

# CONTRIBUIÇÃO DE *CISTUS LADANIFER* L. E *CISTUS SALVIIFOLIUS* L. NA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS MINEIRAS DA FAIXA PIRITOSA IBÉRICA

## CONTRIBUTION OF *CISTUS LADANIFER* L. AND *CISTUS SALVIIFOLIUS* FOR ENVIRONMENTAL REHABILITATION OF MINE AREAS FROM IBERIAN PYRITE BELT

Erika Santos<sup>1,2</sup>, Mara Ferreira<sup>2</sup> e M<sup>a</sup> Manuela Abreu<sup>2</sup>

---

### RESUMO

Este estudo teve como objectivo avaliar o potencial de utilização conjunta de *Cistus ladanifer* e *Cistus salviifolius* na recuperação ambiental de áreas mineiras abandonadas da Faixa Piritosa Ibérica.

Os solos de São Domingos são muito heterogéneos, devido aos materiais que lhes deram origem, apresentando concentrações totais (mg kg<sup>-1</sup>) elevadas de As (1940-3030), Cu (210-237) e Pb (5280-9210). Contudo, a fracção disponível é, geralmente, baixa variando consoante as características dos solos. O comportamento face aos elementos vestigiais variou com a espécie: *C. salviifolius* apresentou maiores concentrações de As, Cu e Zn relativamente ao *C. ladanifer*, contudo para o Pb observou-se o contrário.

As plantas de *C. ladanifer* e *C. salviifolius* são uma boa aposta para a recuperação ambiental de áreas mineiras da Faixa Piritosa Ibérica pois, apresentam excelente capacidade

de para colonizar áreas degradadas, grande tolerância a elevadas concentrações de elementos vestigiais no solo, adaptando-se bem a solos nutricionalmente pobres.

**Palavras-chave:** Áreas mineiras abandonadas, Coeficiente de transferência solo-planta, Elementos vestigiais, São Domingos, Solos contaminados.

### ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the potential of combined use of *Cistus ladanifer* and *Cistus salviifolius* for environmental rehabilitation of abandoned mine areas from Iberian Pyrite Belt.

Soils from São Domingos mine area are heterogeneous, due to different characteristics of the original materials, and showed high total concentrations of trace elements (1940-3030 mg As kg<sup>-1</sup>; 210-237 mg Cu kg<sup>-1</sup>; 5280-

---

<sup>1</sup> Centro de Investigação em Ciências do Ambiente e Empresariais (CICAE), Instituto Superior Dom Afonso III, Convento Espírito Santo, 8100-641 Loulé, Portugal. E-mail: erika.santos@inuaf-studia.pt;

<sup>2</sup>Unidade de Investigação Química Ambiental (UIQA), Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa (TU Lisbon), Tapada da Ajuda, 1399-017 Lisboa, Portugal.

9210 mg Pb kg<sup>-1</sup>). Available fractions of trace elements presented, in general, small concentrations which vary with soils characteristics. *Cistus salvifolius* presented larger concentrations of As, Cu and Zn than *C. ladanifer*, however the former species showed the smallest Pb concentration. Both *Cistus* plants have an excellent capacity for colonization of these degraded areas and are well adapted to contaminated soils with low nutrient contents. It is apparent that these plants can be used for environmental rehabilitation of mining areas from Iberian Pyrite Belt.

**Key-words:** Abandoned mining areas, Soil-plant transfer coefficient, Contaminated soils, São Domingos, Trace elements.

## INTRODUÇÃO

A ocorrência de grande quantidade de minério de natureza variada (Cu, Sn, Au, Ag, etc.) na Faixa Piritosa Ibérica (FPI), nomeadamente associada a sulfuretos, permitiu a sua exploração desde a época pré-romana até ao século XX. Actualmente, a maioria das minas da FPI estão abandonadas devido a factores vários, como a sua exaustão, baixa rentabilidade, ou preço do minério, e por consequência, as áreas mineiras apresentam elevados níveis de perigosidade ambiental (Oliveira *et al.*, 2002; Matos e Martins, 2006). A maioria destas minas não possui qualquer tipo de estruturas ou programas que minimizem o impacto ambiental e de saúde pública gerado pela actividade mineira passada.

O risco ambiental e de saúde pública depende da mobilidade e disponibilidade dos elementos químicos no meio. No solo, a disponibilidade dos elementos químicos é controlada pelas suas características físicas, químicas, mineralógicas e biológicas (Adriano *et al.*, 2004; Kabata-Pendias, 2004).

Das técnicas *in situ* que podem ser usadas para a recuperação ambiental de áreas mineiras abandonadas, a vegetalização (fitoestabilização) com espécies autóctones é a mais sustentável a longo prazo (Tordoff *et al.*, 2000; Mendez e Maier, 2008; Abreu e Magalhães, 2009). O aumento da matéria orgânica e da capacidade de retenção de água, a melhoria da estrutura do solo, a imobilização dos elementos químicos, o desenvolvimento de microrganismos determinantes nos processos biológicos do solo e ainda a redução dos processos erosivos são algumas das vantagens desta técnica (Abreu e Magalhães, 2009). Por outro lado, o estabelecimento de uma comunidade de plantas pioneiras pode permitir a modificação do ambiente degradado e, consequentemente, a evolução dos estádios de sucessão ecológica.

A grande quantidade de escórias e outros materiais, resultantes da extracção e do processamento do minério, acumulados em escombrelas apresentam geralmente condições desfavoráveis para o desenvolvimento das plantas devido ao facto de apresentarem baixo valor de pH e conteúdo de nutrientes bem como, elevadas concentrações de elementos potencialmente tóxicos, além de serem, em regra, instáveis (Wong, 2003). Por outro lado, o clima de características semi-áridas que se faz sentir na Faixa Piritosa intensifica a indisponibilidade da água para as plantas.

Embora a degradação ambiental afecte as características e qualidade do solo e da água e ainda a diminuição da vegetação observa-se que diversas espécies arbustivas, por exemplo espécies do género *Cistus*, conseguem desenvolver-se nestas áreas. A tolerância das plantas, no geral, às condições existentes nas áreas mineiras está dependente de várias adaptações biológicas, químicas e/ou fisiológicas (Levitt, 1980; Baker, 1981; Pang *et al.*, 2003).

O *Cistus salvifolius* é uma espécie que

crece, em forma de pequenas moitas que podem atingir 1 m de altura, em quase toda a área Mediterrânica estando muitas vezes associada a locais degradados e de baixa fertilidade (Borges *et al.*, 2002; Simões *et al.*, 2004). Esta espécie não tem sido muito estudada do ponto de vista ambiental, sobretudo nas áreas mineiras, ao contrário do *Cistus ladanifer* que tem sido alvo de alguns estudos (Alvarenga *et al.*, 2004; Batista *et al.*, 2007; Chopin e Alloway, 2007).

O *Cistus ladanifer* é uma espécie que apresenta também pequeno porte, embora alguns indivíduos atinjam até 2,5 m de altura (Correia, 2002). Ocorre em diferentes condições ambientais e de stresse ligadas à deficiência de água, nutrientes e níveis elevados de contaminação do solo em elementos vestigiais (Kidd *et al.*, 2004; Santos *et al.*, 2009). Esta planta cresce espontaneamente em várias áreas mineiras da FPI, nomeadamente, São Domingos, Neves Corvo, Aljustrel, Rio Tinto e Tharsis, estando aparentemente bem adaptada a estas condições (Alvarenga *et al.*, 2004; Freitas *et al.*, 2004; Batista *et al.*, 2007; Chopin e Alloway, 2007; Santos *et al.*, 2009). Deste modo, refere-se a sua potencial utilização para a fitoestabilização de áreas contaminadas por metais pesados e metalóides.

Embora os dados sobre o teor total de elementos químicos no solo sejam abundantes, estes reflectem uma informação escassa sobre o risco de contaminação do ambiente e da sua toxicidade para as plantas, pois são raras as vezes que se correlacionam com a sua concentração nos tecidos das plantas. O comportamento dos metais nos solos e nas plantas depende da natureza dos elementos químicos, das características físico-químicas dos solos e da espécie de planta (Kidd *et al.*, 2007). Assim, a composição química das plantas pode reflectir a disponibilidade de um elemento na proximidade do sistema radicular e a sua capacidade para absorverem, trans-

locarem e acumularem o elemento (Kabata-Pendias e Pendias, 2001; Nagaraju e Karimulla, 2002).

Este estudo teve como objectivo avaliar o potencial de utilização conjunta de *Cistus ladanifer* e *Cistus salvifolius* na recuperação ambiental de áreas que foram sujeitas a actividade mineira na FPI.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Área de Amostragem e Materiais

A mina de São Domingos situa-se na Faixa Piritosa Ibérica (FPI), no Sudeste de Portugal, no concelho de Mértola (Figura 1). Nesta área, a exploração mineira iniciou-se nos tempos pré-romanos e romanos com a extracção de Au, Cu e Ag a partir do *gossan* cessando, posteriormente nos anos 60 do século XX. Nos séculos XIX e XX, a exploração teve maior incidência nos sulfuretos maciços de Cu com concentrações elevadas de As, Zn e Pb, tendo ocorrido em lavra subterrânea (Quental *et al.*, 2002).

Devido à grande quantidade de escombrelas, com elevadas concentrações de elementos químicos potencialmente tóxicos, e à presença de extensas áreas com depósitos mineiros de natureza variada a mina de São Domingos é considerada como tendo um elevado grau de perigosidade ambiental (Oliveira *et al.*, 2002; Matos e Martins, 2006). Actualmente, tanto nas zonas onde ocorreu exploração e processamento do minério como nas áreas envolventes podem ser observadas inúmeras escombrelas de idade e natureza variada; escórias de granulometria diversa; britado de pirite, *gossan* e rochas encaixantes da mineralização (Álvarez-Valero *et al.*, 2008). Além disso, a linha de drenagem ácida que atravessa toda a área, desde a corta até à barragem do rio



**Figura 1** – Localização geográfica da área mineira de São Domingos.

Chança, continua a dispersar os contaminantes (Quental *et al.*, 2002).

O clima nesta área é tipicamente mediterrâneo, caracterizando-se por verões longos, quentes e secos com temperaturas que variam entre 15 e 35 °C e por Invernos moderadamente frios (4 °C a 20 °C) e húmidos. A precipitação média anual é de 456 mm e ocorre maioritariamente no Inverno porém, de uma forma irregular (INMG, 1990).

Devido à variabilidade relativa dos materiais de escombreira seleccionaram-se duas áreas de amostragem na mina de São Domingos, as quais foram, cada uma delas, divididas em três parcelas com as mesmas dimensões ( $\approx 150 \text{ m}^2$ ). Uma das áreas (parcelas SD1, SD2 e SD3) situa-se a NNE da corta da mina e faz parte de uma grande escombreira constituída, fundamentalmente, por materiais de *gossan* aos quais se associam também materiais das rochas encaixantes. Os solos colhidos (amostras compósitas) são incipientes, desenvolveram-se sobre os materiais desta escombreira e neles cresceram plantas de *Cistus ladanifer*, das quais foram amostradas, no Verão, amostras

compósitas de folhas (15 plantas em cada parcela). A outra área (parcelas SD4, SD5, SD6) localiza-se a SSE da corta da mina. Nestas parcelas foram colhidas, no Outono, amostras compósitas de solo e da parte aérea (folhas e raminhos) de *Cistus salvifolius* (cinco plantas por parcela). Os solos colhidos nesta área são também incipientes e desenvolveram-se sobre materiais bastante heterogéneos compostos por escórias, cinzas de pirite e ainda materiais de *gossan*.

### Métodos

A metodologia usada para a caracterização dos solos (fracção <2 mm) foi a seguinte: pH em água na proporção 1:2,5 (p/v); C orgânico por oxidação por via húmida; capacidade de troca catiónica (CTC) e catiões de troca pelo método do acetato de amónio a pH 7 (Póvoas e Barral, 1992); Fe dos óxidos de ferro pelo método de De Endredy (1963); Mn dos óxidos de manganês (Chao, 1972); N total pelo método de Kjeldahl (Póvoas e Barral, 1992); P e K extraíveis pelo método de Egner-Riehm

(Póvoas e Barral, 1992).

A análise química total de As, Cu, Pb e Zn nos solos (fracção <2 mm) foi realizada por análise instrumental por activação de neutrões (INAA) ou espectrofotometria de emissão atômica com plasma acoplado indutivamente (ICP-EAS), após digestão ácida com HF, HClO<sub>4</sub>, HNO<sub>3</sub> e HCl (ActLabs, 2010a). A fracção disponível (solúvel em água e fracção associada ao complexo de troca do solo), das amostras SD1, SD2 e SD3, destes mesmos elementos foi extraída com Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> a 0,5 mol/L (Berti *et al.*, 1997) sendo posteriormente analisados os metais por espectrofotometria de absorção atômica em câmara de grafite (GF-AAS) e o As por geração de hidretos (GH-AAS). A fracção disponível das amostras SD4, SD5 e SD6, em relação aos mesmos elementos, foi também extraída com Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> a 0,5 mol/L e posteriormente analisada por ICP-MS (espectrofotometria de massa com plasma induzido).

A concentração dos elementos químicos nas folhas de *C. ladanifer* foi determinada pelas mesmas técnicas que a fracção disponível (GF-AAS e GH-AAS) após extração através de digestão ácida com HNO<sub>3</sub> concentrado sob pressão. A parte aérea do *C. salviifolius* foi reduzida a cinzas (475 °C) e posteriormente sujeita a digestão ácida (ActLabs, 2010b), sendo depois quantificados os elementos por análise instrumental por activação de neutrões (INAA) ou espectrofotometria de emissão atômica com plasma acoplado indutivamente (ICP-EAS).

Para cada uma das parcelas calculou-se o coeficiente de transferência solo-planta (CT = [elemento na parte aérea na planta]/[elemento total no solo]). Para cada uma

das variáveis estudadas realizaram-se três réplicas. A análise estatística dos resultados foi realizada no programa SPSS 15.0 para o Windows. Para verificar a possível influência das fracções disponíveis no solo nas concentrações dos mesmos elementos nas plantas realizaram-se correlações bivariadas de Pearson. O nível de significância usado neste estudo foi de  $p < 0,05$ .

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As características físico-químicas dos solos das diferentes parcelas amostradas na área mineira de São Domingos constam do Quadro 1.

Os solos amostrados em São Domingos apresentaram uma grande heterogeneidade devido à diversidade de materiais originários dos solos. Relativamente ao pH, observaram-se maioritariamente valores baixos (pH <5) devido a serem solos desenvolvidos sobre materiais que resultaram da oxidação da mineralização (*gossan*) ou de britados de pirite, contudo o solo da parcela SD4 apresenta pH neutro (pH= 6,9). Este facto está associado à existência de cinzas nesta parcela. A capacidade de troca catiónica é relativamente baixa (8,5-17,0 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>) sendo novamente excepção os solos da parcela SD4 com um valor de CTC de 47,4 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>. Em todos os solos estudados o Ca foi o catião de troca maioritário.

Os solos apresentaram baixa fertilidade, com excepção dos da parcela SD4 relativamente ao P e ao K extraíveis, no entanto as plantas de *Cistus* mostram um bom desenvolvimento não evidenciando sinais de stresse nutricional. Os solos de

**Quadro 1** – Caracterização dos solos de cada parcela de amostragem na área mineira de São Domingos.

Características dos solos	Parcelas					
	SD1	SD2	SD3	SD4	SD5	SD6
pH (H <sub>2</sub> O)	4,5	4,3	4,7	6,9	4,4	4,7
C orgânico (g kg <sup>-1</sup> )	21,2	12,0	17,4	20,1	12,5	2,3
N total (mg kg <sup>-1</sup> )	55,3	39,9	53,2	14,1	14,5	11,6
K extraível (mg kg <sup>-1</sup> )	123,4	83,2	110,7	464,8	65,6	34,9
P extraível (mg kg <sup>-1</sup> )	2,4	1,3	2,7	182,4	0,2	<ld*
CTC (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	10,7	8,7	8,5	47,4	17,0	9,5
Catiões de troca (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )						
Ca	2,1	1,4	1,8	41,4	1,41	3,32
Mg	1,03	0,73	0,85	2,16	0,16	0,13
K	0,29	0,21	0,29	0,04	0,24	0,27
Na	0,08	0,08	0,06	0,06	0,04	0,01
Fe nos óxidos de Fe (g kg <sup>-1</sup> )	75,8	74,3	83,7	12,3	11,3	13,4
Mn nos óxidos de Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	3,9	3,0	5,3	304,2	34,2	68,1

\*ld: limite de detecção

São Domingos apresentaram concentrações elevadas de ferro, na forma de óxidos, em particular os desenvolvidos sobre materiais de *gossan* (SD1, SD2 e SD3). Os óxidos de manganês ocorrem em concentrações relativamente baixas, no entanto os solos SD4, SD5 e SD6 apresentam concentrações mais elevadas (Quadro 1). De uma maneira geral, as diferenças existentes entre os solos das diferentes parcelas são resultantes dos materiais que lhes deram origem.

No Quadro 2 indicam-se as concentrações totais e da fracção disponível dos elementos químicos estudados nos solos e os totais, respectivamente, nas folhas de *C. ladanifer* e folhas e raminhos de *C. salvifolius*. As concentrações totais de Cu e Pb nos solos de todas as parcelas bem como, as de Zn nos solos das parcelas SD4, SD5 e SD6 ultrapassam largamente os valores máximos admissíveis pela legislação portuguesa (50-300 mg Cu kg<sup>-1</sup>, 50-100 mg Pb kg<sup>-1</sup> e 150-300 mg Zn kg<sup>-1</sup> consoante o pH; Decreto Lei 276/09).

A concentração da fracção disponível dos elementos químicos estudados variou con-

soante a parcela de amostragem e, consequentemente, as características dos próprios solos, porém de uma maneira geral foi baixa (<3 % da concentração total de As, Cu ou Pb). Só as parcelas onde foi amostrado o *C. ladanifer* apresentaram a fracção disponível de Zn relativamente mais alta (10-13 % da concentração total). A variação do pH (3,5 a 6,9) e da capacidade de troca catiónica (8,5-47,4 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>) dos solos pode ter contribuído para as diferenças observadas na disponibilidade dos elementos químicos para as plantas. A avaliação da fracção disponível dos elementos para as plantas, e particularmente para os *Cistus*, é o primeiro passo para a implementação de uma eficiente recuperação ambiental (Adriano *et al.*, 2004).

As concentrações dos elementos químicos nas plantas variaram consoante a espécie de *Cistus* excedendo, por vezes, os valores referenciados como fitotóxicos para a maioria das plantas por Kabata-Pendias e Pendias (2001). Assim, as plantas de *C. salvifolius* translocaram para a parte aérea, de uma maneira geral, maior quantidade de As, Cu e Zn do que as

**Quadro 2** – Concentrações em As, Cu, Pb e Zn nos solos (total e fracção disponível), nas folhas de *Cistus ladanifer* e folhas e raminhos de *Cistus salviifolius* para cada parcela de amostragem na área mineira de São Domingos.

		Concentração dos elementos (mg kg <sup>-1</sup> peso seco)			
		As	Cu	Pb	Zn
		<i>Solos</i>			
<b>Total</b>					
	SD1	2960	237	7540	37
	SD2	3030	231	9210	36
	SD3	1940	210	5280	57
	SD4	496	1750	1940	1010
	SD5	871	1310	5260	464
	SD6	2000	743	7360	342
<b>Disponível</b>					
	SD1	<ld*	7,2	67,3	4,9
	SD2	<ld*	6,1	53,9	4,4
	SD3	<ld*	2,5	8,3	5,7
	SD4	<ld*	<ld*	<ld*	<ld*
	SD5	<ld*	<ld*	<ld*	<ld*
	SD6	<ld*	<ld*	<ld*	<ld*
		<i>Plantas</i>			
<i>C. ladanifer</i>					
	SD1	1,9	6,8	79,0	155,6
	SD2	2,4	10,0	58,3	166,6
	SD3	1,8	7,3	61,5	159,8
<i>C. salviifolius</i>					
	SD4	6,4	10,6	15,9	204,2
	SD5	10,0	13,6	13,6	198,0
	SD6	5,4	19,5	23,1	118,4

\*ld: limite de detecção

plantas de *C. ladanifer*. Este facto, parece não estar correlacionado com a fracção disponível dos elementos no solo ( $r < -0,63$ ) mas, está eventualmente, com as características biológicas da própria espécie (Quadro 2).

Quanto ao Pb, o seu comportamento foi contrário ao dos outros elementos químicos sendo que, as folhas de *C. ladanifer* apresentaram maiores concentrações deste elemento. Este facto, pode estar relacionado com a existência de uma maior fracção disponível do elemento nas parcelas onde estas plantas se desenvolveram ( $r = 0,80$ ) ou ainda com as características da espécie (Quadro 2). O diferente comportamento das plantas, em função da estação do ano, em termos de acumulação de alguns metais e As em *C. ladanifer* (San-

tos *et al.*, 2009) e para alguns nutrientes em outras espécies do género *Cistus* (*C. albidus* e *C. salviifolius*; Correia, 2002; Simões *et al.*, 2004), pode influenciar a avaliação da concentração dos mesmos elementos químicos entre espécies. Embora não se disponham dos mesmos dados para o *C. salviifolius*, esta espécie pode apresentar o mesmo comportamento diferenciado e sazonal que o *C. ladanifer* para os elementos químicos estudados. Como os dados ambientais relativos ao *C. salviifolius* são escassos, este estudo deverá ser continuado com colheitas de material vegetal em outras estações do ano. Embora os valores de As no *C. salviifolius*, os de Pb no *C. ladanifer* e os de Zn em ambas as plantas do género *Cistus* tenham excedido o

**Quadro 3** – Coeficientes de transferência solo-planta do As, Cu, Pb e Zn nas plantas de *Cistus ladanifer* e *Cistus salvifolius* para cada parcela de amostragem na área mineira de São Domingos.

Parcelas	Espécie de <i>Cistus</i>	Coeficiente de transferência solo-planta*			
		As	Cu	Pb	Zn
SD1	<i>C. ladanifer</i>	0,0006	0,03	0,01	4,21
SD2		0,0007	0,04	0,006	4,63
SD3		0,0009	0,03	0,01	2,80
SD4	<i>C. salvifolius</i>	0,01	0,006	0,008	0,20
SD5		0,01	0,01	0,003	0,43
SD6		0,002	0,03	0,003	0,35

\*Coeficiente de transferência solo-planta = [elemento na parte aérea da planta] / [elemento total no solo]

referenciado por Kabata-Pendias e Pendias (2001) como fitotóxico (5-20 mg As kg<sup>-1</sup>, 30-300 mg Pb kg<sup>-1</sup>, 100-400 mg Zn kg<sup>-1</sup>) não se observaram sinais visíveis de toxicidade nas plantas.

No Quadro 3 apresentam-se os coeficientes de transferência solo-planta dos vários elementos nas duas espécies de *Cistus*.

As duas espécies colhidas na área mineira de São Domingos apresentaram-se como não acumuladoras de As, Cu e Pb pois, o coeficiente de transferência solo-planta calculado foi menor que um. Comportamento semelhante, de plantas não acumuladoras de Cu e Pb, também foi observado em plantas da mesma espécie na mina de Aljustrel por Alvarenga *et al.* (2004).

O comportamento, em termos de acumulação de Zn, variou consoante a espécie sendo que o *C. ladanifer* se comporta como uma planta acumuladora e o *C. salvifolius* como não acumuladora. Apesar de Alvarenga *et al.* (2004) considerarem, de uma maneira geral, as plantas de *C. ladanifer* colhidas na mina de Aljustrel como não acumuladoras de Zn, em solos com concentrações totais deste elemento superiores a 200 mg kg<sup>-1</sup> o coeficiente de acumulação calculado atingiu valores próximos de um ou mesmo superiores. As variações observadas podem sugerir que as plantas do género *Cistus* possuem comportamentos adaptativos que variam consoante o

nível de contaminação e concentração da fracção disponível dos elementos no local onde as plantas se desenvolvem.

## CONCLUSÕES

A área mineira de São Domingos apresenta elevadas concentrações totais de elementos químicos graves para o ambiente, como o As, Cu, Pb e Zn, o que indica, numa primeira análise, a necessidade urgente da sua recuperação ambiental. Contudo, a fracção disponível destes elementos é, na maioria dos solos analisados, relativamente baixa e variou consoante as características dos próprios solos. As concentrações de As e Zn nas plantas de *C. salvifolius* são mais elevadas do que nas plantas de *C. ladanifer* enquanto que, para o Pb foi observado o inverso. Ao contrário do Pb, a concentração de As, Cu e Zn nas plantas não está correlacionada com a fracção disponível dos mesmos elementos nos solos. Assim, o comportamento das plantas face aos elementos químicos nos solos parece estar relacionado com a própria biologia das espécies.

As plantas do género *Cistus*, em particular as espécies *C. ladanifer* e *C. salvifolius*, estão aptas a sobreviver em locais altamente contaminados em elementos químicos vestigiais sem, no entanto, apresentarem sinais

negativos no seu desenvolvimento. Por outro lado, estas espécies comportam-se como plantas não acumuladoras de As, Cu e Pb embora, em alguns casos, apresentem concentrações consideradas fitotóxicas destes elementos. Para o Zn apenas o *C. ladanifer* mostrou comportamento de acumuladora deste elemento.

Sendo estas espécies pioneiras e possuindo baixa exigência nutricional podem colonizar áreas degradadas contribuindo para a recuperação das características dos solos incipientes e evolução da sucessão ecológica. Por outro lado, o uso destas espécies de plantas pode beneficiar a economia local através da produção de lãdano (*C. ladanifer*) caso este não seja influenciado pela presença dos elementos contaminantes.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu, M.M. e Magalhães, M.C.F. (2009) - Phytostabilization of soils in mining areas. Case studies from Portugal. In: Aachen L., Eichmann P. (Eds.) - *Soil remediation*. New York, Nova Science Publishers Inc., p. 297-344
- ActLabs (2010a) - *Code 1H, Total Digestion, ICP, INAA* (em linha). Ontario, Activation Laboratories Ltd., 1 p. (Acesso em 2010.05.02). Disponível em <<http://www.actlabs.com/page.aspx?page=506&app=226&cat1=549&tp=12&lk=no&menu=64&print=yes>>.
- ActLabs (2010b) - *Code 2D Vegetation Ash ICP-MS* (em linha). Ontario, Activation Laboratories Ltd., 1 p. (Acesso em 2010.05.02). Disponível em <<http://www.actlabs.com/page.aspx?page=538&app=226&cat1=549&tp=12&lk=no&menu=64&print=yes>>.
- Adriano, D.C.; Wenzel, W.W.; Vangronsveld, J. e Bolan, N.S. (2004) - Role of assisted natural attenuation in environmental cleanup. *Geoderma*, 122: 121-142.
- Alvarenga, P.M.; Araújo, M.F. e Silva, J.A.L. (2004) - Elemental uptake and root-leaves transfer in *Cistus ladanifer* L. growing in a contaminated pyrite mining area (Aljustrel-Portugal). *Water, Air and Soil Pollution*, 152: 81-96.
- Alvarez-Valero, A.M.; Pérez-López, R.; Matos, J.; Capitán, M.A.; Nieto, J.M.; Sáez, R.; Delgado, J. e Caraballo, M. (2007) - Potential environmental impact at São Domingos mining district (Iberian Pyrite Belt, SW Iberian Peninsula): evidence from a chemical and mineralogical characterization. *Environmental Geology*, 55, 8: 1797-1809.
- Baker, A.J.M. (1981) - Accumulators and excluders-strategies in the response of plants to heavy metals. *Journal Plant Nutrition*, 3: 643-654.
- Batista, M.J.; Abreu, M.M. e Serrano-Pinto, M. (2007) - Biogeochemistry in Neves Corvo mining region, Iberian Pyrite Belt, Portugal. *Journal of Geochemical Exploitation*, 92: 159-176
- Berti, W.R.; Cunningham, S.D. e Jacobs, L.W. (1997) - Sequential chemical extraction of trace elements: development and use in remediating contaminated soils. In: Prost R. (Ed.) - *Contaminated Soils*. Paris, INRA, p. 121-131. (Les colloques INRA 85).
- Borges, A.E.; Almeida, V.V. e Silva, A.M. (2002) - Análise da estratégia fenodinâmica de *Cistus salviifolius* em três locais distintos (Pinhal de Leiria, Cabeção e Odemira). *Silva Lusitana*, 10, 2: 235-245.
- Chao, T.T. (1972) - Selective dissolution of manganese oxides from soils and sediments with acidified hydroxylamine hydrochloride. *Soil Science Society America Journal*, 47: 225-232.
- Chopin, E.I.B. e Alloway, B.J. (2007) - Distribution and mobility of trace elements

- in soils and vegetation around the mining and smelting areas of Tharsis, Riotinto and Huelva, Iberian Pyrite Belt, SW Spain. *Water, Air and Soil Pollution*, 182: 245-261.
- Correia, O. (2002) - Os *Cistus*: as espécies do futuro?. In: Loução, K.A. (Eds) - *Fragmentos de Ecologia*. Lisboa, Escolar Editora, p.97-119.
- Decreto-Lei n.º 276/2009 de 2 de Outubro. *Diário da República*, I Série-A, 192: 7154-7165.
- De Endredy, A.S. (1963) - Estimation of free ion oxides in soils and clays by a photolytic method. *Clay Minerals Bulletin*, 29, 5: 209-217.
- Freitas, H.; Prasad, M.N.V. e Pratas, J. (2004) - Plant community tolerant to trace elements growing on the degraded soils of São Domingos mine in the south east of Portugal: environment implications. *Environment International*, 30: 65-72.
- INMG (1990) - *O clima de Portugal. Normas climatológicas da região de "Alentejo e Algarve" correspondentes a 1951-1980*. Lisboa, Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica, 98 p. (Fascículo XLIX, Vol 4 – 4ª Região).
- Kabata-Pendias, A. (2004) - Soil-plant transfer of trace elements-an environmental issue. *Geoderma*, 122: 143-149.
- Kabata-Pendias A. e Pendias, H. (2001) - *Trace Elements in Soils and Plants*. 3rd ed. Boca Raton, CRC Press, 413 p.
- Kidd, P.S.; Díez, J. e Monterroso Martínez, C. (2004) - Tolerance and bioaccumulation of heavy metals in five populations of *Cistus ladanifer* L. subsp. *ladanifer*. *Plant and Soil*, 258: 189-205.
- Kidd, P.S.; Domínguez-Rodríguez, M.J.; Díez, J. e Monterroso, C. (2007) - Bioavailability and plant accumulation of heavy metals and phosphorus in agricultural soils amended by long-term application of sewage sludge. *Chemosphere*, 66: 1458-1467.
- Levitt, J. (1980) - *Responses of plants to environmental stresses*. New York, Academic Press, 497 p.
- Matos, J.X. e Martins, L.P. (2006) - Reabilitação ambiental de áreas mineiras do sector português da Faixa Piritosa Ibérica: Estado da Arte e Perspectivas Futuras. *Boletín Geológico y Minero*, 117: 289-304.
- Mendez, M.O. e Maier, R.M. (2008) - Phytoremediation of mine tailings in temperate and arid environments. *Review Environment Science Biotechnology*, 7: 47-59.
- Nagaraju, A. e Karimulla, S. (2002) - Accumulation of elements in plants and soils in and around Nellore Mica Belt, Andhra Pradesh, India – A biogeochemical study. *Environmental Geology* 41: 852-860.
- Oliveira, J.M.S.; Farinha, J.; Matos, J.X., Ávila, P.; Rosa, C.; Canto Machado; M.J., Daniela, F.S.; Martins, L. e Machado Leite, M.R. (2002) - Diagnóstico ambiental das principais áreas mineiras degradadas do país. *Boletim de Minas*, 39, 2: 67-85.
- Pang, J.; Chan, G.S.Y.; Zhang, J.; Liang, J. e Wong, M.H. (2003) - Physiological aspects of Vertiver grass for rehabilitation in abandoned metalliferous mine wastes. *Chemosphere*, 52: 1559-1570.
- Póvoas, I. e Barral, M.F. (1992) - *Métodos de Análise de Solos*. Lisboa, Instituto de Investigação Científica Tropical, Ministério do Planeamento e da Administração do Território, 61 p. (Comunicações do IICT, Série de Ciências Agrárias, Nº 10).
- Quental, L.; Bourguignon, A.; Sousa, A.J.; Batista, M.J.; Brito, M.G.; Tavares, T.; Abreu, M.M.; Vairinho, M. e Cottard, F. (2002) - *MINEO Southern Europe environment test site., contamination impact mapping and modeling, Final Report*.

- Lisboa, Instituto Geológico e Mineiro, 131 p. (IST-1999-10337).
- Santos, E.S.; Abreu, M.M., Nabais, C. e Saraiva, J.A. (2009) - Trace elements and activity of antioxidative enzymes in *Cistus ladanifer* L. growing on an abandoned mine area. *Ecotoxicology*, 18: 860-868.
- Simões, M.P.; Madeira, M. e Gazarini, L. (2004) - Variação sazonal e espacial da partição de biomassa e nutrientes em *Cistus salviifolius* L.. *Revista de Ciências Agrárias*, XXVII, 1: 481-493.
- Tordoff, G.M.; Baker, A.J.M. e Willis, A.J. (2000) - Current approaches to the revegetation and reclamation of metalliferous mine wastes. *Chemosphere*, 41: 219-228.
- Wong, M.H. (2003) - Ecological restoration of mine degraded soils with emphasis on metal contaminated soils. *Chemosphere*, 50: 775-780.