i>Rorippa nasturtium</i>	1	2	5 R						
105	<i>Rorippa nasturtium</i>	2	2	5 R	0,0541	9,53	9,68	9,51	7,08	1833,26679
106	<i>Rorippa nasturtium</i>	3	2	5 R	0,0304	11	11,1	11,1	8,19	3771,403509
	<i>Rorippa nasturtium</i>	1	2	6 R						
107	<i>Rorippa nasturtium</i>	2	2	6 R	0,0226	5,17	5,23	5,26	3,86	2392,884956
108	<i>Rorippa nasturtium</i>	3	2	6 R	0,0317	8,3	8,32	8,48	6,19	2734,342797
	<i>Rorippa nasturtium</i>	1	2	7R						
426	<i>Rorippa nasturtium</i>	2	2	7R	0,0347	11,2	11,6	11,3	8,41	3393,621518
427	<i>Rorippa nasturtium</i>	3	2	7R	0,0136	5,72	5,57	5,94	4,25	4375,068627
41	<i>Elodea canadensis</i>	1	20	0R	0,3471	5,12	5,03	4,95	3,72	150,2314415
41	<i>Elodea canadensis</i>	2	20	0R	0,3471	5,12	5,03	4,95	3,72	150,2314415
41	<i>Elodea canadensis</i>	3	20	0R	0,3471	5,12	5,03	4,95	3,72	150,2314415
109	<i>Elodea canadensis</i>	1	20	1 R	0,0402	7,67	7,85	7,77	5,74	2000,699834
110	<i>Elodea canadensis</i>	2	20	1 R	0,0343	19,3	19,7	19,6	14,45	5899,863946
111	<i>Elodea canadensis</i>	3	20	1 R	0,0246	14,3	14,3	14,4	10,61	6036,314363
112	<i>Elodea canadensis</i>	1	20	2 R	0,026	14,3	14,3	14,5	10,63	5724,564103

continua

Amostra	Ser Vivo	Aquário	[Meio] (µg/l)	Recolha	Peso (g)	Leitura1	Leitura2	Leitura3	Média Leit	[U] (µg/kg)
113	<i>Elodea canadensis</i>	2	20	2 R	0,0465	29,8	29,4	29,7	21,93	6602,179211
114	<i>Elodea canadensis</i>	3	20	2 R	0,038	10,9	10,9	11,3	8,16	3008,035088
115	<i>Elodea canadensis</i>	1	20	3 R	0,0368	37,1	37,5	37,4	27,63	10510,14493
116	<i>Elodea canadensis</i>	2	20	3 R	0,0556	82,5	82,4	82,5	61,03	15366,09113
117	<i>Elodea canadensis</i>	3	20	3 R	0,0412	51,5	50,7	51	37,79	12841,0356
118	<i>Elodea canadensis</i>	1	20	4 R	0,022	62,2	61,4	61,6	45,68	29070,78788
119	<i>Elodea canadensis</i>	2	20	4 R	0,0375	74,2	73	73	54,32	20277,97333
120	<i>Elodea canadensis</i>	3	20	4 R	0,032	85,5	85	85,3	63,10	27605,08333
121	<i>Elodea canadensis</i>	1	20	5 R	0,0341	143	142	141	105,08	43141,34897
122	<i>Elodea canadensis</i>	2	20	5 R	0,045	64,2	64,8	64,7	47,78	14864,68148
123	<i>Elodea canadensis</i>	3	20	5 R	0,0489	92,7	93,6	93,6	69,04	19766,62577
124	<i>Elodea canadensis</i>	1	20	6 R	0,063	180	181	180	133,45	29654,81481
125	<i>Elodea canadensis</i>	2	20	6 R	0,0356	86,4	85,9	86,1	63,74	25065,76779
126	<i>Elodea canadensis</i>	3	20	6 R	0,0383	136	135	137	100,64	36787,46736
437	<i>Elodea canadensis</i>	1	20	7R	0,2014	796	801	806	801,00	55680,23833
438	<i>Elodea canadensis</i>	2	20	7R	0,2106	16,2	15,9	16	16,03	1065,843621
439	<i>Elodea canadensis</i>	3	20	7R	0,2896	440	440	441	440,33	21286,83241
37	<i>Fontinalis antipyretica</i>	1	20	0R	0,5357	8,69	8,68	8,73	6,44	168,2508867
37	<i>Fontinalis antipyretica</i>	2	20	0R	0,5357	8,69	8,68	8,73	6,44	168,2508867
37	<i>Fontinalis antipyretica</i>	3	20	0R	0,5357	8,69	8,68	8,73	6,44	168,2508867
139	<i>Fontinalis antipyretica</i>	1	20	1 R	0,1032	3990	4000	3990	2955,07	400881,137
140	<i>Fontinalis antipyretica</i>	2	20	1 R	0,0867	194	199	196	145,29	23460,3614
141	<i>Fontinalis antipyretica</i>	3	20	1 R	0,073	77,9	78,5	78,8	58,02	11126,35616
142	<i>Fontinalis antipyretica</i>	1	20	2 R	0,0667	386	387	387	286,13	60057,97101
143	<i>Fontinalis antipyretica</i>	2	20	2 R	0,0466	65,2	65,6	65,7	48,47	14561,80258

continua

Amostra	Ser Vivo	Aquário	[Meio] (µg/l)	Recolha	Peso (g)	Leitura1	Leitura2	Leitura3	Média Leit	[U] (µg/kg)
144	<i>Fontinalis antipyretica</i>	3	20	2 R	0,0428	100	99,5	100	73,88	24165,2648
145	<i>Fontinalis antipyretica</i>	1	20	3 R	0,1033	58	58	58,1	42,94	5820,187157
146	<i>Fontinalis antipyretica</i>	2	20	3 R	0,1071	138	136	136	101,13	13220,04357
147	<i>Fontinalis antipyretica</i>	3	20	3 R	0,0678	170	169	169	125,31	25874,53294
148	<i>Fontinalis antipyretica</i>	1	20	4 R	0,1172	299	297	296	220,03	26283,04892
149	<i>Fontinalis antipyretica</i>	2	20	4 R	0,0461	142	142	143	105,33	31986,40636
150	<i>Fontinalis antipyretica</i>	3	20	4 R	0,0707	215	213	213	158,11	31309,57096
151	<i>Fontinalis antipyretica</i>	1	20	5 R	0,0809	505	502	502	372,22	64413,84425
152	<i>Fontinalis antipyretica</i>	2	20	5 R	0,0733	388	386	386	286,13	54650,29559
153	<i>Fontinalis antipyretica</i>	3	20	5 R	0,069	314	311	312	231,13	46895,2657
154	<i>Fontinalis antipyretica</i>	1	20	6 R	0,1575	323	356	341	251,60	22364,44444
155	<i>Fontinalis antipyretica</i>	2	20	6 R	0,0975	332	332	334	246,17	35347,96581
156	<i>Fontinalis antipyretica</i>	3	20	6 R	0,0928	290	291	291	215,09	32449,42529
440	<i>Fontinalis antipyretica</i>	1	20	7R	0,3518	2790	2730	2670	2730,00	108641,2735
441	<i>Fontinalis antipyretica</i>	2	20	7R	0,318	896	897	898	897,00	39490,56604
442	<i>Fontinalis antipyretica</i>	3	20	7R	0,155	329	332	334	331,67	29956,98925
38	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	1	20	0R	0,5146	5,48	5,38	5,22	3,97	107,9082783
38	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	2	20	0R	0,5146	5,48	5,38	5,22	3,97	107,9082783
38	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	3	20	0R	0,5146	5,48	5,38	5,22	3,97	107,9082783
193	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	1	20	1 R	0,0686	35,2	35,6	35,1	26,12	5331,020408
194	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	2	20	1 R	0,086	22,5	22,6	22,8	16,75	2726,527132
195	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	3	20	1 R	0,0755	16,6	16,3	16,4	12,16	2254,958057
196	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	1	20	2 R	0,0564	11,4	11,6	11,3	8,46	2100,165485
197	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	2	20	2 R	0,0505	34,6	33,5	33,8	25,14	6968,211221
198	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	3	20	2 R	0,058	32,3	31,9	32,1	23,75	5733,724138

continua

Amostra	Ser Vivo	Aquário	[Meio] (µg/l)	Recolha	Peso (g)	Leitura1	Leitura2	Leitura3	Média Leit	[U] (µg/kg)
199	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	1	20	3 R	0,092	41,7	41,1	40,9	30,51	4643,231884
200	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	2	20	3 R	0,1202	132	130	131	96,94	11290,84859
201	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	3	20	3 R	0,0257	22,8	22,5	22,2	16,65	9070,038911
202	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	1	20	4 R	0,0589	43,6	43,6	42,3	31,94	7592,642898
203	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	2	20	4 R	0,0577	60,4	57,8	58,9	43,68	10599,39919
204	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	3	20	4 R	0,0608	41,5	39,5	39,1	29,62	6821,469298
205	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	1	20	5 R	0,0443	64,2	56,1	57,1	43,76	13828,924
206	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	2	20	5 R	0,0926	200	191	191	143,56	21704,53564
207	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	3	20	5 R	0,0224	31,2	28,3	27,8	21,53	13458,75
208	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	1	20	6 R	0,0648	70,7	63,6	62,8	48,62	10503,88889
209	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	2	20	6 R	0,0374	59,4	55,3	53,5	41,49	15530,76649
210	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	3	20	6 R	0,0361	42,7	39,3	37,8	29,55	11460,09234
428	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	1	20	7R	0,0772	121	124	123	90,77	16461,48532
429	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	2	20	7R	0,1222	172	175	175	128,76	14751,55483
430	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	3	20	7R	0,0629	51	50,9	50,1	37,49	8345,098039
40	<i>Callitriche brutia</i>	1	20	0R	0,5307	5,97	5,7	5,85	4,32	114,0048992
40	<i>Callitriche brutia</i>	2	20	0R	0,5307	5,97	5,7	5,85	4,32	114,0048992
40	<i>Callitriche brutia</i>	3	20	0R	0,5307	5,97	5,7	5,85	4,32	114,0048992
157	<i>Callitriche brutia</i>	1	20	1 R	0,0458	28,5	28,3	28,2	20,97	6409,024745
158	<i>Callitriche brutia</i>	2	20	1 R	0,0242	19,5	19,7	19,7	14,53	8405,013774
159	<i>Callitriche brutia</i>	3	20	1 R	0,0621	38,5	38,1	38,2	28,32	6383,939882
160	<i>Callitriche brutia</i>	1	20	2 R	0,0452	43	42,8	43,1	31,80	9848,112094
161	<i>Callitriche brutia</i>	2	20	2 R	0,0285	26,9	27	26,9	19,93	9790,502924
162	<i>Callitriche brutia</i>	3	20	2 R	0,0507	45,4	44,4	44,7	33,18	9161,20973
163	<i>Callitriche brutia</i>	1	20	3 R	0,0308	47,8	47,3	46,8	35,00	15910

continua

Amostra	Ser Vivo	Aquário	[Meio] (µg/l)	Recolha	Peso (g)	Leitura1	Leitura2	Leitura3	Média Leit	[U] (µg/kg)
164	<i>Callitriche brutia</i>	2	20	3 R	0,0178	15,4	15,6	15,5	11,47	9021,348315
165	<i>Callitriche brutia</i>	3	20	3 R	0,0281	37,6	37,6	37,9	27,90	13899,35943
166	<i>Callitriche brutia</i>	1	20	4 R	0,0401	67,1	65,9	67,1	49,36	17232,21945
167	<i>Callitriche brutia</i>	2	20	4 R	0,0237	35	34,6	34,8	25,75	15212,1519
168	<i>Callitriche brutia</i>	3	20	4 R	0,0376	40	40	40,3	29,67	11048,82979
169	<i>Callitriche brutia</i>	1	20	5 R	0,0473	153	151	153	112,73	33365,18675
170	<i>Callitriche brutia</i>	2	20	5 R	0,0237	40,3	39,8	39,5	29,50	17426,94796
171	<i>Callitriche brutia</i>	3	20	5 R	0,0214	56,7	57,7	57,1	42,30	27675,07788
172	<i>Callitriche brutia</i>	1	20	6 R	0,0288	119	118	118	87,57	42567,12963
173	<i>Callitriche brutia</i>	2	20	6 R	0,0243	70	69,9	70,6	51,92	29914,67764
174	<i>Callitriche brutia</i>	3	20	6 R	0,0223	32,4	32,9	32,7	24,17	15176,08371
434	<i>Callitriche brutia</i>	1	20	7R	0,1301	194	197	200	197,00	21199,07763
435	<i>Callitriche brutia</i>	2	20	7R	0,1641	272	274	275	273,67	23347,55231
436	<i>Callitriche brutia</i>	3	20	7R	0,0765	38,8	37,2	38,6	38,20	6990,849673
42	<i>Callitriche stagnalis</i>	1	20	0R	0,5044	5,01	5,06	5	3,72	103,1755221
42	<i>Callitriche stagnalis</i>	2	20	0R	0,5044	5,01	5,06	5	3,72	103,1755221
42	<i>Callitriche stagnalis</i>	3	20	0R	0,5044	5,01	5,06	5	3,72	103,1755221
175	<i>Callitriche stagnalis</i>	1	20	1 R	0,0409	35,4	35,7	35,6	26,32	9009,062755
176	<i>Callitriche stagnalis</i>	2	20	1 R	0,0582	44,2	43,9	44,2	32,63	7850,103093
177	<i>Callitriche stagnalis</i>	3	20	1 R	0,0299	28,8	28	28	20,92	9794,069119
178	<i>Callitriche stagnalis</i>	1	20	2 R	0,0502	20,5	20,8	20,9	15,34	4278,831341
179	<i>Callitriche stagnalis</i>	2	20	2 R	0,0523	38,7	38,6	38,6	28,59	7652,79796
180	<i>Callitriche stagnalis</i>	3	20	2 R	0,0497	21,6	21,6	21,5	15,96	4495,586854
181	<i>Callitriche stagnalis</i>	1	20	3 R	0,037	40,9	40,4	41	30,17	11414,66667
182	<i>Callitriche stagnalis</i>	2	20	3 R	0,0465	68,5	68,3	68,3	50,59	15231,79928

continua

Amostra	Ser Vivo	Aquário	[Meio] (µg/l)	Recolha	Peso (g)	Leitura1	Leitura2	Leitura3	Média Leit	[U] (µg/kg)
183	<i>Callitriche stagnalis</i>	3	20	3 R	0,0645	69,7	69,3	69,3	51,38	11152,39276
184	<i>Callitriche stagnalis</i>	1	20	4 R	0,0178	14,3	14,1	14	10,46	8225,917603
185	<i>Callitriche stagnalis</i>	2	20	4 R	0,0442	84,7	85,5	85,6	63,10	19985,58069
186	<i>Callitriche stagnalis</i>	3	20	4 R	0,0274	33	32,4	32,5	24,15	12338,73479
187	<i>Callitriche stagnalis</i>	1	20	5 R	0,0372	151	151	151	111,74	42052,68817
188	<i>Callitriche stagnalis</i>	2	20	5 R	0,0379	152	150	150	111,49	41184,87247
189	<i>Callitriche stagnalis</i>	3	20	5 R	0,0492	143	142	143	105,57	30041,19241
190	<i>Callitriche stagnalis</i>	1	20	6 R	0,015	57,4	57,9	58,3	42,82	39966,57778
191	<i>Callitriche stagnalis</i>	2	20	6 R	0,0415	79,5	78,8	78,8	58,48	19729,76707
192	<i>Callitriche stagnalis</i>	3	20	6 R	0,0257	22,9	22,5	22,8	16,82	9164,098573
431	<i>Callitriche stagnalis</i>	1	20	7R	0,0154	58,9	58,4	58,4	43,34	39399,39394
432	<i>Callitriche stagnalis</i>	2	20	7R	0,0367	70,3	70,1	70,8	52,10	19873,13351
433	<i>Callitriche stagnalis</i>	3	20	7R	0,1309	399	410	419	409,33	43778,96613
562	<i>Corbicula fluminae</i>	1	20	0R	0,5372	9,86	10,1	10,1	10,02	261,1317945
562	<i>Corbicula fluminae</i>	2	20	0R	0,5372	9,86	10,1	10,1	10,02	261,1317945
562	<i>Corbicula fluminae</i>	3	20	0R	0,5372	9,86	10,1	10,1	10,02	261,1317945
499	<i>Corbicula fluminae</i>	1	20	1 R	0,4553	3,95	4,01	4,04	4,00	122,9958269
500	<i>Corbicula fluminae</i>	2	20	1 R	0,9722	16,5	16,6	16,6	16,57	238,5654529
501	<i>Corbicula fluminae</i>	3	20	1 R	0,4013	11,5	11,6	11,6	11,57	403,5218872
502	<i>Corbicula fluminae</i>	1	20	2 R	0,9334	34,2	34,8	34,9	34,63	519,4628955
503	<i>Corbicula fluminae</i>	2	20	2 R	1,4741	14,2	14,8	14,4	14,47	137,3945684
504	<i>Corbicula fluminae</i>	3	20	2 R	0,4718	25	25,2	24,6	24,93	739,8615232
505	<i>Corbicula fluminae</i>	1	20	3 R	0,2671	13,2	13,4	13,3	13,30	697,1171846
506	<i>Corbicula fluminae</i>	2	20	3 R	1,1396	26,1	25,9	25,4	25,80	316,953317
507	<i>Corbicula fluminae</i>	3	20	3 R	0,352	12	12,2	12,2	12,13	482,5757576

continua

Amostra	Ser Vivo	Aquário	[Meio] (µg/l)	Recolha	Peso (g)	Leitura1	Leitura2	Leitura3	Média Leit	[U] (µg/kg)
508	<i>Corbicula fluminae</i>	1	20	4 R	0,3936	16,6	16,8	17	16,80	597,5609756
509	<i>Corbicula fluminae</i>	2	20	4 R	0,4314	22,5	22,3	22,9	22,57	732,3443054
510	<i>Corbicula fluminae</i>	3	20	4 R	0,2581	15,5	15,5	15,7	15,57	844,375565
511	<i>Corbicula fluminae</i>	1	20	5 R	0,8303	34,2	35,2	34,9	34,77	586,2138183
512	<i>Corbicula fluminae</i>	2	20	5 R	0,4346	12,6	12,5	12,7	12,60	405,890474
513	<i>Corbicula fluminae</i>	3	20	5 R	0,6733	11,6	12	11,9	11,83	246,0517847
514	<i>Corbicula fluminae</i>	1	20	6 R	0,9029	56,2	54,9	56,2	55,77	864,6952413
515	<i>Corbicula fluminae</i>	2	20	6 R	2,7876	45,3	45,1	45,4	45,27	227,3401253
516	<i>Corbicula fluminae</i>	3	20	6 R	0,3777	22,3	22,5	23,3	22,70	841,4085253
517	<i>Corbicula fluminae</i>	1	20	7R	0,4897	28	29,1	29,2	28,77	822,4082772
518	<i>Corbicula fluminae</i>	2	20	7R	6,193	146	141	144	143,67	324,7752839
519	<i>Corbicula fluminae</i>	3	20	7R	3,4613	103	100	100	101,00	408,5170312
39	<i>Rorippa nasturtium</i>	1	20	0R	0,3504	3,59	3,62	3,61	2,67	106,6354642
39	<i>Rorippa nasturtium</i>	2	20	0R	0,3504	3,59	3,62	3,61	2,67	106,6354642
39	<i>Rorippa nasturtium</i>	3	20	0R	0,3504	3,59	3,62	3,61	2,67	106,6354642
	<i>Rorippa nasturtium</i>	1	20	1 R						
127	<i>Rorippa nasturtium</i>	2	20	1 R	0,1371	82,8	83,6	83,7	61,69	6299,625577
128	<i>Rorippa nasturtium</i>	3	20	1 R	0,0941	52,8	51,4	52,1	38,55	5735,982997
	<i>Rorippa nasturtium</i>	1	20	2 R						
129	<i>Rorippa nasturtium</i>	2	20	2 R	0,0618	31,7	31,8	31,9	23,53	5330,873786
130	<i>Rorippa nasturtium</i>	3	20	2 R	0,0615	32,9	32,7	32,6	24,22	5514,102981
	<i>Rorippa nasturtium</i>	1	20	3 R						
131	<i>Rorippa nasturtium</i>	2	20	3 R	0,0452	1,52	1,44	1,44	1,09	336,1651917
132	<i>Rorippa nasturtium</i>	3	20	3 R	0,0487	52,3	52,2	52	38,60	11097,46749
	<i>Rorippa nasturtium</i>	1	20	4 R						

continua

Amostra	Ser Vivo	Aquário	[Meio] (µg/l)	Recolha	Peso (g)	Leitura1	Leitura2	Leitura3	Média Leit	[U] (µg/kg)
133	<i>Rorippa nasturtium</i>	2	20	4 R	0,0461	5,97	5,75	5,98	4,37	1325,900217
134	<i>Rorippa nasturtium</i>	3	20	4 R	0,0311	5,92	5,86	5,86	4,35	1958,73955
	<i>Rorippa nasturtium</i>	1	20	5 R						
135	<i>Rorippa nasturtium</i>	2	20	5 R	0,0428	77,9	76,7	77,4	57,23	18719,00312
136	<i>Rorippa nasturtium</i>	3	20	5 R	0,0365	151	154	154	113,22	43426,84932
	<i>Rorippa nasturtium</i>	1	20	6 R						
137	<i>Rorippa nasturtium</i>	2	20	6 R	0,0354	149	147	147	109,27	43215,44256
138	<i>Rorippa nasturtium</i>	3	20	6 R	0,0336	119	119	118	87,81	36588,88889
	<i>Rorippa nasturtium</i>	1	20	7R						
443	<i>Rorippa nasturtium</i>	2	20	7R	0,0263	40,7	41,1	41,3	41,03	21842,83904
444	<i>Rorippa nasturtium</i>	3	20	7R	0,0219	58	58,4	58,4	58,27	37248,09741
41	<i>Elodea canadensis</i>	1	200	0R	0,3471	5,12	5,03	4,95	3,72	150,2314415
41	<i>Elodea canadensis</i>	2	200	0R	0,3471	5,12	5,03	4,95	3,72	150,2314415
41	<i>Elodea canadensis</i>	3	200	0R	0,3471	5,12	5,03	4,95	3,72	150,2314415
312	<i>Elodea canadensis</i>	1	200	1 R	0,0579	278	278	277	205,47	49682,67127
313	<i>Elodea canadensis</i>	2	200	1 R	0,0597	264	261	263	194,37	45581,68621
314	<i>Elodea canadensis</i>	3	200	1 R	0,0451	115	114	114	84,61	26263,71027
315	<i>Elodea canadensis</i>	1	200	2 R	0,0419	179	179	179	132,46	44258,71122
316	<i>Elodea canadensis</i>	2	200	2 R	0,0197	153	153	151	112,73	80110,32149
317	<i>Elodea canadensis</i>	3	200	2 R	0,0656	391	389	391	288,85	61644,10569
318	<i>Elodea canadensis</i>	1	200	3 R	0,0447	393	393	393	290,82	91084,56376
319	<i>Elodea canadensis</i>	2	200	3 R	0,0521	257	254	255	188,95	50772,61676
320	<i>Elodea canadensis</i>	3	200	3 R	0,0277	142	140	139	103,85	52485,6799
321	<i>Elodea canadensis</i>	1	200	4 R	0,0211	35,3	35,2	35,5	26,15	17348,49921
322	<i>Elodea canadensis</i>	2	200	4 R	0,0319	241	239	236	176,61	77510,55381

continua

Amostra	Ser Vivo	Aquário	[Meio] (µg/l)	Recolha	Peso (g)	Leitura1	Leitura2	Leitura3	Média Leit	[U] (µg/kg)
323	<i>Elodea canadensis</i>	3	200	4 R	0,0399	486	482	482	357,67	125497,076
324	<i>Elodea canadensis</i>	1	200	5 R	0,0523	1660	1700	1720	1253,07	335428,9356
325	<i>Elodea canadensis</i>	2	200	5 R	0,0402	223	220	218	163,05	56782,42123
326	<i>Elodea canadensis</i>	3	200	5 R	0,0251	343	342	341	253,08	141160,1594
327	<i>Elodea canadensis</i>	1	200	6 R	0,074	646	643	644	476,81	90206,66667
328	<i>Elodea canadensis</i>	2	200	6 R	0,0552	667	665	665	492,59	124933,0918
329	<i>Elodea canadensis</i>	3	200	6 R	0,0576	404	404	402	298,47	72543,98148
454	<i>Elodea canadensis</i>	1	200	7R	0,0784	454	461	461	458,67	81904,7619
455	<i>Elodea canadensis</i>	2	200	7R	0,2518	3780	3740	3690	3736,67	207757,4795
456	<i>Elodea canadensis</i>	3	200	7R	0,1245	1920	1930	1900	1916,67	215528,7818
37	<i>Fontinalis antipyretica</i>	1	200	0R	0,5357	8,69	8,68	8,73	6,44	168,2508867
37	<i>Fontinalis antipyretica</i>	2	200	0R	0,5357	8,69	8,68	8,73	6,44	168,2508867
37	<i>Fontinalis antipyretica</i>	3	200	0R	0,5357	8,69	8,68	8,73	6,44	168,2508867
393	<i>Fontinalis antipyretica</i>	1	200	1 R	0,0693	106	106	108	78,93	15946,12795
394	<i>Fontinalis antipyretica</i>	2	200	1 R	0,1144	100	101	102	74,74	9146,503497
395	<i>Fontinalis antipyretica</i>	3	200	1 R	0,0711	53,4	52,9	52,5	39,17	7712,930145
396	<i>Fontinalis antipyretica</i>	1	200	2 R	0,0454	64,6	65,3	64,1	47,85	14756,53451
397	<i>Fontinalis antipyretica</i>	2	200	2 R	0,1261	2810	2810	2810	2079,40	230861,2213
398	<i>Fontinalis antipyretica</i>	3	200	2 R	0,0605	495	497	503	368,77	85334,43526
399	<i>Fontinalis antipyretica</i>	1	200	3 R	0,1155	801	824	836	607,05	73581,41414
400	<i>Fontinalis antipyretica</i>	2	200	3 R	0,0846	831	685	633	530,09	87721,19779
401	<i>Fontinalis antipyretica</i>	3	200	3 R	0,1943	461	334	312	273,06	19674,93567
402	<i>Fontinalis antipyretica</i>	1	200	4 R	0,0647	357	361	360	265,91	57537,76404
403	<i>Fontinalis antipyretica</i>	2	200	4 R	0,163	4380	4420	4390	3253,53	279444,5808
404	<i>Fontinalis antipyretica</i>	3	200	4 R	0,0887	6030	6010	6000	4449,87	702346,4863

continua

Amostra	Ser Vivo	Aquário	[Meio] (µg/l)	Recolha	Peso (g)	Leitura1	Leitura2	Leitura3	Média Leit	[U] (µg/kg)
405	<i>Fontinalis antipyretica</i>	1	200	5 R	0,1394	8530	8670	8670	6381,27	640873,2664
406	<i>Fontinalis antipyretica</i>	2	200	5 R	0,039	251	249	251	185,25	66498,80342
407	<i>Fontinalis antipyretica</i>	3	200	5 R	0,1546	17400	17400	17400	12876,00	1166002,587
408	<i>Fontinalis antipyretica</i>	1	200	6 R	0,1737	17800	18300	18600	13492,67	1087491,844
409	<i>Fontinalis antipyretica</i>	2	200	6 R	0,1055	911	930	937	685,24	90932,32227
410	<i>Fontinalis antipyretica</i>	3	200	6 R	0,1899	936	953	964	703,74	51881,83254
457	<i>Fontinalis antipyretica</i>	1	200	7R	0,3548	24200	24400	24500	24366,67	961480,6464
458	<i>Fontinalis antipyretica</i>	2	200	7R	0,188	7400	7540	7620	7520,00	560000
459	<i>Fontinalis antipyretica</i>	3	200	7R	0,4153	21100	21100	21200	21133,33	712416,7269
38	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	1	200	0R	0,5146	5,48	5,38	5,22	3,97	107,9082783
38	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	2	200	0R	0,5146	5,48	5,38	5,22	3,97	107,9082783
38	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	3	200	0R	0,5146	5,48	5,38	5,22	3,97	107,9082783
330	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	1	200	1 R	0,114	239	238	237	176,12	21628,77193
331	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	2	200	1 R	0,093	181	180	181	133,69	20125,87814
332	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	3	200	1 R	0,0873	203	201	201	149,23	23932,03513
333	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	1	200	2 R	0,042	131	130	129	96,20	32066,66667
334	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	2	200	2 R	0,104	257	256	256	189,69	25534,74359
335	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	3	200	2 R	0,0629	92,2	92,3	92,1	68,23	15185,88235
336	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	1	200	3 R	0,0494	218	217	218	161,07	45648,31309
337	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	2	200	3 R	0,0937	166	168	169	124,07	18538,17147
338	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	3	200	3 R	0,0141	469	478	487	353,72	351211,3475
339	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	1	200	4 R	0,0389	358	358	357	264,67	95255,18423
340	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	2	200	4 R	0,0311	324	326	325	240,50	108263,6656
341	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	3	200	4 R	0,0482	350	350	350	259,00	75228,21577
342	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	1	200	5 R	0,0262	306	304	304	225,45	120471,2468

continua

Amostra	Ser Vivo	Aquário	[Meio] (µg/l)	Recolha	Peso (g)	Leitura1	Leitura2	Leitura3	Média Leit	[U] (µg/kg)
343	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	2	200	5 R	0,0432	450	451	448	332,75	107836,7284
344	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	3	200	5 R	0,0561	893	901	900	664,52	165833,8681
345	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	1	200	6 R	0,0446	871	866	865	641,83	201470,2541
346	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	2	200	6 R	0,0649	562	560	557	414,15	89339,70211
347	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	3	200	6 R	0,0324	209	213	214	156,88	67787,65432
445	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	1	200	7R	0.0415	856	864	868	862,67	291021,2048
446	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	2	200	7R	0,0875	2170	2130	2080	2126,67	340266,6667
447	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	3	200	7R	0,1774	7090	6900	9790	7926,67	625554,3029
40	<i>Callitriche brutia</i>	1	200	0R	0,5307	5,97	5,7	5,85	4,32	114,0048992
40	<i>Callitriche brutia</i>	2	200	0R	0,5307	5,97	5,7	5,85	4,32	114,0048992
40	<i>Callitriche brutia</i>	3	200	0R	0,5307	5,97	5,7	5,85	4,32	114,0048992
348	<i>Callitriche brutia</i>	1	200	1 R	0,0434	209	211	209	155,15	50049,46237
349	<i>Callitriche brutia</i>	2	200	1 R	0,0543	222	225	228	166,50	42928,1768
350	<i>Callitriche brutia</i>	3	200	1 R	0,0416	505	505	502	372,96	125515,3846
351	<i>Callitriche brutia</i>	1	200	2 R	0,0544	456	458	456	337,93	86968,13725
352	<i>Callitriche brutia</i>	2	200	2 R	0,0586	615	615	612	454,36	108550,1706
353	<i>Callitriche brutia</i>	3	200	2 R	0,0441	573	566	558	418,59	132886,7725
354	<i>Callitriche brutia</i>	1	200	3 R	0,0437	542	547	546	403,30	129203,6613
355	<i>Callitriche brutia</i>	2	200	3 R	0,0436	481	477	470	352,24	113104,5872
357	<i>Callitriche brutia</i>	1	200	4 R	0,0241	370	372	369	274,05	159197,2337
358	<i>Callitriche brutia</i>	2	200	4 R	0,0364	559	553	552	410,45	157866,6667
359	<i>Callitriche brutia</i>	3	200	4 R	0,0357	697	698	686	513,31	201299,3464
360	<i>Callitriche brutia</i>	1	200	5 R	0,0233	258	260	266	193,39	116197,9971
361	<i>Callitriche brutia</i>	2	200	5 R	0,0354	201	204	201	149,48	59116,38418
362	<i>Callitriche brutia</i>	3	200	5 R	0,032	781	775	777	575,47	251769,5833

continua

Amostra	Ser Vivo	Aquário	[Meio] (µg/l)	Recolha	Peso (g)	Leitura1	Leitura2	Leitura3	Média Leit	[U] (µg/kg)
363	<i>Callitriche brutia</i>	1	200	6 R	0,0594	2360	2370	2360	1748,87	412190,7969
364	<i>Callitriche brutia</i>	2	200	6 R	0,0277	257	257	259	190,67	96369,19374
365	<i>Callitriche brutia</i>	3	200	6 R	0,0381	565	566	560	417,11	153269,9913
451	<i>Callitriche brutia</i>	1	200	7R	0,1499	4010	3940	3860	3936,67	367667,3338
452	<i>Callitriche brutia</i>	2	200	7R	0,1654	5170	5110	4990	5090,00	430834,341
453	<i>Callitriche brutia</i>	3	200	7R	0,1127	7130	7230	7280	7213,33	896066,2526
42	<i>Callitriche stagnalis</i>	1	200	0R	0,5044	5,01	5,06	5	3,72	103,1755221
42	<i>Callitriche stagnalis</i>	2	200	0R	0,5044	5,01	5,06	5	3,72	103,1755221
42	<i>Callitriche stagnalis</i>	3	200	0R	0,5044	5,01	5,06	5	3,72	103,1755221
375	<i>Callitriche stagnalis</i>	1	200	1 R	0,075	98,3	97,3	97,5	72,30	13495,62667
376	<i>Callitriche stagnalis</i>	2	200	1 R	0,0505	102	101	99,8	74,69	20706,32343
377	<i>Callitriche stagnalis</i>	3	200	1 R	0,0604	98,5	98,5	98,5	72,89	16895,03311
378	<i>Callitriche stagnalis</i>	1	200	2 R	0,0372	45,8	46,1	45,8	33,97	12782,90323
379	<i>Callitriche stagnalis</i>	2	200	2 R	0,0499	83,6	82,7	82,6	61,40	17225,14362
380	<i>Callitriche stagnalis</i>	3	200	2 R	0,0317	30,1	29,1	29,3	21,83	9641,009464
381	<i>Callitriche stagnalis</i>	1	200	3 R	0,0567	50	50,3	49,8	37,02	9141,893004
382	<i>Callitriche stagnalis</i>	2	200	3 R	0,0156	30,6	30,5	30,2	22,52	20210,8547
383	<i>Callitriche stagnalis</i>	3	200	3 R	0,0246	37,9	37,7	38	28,02	15947,10027
384	<i>Callitriche stagnalis</i>	1	200	4 R	0,0287	103	101	101	75,23	36699,18699
385	<i>Callitriche stagnalis</i>	2	200	4 R	0,0472	265	262	262	194,62	57726,27119
386	<i>Callitriche stagnalis</i>	3	200	4 R	0,0394	181	178	178	132,46	47067,00508
387	<i>Callitriche stagnalis</i>	1	200	5 R	0,025	84,7	82,1	82,7	61,54	34464,26667
388	<i>Callitriche stagnalis</i>	2	200	5 R	0,041	164	161	160	119,63	40850,4065
389	<i>Callitriche stagnalis</i>	3	200	5 R	0,228	79,5	79,2	79,9	58,85	3613,883041
390	<i>Callitriche stagnalis</i>	1	200	6 R	0,0441	303	304	398	247,90	78698,4127

continua

Amostra	Ser Vivo	Aquário	[Meio] (µg/l)	Recolha	Peso (g)	Leitura1	Leitura2	Leitura3	Média Leit	[U] (µg/kg)
391	<i>Callitriche stagnalis</i>	2	200	6 R	0,0304	284	283	286	210,41	96897,80702
392	<i>Callitriche stagnalis</i>	3	200	6 R	0,0407	244	234	228	174,15	59903,0303
448	<i>Callitriche stagnalis</i>	1	200	7R	0,0159	478	488	488	484,67	426750,5241
449	<i>Callitriche stagnalis</i>	2	200	7R	0,1214	4680	4600	4530	4603,33	530862,1636
450	<i>Callitriche stagnalis</i>	3	200	7R	0,0955	3750	3700	3640	3696,67	541919,7208
562	<i>Corbicula fluminae</i>	1	200	0R	0,5372	9,86	10,1	10,1	10,02	261,1317945
562	<i>Corbicula fluminae</i>	2	200	0R	0,5372	9,86	10,1	10,1	10,02	261,1317945
562	<i>Corbicula fluminae</i>	3	200	0R	0,5372	9,86	10,1	10,1	10,02	261,1317945
520	<i>Corbicula fluminae</i>	1	200	1 R	0,0619	29,1	29	29	29,03	6566,505116
521	<i>Corbicula fluminae</i>	2	200	1 R	0,1761	8,43	8,49	8,43	8,45	671,7773992
522	<i>Corbicula fluminae</i>	3	200	1 R	0,6229	44,4	44,7	44,4	44,50	1000,160539
523	<i>Corbicula fluminae</i>	1	200	2 R	0,2895	37	37	36,9	36,97	1787,679908
524	<i>Corbicula fluminae</i>	2	200	2 R	0,2944	11,4	11,2	11,2	11,27	535,7789855
525	<i>Corbicula fluminae</i>	3	200	2 R	0,3367	27	26,1	25,9	26,33	1094,941095
526	<i>Corbicula fluminae</i>	1	200	3 R	0,0991	41,7	41,3	41,3	41,43	5853,346788
527	<i>Corbicula fluminae</i>	2	200	3 R	0,3799	4,96	4,51	4,41	4,63	170,501009
528	<i>Corbicula fluminae</i>	3	200	3 R	0,0861	11,1	11,2	11,4	11,23	1826,558266
529	<i>Corbicula fluminae</i>	1	200	4 R	0,3913	18,7	18,8	18,9	18,80	672,6296959
530	<i>Corbicula fluminae</i>	2	200	4 R	0,2618	11,4	11,2	11	11,20	598,9304813
531	<i>Corbicula fluminae</i>	3	200	4 R	0,2738	49,8	50,2	50,1	50,03	2558,315072
532	<i>Corbicula fluminae</i>	1	200	5 R	0,2331	15,4	15	15,2	15,20	912,9129129
533	<i>Corbicula fluminae</i>	2	200	5 R	0,2348	53,3	51,6	51,9	52,27	3116,41113
534	<i>Corbicula fluminae</i>	3	200	5 R	0,3573	61,5	61,2	61,3	61,33	2403,209255
535	<i>Corbicula fluminae</i>	1	200	6 R	0,116	92,7	90,1	90,9	91,23	11010,91954
536	<i>Corbicula fluminae</i>	2	200	6 R	0,6652	117	117	117	117,00	2462,417318

Continua

Amostra	Ser Vivo	Aquário	[Meio] (µg/l)	Recolha	Peso (g)	Leitura1	Leitura2	Leitura3	Média Leit	[U] (µg/kg)
537	<i>Corbicula fluminae</i>	3	200	6 R	0,063	43,6	43,9	43,9	43,80	9733,333333
538	<i>Corbicula fluminae</i>	1	200	7R	4,8105	511	511	507	509,67	1483,283096
539	<i>Corbicula fluminae</i>	2	200	7R						
540	<i>Corbicula fluminae</i>	3	200	7R	0,7574	164	162	161	162,33	3000,616143
39	<i>Rorippa nasturtium</i>	1	200	0R	0,3504	3,59	3,62	3,61	2,67	106,6354642
39	<i>Rorippa nasturtium</i>	2	200	0R	0,3504	3,59	3,62	3,61	2,67	106,6354642
39	<i>Rorippa nasturtium</i>	3	200	0R	0,3504	3,59	3,62	3,61	2,67	106,6354642
	<i>Rorippa nasturtium</i>	1	200	1 R						
366	<i>Rorippa nasturtium</i>	2	200	1 R	0,04	33,3	33,1	33,1	24,54	8590,166667
367	<i>Rorippa nasturtium</i>	3	200	1 R	0,0578	68,1	67,2	67	49,90	12086,66667
	<i>Rorippa nasturtium</i>	1	200	2 R						
368	<i>Rorippa nasturtium</i>	2	200	2 R	0,0324	20,7	19,6	19,2	14,68	6341,769547
369	<i>Rorippa nasturtium</i>	3	200	2 R	0,0805	83,4	83,4	83,7	61,79	10746,08696
	<i>Rorippa nasturtium</i>	1	200	3 R						
370	<i>Rorippa nasturtium</i>	2	200	3 R	0,0237	210	207	207	153,92	90923,20675
371	<i>Rorippa nasturtium</i>	3	200	3 R	0,0544	69,5	69,9	70,4	51,75	13318,18627
	<i>Rorippa nasturtium</i>	1	200	4 R						
372	<i>Rorippa nasturtium</i>	2	200	4 R	0,0236	244	244	242	180,07	106819,209
373	<i>Rorippa nasturtium</i>	3	200	4 R	0,0264	29,2	29,4	29,3	21,68	11498,0303
	<i>Rorippa nasturtium</i>	1	200	5 R						
	<i>Rorippa nasturtium</i>	2	200	5 R						
374	<i>Rorippa nasturtium</i>	3	200	5 R	0,0209	138	138	138	102,12	68405,74163
	<i>Rorippa nasturtium</i>	1	200	6 R						
	<i>Rorippa nasturtium</i>	2	200	6 R						
	<i>Rorippa nasturtium</i>	3	200	6 R						

continua

Amostra	Ser Vivo	Aquário	[Meio] (µg/l)	Recolha	Peso (g)	Leitura1	Leitura2	Leitura3	Média Leit	[U] (µg/kg)
	<i>Rorippa nasturtium</i>	1	200	7R						
460	<i>Rorippa nasturtium</i>	2	200	7R	0,0151	447	452	455	451,33	418454,7461
461	<i>Rorippa nasturtium</i>	3	200	7R	0,0115	169	168	169	168,67	205333,3333
41	<i>Elodea canadensis</i>	1	1000	0R	0,3471	5,12	5,03	4,95	3,72	150,2314415
41	<i>Elodea canadensis</i>	2	1000	0R	0,3471	5,12	5,03	4,95	3,72	150,2314415
41	<i>Elodea canadensis</i>	3	1000	0R	0,3471	5,12	5,03	4,95	3,72	150,2314415
247	<i>Elodea canadensis</i>	1	1000	1 R	0,0367	77,3	76,4	77,4	57,00	21745,64941
248	<i>Elodea canadensis</i>	2	1000	1 R	0,0534	84,8	85,2	85,7	63,07	16535,90512
249	<i>Elodea canadensis</i>	3	1000	1 R	0,0421	144	144	144	106,56	35435,62945
250	<i>Elodea canadensis</i>	1	1000	2 R	0,0531	121	120	121	89,29	23542,49843
251	<i>Elodea canadensis</i>	2	1000	2 R	0,045	501	498	500	369,75	115034,3704
252	<i>Elodea canadensis</i>	3	1000	2 R	0,0203	92,3	92,3	92,3	68,30	47104,82759
253	<i>Elodea canadensis</i>	1	1000	3 R	0,0287	535	532	534	394,91	192640,6504
254	<i>Elodea canadensis</i>	2	1000	3 R	0,0367	268	268	267	198,07	75559,30972
255	<i>Elodea canadensis</i>	3	1000	3 R	0,0218	479	476	477	353,23	226842,8135
256	<i>Elodea canadensis</i>	1	1000	4 R	0,0615	662	661	656	488,15	111124,336
257	<i>Elodea canadensis</i>	2	1000	4 R	0,0273	855	854	856	632,70	324461,5385
258	<i>Elodea canadensis</i>	3	1000	4 R	0,024	460	459	461	340,40	198566,6667
259	<i>Elodea canadensis</i>	1	1000	5 R	0,0332	644	641	640	474,83	200230,9237
260	<i>Elodea canadensis</i>	2	1000	5 R	0,0442	788	783	782	580,41	183839,2157
261	<i>Elodea canadensis</i>	3	1000	5 R	0,0418	3520	3530	3540	2612,20	874899,5215
262	<i>Elodea canadensis</i>	1	1000	6 R	0,0596	4350	4370	4350	3223,93	757299,7763
263	<i>Elodea canadensis</i>	2	1000	6 R	0,063	5810	5840	5810	4306,80	957066,6667
264	<i>Elodea canadensis</i>	3	1000	6 R	0,0421	2990	2980	2980	2207,67	734140,9343
471	<i>Elodea canadensis</i>	1	1000	7R	0,2201	13500	13300	13400	13400,00	852339,8455

continua

Amostra	Ser Vivo	Aquário	[Meio] (µg/l)	Recolha	Peso (g)	Leitura1	Leitura2	Leitura3	Média Leit	[U] (µg/kg)
472	<i>Elodea canadensis</i>	2	1000	7R	0,155	15300	15400	15200	15300,00	1381935,484
473	<i>Elodea canadensis</i>	3	1000	7R	0,1633	11900	11900	12000	11933,33	1023065,932
37	<i>Fontinalis antipyretica</i>	1	1000	0R	0,5357	8,69	8,68	8,73	6,44	168,2508867
37	<i>Fontinalis antipyretica</i>	2	1000	0R	0,5357	8,69	8,68	8,73	6,44	168,2508867
37	<i>Fontinalis antipyretica</i>	3	1000	0R	0,5357	8,69	8,68	8,73	6,44	168,2508867
229	<i>Fontinalis antipyretica</i>	1	1000	1 R	0,0746	3470	3490	350	1803,13	338389,6336
230	<i>Fontinalis antipyretica</i>	2	1000	1 R	0,0769	4410	4420	4440	3273,27	595913,3073
231	<i>Fontinalis antipyretica</i>	3	1000	1 R	0,0842	8020	8020	8030	5937,27	987193,9826
232	<i>Fontinalis antipyretica</i>	1	1000	2 R	0,0999	7090	7100	7110	5254,00	736296,2963
233	<i>Fontinalis antipyretica</i>	2	1000	2 R	0,1092	9470	9490	9500	7020,13	900017,094
234	<i>Fontinalis antipyretica</i>	3	1000	2 R	0,0521	755	759	760	560,92	150727,0633
235	<i>Fontinalis antipyretica</i>	1	1000	3 R	0,1171	14300	14300	14200	10557,33	1262191,859
236	<i>Fontinalis antipyretica</i>	2	1000	3 R	0,0972	4760	4510	4830	3478,00	500946,5021
237	<i>Fontinalis antipyretica</i>	3	1000	3 R	0,1097	9620	9890	8660	6948,60	886785,7794
238	<i>Fontinalis antipyretica</i>	1	1000	4 R	0,096	19600	19500	19500	14454,67	2107972,222
239	<i>Fontinalis antipyretica</i>	2	1000	4 R	0,0732	5700	5600	6230	4324,07	827007,286
240	<i>Fontinalis antipyretica</i>	3	1000	4 R	0,1223	28800	29000	29000	21410,67	2450934,86
241	<i>Fontinalis antipyretica</i>	1	1000	5 R	0,053	15300	15100	15300	11272,67	2977685,535
242	<i>Fontinalis antipyretica</i>	2	1000	5 R	0,0763	17500	17100	17100	12752,67	2339938,838
243	<i>Fontinalis antipyretica</i>	3	1000	5 R	0,0945	23000	22600	22800	16872,00	2499555,556
244	<i>Fontinalis antipyretica</i>	1	1000	6 R	0,0808	23100	23100	22800	17020,00	2949009,901
245	<i>Fontinalis antipyretica</i>	2	1000	6 R	0,119	27500	27600	27400	20350,00	2394117,647
246	<i>Fontinalis antipyretica</i>	3	1000	6 R	0,0666	20500	20700	20500	15219,33	3199259,259
474	<i>Fontinalis antipyretica</i>	1	1000	7R	0,5133	66700	66900	66900	66833,33	1822845,639
475	<i>Fontinalis antipyretica</i>	2	1000	7R	0,0846	11500	11800	11800	11700,00	1936170,213

continua

Amostra	Ser Vivo	Aquário	[Meio] (µg/l)	Recolha	Peso (g)	Leitura1	Leitura2	Leitura3	Média Leit	[U] (µg/kg)
476	<i>Fontinalis antipyretica</i>	3	1000	7R	0,3474	42100	42100	42200	42133,33	1697946,651
38	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	1	1000	0R	0,5146	5,48	5,38	5,22	3,97	107,9082783
38	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	2	1000	0R	0,5146	5,48	5,38	5,22	3,97	107,9082783
38	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	3	1000	0R	0,5146	5,48	5,38	5,22	3,97	107,9082783
265	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	1	1000	1 R	0,0571	301	300	299	222,00	54430,82312
266	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	2	1000	1 R	0,1045	2240	2240	2250	1660,07	222401,2759
267	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	3	1000	1 R	0,1024	587	587	586	434,13	59354,16667
268	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	1	1000	2 R	0,0588	301	299	299	221,75	52798,4127
269	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	2	1000	2 R	0,0682	677	670	674	498,51	102334,1153
270	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	3	1000	2 R	0,0791	470	467	469	346,81	61382,89086
271	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	1	1000	3 R	0,0739	629	623	625	462,99	87711,86288
272	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	2	1000	3 R	0,0601	271	273	275	202,02	47059,56739
273	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	3	1000	3 R	0,0467	592	586	584	434,63	130294,9322
274	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	1	1000	4 R	0,0688	263	265	263	195,11	39703,29457
275	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	2	1000	4 R	0,0745	801	789	795	588,30	110553,0201
276	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	3	1000	4 R	0,0686	811	803	800	595,45	121521,0884
277	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	1	1000	5 R	0,0782	3370	3390	3400	2506,13	448668,3717
278	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	2	1000	5 R	0,0841	2830	2870	2900	2121,33	353135,1566
279	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	3	1000	5 R	0,0832	2370	2380	2360	1753,80	295110,5769
280	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	1	1000	6 R	0,0914	6810	7570	8640	5678,27	869756,3822
281	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	2	1000	6 R	0,0842	4850	4800	4740	3549,53	590183,6896
282	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	3	1000	6 R	0,0331	966	963	952	710,65	300575,6294
462	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	1	1000	7R	0,0291	896	914	950	920,00	442611,6838
463	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	2	1000	7R	0,1504	1079	1018	1017	1038,00	96622,34043
464	<i>Ranunculus trichophyllus</i>	3	1000	7R	0,2185	1011	1012	1012	1011,67	64820,74752

continua

Amostra	Ser Vivo	Aquário	[Meio] (µg/l)	Recolha	Peso (g)	Leitura1	Leitura2	Leitura3	Média Leit	[U] (µg/kg)
40	<i>Callitriche brutia</i>	1	1000	0R	0,5307	5,97	5,7	5,85	4,32	114,0048992
40	<i>Callitriche brutia</i>	2	1000	0R	0,5307	5,97	5,7	5,85	4,32	114,0048992
40	<i>Callitriche brutia</i>	3	1000	0R	0,5307	5,97	5,7	5,85	4,32	114,0048992
283	<i>Callitriche brutia</i>	1	1000	1 R	0,0506	2040	2050	2050	1514,53	419040,8432
284	<i>Callitriche brutia</i>	2	1000	1 R	0,0487	1850	1830	1820	1356,67	390006,8446
285	<i>Callitriche brutia</i>	3	1000	1 R	0,0393	263	268	273	198,32	70648,34606
286	<i>Callitriche brutia</i>	1	1000	2 R	0,0555	662	657	661	488,40	123200
287	<i>Callitriche brutia</i>	2	1000	2 R	0,0353	454	455	458	337,19	133731,067
288	<i>Callitriche brutia</i>	3	1000	2 R	0,0507	634	686	700	498,27	137588,4287
289	<i>Callitriche brutia</i>	1	1000	3 R	0,0701	4950	5030	5090	3717,27	742392,7722
290	<i>Callitriche brutia</i>	2	1000	3 R	0,0233	280	282	285	208,93	125535,3362
291	<i>Callitriche brutia</i>	3	1000	3 R	0,0331	898	898	893	663,29	280544,2095
292	<i>Callitriche brutia</i>	1	1000	4 R	0,0485	2330	2310	2330	1719,27	496283,1615
293	<i>Callitriche brutia</i>	2	1000	4 R	0,0303	1520	1510	1510	1119,87	517430,143
294	<i>Callitriche brutia</i>	3	1000	4 R	0,0464	900	897	892	663,29	200129,5977
295	<i>Callitriche brutia</i>	1	1000	5 R	0,0326	978	979	973	722,73	310376,2781
296	<i>Callitriche brutia</i>	2	1000	5 R	0,0416	651	650	655	482,48	162373,0769
297	<i>Callitriche brutia</i>	3	1000	5 R	0,0438	2730	2610	2500	1933,87	618130,898
298	<i>Callitriche brutia</i>	1	1000	6 R	0,0228	671	667	669	495,06	303984,2105
299	<i>Callitriche brutia</i>	2	1000	6 R	0,0187	701	654	682	502,46	376173,262
300	<i>Callitriche brutia</i>	3	1000	6 R	0,072	8720	8030	6750	5796,67	1127129,63
468	<i>Callitriche brutia</i>	1	1000	7R	0,0916	11200	11200	11200	11200,00	1711790,393
469	<i>Callitriche brutia</i>	2	1000	7R	0,0512	1680	1730	1180	1530,00	418359,375
470	<i>Callitriche brutia</i>	3	1000	7R	0,113	11100	11000	11100	11066,67	1371091,445
42	<i>Callitriche stagnalis</i>	1	1000	0R	0,5044	5,01	5,06	5	3,72	103,1755221

continua

Amostra	Ser Vivo	Aquário	[Meio] (µg/l)	Recolha	Peso (g)	Leitura1	Leitura2	Leitura3	Média Leit	[U] (µg/kg)
42	<i>Callitriche stagnalis</i>	2	1000	0R	0,5044	5,01	5,06	5	3,72	103,1755221
42	<i>Callitriche stagnalis</i>	3	1000	0R	0,5044	5,01	5,06	5	3,72	103,1755221
211	<i>Callitriche stagnalis</i>	1	1000	1 R	0,0637	1370	1350	1370	1008,87	221728,9377
212	<i>Callitriche stagnalis</i>	2	1000	1 R	0,0693	1870	1820	1780	1349,27	272579,1246
213	<i>Callitriche stagnalis</i>	3	1000	1 R	0,0362	721	695	698	521,45	201667,035
214	<i>Callitriche stagnalis</i>	1	1000	2 R	0,0387	523	525	528	388,75	140631,8691
215	<i>Callitriche stagnalis</i>	2	1000	2 R	0,0315	526	497	497	374,93	166637,037
216	<i>Callitriche stagnalis</i>	3	1000	2 R	0,0428	528	498	526	382,83	125223,676
217	<i>Callitriche stagnalis</i>	1	1000	3 R	0,0429	731	735	724	540,20	176289,0443
218	<i>Callitriche stagnalis</i>	2	1000	3 R	0,049	703	708	701	520,96	148845,7143
219	<i>Callitriche stagnalis</i>	3	1000	3 R	0,0235	483	481	483	356,93	212637,1631
220	<i>Callitriche stagnalis</i>	1	1000	4 R	0,028	570	570	573	422,54	211270
221	<i>Callitriche stagnalis</i>	2	1000	4 R	0,0319	393	395	396	292,05	128173,8767
222	<i>Callitriche stagnalis</i>	3	1000	4 R	0,0545	450	452	452	333,99	85794,74006
223	<i>Callitriche stagnalis</i>	1	1000	5 R	0,0319	298	298	295	219,78	96455,17241
224	<i>Callitriche stagnalis</i>	2	1000	5 R	0,0502	8110	8370	8480	6156,80	1717035,857
225	<i>Callitriche stagnalis</i>	3	1000	5 R	0,0692	3170	3250	3280	2392,67	484065,5106
226	<i>Callitriche stagnalis</i>	1	1000	6 R	0,031	5650	3230	1170	2479,00	1119548,387
227	<i>Callitriche stagnalis</i>	2	1000	6 R	0,0172	4240	4210	4250	3132,67	2549844,961
228	<i>Callitriche stagnalis</i>	3	1000	6 R	0,0277	5850	5900	5920	4358,60	2202902,527
465	<i>Callitriche stagnalis</i>	1	1000	7R	0,0169	1013	1013	1012	1012,67	838895,4635
466	<i>Callitriche stagnalis</i>	2	1000	7R	0,0279	1008	1009	1008	1008,33	505973,7157
467	<i>Callitriche stagnalis</i>	3	1000	7R	0,0682	1003	1003	1003	1003,00	205894,4282
562	<i>Corbicula fluminae</i>	1	1000	0R	0,5372	9,86	10,1	10,1	10,02	261,1317945
562	<i>Corbicula fluminae</i>	2	1000	0R	0,5372	9,86	10,1	10,1	10,02	261,1317945

continua

Amostra	Ser Vivo	Aquário	[Meio] (µg/l)	Recolha	Peso (g)	Leitura1	Leitura2	Leitura3	Média Leit	[U] (µg/kg)
562	<i>Corbicula fluminae</i>	3	1000	0R	0,5372	9,86	10,1	10,1	10,02	261,1317945
541	<i>Corbicula fluminae</i>	1	1000	1 R	0,2752	22,6	22	22,1	22,23	1131,056202
542	<i>Corbicula fluminae</i>	2	1000	1 R	0,0498	7,35	7,34	7,25	7,31	2055,957162
543	<i>Corbicula fluminae</i>	3	1000	1 R	0,4491	11,9	11,7	11,7	11,77	366,8076895
544	<i>Corbicula fluminae</i>	1	1000	2 R	0,5411	28,6	28,6	28,5	28,57	739,1116861
545	<i>Corbicula fluminae</i>	2	1000	2 R	0,3014	18,3	18,4	18,1	18,27	848,4848485
546	<i>Corbicula fluminae</i>	3	1000	2 R	0,2767	12,4	12,8	12,6	12,60	637,5135526
547	<i>Corbicula fluminae</i>	1	1000	3 R	0,3555	114	116	118	116,00	4568,213783
548	<i>Corbicula fluminae</i>	2	1000	3 R	0,4425	15,5	15,8	15,9	15,73	497,7777778
549	<i>Corbicula fluminae</i>	3	1000	3 R						
550	<i>Corbicula fluminae</i>	1	1000	4 R	0,0993	14,7	14,7	14,6	14,67	2067,807989
551	<i>Corbicula fluminae</i>	2	1000	4 R	0,2167	10,1	10,3	10,3	10,23	661,1290571
552	<i>Corbicula fluminae</i>	3	1000	4 R	0,1124	12,4	12,3	12,5	12,40	1544,483986
553	<i>Corbicula fluminae</i>	1	1000	5 R	0,3944	48,7	48,9	48,9	48,83	1733,434753
554	<i>Corbicula fluminae</i>	2	1000	5 R	0,3148	83,2	84,2	84	83,80	3726,810673
555	<i>Corbicula fluminae</i>	3	1000	5 R	0,1216	44,6	44,5	44,4	44,50	5123,355263
556	<i>Corbicula fluminae</i>	1	1000	6 R	0,2119	224	224	224	224,00	14799,4337
557	<i>Corbicula fluminae</i>	2	1000	6 R	0,1312	72,9	73	73,1	73,00	7789,634146
558	<i>Corbicula fluminae</i>	3	1000	6 R	0,2307	68,3	68,6	68,4	68,43	4152,868083
559	<i>Corbicula fluminae</i>	1	1000	7R	4,7564	1750	1760	1750	1753,33	5160,765845
560	<i>Corbicula fluminae</i>	2	1000	7R	0,3418	233	231	232	232,00	9502,633119
561	<i>Corbicula fluminae</i>	3	1000	7R	5,3399	2560	2610	2650	2606,67	6834,085532
39	<i>Rorippa nasturtium</i>	1	1000	0R	0,3504	3,59	3,62	3,61	2,67	106,6354642
39	<i>Rorippa nasturtium</i>	2	1000	0R	0,3504	3,59	3,62	3,61	2,67	106,6354642
39	<i>Rorippa nasturtium</i>	3	1000	0R	0,3504	3,59	3,62	3,61	2,67	106,6354642

continua

Amostra	Ser Vivo	Aquário	[Meio] (µg/l)	Recolha	Peso (g)	Leitura1	Leitura2	Leitura3	Média Leit	[U] (µg/kg)
	<i>Rorippa nasturtium</i>	1	1000	1 R						
301	<i>Rorippa nasturtium</i>	2	1000	1 R	0,0358	308	307	305	226,93	88744,87896
302	<i>Rorippa nasturtium</i>	3	1000	1 R	0,0769	256	255	254	188,70	34353,70611
	<i>Rorippa nasturtium</i>	1	1000	2 R						
303	<i>Rorippa nasturtium</i>	2	1000	2 R	0,0162	57,9	58,3	57,6	42,87	37048,72428
304	<i>Rorippa nasturtium</i>	3	1000	2 R	0,0583	395	397	399	293,78	70547,51286
	<i>Rorippa nasturtium</i>	1	1000	3 R						
305	<i>Rorippa nasturtium</i>	2	1000	3 R	0,021	115	114	114	84,61	56404,44444
	<i>Rorippa nasturtium</i>	3	1000	3 R						
	<i>Rorippa nasturtium</i>	1	1000	4 R						
306	<i>Rorippa nasturtium</i>	2	1000	4 R	0,031	367	359	355	266,65	120421,0753
307	<i>Rorippa nasturtium</i>	3	1000	4 R	0,0359	610	614	607	451,65	176129,6193
	<i>Rorippa nasturtium</i>	1	1000	5 R						
308	<i>Rorippa nasturtium</i>	2	1000	5 R	0,0267	257	256	257	189,93	99590,51186
309	<i>Rorippa nasturtium</i>	3	1000	5 R	0,019	273	272	272	201,53	148493,3333
	<i>Rorippa nasturtium</i>	1	1000	6 R						
310	<i>Rorippa nasturtium</i>	2	1000	6 R	0,0288	258	256	252	188,95	91849,07407
311	<i>Rorippa nasturtium</i>	3	1000	6 R	0,0249	584	581	583	431,17	242426,7738
	<i>Rorippa nasturtium</i>	1	1000	7R						
	<i>Rorippa nasturtium</i>	2	1000	7R						
477	<i>Rorippa nasturtium</i>	3	1000	7R	0,0909	324	326	323	324,33	49952,32857

ANEXO 10 – VALORES DE FBA ([U] NO SER VIVO/[U] NA ÁGUA) PARA AS ESPÉCIES ESTUDADAS.

Espécies	U meio (µg/l)	U Seres (µg/Kg)	FBC
<i>Elodea canadensis</i>	2	1155,979859	577,98993
<i>Elodea canadensis</i>	2	905,5407407	452,77037
<i>Elodea canadensis</i>	2	1002,413965	501,20698
<i>Elodea canadensis</i>	2	880,1473159	440,07366
<i>Elodea canadensis</i>	2	575,9756691	287,98783
<i>Elodea canadensis</i>	2	1345,686022	672,84301
<i>Elodea canadensis</i>	2	1755,364728	877,68236
<i>Elodea canadensis</i>	2	1381,333333	690,66667
<i>Elodea canadensis</i>	2	1244,357542	622,17877
<i>Elodea canadensis</i>	2	2998,504065	1499,252
<i>Elodea canadensis</i>	2	1655,517588	827,75879
<i>Elodea canadensis</i>	2	2212,525253	1106,2626
<i>Elodea canadensis</i>	2	1980,181961	990,09098
<i>Elodea canadensis</i>	2	2164,746667	1082,3733
<i>Elodea canadensis</i>	2	1058,904762	529,45238
<i>Elodea canadensis</i>	2	2294,61157	1147,3058
<i>Elodea canadensis</i>	2	1551,293626	775,64681
<i>Elodea canadensis</i>	2	2783,755725	1391,8779
<i>Elodea canadensis</i>	2	2820,891473	1410,4457
<i>Elodea canadensis</i>	2	1208,017195	604,0086
<i>Elodea canadensis</i>	2	1428,033215	714,01661
<i>Fontinalis antipyretica</i>	2	1018,410866	509,20543
<i>Fontinalis antipyretica</i>	2	1492,303757	746,15188
<i>Fontinalis antipyretica</i>	2	1731,071429	865,53571
<i>Fontinalis antipyretica</i>	2	2507,085809	1253,5429
<i>Fontinalis antipyretica</i>	2	932,7622378	466,38112
<i>Fontinalis antipyretica</i>	2	1954,954248	977,47712
<i>Fontinalis antipyretica</i>	2	2288,637681	1144,3188
<i>Fontinalis antipyretica</i>	2	1798,250569	899,12528
<i>Fontinalis antipyretica</i>	2	4583,078113	2291,5391
<i>Fontinalis antipyretica</i>	2	3644,465291	1822,2326
<i>Fontinalis antipyretica</i>	2	4633,586498	2316,7932
<i>Fontinalis antipyretica</i>	2	4676,915569	2338,4578
<i>Fontinalis antipyretica</i>	2	5923,55058	2961,7753
<i>Fontinalis antipyretica</i>	2	5132,589312	2566,2947
<i>Fontinalis antipyretica</i>	2	5818,143522	2909,0718
<i>Fontinalis antipyretica</i>	2	6672,745694	3336,3728
<i>Fontinalis antipyretica</i>	2	8929,492988	4464,7465

continua

Espécies	U meio (µg/l)	U Seres (µg/Kg)	FBC
<i>Fontinalis antipyretica</i>	2	7950,899205	3975,4496
<i>Fontinalis antipyretica</i>	2	3313,392695	1656,6963
<i>Fontinalis antipyretica</i>	2	2082,513661	1041,2568
<i>Fontinalis antipyretica</i>	2	2904,248795	1452,1244
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	2	1437,714286	718,85714
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	2	915,8415842	457,92079
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	2	969,5616631	484,78083
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	2	1250,681319	625,34066
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	2	810,697056	405,34853
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	2	1313,372998	656,6865
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	2	1289,437908	644,71895
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	2	1223,237693	611,61885
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	2	879,6581818	439,82909
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	2	1017,333333	508,66667
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	2	2365,676824	1182,8384
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	2	1608,890947	804,44547
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	2	1356,388262	678,19413
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	2	1784,586498	892,29325
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	2	1179,515152	589,75758
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	2	1080,574275	540,28714
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	2	2368,39946	1184,1997
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	2	3032,026667	1516,0133
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	2	1470,376025	735,18801
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	2	421,9193548	210,95968
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	2	1823,650953	911,82548
<i>Callitriche brutia</i>	2	1111,280277	555,64014
<i>Callitriche brutia</i>	2	2273,799726	1136,8999
<i>Callitriche brutia</i>	2	1066,155869	533,07793
<i>Callitriche brutia</i>	2	1700,603774	850,30189
<i>Callitriche brutia</i>	2	1218,32634	609,16317
<i>Callitriche brutia</i>	2	1389,577365	694,78868
<i>Callitriche brutia</i>	2	2215,391003	1107,6955
<i>Callitriche brutia</i>	2	1932,200179	966,10009
<i>Callitriche brutia</i>	2	2147,121212	1073,5606
<i>Callitriche brutia</i>	2	2011,415205	1005,7076
<i>Callitriche brutia</i>	2	2317,588997	1158,7945
<i>Callitriche brutia</i>	2	4037,260606	2018,6303
<i>Callitriche brutia</i>	2	3901,97151	1950,9858
<i>Callitriche brutia</i>	2	2559,445816	1279,7229
<i>Callitriche brutia</i>	2	2307,729931	1153,865
<i>Callitriche brutia</i>	2	6123,235515	3061,6178

continua

Espécies	U meio (µg/l)	U Seres (µg/Kg)	FBC
<i>Callitriche brutia</i>	2	1851,347585	925,67379
<i>Callitriche brutia</i>	2	2966,487258	1483,2436
<i>Callitriche brutia</i>	2	4296,422989	2148,2115
<i>Callitriche brutia</i>	2	2806,507111	1403,2536
<i>Callitriche brutia</i>	2	3728,471229	1864,2356
<i>Callitriche stagnalis</i>	2	406,2745098	203,13725
<i>Callitriche stagnalis</i>	2	718,3786008	359,1893
<i>Callitriche stagnalis</i>	2	1182,888263	591,44413
<i>Callitriche stagnalis</i>	2	1588,750524	794,37526
<i>Callitriche stagnalis</i>	2	377,9347319	188,96737
<i>Callitriche stagnalis</i>	2	983,7877984	491,8939
<i>Callitriche stagnalis</i>	2	2600,156863	1300,0784
<i>Callitriche stagnalis</i>	2	1863,689008	931,8445
<i>Callitriche stagnalis</i>	2	5112,727273	2556,3636
<i>Callitriche stagnalis</i>	2	8438,596491	4219,2982
<i>Callitriche stagnalis</i>	2	1122,333333	561,16667
<i>Callitriche stagnalis</i>	2	2486,4	1243,2
<i>Callitriche stagnalis</i>	2	6511,156695	3255,5783
<i>Callitriche stagnalis</i>	2	2633,344307	1316,6722
<i>Callitriche stagnalis</i>	2	2913,577884	1456,7889
<i>Callitriche stagnalis</i>	2	1414,853273	707,42664
<i>Callitriche stagnalis</i>	2	1200,874109	600,43705
<i>Callitriche stagnalis</i>	2	8987,115189	4493,5576
<i>Callitriche stagnalis</i>	2	9790,032362	4895,0162
<i>Callitriche stagnalis</i>	2	4635,03876	2317,5194
<i>Callitriche stagnalis</i>	2	8759,278431	4379,6392
<i>Corbicula fluminae</i>	2	590,7628972	295,38145
<i>Corbicula fluminae</i>	2	104,0486162	52,024308
<i>Corbicula fluminae</i>	2	2131,198996	1065,5995
<i>Corbicula fluminae</i>	2	138,2686702	69,134335
<i>Corbicula fluminae</i>	2	101,959135	50,979568
<i>Corbicula fluminae</i>	2	1118,4573	559,22865
<i>Corbicula fluminae</i>	2	112,3804578	56,190229
<i>Corbicula fluminae</i>	2	282,0382597	141,01913
<i>Corbicula fluminae</i>	2	303,4794711	151,73974
<i>Corbicula fluminae</i>	2	223,3208955	111,66045
<i>Corbicula fluminae</i>	2	160,9056343	80,452817
<i>Corbicula fluminae</i>	2	207,9987329	103,99937
<i>Corbicula fluminae</i>	2	502,0441011	251,02205
<i>Corbicula fluminae</i>	2	119,4543298	59,727165
<i>Corbicula fluminae</i>	2	278,5714286	139,28571

continua

Espécies	U meio (µg/l)	U Seres (µg/Kg)	FBC
<i>Corbicula fluminae</i>	2	194,7568629	97,378431
<i>Corbicula fluminae</i>	2	290,7353778	145,36769
<i>Corbicula fluminae</i>	2	37033,63914	18516,82
<i>Corbicula fluminae</i>	2	84,60693237	42,303466
<i>Corbicula fluminae</i>	2	116,5919283	58,295964
<i>Corbicula fluminae</i>	2	40,31877325	20,159387
<i>Rorippa nasturtium</i>	2	567,3880266	283,69401
<i>Rorippa nasturtium</i>	2	803,4671533	401,73358
<i>Rorippa nasturtium</i>	2	1703,399527	851,69976
<i>Rorippa nasturtium</i>	2	822,4874552	411,24373
<i>Rorippa nasturtium</i>	2	883,8531401	441,92657
<i>Rorippa nasturtium</i>	2	1409,018284	704,50914
<i>Rorippa nasturtium</i>	2	485,2528736	242,62644
<i>Rorippa nasturtium</i>	2	899,959596	449,9798
<i>Rorippa nasturtium</i>	2	1833,26679	916,63339
<i>Rorippa nasturtium</i>	2	3771,403509	1885,7018
<i>Rorippa nasturtium</i>	2	2392,884956	1196,4425
<i>Rorippa nasturtium</i>	2	2734,342797	1367,1714
<i>Rorippa nasturtium</i>	2	3393,621518	1696,8108
<i>Rorippa nasturtium</i>	2	4375,068627	2187,5343
<i>Elodea canadensis</i>	20	2000,699834	100,03499
<i>Elodea canadensis</i>	20	5899,863946	294,9932
<i>Elodea canadensis</i>	20	6036,314363	301,81572
<i>Elodea canadensis</i>	20	5724,564103	286,22821
<i>Elodea canadensis</i>	20	6602,179211	330,10896
<i>Elodea canadensis</i>	20	3008,035088	150,40175
<i>Elodea canadensis</i>	20	10510,14493	525,50725
<i>Elodea canadensis</i>	20	15366,09113	768,30456
<i>Elodea canadensis</i>	20	12841,0356	642,05178
<i>Elodea canadensis</i>	20	29070,78788	1453,5394
<i>Elodea canadensis</i>	20	20277,97333	1013,8987
<i>Elodea canadensis</i>	20	27605,08333	1380,2542
<i>Elodea canadensis</i>	20	43141,34897	2157,0674
<i>Elodea canadensis</i>	20	14864,68148	743,23407
<i>Elodea canadensis</i>	20	19766,62577	988,33129
<i>Elodea canadensis</i>	20	29654,81481	1482,7407
<i>Elodea canadensis</i>	20	25065,76779	1253,2884
<i>Elodea canadensis</i>	20	36787,46736	1839,3734
<i>Elodea canadensis</i>	20	55680,23833	2784,0119
<i>Elodea canadensis</i>	20	1065,843621	53,292181
<i>Elodea canadensis</i>	20	21286,83241	1064,3416

continua

Espécies	U meio (µg/l)	U Seres (µg/Kg)	FBC
<i>Fontinalis antipyretica</i>	20	400881,137	20044,057
<i>Fontinalis antipyretica</i>	20	23460,3614	1173,0181
<i>Fontinalis antipyretica</i>	20	11126,35616	556,31781
<i>Fontinalis antipyretica</i>	20	60057,97101	3002,8986
<i>Fontinalis antipyretica</i>	20	14561,80258	728,09013
<i>Fontinalis antipyretica</i>	20	24165,2648	1208,2632
<i>Fontinalis antipyretica</i>	20	5820,187157	291,00936
<i>Fontinalis antipyretica</i>	20	13220,04357	661,00218
<i>Fontinalis antipyretica</i>	20	25874,53294	1293,7266
<i>Fontinalis antipyretica</i>	20	26283,04892	1314,1524
<i>Fontinalis antipyretica</i>	20	31986,40636	1599,3203
<i>Fontinalis antipyretica</i>	20	31309,57096	1565,4785
<i>Fontinalis antipyretica</i>	20	64413,84425	3220,6922
<i>Fontinalis antipyretica</i>	20	54650,29559	2732,5148
<i>Fontinalis antipyretica</i>	20	46895,2657	2344,7633
<i>Fontinalis antipyretica</i>	20	22364,44444	1118,2222
<i>Fontinalis antipyretica</i>	20	35347,96581	1767,3983
<i>Fontinalis antipyretica</i>	20	32449,42529	1622,4713
<i>Fontinalis antipyretica</i>	20	108641,2735	5432,0637
<i>Fontinalis antipyretica</i>	20	39490,56604	1974,5283
<i>Fontinalis antipyretica</i>	20	29956,98925	1497,8495
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	20	5331,020408	266,55102
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	20	2726,527132	136,32636
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	20	2254,958057	112,7479
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	20	2100,165485	105,00827
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	20	6968,211221	348,41056
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	20	5733,724138	286,68621
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	20	4643,231884	232,16159
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	20	11290,84859	564,54243
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	20	9070,038911	453,50195
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	20	7592,642898	379,63214
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	20	10599,39919	529,96996
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	20	6821,469298	341,07346
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	20	13828,924	691,4462
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	20	21704,53564	1085,2268
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	20	13458,75	672,9375
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	20	10503,88889	525,19444
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	20	15530,76649	776,53832
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	20	11460,09234	573,00462
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	20	16461,48532	823,07427
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	20	14751,55483	737,57774

continua

Espécies	U meio (µg/l)	U Seres (µg/Kg)	FBC
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	20	8345,098039	417,2549
<i>Callitriche brutia</i>	20	6409,024745	320,45124
<i>Callitriche brutia</i>	20	8405,013774	420,25069
<i>Callitriche brutia</i>	20	6383,939882	319,19699
<i>Callitriche brutia</i>	20	9848,112094	492,4056
<i>Callitriche brutia</i>	20	9790,502924	489,52515
<i>Callitriche brutia</i>	20	9161,20973	458,06049
<i>Callitriche brutia</i>	20	15910	795,5
<i>Callitriche brutia</i>	20	9021,348315	451,06742
<i>Callitriche brutia</i>	20	13899,35943	694,96797
<i>Callitriche brutia</i>	20	17232,21945	861,61097
<i>Callitriche brutia</i>	20	15212,1519	760,60759
<i>Callitriche brutia</i>	20	11048,82979	552,44149
<i>Callitriche brutia</i>	20	33365,18675	1668,2593
<i>Callitriche brutia</i>	20	17426,94796	871,3474
<i>Callitriche brutia</i>	20	27675,07788	1383,7539
<i>Callitriche brutia</i>	20	42567,12963	2128,3565
<i>Callitriche brutia</i>	20	29914,67764	1495,7339
<i>Callitriche brutia</i>	20	15176,08371	758,80419
<i>Callitriche brutia</i>	20	21199,07763	1059,9539
<i>Callitriche brutia</i>	20	23347,55231	1167,3776
<i>Callitriche brutia</i>	20	6990,849673	349,54248
<i>Callitriche stagnalis</i>	20	9009,062755	450,45314
<i>Callitriche stagnalis</i>	20	7850,103093	392,50515
<i>Callitriche stagnalis</i>	20	9794,069119	489,70346
<i>Callitriche stagnalis</i>	20	4278,831341	213,94157
<i>Callitriche stagnalis</i>	20	7652,79796	382,6399
<i>Callitriche stagnalis</i>	20	4495,586854	224,77934
<i>Callitriche stagnalis</i>	20	11414,66667	570,73333
<i>Callitriche stagnalis</i>	20	15231,79928	761,58996
<i>Callitriche stagnalis</i>	20	11152,39276	557,61964
<i>Callitriche stagnalis</i>	20	8225,917603	411,29588
<i>Callitriche stagnalis</i>	20	19985,58069	999,27903
<i>Callitriche stagnalis</i>	20	12338,73479	616,93674
<i>Callitriche stagnalis</i>	20	42052,68817	2102,6344
<i>Callitriche stagnalis</i>	20	41184,87247	2059,2436
<i>Callitriche stagnalis</i>	20	30041,19241	1502,0596
<i>Callitriche stagnalis</i>	20	39966,57778	1998,3289
<i>Callitriche stagnalis</i>	20	19729,76707	986,48835
<i>Callitriche stagnalis</i>	20	9164,098573	458,20493
<i>Callitriche stagnalis</i>	20	39399,39394	1969,9697

continua

Espécies	U meio (µg/l)	U Seres (µg/Kg)	FBC
<i>Callitriche stagnalis</i>	20	19873,13351	993,65668
<i>Callitriche stagnalis</i>	20	43778,96613	2188,9483
<i>Corbicula fluminae</i>	20	122,9958269	6,1497913
<i>Corbicula fluminae</i>	20	238,5654529	11,928273
<i>Corbicula fluminae</i>	20	403,5218872	20,176094
<i>Corbicula fluminae</i>	20	519,4628955	25,973145
<i>Corbicula fluminae</i>	20	137,3945684	6,8697284
<i>Corbicula fluminae</i>	20	739,8615232	36,993076
<i>Corbicula fluminae</i>	20	697,1171846	34,855859
<i>Corbicula fluminae</i>	20	316,953317	15,847666
<i>Corbicula fluminae</i>	20	482,5757576	24,128788
<i>Corbicula fluminae</i>	20	597,5609756	29,878049
<i>Corbicula fluminae</i>	20	732,3443054	36,617215
<i>Corbicula fluminae</i>	20	844,375565	42,218778
<i>Corbicula fluminae</i>	20	586,2138183	29,310691
<i>Corbicula fluminae</i>	20	405,890474	20,294524
<i>Corbicula fluminae</i>	20	246,0517847	12,302589
<i>Corbicula fluminae</i>	20	864,6952413	43,234762
<i>Corbicula fluminae</i>	20	227,3401253	11,367006
<i>Corbicula fluminae</i>	20	841,4085253	42,070426
<i>Corbicula fluminae</i>	20	822,4082772	41,120414
<i>Corbicula fluminae</i>	20	324,7752839	16,238764
<i>Corbicula fluminae</i>	20	408,5170312	20,425852
<i>Rorippa nasturtium</i>	20	6299,625577	314,98128
<i>Rorippa nasturtium</i>	20	5735,982997	286,79915
<i>Rorippa nasturtium</i>	20	5330,873786	266,54369
<i>Rorippa nasturtium</i>	20	5514,102981	275,70515
<i>Rorippa nasturtium</i>	20	336,1651917	16,80826
<i>Rorippa nasturtium</i>	20	11097,46749	554,87337
<i>Rorippa nasturtium</i>	20	1325,900217	66,295011
<i>Rorippa nasturtium</i>	20	1958,73955	97,936977
<i>Rorippa nasturtium</i>	20	18719,00312	935,95016
<i>Rorippa nasturtium</i>	20	43426,84932	2171,3425
<i>Rorippa nasturtium</i>	20	43215,44256	2160,7721
<i>Rorippa nasturtium</i>	20	36588,88889	1829,4444
<i>Rorippa nasturtium</i>	20	21842,83904	1092,142
<i>Rorippa nasturtium</i>	20	37248,09741	1862,4049
<i>Elodea canadensis</i>	200	49682,67127	248,41336
<i>Elodea canadensis</i>	200	45581,68621	227,90843
<i>Elodea canadensis</i>	200	26263,71027	131,31855
<i>Elodea canadensis</i>	200	44258,71122	221,29356

continua

Espécies	U meio (µg/l)	U Seres (µg/Kg)	FBC
<i>Elodea canadensis</i>	200	80110,32149	400,55161
<i>Elodea canadensis</i>	200	61644,10569	308,22053
<i>Elodea canadensis</i>	200	91084,56376	455,42282
<i>Elodea canadensis</i>	200	50772,61676	253,86308
<i>Elodea canadensis</i>	200	52485,6799	262,4284
<i>Elodea canadensis</i>	200	17348,49921	86,742496
<i>Elodea canadensis</i>	200	77510,55381	387,55277
<i>Elodea canadensis</i>	200	125497,076	627,48538
<i>Elodea canadensis</i>	200	335428,9356	1677,1447
<i>Elodea canadensis</i>	200	56782,42123	283,91211
<i>Elodea canadensis</i>	200	141160,1594	705,8008
<i>Elodea canadensis</i>	200	90206,66667	451,03333
<i>Elodea canadensis</i>	200	124933,0918	624,66546
<i>Elodea canadensis</i>	200	72543,98148	362,71991
<i>Elodea canadensis</i>	200	81904,7619	409,52381
<i>Elodea canadensis</i>	200	207757,4795	1038,7874
<i>Elodea canadensis</i>	200	215528,7818	1077,6439
<i>Fontinalis antipyretica</i>	200	15946,12795	79,73064
<i>Fontinalis antipyretica</i>	200	9146,503497	45,732517
<i>Fontinalis antipyretica</i>	200	7712,930145	38,564651
<i>Fontinalis antipyretica</i>	200	14756,53451	73,782673
<i>Fontinalis antipyretica</i>	200	230861,2213	1154,3061
<i>Fontinalis antipyretica</i>	200	85334,43526	426,67218
<i>Fontinalis antipyretica</i>	200	73581,41414	367,90707
<i>Fontinalis antipyretica</i>	200	87721,19779	438,60599
<i>Fontinalis antipyretica</i>	200	19674,93567	98,374678
<i>Fontinalis antipyretica</i>	200	57537,76404	287,68882
<i>Fontinalis antipyretica</i>	200	279444,5808	1397,2229
<i>Fontinalis antipyretica</i>	200	702346,4863	3511,7324
<i>Fontinalis antipyretica</i>	200	640873,2664	3204,3663
<i>Fontinalis antipyretica</i>	200	66498,80342	332,49402
<i>Fontinalis antipyretica</i>	200	1166002,587	5830,0129
<i>Fontinalis antipyretica</i>	200	1087491,844	5437,4592
<i>Fontinalis antipyretica</i>	200	90932,32227	454,66161
<i>Fontinalis antipyretica</i>	200	51881,83254	259,40916
<i>Fontinalis antipyretica</i>	200	961480,6464	4807,4032
<i>Fontinalis antipyretica</i>	200	560000	2800
<i>Fontinalis antipyretica</i>	200	712416,7269	3562,0836
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	200	21628,77193	108,14386
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	200	20125,87814	100,62939
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	200	23932,03513	119,66018

continua

Espécies	U meio (µg/l)	U Seres (µg/Kg)	FBC
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	200	32066,66667	160,33333
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	200	25534,74359	127,67372
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	200	15185,88235	75,929412
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	200	45648,31309	228,24157
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	200	18538,17147	92,690857
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	200	351211,3475	1756,0567
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	200	95255,18423	476,27592
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	200	108263,6656	541,31833
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	200	75228,21577	376,14108
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	200	120471,2468	602,35623
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	200	107836,7284	539,18364
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	200	165833,8681	829,16934
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	200	201470,2541	1007,3513
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	200	89339,70211	446,69851
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	200	67787,65432	338,93827
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	200	291021,2048	1455,106
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	200	340266,6667	1701,3333
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	200	625554,3029	3127,7715
<i>Callitriche brutia</i>	200	50049,46237	250,24731
<i>Callitriche brutia</i>	200	42928,1768	214,64088
<i>Callitriche brutia</i>	200	125515,3846	627,57692
<i>Callitriche brutia</i>	200	86968,13725	434,84069
<i>Callitriche brutia</i>	200	108550,1706	542,75085
<i>Callitriche brutia</i>	200	132886,7725	664,43386
<i>Callitriche brutia</i>	200	129203,6613	646,01831
<i>Callitriche brutia</i>	200	113104,5872	565,52294
<i>Callitriche brutia</i>	200	149417,4648	747,08732
<i>Callitriche brutia</i>	200	159197,2337	795,98617
<i>Callitriche brutia</i>	200	157866,6667	789,33333
<i>Callitriche brutia</i>	200	201299,3464	1006,4967
<i>Callitriche brutia</i>	200	116197,9971	580,98999
<i>Callitriche brutia</i>	200	59116,38418	295,58192
<i>Callitriche brutia</i>	200	251769,5833	1258,8479
<i>Callitriche brutia</i>	200	412190,7969	2060,954
<i>Callitriche brutia</i>	200	96369,19374	481,84597
<i>Callitriche brutia</i>	200	153269,9913	766,34996
<i>Callitriche brutia</i>	200	367667,3338	1838,3367
<i>Callitriche brutia</i>	200	430834,341	2154,1717
<i>Callitriche brutia</i>	200	896066,2526	4480,3313
<i>Callitriche stagnalis</i>	200	13495,62667	67,478133
<i>Callitriche stagnalis</i>	200	20706,32343	103,53162

continua

Espécies	U meio (µg/l)	U Seres (µg/Kg)	FBC
<i>Callitriche stagnalis</i>	200	16895,03311	84,475166
<i>Callitriche stagnalis</i>	200	12782,90323	63,914516
<i>Callitriche stagnalis</i>	200	17225,14362	86,125718
<i>Callitriche stagnalis</i>	200	9641,009464	48,205047
<i>Callitriche stagnalis</i>	200	9141,893004	45,709465
<i>Callitriche stagnalis</i>	200	20210,8547	101,05427
<i>Callitriche stagnalis</i>	200	15947,10027	79,735501
<i>Callitriche stagnalis</i>	200	36699,18699	183,49593
<i>Callitriche stagnalis</i>	200	57726,27119	288,63136
<i>Callitriche stagnalis</i>	200	47067,00508	235,33503
<i>Callitriche stagnalis</i>	200	34464,26667	172,32133
<i>Callitriche stagnalis</i>	200	40850,4065	204,25203
<i>Callitriche stagnalis</i>	200	3613,883041	18,069415
<i>Callitriche stagnalis</i>	200	78698,4127	393,49206
<i>Callitriche stagnalis</i>	200	96897,80702	484,48904
<i>Callitriche stagnalis</i>	200	59903,0303	299,51515
<i>Callitriche stagnalis</i>	200	426750,5241	2133,7526
<i>Callitriche stagnalis</i>	200	530862,1636	2654,3108
<i>Callitriche stagnalis</i>	200	541919,7208	2709,5986
<i>Corbicula fluminae</i>	200	6566,505116	32,832526
<i>Corbicula fluminae</i>	200	671,7773992	3,358887
<i>Corbicula fluminae</i>	200	1000,160539	5,0008027
<i>Corbicula fluminae</i>	200	1787,679908	8,9383995
<i>Corbicula fluminae</i>	200	535,7789855	2,6788949
<i>Corbicula fluminae</i>	200	1094,941095	5,4747055
<i>Corbicula fluminae</i>	200	5853,346788	29,266734
<i>Corbicula fluminae</i>	200	170,501009	0,852505
<i>Corbicula fluminae</i>	200	1826,558266	9,1327913
<i>Corbicula fluminae</i>	200	672,6296959	3,3631485
<i>Corbicula fluminae</i>	200	598,9304813	2,9946524
<i>Corbicula fluminae</i>	200	2558,315072	12,791575
<i>Corbicula fluminae</i>	200	912,9129129	4,5645646
<i>Corbicula fluminae</i>	200	3116,41113	15,582056
<i>Corbicula fluminae</i>	200	2403,209255	12,016046
<i>Corbicula fluminae</i>	200	11010,91954	55,054598
<i>Corbicula fluminae</i>	200	2462,417318	12,312087
<i>Corbicula fluminae</i>	200	9733,333333	48,666667
<i>Corbicula fluminae</i>	200	1483,283096	7,4164155
<i>Corbicula fluminae</i>	200	3000,616143	15,003081
<i>Rorippa nasturtium</i>	200	8590,166667	42,950833
<i>Rorippa nasturtium</i>	200	12086,66667	60,433333

continua

Espécies	U meio (µg/l)	U Seres (µg/Kg)	FBC
<i>Rorippa nasturtium</i>	200	6341,769547	31,708848
<i>Rorippa nasturtium</i>	200	10746,08696	53,730435
<i>Rorippa nasturtium</i>	200	90923,20675	454,61603
<i>Rorippa nasturtium</i>	200	13318,18627	66,590931
<i>Rorippa nasturtium</i>	200	106819,209	534,09605
<i>Rorippa nasturtium</i>	200	11498,0303	57,490152
<i>Rorippa nasturtium</i>	200	68405,74163	342,02871
<i>Rorippa nasturtium</i>	200	418454,7461	2092,2737
<i>Rorippa nasturtium</i>	200	205333,3333	1026,6667
<i>Elodea canadensis</i>	1000	21745,64941	21,745649
<i>Elodea canadensis</i>	1000	16535,90512	16,535905
<i>Elodea canadensis</i>	1000	35435,62945	35,435629
<i>Elodea canadensis</i>	1000	23542,49843	23,542498
<i>Elodea canadensis</i>	1000	115034,3704	115,03437
<i>Elodea canadensis</i>	1000	47104,82759	47,104828
<i>Elodea canadensis</i>	1000	192640,6504	192,64065
<i>Elodea canadensis</i>	1000	75559,30972	75,55931
<i>Elodea canadensis</i>	1000	226842,8135	226,84281
<i>Elodea canadensis</i>	1000	111124,336	111,12434
<i>Elodea canadensis</i>	1000	324461,5385	324,46154
<i>Elodea canadensis</i>	1000	198566,6667	198,56667
<i>Elodea canadensis</i>	1000	200230,9237	200,23092
<i>Elodea canadensis</i>	1000	183839,2157	183,83922
<i>Elodea canadensis</i>	1000	874899,5215	874,89952
<i>Elodea canadensis</i>	1000	757299,7763	757,29978
<i>Elodea canadensis</i>	1000	957066,6667	957,06667
<i>Elodea canadensis</i>	1000	734140,9343	734,14093
<i>Elodea canadensis</i>	1000	852339,8455	852,33985
<i>Elodea canadensis</i>	1000	1381935,484	1381,9355
<i>Elodea canadensis</i>	1000	1023065,932	1023,0659
<i>Fontinalis antipyretica</i>	1000	338389,6336	338,38963
<i>Fontinalis antipyretica</i>	1000	595913,3073	595,91331
<i>Fontinalis antipyretica</i>	1000	987193,9826	987,19398
<i>Fontinalis antipyretica</i>	1000	736296,2963	736,2963
<i>Fontinalis antipyretica</i>	1000	900017,094	900,01709
<i>Fontinalis antipyretica</i>	1000	150727,0633	150,72706
<i>Fontinalis antipyretica</i>	1000	1262191,859	1262,1919
<i>Fontinalis antipyretica</i>	1000	500946,5021	500,9465
<i>Fontinalis antipyretica</i>	1000	886785,7794	886,78578
<i>Fontinalis antipyretica</i>	1000	2107972,222	2107,9722
<i>Fontinalis antipyretica</i>	1000	827007,286	827,00729

continua

Espécies	U meio (µg/l)	U Seres (µg/Kg)	FBC
<i>Fontinalis antipyretica</i>	1000	2450934,86	2450,9349
<i>Fontinalis antipyretica</i>	1000	2977685,535	2977,6855
<i>Fontinalis antipyretica</i>	1000	2339938,838	2339,9388
<i>Fontinalis antipyretica</i>	1000	2499555,556	2499,5556
<i>Fontinalis antipyretica</i>	1000	2949009,901	2949,0099
<i>Fontinalis antipyretica</i>	1000	2394117,647	2394,1176
<i>Fontinalis antipyretica</i>	1000	3199259,259	3199,2593
<i>Fontinalis antipyretica</i>	1000	1822845,639	1822,8456
<i>Fontinalis antipyretica</i>	1000	1936170,213	1936,1702
<i>Fontinalis antipyretica</i>	1000	1697946,651	1697,9467
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	1000	54430,82312	54,430823
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	1000	222401,2759	222,40128
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	1000	59354,16667	59,354167
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	1000	52798,4127	52,798413
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	1000	102334,1153	102,33412
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	1000	61382,89086	61,382891
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	1000	87711,86288	87,711863
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	1000	47059,56739	47,059567
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	1000	130294,9322	130,29493
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	1000	39703,29457	39,703295
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	1000	110553,0201	110,55302
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	1000	121521,0884	121,52109
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	1000	448668,3717	448,66837
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	1000	353135,1566	353,13516
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	1000	295110,5769	295,11058
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	1000	869756,3822	869,75638
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	1000	590183,6896	590,18369
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	1000	300575,6294	300,57563
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	1000	442611,6838	442,61168
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	1000	96622,34043	96,62234
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	1000	64820,74752	64,820748
<i>Callitriche brutia</i>	1000	419040,8432	419,04084
<i>Callitriche brutia</i>	1000	390006,8446	390,00684
<i>Callitriche brutia</i>	1000	70648,34606	70,648346
<i>Callitriche brutia</i>	1000	123200	123,2
<i>Callitriche brutia</i>	1000	133731,067	133,73107
<i>Callitriche brutia</i>	1000	137588,4287	137,58843
<i>Callitriche brutia</i>	1000	742392,7722	742,39277
<i>Callitriche brutia</i>	1000	125535,3362	125,53534
<i>Callitriche brutia</i>	1000	280544,2095	280,54421
<i>Callitriche brutia</i>	1000	496283,1615	496,28316

continua

Espécies	U meio (µg/l)	U Seres (µg/Kg)	FBC
<i>Callitriche brutia</i>	1000	517430,143	517,43014
<i>Callitriche brutia</i>	1000	200129,5977	200,1296
<i>Callitriche brutia</i>	1000	310376,2781	310,37628
<i>Callitriche brutia</i>	1000	162373,0769	162,37308
<i>Callitriche brutia</i>	1000	618130,898	618,1309
<i>Callitriche brutia</i>	1000	303984,2105	303,98421
<i>Callitriche brutia</i>	1000	376173,262	376,17326
<i>Callitriche brutia</i>	1000	1127129,63	1127,1296
<i>Callitriche brutia</i>	1000	1711790,393	1711,7904
<i>Callitriche brutia</i>	1000	418359,375	418,35938
<i>Callitriche brutia</i>	1000	1371091,445	1371,0914
<i>Callitriche stagnalis</i>	1000	221728,9377	221,72894
<i>Callitriche stagnalis</i>	1000	272579,1246	272,57912
<i>Callitriche stagnalis</i>	1000	201667,035	201,66703
<i>Callitriche stagnalis</i>	1000	140631,8691	140,63187
<i>Callitriche stagnalis</i>	1000	166637,037	166,63704
<i>Callitriche stagnalis</i>	1000	125223,676	125,22368
<i>Callitriche stagnalis</i>	1000	176289,0443	176,28904
<i>Callitriche stagnalis</i>	1000	148845,7143	148,84571
<i>Callitriche stagnalis</i>	1000	212637,1631	212,63716
<i>Callitriche stagnalis</i>	1000	211270	211,27
<i>Callitriche stagnalis</i>	1000	128173,8767	128,17388
<i>Callitriche stagnalis</i>	1000	85794,74006	85,79474
<i>Callitriche stagnalis</i>	1000	96455,17241	96,455172
<i>Callitriche stagnalis</i>	1000	1717035,857	1717,0359
<i>Callitriche stagnalis</i>	1000	484065,5106	484,06551
<i>Callitriche stagnalis</i>	1000	1119548,387	1119,5484
<i>Callitriche stagnalis</i>	1000	2549844,961	2549,845
<i>Callitriche stagnalis</i>	1000	2202902,527	2202,9025
<i>Callitriche stagnalis</i>	1000	838895,4635	838,89546
<i>Callitriche stagnalis</i>	1000	505973,7157	505,97372
<i>Callitriche stagnalis</i>	1000	205894,4282	205,89443
<i>Corbicula fluminae</i>	1000	1131,056202	1,1310562
<i>Corbicula fluminae</i>	1000	2055,957162	2,0559572
<i>Corbicula fluminae</i>	1000	366,8076895	0,3668077
<i>Corbicula fluminae</i>	1000	739,1116861	0,7391117
<i>Corbicula fluminae</i>	1000	848,4848485	0,8484848
<i>Corbicula fluminae</i>	1000	637,5135526	0,6375136
<i>Corbicula fluminae</i>	1000	4568,213783	4,5682138
<i>Corbicula fluminae</i>	1000	497,7777778	0,4977778
<i>Corbicula fluminae</i>	1000	2067,807989	2,067808

Espécies	U meio (µg/l)	U Seres (µg/Kg)	FBC
<i>Corbicula fluminae</i>	1000	661,1290571	0,6611291
<i>Corbicula fluminae</i>	1000	1544,483986	1,544484
<i>Corbicula fluminae</i>	1000	1733,434753	1,7334348
<i>Corbicula fluminae</i>	1000	3726,810673	3,7268107
<i>Corbicula fluminae</i>	1000	5123,355263	5,1233553
<i>Corbicula fluminae</i>	1000	14799,4337	14,799434
<i>Corbicula fluminae</i>	1000	7789,634146	7,7896341
<i>Corbicula fluminae</i>	1000	4152,868083	4,1528681
<i>Corbicula fluminae</i>	1000	5160,765845	5,1607658
<i>Corbicula fluminae</i>	1000	9502,633119	9,5026331
<i>Corbicula fluminae</i>	1000	6834,085532	6,8340855
<i>Rorippa nasturtium</i>	1000	88744,87896	88,744879
<i>Rorippa nasturtium</i>	1000	34353,70611	34,353706
<i>Rorippa nasturtium</i>	1000	37048,72428	37,048724
<i>Rorippa nasturtium</i>	1000	70547,51286	70,547513
<i>Rorippa nasturtium</i>	1000	56404,44444	56,404444
<i>Rorippa nasturtium</i>	1000	120421,0753	120,42108
<i>Rorippa nasturtium</i>	1000	176129,6193	176,12962
<i>Rorippa nasturtium</i>	1000	99590,51186	99,590512
<i>Rorippa nasturtium</i>	1000	148493,3333	148,49333
<i>Rorippa nasturtium</i>	1000	91849,07407	91,849074
<i>Rorippa nasturtium</i>	1000	242426,7738	242,42677
<i>Rorippa nasturtium</i>	1000	49952,32857	49,952329

ANEXO 11 – RESULTADOS DA CONCENTRAÇÃO DE U NAS AMOSTRAS DE *Fontinalis antipyretica* E *Elodea canadensis*, TENDO EM CONTA AS VARIAÇÕES DA CONCENTRAÇÃO DO MEIO EM U E DE pH RESPECTIVAMENTE.

Amost.	Ser Vivo	Rep.	[Meio] (µg/l)	pH i	m (g)	L1	L2	L3	Média L	[U] (µg/kg)	pH f	L1 Água	L2 Água	L3 Água	[U] água f
0	<i>Elodea canadensis</i>	1	2	0R	0,3471	5,12	5,03	4,95	3,72	150,23144					
0	<i>Elodea canadensis</i>	2	2	0R	0,3471	5,12	5,03	4,95	3,72	150,23144					
0	<i>Elodea canadensis</i>	3	2	0R	0,3471	5,12	5,03	4,95	3,72	150,23144					
1	<i>Elodea canadensis</i>	1	2	4,4	0,0376	14,5	14,5	14,6	14,53	5411,3475	7,1	2,65	2,66	2,68	2,6633
2	<i>Elodea canadensis</i>	2	2	4,4	0,0328	9,28	9,2	9,38	9,29	3963,8211	7,1	2,82	2,86	2,84	2,8400
3	<i>Elodea canadensis</i>	3	2	4,4	0,087	26,7	26,2	26,6	26,50	4264,3678	7,3	3,53	3,53	3,43	3,4967
4	<i>Elodea canadensis</i>	1	2	5,5	0,0412	14,3	14,2	14,1	14,20	4825,2427	7,33	4	3,98	3,99	3,9900
5	<i>Elodea canadensis</i>	2	2	5,5	0,073	14,1	14,3	13,9	14,10	2704,1096	7,24	5,71	5,56	5,58	5,6167
6	<i>Elodea canadensis</i>	3	2	5,5	0,0522	37,5	36,9	37,1	37,17	9968,0715	7,33	7,6	7,68	7,74	7,6733
7	<i>Elodea canadensis</i>	1	2	6,6	0,1072	38,7	37,8	38,6	38,37	5010,5721	7,42	11	11,4	10,9	11,1000
8	<i>Elodea canadensis</i>	2	2	6,6	0,0441	100	101	101	100,67	31957,672	7,45	4,74	4,73	4,78	4,7500
9	<i>Elodea canadensis</i>	3	2	6,6	0,0942	13,3	13,3	13,1	13,23	1966,7374	7,46	2,63	2,62	2,64	2,6300
19	<i>Elodea canadensis</i>	1	20	4,4	0,0333	49,7	49,3	48,8	49,27	20712,713	7,36	5,57	5,68	5,6	5,6167
20	<i>Elodea canadensis</i>	2	20	4,4	0,1024	47,6	48,7	48,4	48,23	6594,401	7,38	5,21	5,3	5,25	5,2533
21	<i>Elodea canadensis</i>	3	20	4,4	0,0358	63,3	63	63,3	63,20	24715,084	7,48	48,9	49,2	49	49,0333
22	<i>Elodea canadensis</i>	1	20	5,5	0,072	82,6	83,4	83,3	83,10	16158,333	7,47	21,2	21,2	21,1	21,1667
23	<i>Elodea canadensis</i>	2	20	5,5	0,069	55,4	54,7	55,1	55,07	11172,947	7,41	7,79	7,81	7,8	7,8000
24	<i>Elodea canadensis</i>	3	20	5,5	0,0294	101	101	102	101,33	48253,968	7,42	7,17	7,21	7,3	7,2267
25	<i>Elodea canadensis</i>	1	20	6,6	0,0433	158	159	163	160,00	51732,102	7,45	14,9	15	14,7	14,8667
26	<i>Elodea canadensis</i>	2	20	6,6	0,0945	153	156	159	156,00	23111,111	7,48	20,5	20,3	20,4	20,4000
27	<i>Elodea canadensis</i>	3	20	6,6	0,0355	68	69,4	70,4	69,27	27316,432	7,51	15,5	16,4	15,9	15,9333
37	<i>Elodea canadensis</i>	1	200	4,4	0,08	707	697	690	698,00	122150	7,07	23,2	23,8	23,4	23,4667
38	<i>Elodea canadensis</i>	2	200	4,4	0,0732	318	323	324	321,67	61520,947	7,17	15,5	15,6	15,5	15,5333
39	<i>Elodea canadensis</i>	3	200	4,4	0,078	245	246	247	246,00	44153,846	7,2	5,58	5,9	5,4	5,6267
40	<i>Elodea canadensis</i>	1	200	5,5	0,0339	196	197	195	196,00	80943,953	7,24	6,28	6,26	6,1	6,2133

continua

Amost.	Ser Vivo	Rep.	[Meio] (µg/l)	pH i	m (g)	L1	L2	L3	Média L	[U] (µg/kg)	pH f	L1 Água	L2 Água	L3 Água	[U] água f
41	<i>Elodea canadensis</i>	2	200	5,5	0,0509	148	146	146	146,67	40340,537	7,26	15,8	15,6	15,6	15,6667
42	<i>Elodea canadensis</i>	3	200	5,5	0,024	143	142	141	142,00	82833,333	7,23	103	104	104	103,6667
43	<i>Elodea canadensis</i>	1	200	6,6	0,0511	505	505	506	505,33	138447,49	7,26	144	143	144	143,6667
44	<i>Elodea canadensis</i>	2	200	6,6	0,0453	282	282	282	282,00	87152,318	7,36	78,7	79,6	79,4	79,2333
45	<i>Elodea canadensis</i>	3	200	6,6	0,0824	551	545	537	544,33	92483,819	7,45	171	170	171	170,6667
55	<i>Elodea canadensis</i>	1	1000	4,4	0,0804	1180	1170	1170	1173,33	204311,77	7,15	58,6	48,4	58,9	55,3000
56	<i>Elodea canadensis</i>	2	1000	4,4	0,0809	491	264	195	316,67	54800,165	7,05	155	154	153	154,0000
57	<i>Elodea canadensis</i>	3	1000	4,4	0,0292	675	671	661	669,00	320753,42	7,03	234	232	233	233,0000
58	<i>Elodea canadensis</i>	1	1000	5,5	0,0452	3260	3260	3280	3266,67	1011799,4	6,95	257	259	260	258,6667
59	<i>Elodea canadensis</i>	2	1000	5,5	0,0343	778	761	751	763,33	311564,63	6,8	430	429	427	428,6667
60	<i>Elodea canadensis</i>	3	1000	5,5	0,0184	976	982	980	979,33	745144,93	6,87	397	399	396	397,3333
61	<i>Elodea canadensis</i>	1	1000	6,6	0,0449	1920	1930	1930	1926,67	600742,39	6,98	285	287	288	286,6667
62	<i>Elodea canadensis</i>	2	1000	6,6	0,0615	2160	2150	2160	2156,67	490948,51	7,07	936	935	929	933,3333
63	<i>Elodea canadensis</i>	3	1000	6,6	0,0562	1240	1260	1240	1246,67	310557,53	7,16	833	833	833	833,0000
0	<i>Fontinalis antipyretica</i>	1	2	0R	0,5357	8,69	8,68	8,73	6,44	168,25089					
0	<i>Fontinalis antipyretica</i>	2	2	0R	0,5357	8,69	8,68	8,73	6,44	168,25089					
0	<i>Fontinalis antipyretica</i>	3	2	0R	0,5357	8,69	8,68	8,73	6,44	168,25089					
10	<i>Fontinalis antipyretica</i>	1	2	4,4	0,0315	31,1	30,6	30,8	30,83	13703,704	7,1	2,65	2,66	2,68	2,6633
11	<i>Fontinalis antipyretica</i>	2	2	4,4	0,1485	24,1	23,7	23,8	23,87	2250,0561	7,1	2,82	2,86	2,84	2,8400
12	<i>Fontinalis antipyretica</i>	3	2	4,4	0,0737	50,7	50,9	50,6	50,73	9637,2682	7,3	3,53	3,53	3,43	3,4967
13	<i>Fontinalis antipyretica</i>	1	2	5,5	0,0306	119	119	118	118,67	54291,939	7,33	4	3,98	3,99	3,9900
14	<i>Fontinalis antipyretica</i>	2	2	5,5	0,0741	23,3	23,2	23,2	23,23	4389,5637	7,24	5,71	5,56	5,58	5,6167
15	<i>Fontinalis antipyretica</i>	3	2	5,5	0,0167	33,5	33,9	33,6	33,67	28223,553	7,33	7,6	7,68	7,74	7,6733
16	<i>Fontinalis antipyretica</i>	1	2	6,6	0,062	18,2	18	18,3	18,17	4102,1505	7,42	11	11,4	10,9	11,1000
17	<i>Fontinalis antipyretica</i>	2	2	6,6	0,0576	17	17	17	17,00	4131,9444	7,45	4,74	4,73	4,78	4,7500
18	<i>Fontinalis antipyretica</i>	3	2	6,6	0,0434	17,6	17,8	17,3	17,57	5666,6667	7,46	2,63	2,62	2,64	2,6300

continua

Amost.	Ser Vivo	Rep.	[Meio] (µg/l)	pH i	m (g)	L1	L2	L3	Média L	[U] (µg/kg)	pH f	L1 Água	L2 Água	L3 Água	[U] água f
28	<i>Fontinalis antipyretica</i>	1	20	4,4	0,0301	169	170	171	170,00	79069,767	7,36	5,57	5,68	5,6	5,6167
29	<i>Fontinalis antipyretica</i>	2	20	4,4	0,1042	183	185	185	184,33	24766,475	7,38	5,21	5,3	5,25	5,2533
30	<i>Fontinalis antipyretica</i>	3	20	4,4	0,0824	212	214	214	213,33	36245,955	7,48	48,9	49,2	49	49,0333
31	<i>Fontinalis antipyretica</i>	1	20	5,5	0,0166	68,4	67,8	68,6	68,27	57574,297	7,47	21,2	21,2	21,1	21,1667
32	<i>Fontinalis antipyretica</i>	2	20	5,5	0,0733	158	158	159	158,33	30241,019	7,41	7,79	7,81	7,8	7,8000
33	<i>Fontinalis antipyretica</i>	3	20	5,5	0,0407	162	162	162	162,00	55724,816	7,42	7,17	7,21	7,3	7,2267
34	<i>Fontinalis antipyretica</i>	1	20	6,6	0,0297	192	194	195	193,67	91290,685	7,45	14,9	15	14,7	14,8667
35	<i>Fontinalis antipyretica</i>	2	20	6,6	0,0211	38,7	39	38,7	38,80	25744,076	7,48	20,5	20,3	20,4	20,4000
36	<i>Fontinalis antipyretica</i>	3	20	6,6	0,0198	153	153	153	153,00	108181,82	7,51	15,5	16,4	15,9	15,9333
46	<i>Fontinalis antipyretica</i>	1	200	4,4	0,0748	1840	1860	1850	1850,00	346256,68	7,07	23,2	23,8	23,4	23,4667
47	<i>Fontinalis antipyretica</i>	2	200	4,4	0,0714	1090	1080	1070	1080,00	211764,71	7,17	15,5	15,6	15,5	15,5333
48	<i>Fontinalis antipyretica</i>	3	200	4,4	0,0878	830	830	825	828,33	132080,49	7,2	5,58	5,9	5,4	5,6267
49	<i>Fontinalis antipyretica</i>	1	200	5,5	0,0516	69,4	64,4	84,6	72,80	19751,938	7,24	6,28	6,26	6,1	6,2133
50	<i>Fontinalis antipyretica</i>	2	200	5,5	0,1168	1350	1350	1330	1343,33	161015,98	7,26	15,8	15,6	15,6	15,6667
51	<i>Fontinalis antipyretica</i>	3	200	5,5	0,0581	1130	1130	1120	1126,67	271485,94	7,23	103	104	104	103,6667
52	<i>Fontinalis antipyretica</i>	1	200	6,6	0,0303	402	402	398	400,67	185126,51	7,26	144	143	144	143,6667
53	<i>Fontinalis antipyretica</i>	2	200	6,6	0,0915	622	622	620	621,33	95067,395	7,36	78,7	79,6	79,4	79,2333
54	<i>Fontinalis antipyretica</i>	3	200	6,6	0,012	166	164	164	164,67	192111,11	7,45	171	170	171	170,6667
64	<i>Fontinalis antipyretica</i>	1	1000	4,4	0,0495	6300	6260	6180	6246,67	1766734	7,15	58,6	48,4	58,9	55,3000
65	<i>Fontinalis antipyretica</i>	2	1000	4,4	0,0651	5370	5400	5440	5403,33	1162007,2	7,05	155	154	153	154,0000
66	<i>Fontinalis antipyretica</i>	3	1000	4,4	0,1095	3830	3900	3890	3873,33	495220,7	7,03	234	232	233	233,0000
67	<i>Fontinalis antipyretica</i>	1	1000	5,5	0,0257	3430	3500	3490	3473,33	1892088,2	6,95	257	259	260	258,6667
68	<i>Fontinalis antipyretica</i>	2	1000	5,5	0,0208	4130	4170	4140	4146,67	2791025,6	6,8	430	429	427	428,6667
69	<i>Fontinalis antipyretica</i>	3	1000	5,5	0,0331	4440	4430	4430	4433,33	1875125,9	6,87	397	399	396	397,3333
70	<i>Fontinalis antipyretica</i>	1	1000	6,6	0,0552	6590	6640	6670	6633,33	1682367,1	6,98	285	287	288	286,6667
71	<i>Fontinalis antipyretica</i>	2	1000	6,6	0,0195	1610	1610	1600	1606,67	1153504,3	7,07	936	935	929	933,3333
72	<i>Fontinalis antipyretica</i>	3	1000	6,6	0,0782	4360	4410	4360	4376,67	783546,46	7,16	833	833	833	833,0000

Amost. – amotras; Rep. – repetições; pH i – pH inicial; m – massa; L – leitura; pH f – pH final

ANEXO 12 - TABELA DE SIGNIFICÂNCIA PARA VALORES DE R. PARA N-2 GRAUS DE LIBERDADE
. (ADAPTADO DE WWW.JEREMYMULES.CO.UK/MISC/TABLE/PEARSON.HTML - 12/03/2012)

	Nível de significância					
n-2	0,20	0,10	0,05	0,02	0,01	0,001
1	0,951	0,988	0,997	0,9995	0,9999	0,99999
2	0,800	0,900	0,950	0,980	0,990	0,999
3	0,687	0,805	0,878	0,934	0,959	0,991
4	0,608	0,729	0,811	0,882	0,917	0,974
5	0,551	0,669	0,755	0,833	0,875	0,951
6	0,507	0,621	0,707	0,789	0,834	0,925
7	0,472	0,582	0,666	0,750	0,798	0,898
8	0,443	0,549	0,632	0,715	0,765	0,872
9	0,419	0,521	0,602	0,685	0,735	0,847
10	0,398	0,497	0,576	0,658	0,708	0,823
11	0,380	0,476	0,553	0,634	0,684	0,801
12	0,365	0,457	0,532	0,612	0,661	0,780
13	0,351	0,441	0,514	0,592	0,641	0,760
14	0,338	0,426	0,497	0,574	0,623	0,742
15	0,327	0,412	0,482	0,558	0,606	0,725
16	0,317	0,400	0,468	0,542	0,590	0,708
17	0,308	0,389	0,456	0,529	0,575	0,693
18	0,299	0,378	0,444	0,515	0,561	0,679
19	0,291	0,369	0,433	0,503	0,549	0,665
20	0,284	0,360	0,423	0,492	0,537	0,652
21	0,277	0,352	0,413	0,482	0,526	0,640
22	0,271	0,344	0,404	0,472	0,515	0,629
23	0,265	0,337	0,396	0,462	0,505	0,618
24	0,260	0,330	0,388	0,453	0,496	0,607
25	0,255	0,323	0,381	0,445	0,487	0,597
26	0,250	0,317	0,374	0,437	0,479	0,588
27	0,245	0,311	0,367	0,430	0,471	0,579
28	0,241	0,306	0,361	0,423	0,463	0,570
29	0,237	0,301	0,355	0,416	0,456	0,562
30	0,233	0,296	0,349	0,409	0,449	0,554
40	0,202	0,257	0,304	0,358	0,393	0,490
60	0,165	0,211	0,250	0,295	0,325	0,408
0	0,117	0,150	0,178	0,210	0,232	0,294
∞	0,057	0,073	0,087	0,103	0,114	0,146

N – n°. de amostras.

ESCOLA EB 3 E SECUNDÁRIA DE MIRANDELA

Ano Lectivo 2010/2011

Questionário Diagnóstico

O questionário ao qual vais responder encere-se num trabalho de Doutoramento e visa obter informação acerca de alguns temas referentes às Ciências da Vida e da Terra.

O questionário em questão não terá qualquer repercussão na avaliação final das disciplinas letivas.

O questionário deve ser respondido com sinceridade e veracidade.

O questionário é anónimo.

A primeira parte do questionário diz respeito à tua vida escolar e identidade; a segunda parte consta de um conjunto de questões referentes ao conteúdo programático “Gestão Sustentável dos Recursos”.

Ao longo do questionário vão surgindo sugestões e desafios para desenvolveres como projecto de trabalho transdisciplinar.

Obrigado pela colaboração: Prof.^a Cristina Cordeiro

Parte I

Assinala com uma cruz as opções que dizem respeito à tua situação pessoal e escolar.

1. Sexo

Masculino _____

Feminino _____

2. Idade

> 11 anos _____

11 a 14 anos _____

15 a 18 anos _____

<18 anos _____

3. Ano letivo que frequenta.

3º Ciclo do ensino básico _____

CEF tipo II _____

Ensino Secundário _____

CEF tipo III _____

Ensino Profissional _____

Parte II



Lê com atenção o texto.

“A produção de energia nuclear, resultante da cisão do núcleo de átomos de elementos radioactivos, como o urânio, teve uma grande implementação a partir de 1973 devido à crise energética mundial, com o elevado preço do petróleo.”

A existência de filões mineralizados ricos em urânio, mesmo não explorados, podem potenciar nesses locais a dispersão de contaminantes químicos e radiológicos para as águas superficiais ou subterrâneas e para os solos das áreas envolventes.

A utilização da energia nuclear coloca grandes problemas a nível ambiental, uma vez que a falha de segurança dos reactores é desastrosa; bem como os resíduos radioactivos criados e armazenados.

Quem nunca ouviu falar de Chernobyl em 1986.

A transferência de urânio, do solo para o Homem através da alimentação (vegetal e animal), constitui uma via de exposição interna preocupante. Ossos e rins são os alvos preferenciais.

Em Portugal Continental existem jazigos uraníferos localizados em 3 regiões: Trás-os-Montes – Sr.^a da Cunha (Alijó), Eira das Hortas e Horta da Vilariça (Torre de Moncorvo); Beiras – S. Pedro do Sul, Vouzela, Boa Aldeia, S. João do Monte; Alto Alentejo – Vila Viçosa, Terena (Alandroal, Mocissos (Rosário), Oriola (Portel), Barrancos. Os jazigos de urânio portugueses são, de modo geral, de pequenas dimensões e com uma dispersão espacial elevada.

1. Refere duas vantagens e duas desvantagens da utilização do urânio pelo Homem.

2. A partir da análise do texto, assinala a caneta os jazigos uraníferos do país, no mapa turístico de Portugal (figura 1).



Figura 1 – Mapa turístico de Portugal (<http://www.visit.pt/mapa.portugal.google> - 25/01/2011)

3. Analisando a Carta Geológica de Portugal (figura 2). Refere de que natureza é o material rochoso onde se encontram os jazigos uraníferas do país.



Figura 2 – Carta Geológica de Portugal (<http://bgnaescola.files.wordpress.com> – 25/01/2011)

Desafio:

Construir um excerto da carta geológica de Portugal da província onde está inserida a escola.

Localizar nessa carta os jazigos de Urânio.

Pesquisar acerca:

- da Geologia da zona envolvente aos Jazigos (litologia, acidentes tectónicos);
- da origem dos jazigos de urânio;

Marcar na carta pontos de interesse pedagógico para possível saída de campo, para recolher material rochoso e aplicar conceitos aprendidos nas aulas.

4. Enumera quatro consequências, para a Natureza, que advêm da presença de mineralizações de urânio.

5. A tecnologia tem tentado resolver ou minimizar os efeitos negativos que advêm da toxicidade resultante de mineralizações. Assinala com uma cruz (X) aquelas que dizem respeito a soluções “amigas do ambiente”.

- ☐ a) ETAR
- ☐ b) Incineração
- ☐ c) Isolamento da área
- ☐ d) Tratamento químico
- ☐ e) Fitorremediação
- ☐ f) Tratamento térmico

6. A “toxicidade” indica o quanto nociva uma substância é, quando penetra no organismo por ingestão, inalação ou absorção cutânea. Das afirmações que se seguem assinala com um **V** as verdadeiras, e um **F** as falsas.

- ☐ a) A toxicidade de uma substância é independente da dose administrada.
- ☐ b) Os efeitos nefastos causados por uma substância tóxica são independentes da frequência de exposição à substância.
- ☐ c) A toxicidade de uma substância pode ser estimada através de testes laboratoriais.
- ☐ d) Certas substâncias tóxicas podem ser armazenadas em determinados tecidos, em níveis de concentração superiores ao normal.

Desafio:

Pesquisar acerca:

- valores recomendáveis de urânio nas águas, no organismo humano, nos solos;

Recolher águas, sedimentos, plantas, algas, insectos ou pequenos crustáceos e moluscos (analisar com apoio da UTAD e UC).

Analisar dados químicos, geológicos, bioquímicos, entre outros;

Elaborar gráficos e tabelas.

Com a crescente preocupação ambiental, os investigadores mundiais e nacionais tentam encontrar formas de minimizar os impactes ambientais que advêm das actividades humanas.

Uma equipa da Universidade de Coimbra descobriu uma forma de diminuir a quantidade de urânio existente na água recorrendo a uma planta aquática “*Callitriche*” capaz de reter nos seus tecidos uma concentração apreciável de Urânio (figura 3).

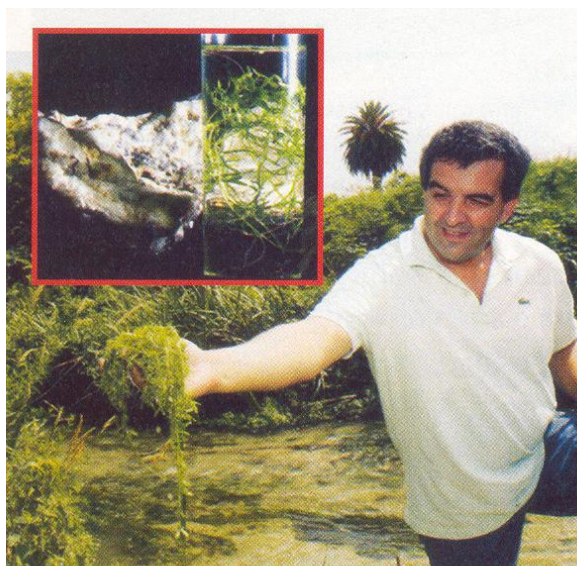


Figura 3 – Investigador da Universidade de Coimbra com a planta aquática do género *Callitriche* (adaptado de: Antunes, C.; Bispo, M. e Guindeira, P. 2006. Descobrir a Terra 8. Porto: Areal Editores. Matias, O.; Martins, P. 2009. Biologia 12. Porto: Areal Editores).

7. Refere a designação atribuída ao processo de recuperação biológica posto em prática pelos investigadores portugueses. Justifica.

8. Enumera duas vantagens e duas desvantagens inerentes à técnica anteriormente descrita.

Desafio:

Construir modelos com espécies colhidas localmente, na tentativa de demonstrar o seu potencial em termos de biorremediação.

Sugestão:

Em aquários coloca concentrações diferentes de urânio (um branco, 2µg/l e 20µg/l);

Recolhe uma espécie aquática local e delinea um projeto.

Para as análises conta sempre com a UTAD e UC

ANEXO 14 – RESULTADOS DA TAXA DE EXTRAÇÃO (TE) EM g/m² PARA *Fontinalis antipyretica*.

Recolha	[U] na água - 200 µg/l	[U] na água - 1000 µg/l
1 R	1.02E-03	2.16E-02
1 R	5.83E-04	3.80E-02
1 R	4.92E-04	6.29E-02
2 R	9.41E-04	4.69E-02
2 R	1.47E-02	5.74E-02
2 R	5.44E-03	9.61E-03
3 R	4.69E-03	8.05E-02
3 R	5.59E-03	3.19E-02
3 R	1.25E-03	5.65E-02
4 R	3.67E-03	1.34E-01
4 R	1.78E-02	5.27E-02
4 R	4.48E-02	1.56E-01
5 R	4.09E-02	1.90E-01
5 R	4.24E-03	1.49E-01
5 R	7.43E-02	1.59E-01
6 R	6.93E-02	1.88E-01
6 R	5.80E-03	1.53E-01
6 R	3.31E-03	2.04E-01
7R	6.13E-02	1.16E-01
7R	3.57E-02	1.23E-01
7R	4.54E-02	1.08E-01

