



P
**ARA DESENVOLVER
A TERRA**
MEMÓRIAS E NOTÍCIAS
DE GEOCIÊNCIAS
NO ESPAÇO LUSÓFONO

Quinta-Ferreira, M., Barata, M. T.,
Lopes, F. C., Andrade, A. I.,
Henriques, M. H., Pena dos Reis, R.
& Ivo Alves, E.

Coordenação

BIOACUMULAÇÃO DE URÂNIO EM PLANTAS AQUÁTICAS NA REGIÃO DA HORTA DA VILARIÇA (NE DE PORTUGAL)

URANIUM BIOACCUMULATION BY AQUATIC PLANTS IN THE REGION OF HORTA DA VILARIÇA (NE PORTUGAL)

C. Cordeiro¹, P. J. C. Favas^{1,3} & J. Pratas^{2,3}

Resumo – Este estudo centra-se na capacidade de bioacumulação de urânio (U) em plantas aquáticas da região uranífera da Horta da Vilariça. Selecionaram-se 15 pontos de amostragem para recolha de amostras de água, sedimentos e plantas aquáticas. Nas águas verificou-se o teor médio em U de 1,98 µg/L (mínimo de 0.6 µg/L, máximo de 5,56 µg/L). Os sedimentos apresentam uma média em U de 3929,2 µg/kg (mínimo de 123,5 µg/kg, máximo de 23909,5 µg/kg). Foram amostradas 26 espécies de plantas aquáticas, num total de 199 amostras. Comparando os teores de U na água e nas plantas, podemos afirmar que a maioria das plantas exibem grande capacidade para concentrar U. As plantas que apresentam maiores teores de U, em média, são: *Scorpiurium deflexifolium* (34205,0 µg/kg), *Fontinalis antipyretica* (25612,4 µg/kg), *Nasturtium officinale* – zona radicular (7380,1 µg/kg) e *Roripa sylvestris* – zona aérea (7280,5 µg/kg). Apenas *Nasturtium officinale*, *Eleocharis palustris*, *Mentha pulegium* e *Mentha rotundifolia* têm capacidade de concentrar U nas raízes. A planta *Roripa sylvestris* apresenta um teor médio de U superior na zona aérea face à zona radicular, revelando capacidade de translocação e de bioacumulação. Os valores do fator de bioconcentração (concentração na planta/concentração na água) mais elevados correspondem a 23919,6 para *Scorpiurium deflexifolium*, 16418,2 para *Fontinalis antipyretica*, 5125,1 para *Nasturtium officinale* – zona radicular e 4282,4 para *Roripa sylvestris* – zona aérea.

Palavras-chave – Bioacumulação, Translocação, Urânio, Plantas aquáticas

¹ Escola de Ciências da Vida e do Ambiente, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal; CGACordeiro@sapo.pt; pjcf@utad.pt

² Dep. de Ciências da Terra, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Coimbra; jprat@det.uc.pt

³ Centro de Geociências, Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal

Abstract – This study focuses on the bioaccumulation capacity of uranium (U) by aquatic plants in Horta da Vilarça, the uraniumiferous region. We selected 15 sampling points with sampling of water, sediments and aquatic plant. The water contain U, with a median of 1.98 µg/L (minimum 0.6µg/L, maximum 5.56µg/L). The sediments have a median of 3929.2µg/kg (maximum 23909.5µg/kg and minimum 123.5µg/kg). We collected 26 species of aquatic plants, totaling 199 samples. Comparing U levels in the water and U in plants, we concluded that these plants exhibit great ability to concentrate U. Plants with higher U levels, on median, are *Scorpiurium deflexifolium* (34205.0 µg/kg), *Fontinalis antipyretica* (25612.4 µg/kg), *Nasturtium officinale* – root zone (7380.1 µg/kg) and *Roripa sylvestris* – aerial zone (7280.5 µg/kg). Only *Nasturtium officinale*, *Eleocharis palustris*, *Mentha rotundifolia* and *Mentha pulegium* have the ability to concentrate U in the roots. The plant *Roripa sylvestris* has a higher median content of U in the air zone over the root zone, showing ability to translocation and bioaccumulation. The highest values of bioconcentration factor (concentration in plant/concentration in water) are 23919.6 (*Scorpiurium deflexifolium*), 16418.2 (*Fontinalis antipyretica*), 5125.1 (*Nasturtium officinale* – root zone) and 4282.4 (*Roripa sylvestris* – aerial parts).

Keywords – Bioaccumulation, Translocation, Uranium, Aquatic plants

1 – Introdução

Na região estudada está reconhecido um importante jazigo de urânio, onde foram realizados estudos de prospecção geológica (PIRES & VINTÉM, 1987), mas nunca foi objeto de exploração. Este jazigo favorece a transferência de quantidades muito significativas de radionuclídeos, integrados na cadeia de decaimento daquele elemento radioativo, para as águas de circulação. 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). Em ambientes aquáticos com pH ácido (pH<4) o U (VI) surge predominantemente sobre a forma de ião uranilo (UO_2^{2+}); sob condições próximos da neutralidade (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 hidrolizados, tal como UO_2OH^+ , $(\text{UO}_2)_2(\text{OH})_2^{2+}$ e $(\text{UO}_2)_3(\text{OH})_5^+$ (WANG *et al.*, 2010).

A bioacumulação de metais pesados em plantas aquáticas ocorre através de alguns processos bioquímicos nomeadamente por absorção, adsorção ou outros mecanismos de retenção de metais (bioacumulação em sentido lato) (e.g., VOLESKY & HOLAN, 1995; RAIZE *et al.*, 2004; GADD, 2009; SRIVASTAK *et al.*, 2010). Recentemente o estudo da fitorremediação de metais pesados tem dado uma grande relevância aos processos executados em meios ou ecossistemas aquáticos ou semi-aquáticos. Neste contexto, interessam essencialmente os processos de rizofiltração e fitofiltração, que utilizam plantas aquáticas ou semiaquáticas e algas com a finalidade de absorver, do meio aquoso, contaminantes e retê-los nos seus sistemas radiculares ou órgãos submersos, ou translocá-los para as partes aéreas no caso das plantas emersas (e.g., CARDWELL *et al.*, 2002; ERNST, 2005; PENG *et al.*, 2008; STOUT & NÜSSLEIN, 2010; PRATAS *et al.*, 2012).

O trabalho realizado na Horta da Vilarça (NE de Portugal) teve como principal finalidade estudar a capacidade de bioacumulação de urânio (U) pelas plantas aquáticas da região.

2 – Localização e geologia

A região onde se desenvolveu este estudo (Horta da Vilarça) localiza-se no Nordeste (NE) de Portugal e pertence ao Concelho de Torre de Moncorvo, Distrito de Bragança, província de Trás-os-Montes (fig. 1).

Na região da Vilarça, principalmente entre Eiras das Hortas e Horta da Vilarça, no contacto entre as rochas metassedimentares do Grupo do Douro e os granitos hercínicos, ocorrem filões de quartzo leitoso e fumado com minerais secundários de urânio. Nos granitos, 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 Vilarça, tem orientação geral WNW-ESE (NEIVA, 2003). Nas áreas onde há “stockwork”, como na Horta da Vilarça, há importante disseminação de minerais supergénicos uraníferos, como neopecheblenda pulverulenta, fosfatos (autunite, torbernite, uranocircite, saleíte, sabugalite e fosfuranilite), silicatos (uranófana α e β), sulfatos (uranopilite e zipeíte), arseniatos (zeunerite, uranospinite, novacequite) e outros (NEIVA, 2003; PEREIRA *et al.*, 2010).

353

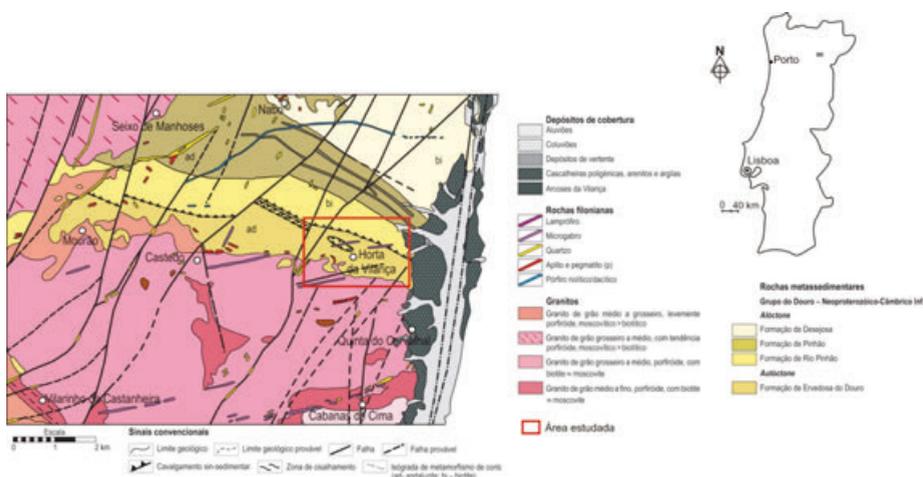


Fig. 1 - Localização geográfica e enquadramento geológico da região estudada. Excerto da folha 11-C (Torre de Moncorvo) da Carta Geológica de Portugal, à escala 1:50000 (adaptado de TEIXEIRA, 2008).

2 – Metodologia

2.1 – Trabalho de campo

Durante o trabalho de campo foi feito o reconhecimento geológico da região e foram amostrados filões e rochas na zona da Horta da Vilarça, nos locais onde foram feitos os trabalhos de prospecção referidos. Inventariaram-se as linhas e pontos de água da área

envolvente e definiram-se os pontos de amostragem de água, sedimentos e material vegetal. Aquando da amostragem, procedeu-se à medição de alguns parâmetros físico-químicos das águas, tais como pH, condutividade eléctrica (CE) e temperatura, com o auxílio de aparelhos electrónicos digitais de medição multiparamétrica e as espécies carbonatadas (HCO_3^-), por titulação. Em cada ponto, colheram-se amostras de água, em frascos de polietileno, tendo sempre o cuidado de efetuar uma lavagem prévia com água destilada e de seguida com a água do local a amostrar, de sedimentos, guardados em sacos de plástico e de todas as espécies de plantas aquáticas existentes no local, guardadas também em sacos de plástico.

2.2. – Tratamento das amostras

As plantas foram lavadas com água destilada de modo a eliminar alguns resíduos e impurezas. O material vegetal foi seco naturalmente, num local arejado, cerca de quatro semanas. Antes da moagem das amostras, em algumas das espécies separou-se a parte radicular da parte aérea. O material foi então moído a fim de homogeneizar a amostra.

As amostras de sedimentos foram secas em estufa a uma temperatura constante de 40 °C e, posteriormente, crivadas através de um peneiro com malha de 2 mm e, seguidamente, crivadas abaixo de 250 µm.

2.3 – Métodos analíticos

As amostras de água foram sujeitas a processos analíticos para detecção 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 Geoquímica do Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Coimbra. Os métodos analíticos aplicados foram os seguintes: a) cromatografia aniónica de elevada eficiência (HPAEC) para o fluoreto, o cloreto, o nitrito, o nitrato, o fosfato, o brometo e o sulfato; b) espectrofotometria de absorção molecular para o ferro; c) espectrofotometria de absorção atómica com câmara de grafite para o arsénio, o cádmio, o chumbo, o manganês, o cobre, o níquel, o cobalto, o zinco, o cálcio e o magnésio; d) espectrofotometria de emissão atómica para o sódio e o potássio; e) fluorimetria para o urânio. Nas amostras de plantas e sedimentos foram analisados os teores em U aplicando também o método fluorimétrico. A fluorescência consiste na emissão imediata de luz por uma molécula que tenha absorvido radiações. A metodologia adotada para a determinação de U em plantas, sedimentos e água baseia-se no método descrito por VAN LOON (1989). Este método consiste numa técnica de extração que permite a remoção selectiva dos iões de urânio, maximizando a intensidade de fluorescência da solução final.

3 – Resultados e discussão

As amostras de água são de fácies hidroquímica bicarbonatada sódica, pouco mineralizadas, pois apresentam baixa condutividade; os valores de pH situam-se próximos da neutralidade (tabela 1). São águas que contêm algum teor em U, muito variável, com média de 1,98 µg/L.

Tabela 1 - Valores estatísticos dos parâmetros analisados nas amostras de água (n = 15; d.p. – desvio padrão; Máx. – máximo; Mín. – mínimo).

Parâmetros	Média	d.p.	Máx.	Mín.
CE ($\mu\text{S/cm}$)	127,43	81,82	274,00	24,60
Temp. ($^{\circ}\text{C}$)	18,83	2,10	24,80	16,60
pH	7,22	0,79	8,57	6,08
F ⁻ (mg/L)	0,22	0,23	1,00	0,06
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	69,77	31,93	146,40	36,60
Cl ⁻ (mg/L)	6,89	6,99	22,50	0,30
NO ₂ ⁻ (mg/L)	1,37	0,73	2,60	0,30
Br (mg/L)	0,01	0,01	0,04	0,00
NO ₃ ⁻ (mg/L)	0,77	1,88	7,70	0,01
PO ₄ ³⁻ (mg/L)	0,14	0,23	0,95	0,00
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	6,11	5,78	18,70	0,04
Ca (mg/L)	4,30	3,34	11,10	0,49
Fe (mg/L)	162,19	189,81	617,00	22,00
Mg (mg/L)	3,79	3,38	11,20	0,10
K (mg/L)	1,79	0,65	3,50	1,10
Na (mg/L)	15,59	7,33	31,60	6,70
As ($\mu\text{g/L}$)	4,83	3,59	14,00	0,52
Cu ($\mu\text{g/L}$)	1,49	1,26	6,00	0,54
Zn ($\mu\text{g/L}$)	17,25	6,32	33,00	8,00
Cr ($\mu\text{g/L}$)	0,19	0,14	0,53	0,05
Mn ($\mu\text{g/L}$)	30,88	25,89	107,00	5,00
U ($\mu\text{g/L}$)	1,98	1,34	5,56	0,61

As amostras de sedimentos apresentam teores muito variáveis de U (tabela 2). Com um valor máximo de 23909,49 $\mu\text{g/kg}$ e um mínimo de 123,48 $\mu\text{g/kg}$.

Tabela 2 – Valores estatísticos dos parâmetros analisados nas amostras de sedimentos (n = 15; d.p. – desvio padrão; Máx. – máximo; Mín. – mínimo).

Sedimentos	Média	d.p.	Máx.	Mín.
U ($\mu\text{g/kg}$)	3929,22	5958,69	23909,49	123,48

As 26 espécies de plantas colhidas, nos 15 pontos de amostragem, perfazem um total de 199 amostras. As amostras de plantas apresentam todos teores significativos de U nos seus tecidos (tabela 3). Aquelas que apresentam maiores teores de U, em média, são: *Scorpiurium deflexifolium*, *Fontinalis antipyretica*, *Nasturtium officinale* (zona radicular) e *Roripa sylvestris* (zona aérea).

Tabela 3 - Valores estatísticos para o U nas diferentes espécies de plantas (d.p. – desvio-padrão; Máx. – máximo;

Min. – mínimo).

356

U na planta (µg/kg)	Média	d.p.	Máx.	Mín.
<i>Fontinalis antipyretica</i>	25612,40	8980,23	35770,77	18730,43
<i>Cyperus longus (zona aérea)</i>	359,52	365,89	1415,30	9,07
<i>Cyperus longus (zona radicular)</i>	1926,86	1516,83	5014,43	174,91
<i>Juncus effusus</i>	112,02	155,17	290,50	9,16
<i>Oenanthe crocata (zona aérea)</i>	659,43	765,61	2105,92	1,19
<i>Oenanthe crocata (zona radicular)</i>	4261,11	6771,04	17806,53	174,67
<i>Scorpiurium deflexifolium</i>	34205,03	21827,38	49639,32	18770,75
<i>Lemanea fluviatilis</i>	3318,44	2993,82	8967,34	627,43
<i>Lotus uliginosus</i>	1416,89	1288,58	2788,75	232,02
<i>Callitriche stagnalis</i>	3598,36	3365,81	9041,57	1042,54
<i>Mentha rotundifolia (zona aérea)</i>	605,25	569,12	1460,44	18,52
<i>Mentha rotundifolia (zona radicular)</i>	2400,09	3106,10	8429,10	286,79
<i>Lemna minor</i>	1024,27	1189,82	2988,33	182,14
<i>Brachythecium plumosum</i>	2786,12	2473,71	6316,97	2,16
<i>Fontinalis squanosa</i>	3520,93	2769,54	5479,29	1562,58
<i>Ranunculus penicillatus</i>	1368,08	1176,12	3390,50	283,77
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	1761,88	1568,97	4035,20	99,78
<i>Roripa sylvestris (zona aérea)</i>	7280,16	14853,00	33836,60	14,44
<i>Roripa sylvestris (zona radicular)</i>	481,46	799,64	1404,80	16,59
<i>Callitriche lusitanica</i>	1303,62	1127,78	2595,32	514,54
<i>Apium nodiflorum (zona aérea)</i>	185,25	143,26	378,30	18,04
<i>Apium nodiflorum (zona radicular)</i>	1985,74	1415,34	4299,32	453,22
<i>Juncus conglomeratus</i>	462,44	855,84	1983,14	6,48
<i>Cyperus eragrostis (zona aérea)</i>	73,34	64,97	197,59	9,12
<i>Cyperus eragrostis (zona radicular)</i>	1213,07	932,20	2894,13	5,82
<i>Thypha latifolia (zona aérea)</i>	91,66	125,53	279,07	15,69
<i>Thypha latifolia (zona radicular)</i>	902,32	1375,43	2486,79	15,72
<i>Mentha pulegium (zona aérea)</i>	161,58	206,38	307,51	15,65
<i>Mentha pulegium (zona radicular)</i>	277,39	214,05	428,74	126,04
<i>Ranunculus peltatus (zona aérea)</i>	310,03	74,77	362,90	257,16
<i>Ranunculus peltatus (zona radicular)</i>	4289,82	329,42	4522,76	4056,89
<i>Lythrum salicaria</i>	14,92	11,62	29,53	4,16
<i>Eleocharis palustris (zona aérea)</i>	121,51	175,04	323,61	18,56
<i>Eleocharis palustris (zona radicular)</i>	2052,64	2955,59	5463,32	242,70
<i>Nasturtium officinale (zona aérea)</i>	1434,33	751,19	1965,51	903,16
<i>Nasturtium officinale (zona radicular)</i>	7380,12	5112,63	10995,30	3764,94

Comparando os teores médios de U nas plantas e no meio aquático onde se desenvolveram, verifica-se que todas as plantas têm grande capacidade de concentrar U nos seus tecidos. No caso das plantas com zona radicular e aérea, ao comparar a média do teor de U, verificamos que *Roripa sylvestris* apresenta um teor médio de U superior na zona aérea face à zona radicular, o que revela capacidade de translocação para as partes aéreas e bioacumulação nesses tecidos (tabela 3).

O *uptake* relativo de um dado elemento, por uma espécie de planta, pode ser estudado a partir do fator de bioconcentração (FBC) que estabelece a relação entre o teor médio do elemento na planta e o teor médio do elemento no substrato (e.g., 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 terão 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 (PRATAS *et al.*, 2005; PAULO, 2006). Os valores do FBC mais elevados, para as plantas estudadas, correspondem a 23919,6 para *Scorpiurium deflexifolium*, 16418,2 para *Fontinalis antipyretica*, 5125,1 para *Nasturtium officinale* – zona radicular e 4282,4 para *Roripa sylvestris* – zona aérea.

4 – Conclusões

Pode concluir-se que existem teores em U com alguma relevância no ambiente natural da Horta da Vilarça. Atendo ao teores em U nas águas superficiais, as plantas locais revelam grande capacidade de concentrar U nos seus tecidos, destacando-se pelos teores médios de U e pelo FBC as espécies *Scorpiurium deflexifolium*, *Fontinalis antipyretica*, *Nasturtium officinale* – zona radicular e *Roripa sylvestris* – zona aérea. No entanto, não podemos excluir as outras plantas estudadas, pois todas revelam teores em U, nos seus tecidos, sempre em quantidades significativamente superiores às da água onde se desenvolvem. Salienta-se, ainda, que *Roripa sylvestris* apresenta um teor médio de U superior na zona aérea face à zona radicular, o que revela capacidade de translocação para as partes aéreas e bioacumulação nesses tecidos.

Na sequência dos resultados obtidos com estudo aqui apresentado, foram construídos protótipos laboratoriais de fitossistemas de fitofiltração de águas contaminadas, utilizando as plantas com maior potencial. Estes ensaios permitiram já obter um grande número de dados, que se encontram em fase de tratamento e interpretação, nomeadamente, para determinação da cinética de acumulação para cada espécie estudada e verificação dos níveis de toxicidade.

Referências Bibliográficas

- BROOKS, R.R. (1983) *Biological methods of prospecting for minerals*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- CARDWELL, A. J.; HAWKER, D. W. & GREENWAY, M. (2002). Metal accumulation in Aquatic Macrophytes from Southeast Queensland, Australia. *Chemosphere*, 48: 653-663.
- ERNST W. H. D. (2005). Phytoextraction of mine wastes-options and impossibilities. *Chemie der Erde Geochemistry*, 65 (S1): 29-42.

- GADD, G.M. (2009). Biosorption: critical review of scientific rationale, environmental importance and significance for pollution treatment. *J Chem Technol Biotechnol*. 84: 13-28.
- 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.
- PAULO, C. (2006). Selecção de plantas aquáticas e perspectivas de fitorremediação de escorrências uraníferas. *Tese de Mestrado*. Lisboa: Instituto Superior Técnico.
- 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, A.J.S.C.; PINTO, P.G.N.; NEVES, L.J.P.F. & COSTA, M.R.M. (2010). Avaliação dos níveis de radioactividade natural em águas subterrâneas da região da Horta da Vilarça (Norte de Portugal). VIII Congresso Nacional de Geologia 2010. *Revista electrónica de Ciências da Terra*, 14, n.º 5.
- PIRES M.A.R. & VINTÉM, C. M. S. (1987). Relatório de Execução do Plano de Sondagens nº 146 – Horta da Vilarça. *Relatório Inédito do Serviço de Fomento Mineiro*, Lisboa, 66 pp.
- PRATAS, J.; FAVAS, P.J.C.; 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
- PRATAS, J.; PRASAD, M.N.V.; FREITAS, H. & CONDE, L. (2005). Plants growing in abandoned mines of Portugal are useful for biogeochemical exploration of arsenic, antimony, tungsten and mine reclamation. *J. Geochem Explor*. 85:99-107.
- RAIZE, O.; ARGAMAN, Y. & YANNAI, S. (2004). Mechanisms of biosorption of different heavy metals by brown marine macroalgae. *Biotechnol Bioeng*. 87: 451-458.
- SRIVASKA, 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.
- STOUT, L., & NÜSSLEIN, K. (2010). Biotechnological potential of aquatic plant-microbe interactions. *Curr. Opin. Biotechnol.*, 21: 339-345.
- TEIXEIRA, R. J. (2008). Mineralogia, petrologia e geoquímica dos granitos e seus enclaves da região de Carrazeda de Ansiães. *Tese de Doutoramento*. Vila Real: Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, 463pp.
- VAN LOON, J. C. & BAREFOOT, R. R. (1989). Analytical Methods for Geochemical Exploration. *Academic Press, inc*, 316-317.
- VOLESKY, B. & HOLAN, Z. R. (1995). Biosorption of heavy metals. *Biotechnol Prog*. 11: 235-250.
- 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*. *Biochem Eng. J*. 51: 19-23.