

2015

International
Year of Soils



Fitoestabilizacion. Las plantas curan el suelo

Maria Manuela Abreu

Universidade de Lisboa

Instituto Superior de Agronomia

manuelaabreu@isa.ulisboa.pt

SUELO

Biorreactor interactivo e multifásico na interface Atmosfera-Hidrosfera-Biosfera-Litosfera

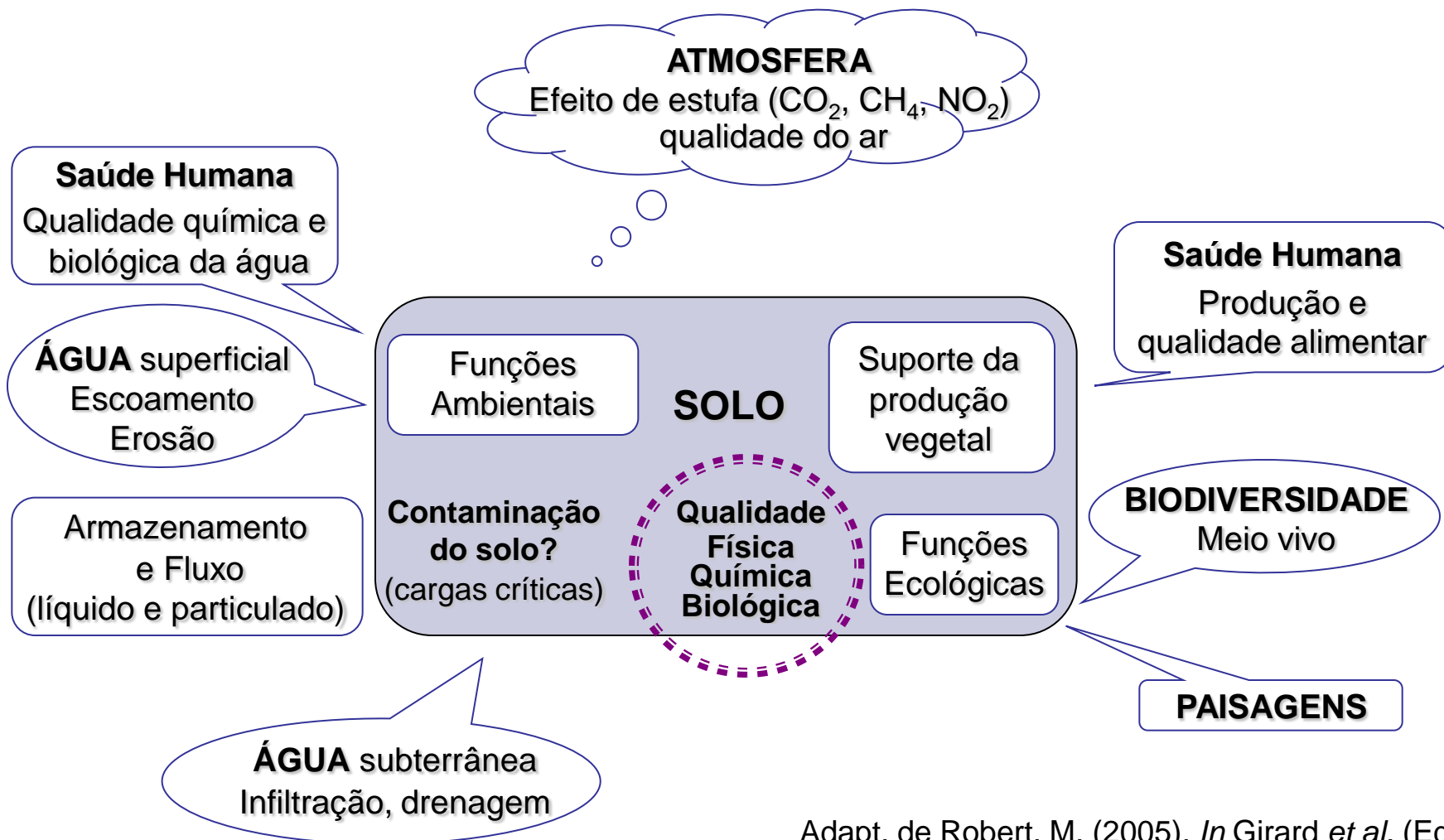
**El SUELO é um Sistema Ecológico cujo
Funcionamento depende da sua constituição e
organização**

El suelo es:

- **Recurso natural vital**
- **Limitado**
- **Escasso**
- **Perecível**
- **Não renovável**

El Suelo é um compartimento essencial dos Ecossistemas

El **Suelo** es una interface no Ecosystema e no Ambiente. As suas características conferem-lhe funções ambientais essenciais



Porque el Suelo

- É um recurso não renovável à escala humana
- É muito vulnerável às agressões externas
- Tem funções determinantes para a vida, para as actividades humanas e a sobrevivência dos ecossistemas

É fundamental e urgente a sua protecção

A Comissão Europeia elaborou (2006, revalidado 2012) uma Estratégia de Protecção do Solo e **recomendou** aos Estados-Membros tomarem medidas para lutar contra as ameaças ao Solo. Pero, dá total liberdade quanto à forma de o fazerem e recomenda uma acção mais enérgica.

A Assembleia Geral das Nações Unidas (2013)

Dia Mundial del Suelo 5 Diciembre

2015 Ano Internacional de los Suelos

ALTERAÇÃO da QUALIDADE do SOLO é função, em general, da *Actividade Humana*

- Erosão do Solo (perda irreversível de várias Mg de solo/ano)
- Compactação
- Diminuição da matéria orgânica
- Salinização
- Acidificação
- ***Contaminação por compostos orgânicos e elementos químicos vestigiais (metais e metalóides)***
- Perda de Biodiversidade

Os processos de degradação do solo podem ser muito rápidos, pero los **processos de formação** ou de **regeneração/remediação** são sempre **extremamente lentos**

Erosion del suelo

Processos de erosion del suelo são função de:

Características del suelo, pendiente, clima, etc.

Actividade humana: desflorestação, práticas culturais, etc.

Papel fundamental da Vegetação





Desflorestação

**Erosão por sulcos
(após Iluvia intensa)**

Perda de Suelo

Perda de matéria orgânica

Perda de fertilidade



Práticas culturais inadequadas



Foto: Nuno Cortez

Vinha ao alto em zonas de pendente elevada

- ✓ Abertura de sulcos
- ✓ Perda de solo com roca de substrato a descoberto



➤ **O coberto vegetal do solo** tem um papel fundamental ao nível da conservação das características físicas, químicas e da fertilidade, e a mitigação dos processos erosivos.

➤ **A intervenção do Homem** no sistema solo-vegetação pode gerar desequilíbrio, mais ou menos acentuado em função das características do solo.

Podendo ocorrer:

Perda de solo (erosão); perda/diminuição de fertilidade

Consequências para a **conservação da água** e para a **produção vegetal**

Contaminação por metais e metalóides, e compostos orgânicos

Fontes de contaminação dos ecossistemas

- Indústrias
- Agricultura e Pecuária
- ***Actividade Mineira*** (minería)
 - *Em exploração*
 - *Áreas mineiras abandonadas e degradadas*

Remediação de áreas contaminadas

- ✓ Tecnologias de Engenharia – em geral muito caras e, frequentemente, prejudiciais para o ambiente
 - Excavação (remoção)
 - Solidificação
 - Lavagem (lixiviação)
 - Encapsulação
 - Electrocinética
- ✓ **Fitorremediação**
 - Fitoacumulação/Fitoextração
 - Rizofiltração
 - ***Fitoestabilização***

Fitoestabilização

- Utiliza **Plantas** para diminuir a mobilidade (ou imobilizar) os elementos contaminantes no solo (não remove)
- Remediação *in situ* de baixo custo
- Amiga do ambiente (alternativa às tecni. Engenharia)
- Uso de produtos (aditivos-enmiendas) de baixo custo (resíduos industriais, agro-florestais, efluentes etares, etc.) para melhorar as características do solo/escombreira
- Meteorização e Pedogénese são promovidas
- Cobertura eficaz do solo - redução da erosão
- Recuperação Paisagística e Sequestro de Carbono

Fitoestabilização

Principal objectivo é impedir/diminuir a **transferência** dos elementos químicos contaminantes **para os solos adjacentes** e para as **águas superficiais e subterrâneas** através de **plantas** e, na maioria dos casos, com recurso a **enmiendas** (correctivos) orgânicos e/ou inorgânicos

Fitoestabilização

Plantas

- ✓ Tolerantes a elevadas concentrações de elementos químicos (metais e metalóides)
- ✓ **Baixo** teor de metais/metalóides na **Parte Aérea**
- ✓ Não acumuladoras de elementos pot. tóxicos
- ✓ Bom desenvolvimento vegetativo (parte aérea e radicular)
- *Espécies Espontâneas/Endêmicas ou Cultivadas Adaptadas às Condições Edafoclimáticas*

Áreas Mineiras

Minas Activas – Panasqueira
(mina de tungsténio)

Escombrelras/Solos
(mg/kg)

As: 466 - **12000**

Cd: 2,6 - 87

Cu: 214 - **3741**

Pb: 29 - 282

Sb: 29 - 118

Sn: 453 - 882

W: 40 - **12000**

Zn: 340 - **4224**



Áreas Mineiras

Minas Activas

Panasqueira (W)

Suelos desarrollados
Escombreciras antigas
(30-80 anos)



Vegetação espontânea e introduzida. Várias espécies: erica (brezo), cytissus (genista), *Caluna vulgaris*, medroño, pinus, ulex (tojo), etc.

Panasqueira

Em exploração

A vegetação e a qualidade da Paisagem



Minas Activas



Panasqueira

Em exploração

A vegetação e a qualidade da Paisagem



Minas Activas - Panasqueira

Medroños colonizando suelos desarrollados sobre antiguas escombreras



Abreu et al., 2014. J. Soils Sediments

(mg/kg)	As	Cd	Cu	Pb	Sb	W	Zn
Suelos							
Méd.Geo.	680	2,37	233	60	2,2	138	332
Max.	7790	79	4080	205	32,1	1450	12300
Disponível (%)	0,5	-	11	2	-	1	10
Medroño (<i>Arbutus unedo</i>)						Fruto: 0,08 mg Cd/kg	
Méd.Geo.	1,4	1,04	3,5	0,41	< 0,1	0,49	100
Max.	5	12,9	12,9	1,3	< 0,1	3,4	570
Aguardiente	0,008	<0,05	3,27	0,34	-	<0,05	0,09

ÁREA MINEIRA PENEDONO

Mina de Ouro

Escombreira (mg/kg)

As = 25200; Cd = 0,5;

Cu = 135; Pb = 140;

Zn = 31; S = 3200



Solos (mg/kg)

As total = 2230 - 4650

As disponível = 29 - 48

Castaño (mg/kg)

As (**hojas**) = 2,3 – 6,1

As (**castaña**) = 0,5



ÁREA MINEIRA PENEDONO

Suelo

pH = 5 Corg = 17 g/kg

As (total) = 1170 mg/kg

As (disponível) = 11 mg/kg (~1%)

Cu=29 mg/kg; Zn=74 mg/kg

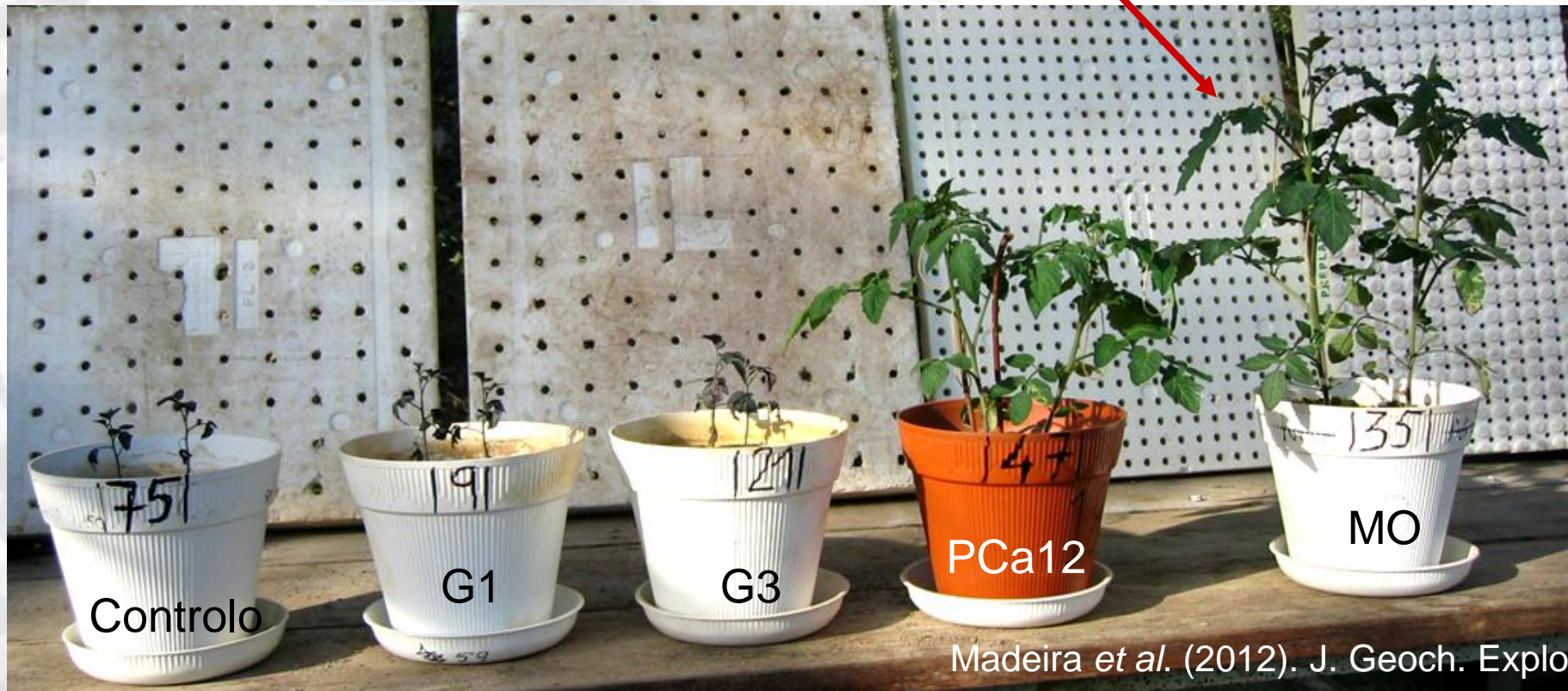
Experimentos em maceta com enmiendas

Tratamento	As (mg/kg) (disponível)	Tratamento	As (mg/kg) (disponível)
Controlo	11	MO	21
Goethite1	12	PCa4	22
Goethite3	9	PCa12	41

Suelo da Área Mineira de Penedono

Experimentos em maceta

Tratamento	As (mg/kg)		Tratamento	As (mg/kg)	
	Tomate	Perejil		Tomate	Perejil
Controlo	10,7 (P)	53	MO	20,7 (F)	39
Goethite1	12,1 (P)	15	PCa4	21,9 (F)	47
Goethite3	8,7 (P)	12	PCa12	41,3 (F)	69



Coeficiente de Riesgo para consumo de tomate e perejil

$$\text{CR} = \text{Dose Exp.} / \text{Dose Ref.}$$

$$\text{Dose de Exposição} = (C \times F_i \times D_e \times F_e) / (W \times T_e)$$

C = [mg As/kg massa fresca] planta

F_i = taxa de ingestão (kg/pessoa/dia)

D_e = duração de exposição (50 anos adulto, 7 anos adolescentes)

F_e = frequência de exposição (dias/ano)

W = massa corporal (70 kg/adulto, 57 kg/adolescente)

T_e = tempo médio de exposição (=E_d×365 dias)

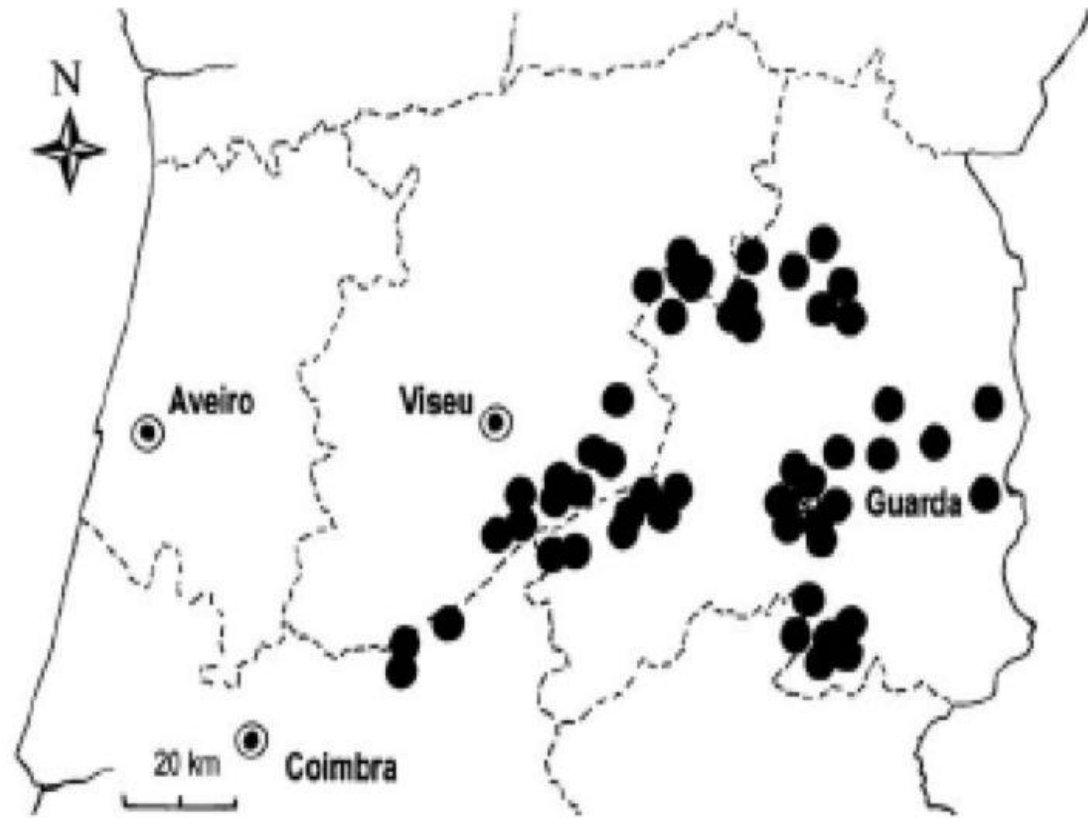
Dose Referência (USEPA, 1999, 2000) = 0,3 mg/kg/dia

Tomate (fruto): CR < 1 (adultos e adolescentes)

Perejil: CR < 1 (adultos); CR = 1 (adolescentes)

Exploração de urânio e rádio em Portugal

Portugal teve, no séc. 20, uma exploração importante e significativa de minério radioactivo.



Fonte: F.C. Carvalho (2003) Radioprotecção II 2/3, 159-165

400 depósitos identificados de urânio - 60 foram explorados

Solos e água contaminados com urânio e rádio

Areas Mineiras (Amostras solo)	U _{total} (mg/kg)	Fracção disponível (%)
5 Áreas mineiras (60 mostras solo)	10-660	8-100 (n = 27)
Barracão (4)	79-198	8-38
Cunha Baixa (14)	10-302	10-100
Freixiosa (3)	62-152	29-74
Pinhal do Souto (33)*	11-337	–
Urgeiriça (6)	110-660	38-100

✓ [U_{natural}] é, em geral, > o valor recomendado para qualidade do solo (uso agrícola : 23 mg/kg). Valor max. ≈ 28 X

✓ [U_{natural}] na água dos poços da C. Baixa (µg/L) : 52-3700 (med. 1200, verão); 12-2000 (med. 330, inverno). Valor limite para água de rega - 100 µg/L

Suelos contaminados com Urânio e Rádio usados para agricultura são os mais críticos

Estratégias para a reabilitação destes solos devem ser bem dimensionadas para minimizar os riesgos ambientais e para a saúde

- ✓ Maioria dos solos estão localizados em zonas rurais
- ✓ Cultura de verduras, árvores de fruto e/ou pastagem
- ✓ Água contaminada usada para rega
- ✓ Maioria dos solos ocupa pequenas áreas
- ✓ Solos próximo das áreas residenciais
- ✓ São pequenas hortas familiares



Solos e águas contaminados com urânio



Cunha Baixa

U Água de rega ($\mu\text{g/L}$):

NC= 14-20; C= 940-1030

U Solo (mg/kg):

U total: 227 – 271 (~10X)

U disponível: 7,1 – 11,7
(4-5 %)

Lechuga (U $\mu\text{g/kg}$ massa fresca): 31 (água NC); 234 (água C)

Judia verde (U $\mu\text{g/kg}$ massa fresca): 26 (água NC); 30 (água C)

Sin riesgo aparente para la salud (Coeficiente de riesgo <1)

Solos e águas contaminados com urânio

Cunha Baixa



Patata con piel (U $\mu\text{g}/\text{kg}$ massa fresca): 302 (água NC);
590 (água Contaminada)

Patata sin piel (U $\mu\text{g}/\text{kg}$ massa fresca): 18 (água NC);
20 (água C)

Sin riesgo aparente para la salud (Coeficiente de riesgo <1)

- Ra e U acumulam-se na piel

U Água de rega ($\mu\text{g}/\text{L}$):

NC= 17; C= 1035

U Solo (mg/kg):

U total: 123 – 134

U disponível: 12 (9%)



Suelos contaminados com U e ^{226}Ra

**Solos com concentração elevada de U e Ra
(total e fracção disponível)**

Desafio: (1) reduzir a fracção disponível do U e do Ra
(2) reduzir a [U] e [Ra] nos lixiviados

Adição de correctivos (enmiendas): Harina de hueso e
Matéria Orgânica (estrume de oveja) (simples ou misturas)

Incubação durante 2 e 4 meses - **Experimentos en maceta**

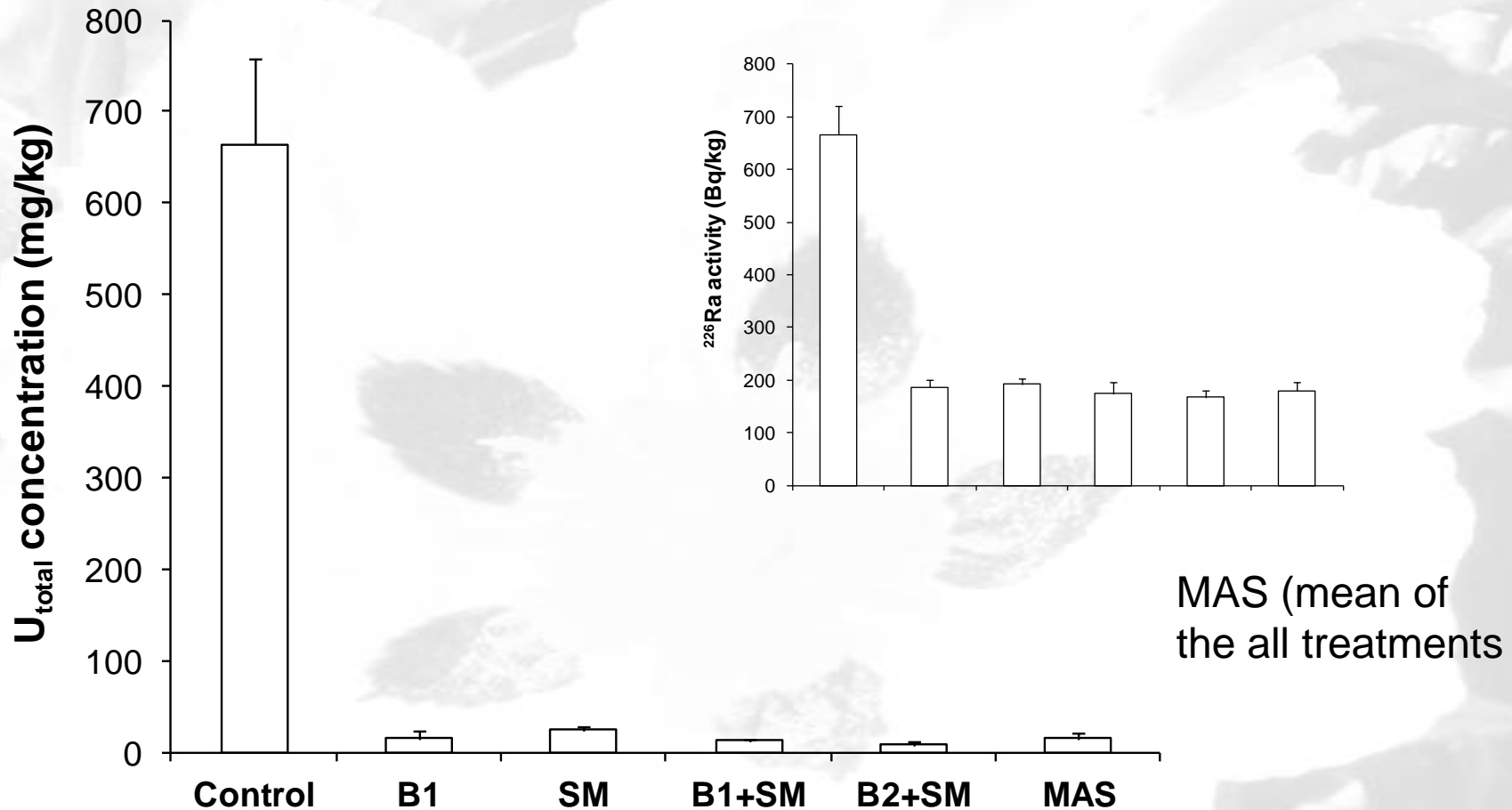
**Reabilitação dos solos agrícolas (cultivados) do
centro-norte de Portugal**

Solos contaminados com U e ^{226}Ra

	Solo 1	Solo 2	Solo 3
U total (mg/kg)	635	189	181
U disponível (mg/kg)	573	35	113
2 Meses depois da Adição de enmiendas			
Disminución – fracção disponível (% total)	97 - 98	88 - 97	97 - 98
^{226}Ra total (Bq/kg)	2310	1770	1570
^{226}Ra disp. (Bq/kg)	574	759	409
2 Meses depois da Adição de enmiendas			
Disminución – fracção disponível (% total)	73 - 77	64 - 70	73 - 81

Valor Recomendado para a qualidade do solo para uso agrícola
 [Unatural]: 23 mg/kg; Actividade do ^{226}Ra : 185 Bq/kg

U and ²²⁶Ra na fracção disponível do solo da Urgeiriça



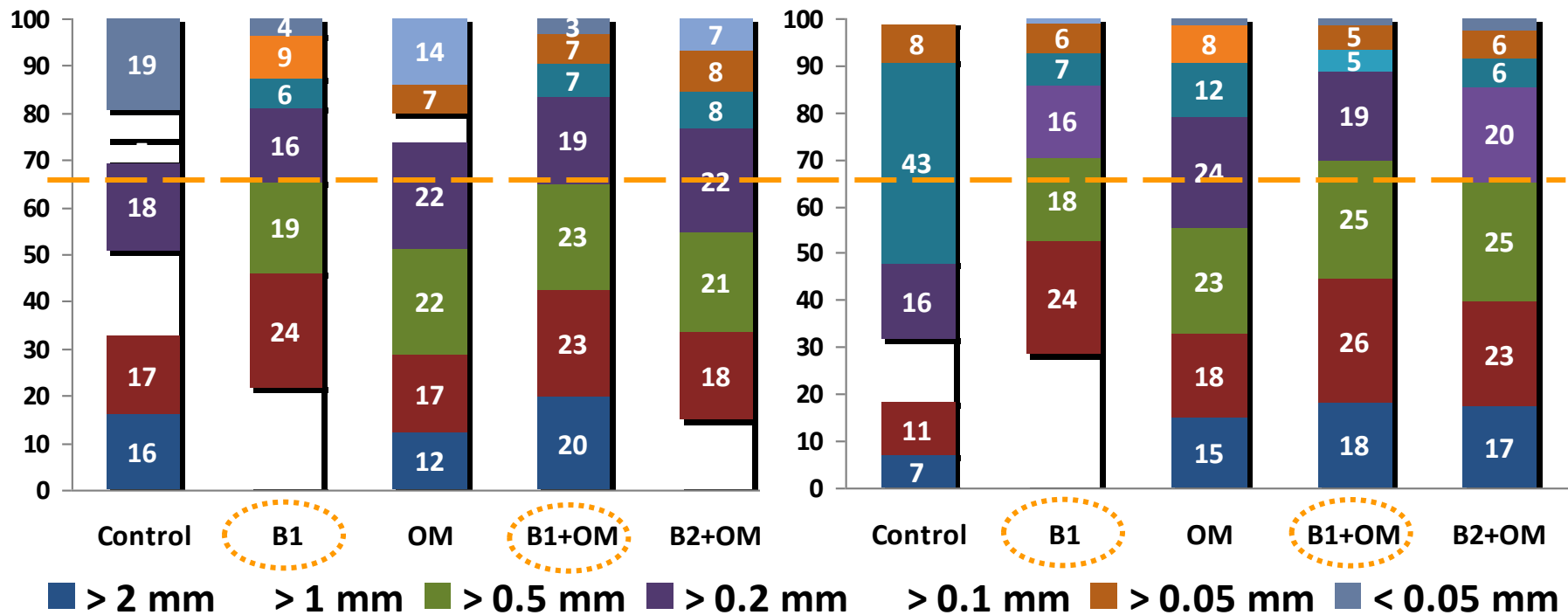
- ✓ Concentration of U decreases of $98 \pm 1 \%$ in relation to the control
- ✓ Activity of radium-226 was reduced of $75 \pm 2\%$.

Water Stable aggregates distribution

Urgeiriça Soil

2 Months

4 Months

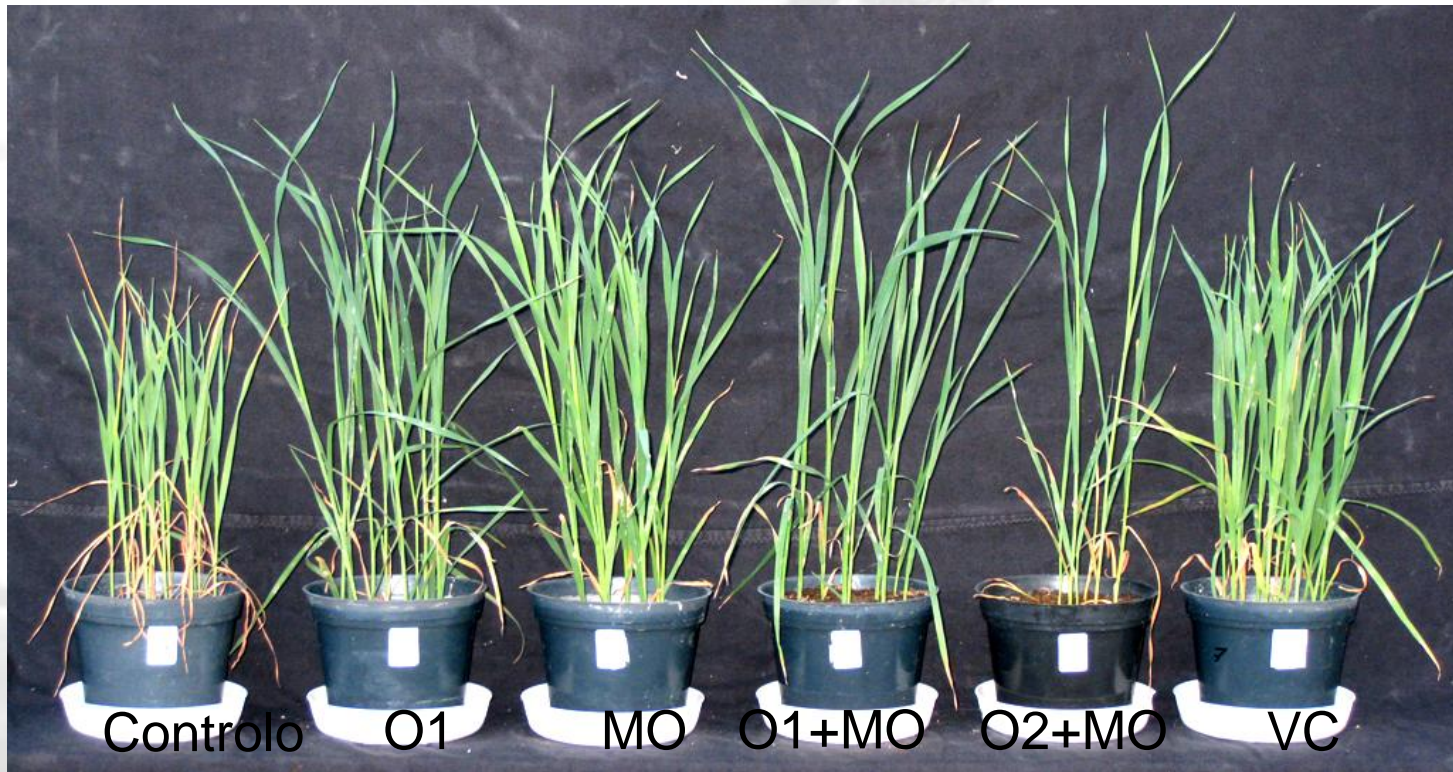


> % of aggregates in fractions > 0.5 mm in all treatments after 4 months of incubation compared to control

Crescimento de plantas

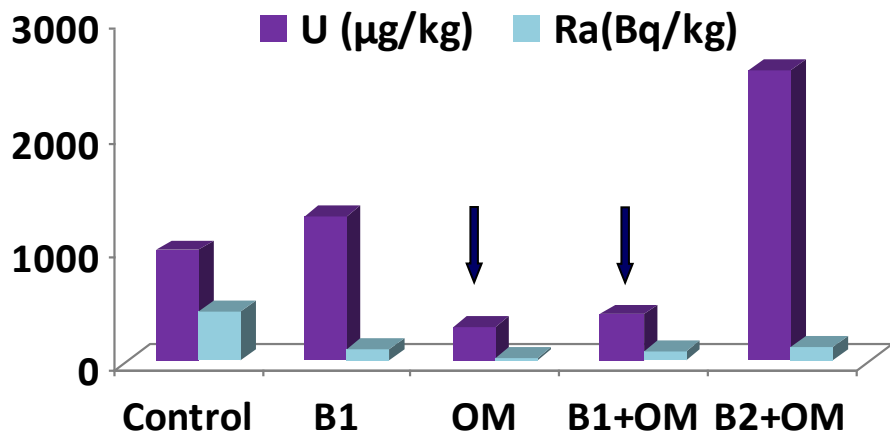


Azevém (ryegrass) – Solo1 (2 meses após incubação)

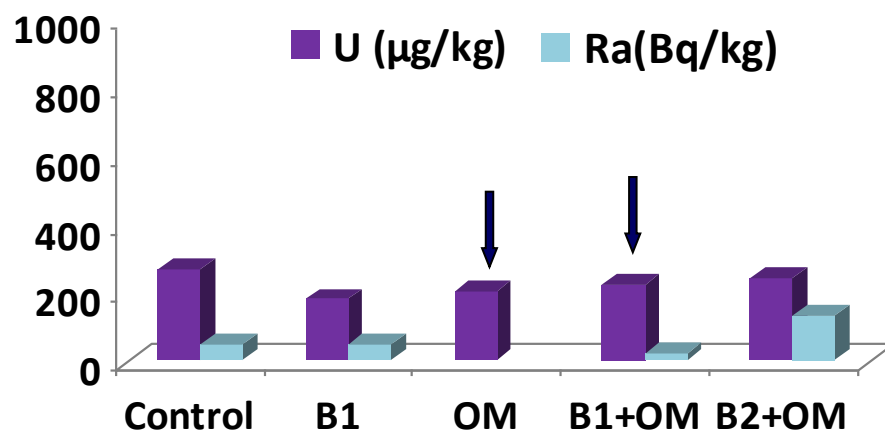


Aveia (oats) – Solo1 (4 meses após incubação)

U and Ra na parte aérea das plantas



Ryegrass – azevém
(raigrás)



Oat – Avena

Coeficiente de transferência Solo-planta (TC)

	U	Ra
Control	1.53×10^{-3}	18.9×10^{-2}
OM	0.48×10^{-3}	0.9×10^{-2}
B1+OM	0.64×10^{-3}	3.34×10^{-2}

	U	Ra
Control	0.42×10^{-3}	1.99×10^{-2}
OM	0.32×10^{-3}	-
B1+OM	0.35×10^{-3}	0.81×10^{-2}

TC para plantas em geral: $U < 6 \times 10^{-3}$; $Ra < 1.8 \times 10^{-2}$

Solos contaminados com U e ^{226}Ra

- A adição de correctivos (enmiendas) orgânicos e hidroxiapatite pode ser uma tecnologia adequada para a remediação de solos contaminados com radionuclídeos
- Diminuição do risco de contaminação das águas subterrâneas e transferência para as culturas.
- Diminuição do risco para a saúde

Impactos gerados pela actividade mineira

14,7x10⁶ m³ de escombros de várias naturezas: rochas encaixantes da mineralização, escórias romanas e modernas, cinzas de pirita e resíduos da exploração do *gossan*.

Área Mineira de São Domingos



Ribeira de São Domingos

Vertentes do vale da Rib. de S. Domingos até à confluência com a Ribeira do Mosteirão, constituídas por escórias e/ou cinzas e *gravas* de pirita



Materiais ricos com concentrações elevadas de: Fe (30-40 %), Zn (>1,7 %), Pb (>0,5 %), Cu (>0,5 %), As (>0,2 %)
< concentracion de: Mn, Sb, Co, Ag, Bi, etc.

Área Mineira de São Domingos

Impacto a nível químico - Suelos

(mg/kg)	As	Pb	Cu	Zn	Hg
São Domingos	1141	2971	295	141	2,9
	11600	24930	1275	754	7,4
Achada do Gamo	1444	3984	542	917	459
	14200	32170	6207	14850	9300
Telheiro	1727	1000	104	140	29,3
	15900	7315	691	494	420

1141 Média

11600 Máximo

(Adapt. Tavares, 2003)

Plantas espontâneas na área mineira de São Domingos



Cistus ladanifer



Cistus monspeliensis



Erica australis

Erica andevalensis



Cistus salviifolius

Colonizam suelos desarrollados em escombrelras de *gossan*, escórlas finas, sedimentos

Drenagem ácida originou um sistema que permitiu o desenvolvimento de organismos bem adaptados a estes meios extremos

Aparecimento de novas espécies

Erica andevalensis

Solos e Sedimentos:

- pH 3 - 4
- Concentrações elevadas de elementos químicos (g/kg)
As= 0,3-3,6; Pb= 0,2-7,2



Abreu et al., 2008. J. Geochem Explo
Pérez-López et al., 2014. Geoderma

Lavandula luisieri



Suelos

As	Cu	Pb	Sb	Zn
<i>Total (g/kg)</i>				
0.9 – 3.2	0.07 – 1.31	0.4 – 5.3	0.07 – 0.3	0.08 – 0.9
<i>Fracção disponível (mg/kg)</i>				
0.2 – 6.0	0.9 – 22.1	0.1 – 0.7	0.1 – 0.6	3.7 – 83.7

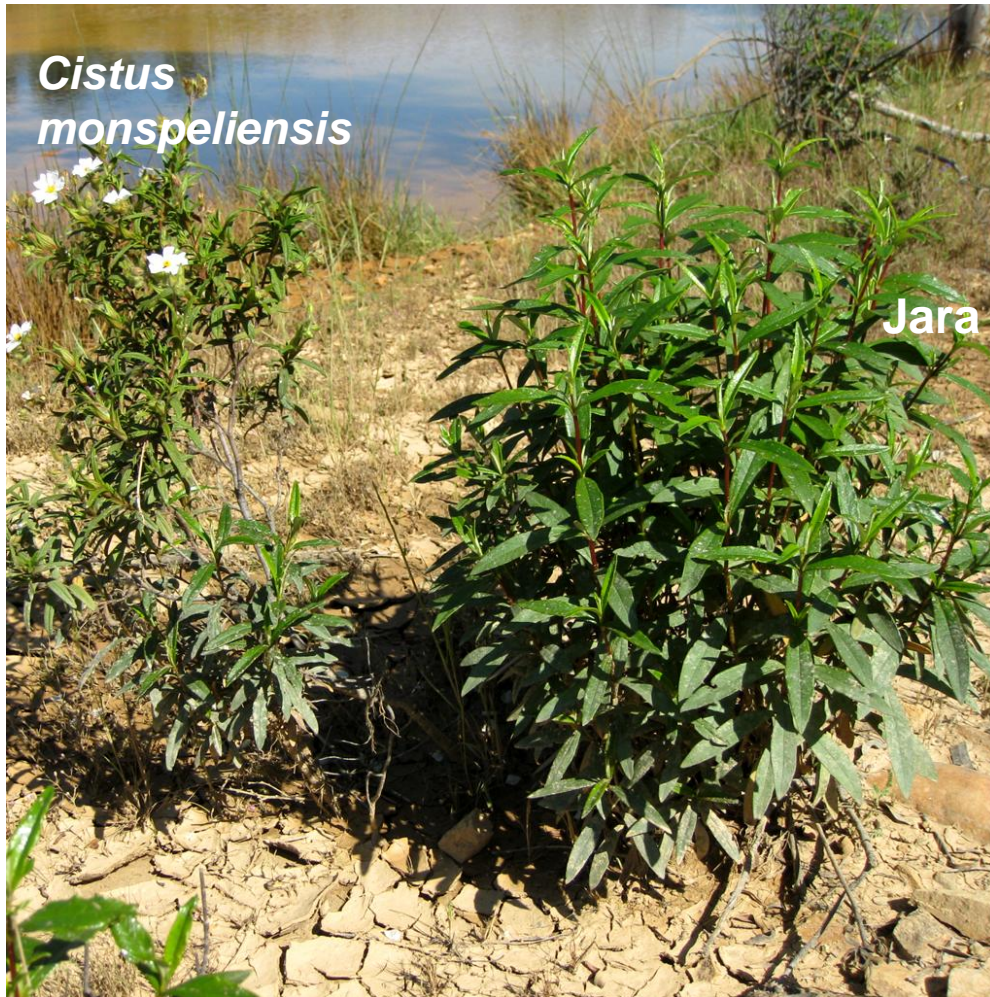


Plantas - lavandula

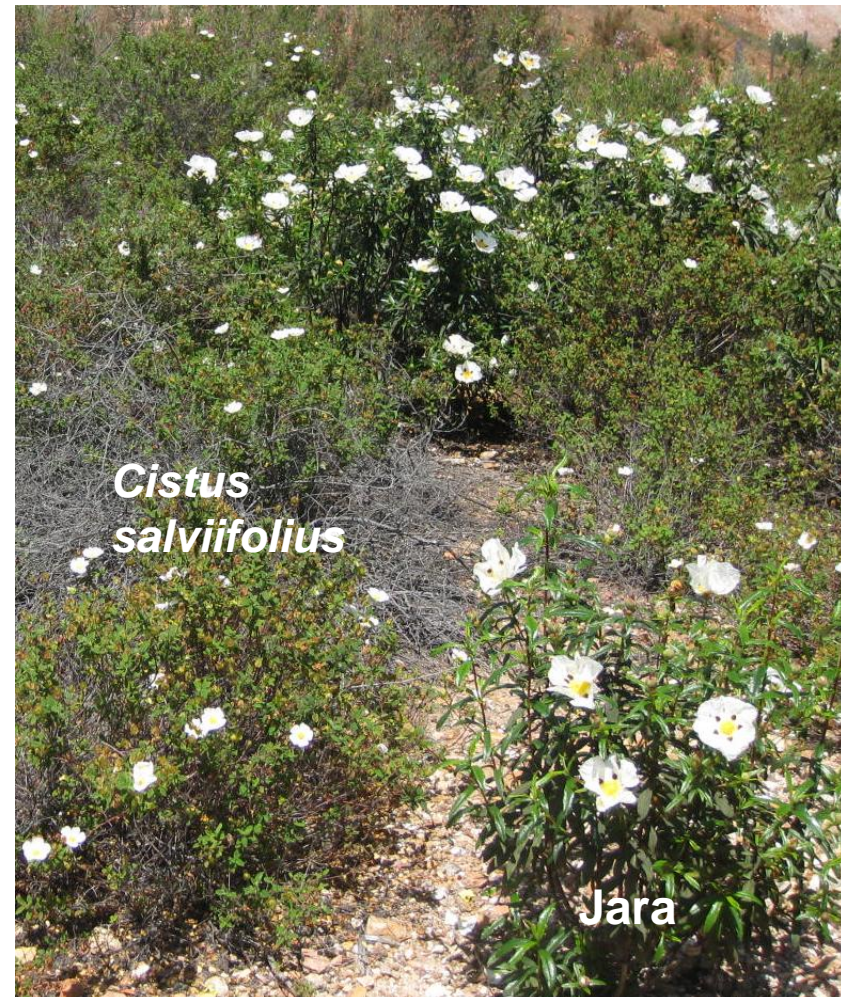
mg/kg	As	Cu	Mn	Pb	Sb	Zn
Raíces	4.1 – 14.8	12 – 251	70 – 232	11 – 53	0.05 – 0.7	64 – 146
P. aérea	3.2 – 27	7.5 – 31	159 – 685	5.9 – 53	0.1 – 1.2	191 – 345
CT (R/S)	0.5 – 2.3	0.3 – 1.4	2.0 – 6.3	0.3 – 1.5	0.6 – 5.0	1.3 – 3.2
	> transl.		Transl		> transl	Transl

Área Mineira de São Domingos

Cistus ladanifer (jara) em solos desenvolvidos sobre vários substratos com graus diferentes de contaminação)



Solos/sedimentos de rib. de águas ácidas



Esc. de *gossan* e escórias

Área Mineira de São Domingos



Cistus ladanifer

Pb: 55 – 77 mg/kg

As: 2 – 16 mg/kg

Cu: 6 – 18 mg/kg

Zn: 391; **Mn:** 258 mg/kg

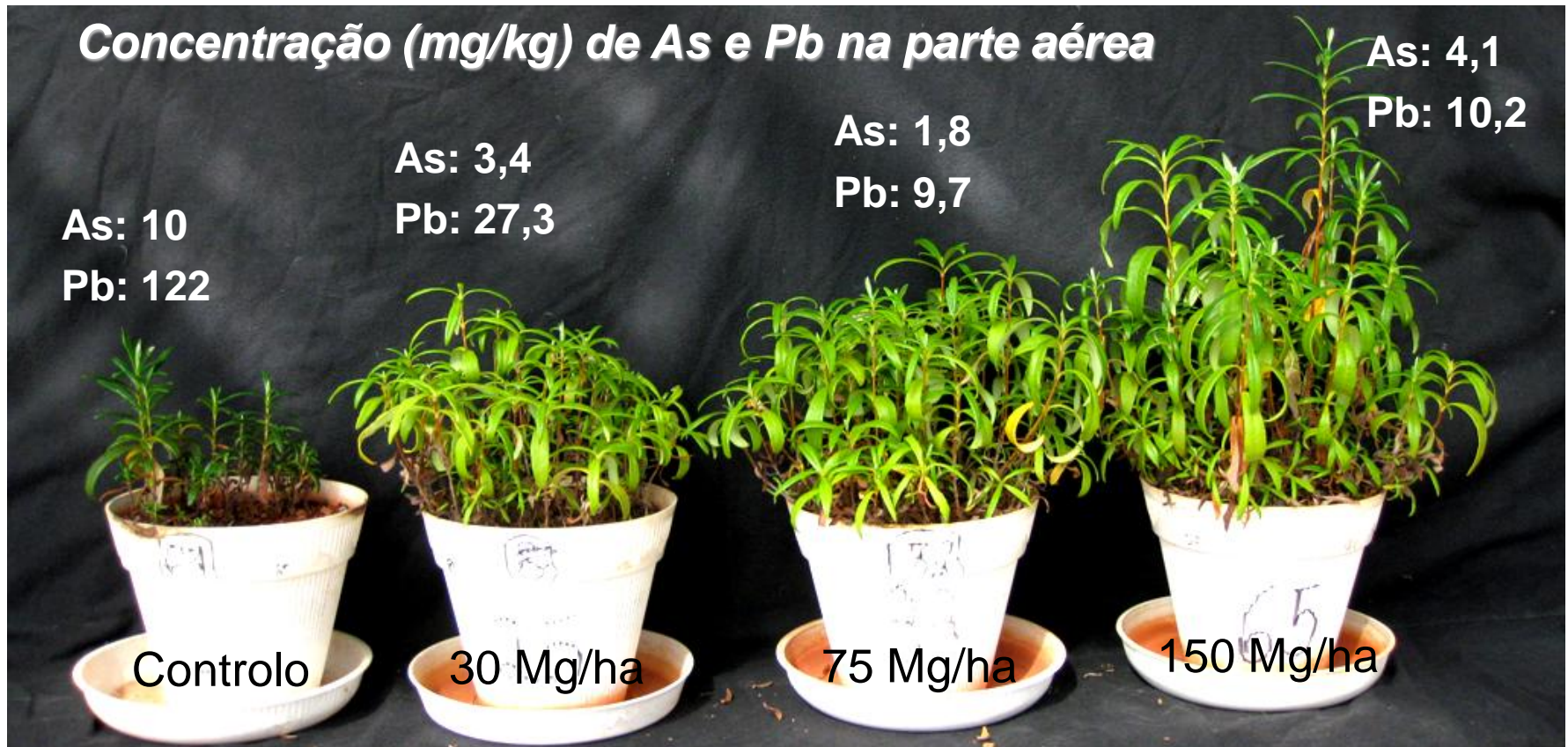
Valor referência: **As:** 1-2 mg/kg

Pb: 5-10 mg/kg



Ensaio em maceta com Jara (*Cistus ladanifer*)

Enmiendas/correctivos: mezcla de materiais inorgânicos e orgânicos a custo zero (resíduos de produção hortícola/frutícola, destilaria). **Suelo (Gossan): pH 4; As: 3 g/kg; Pb: 9 g/kg; Fracção disponível < 0,01 %**



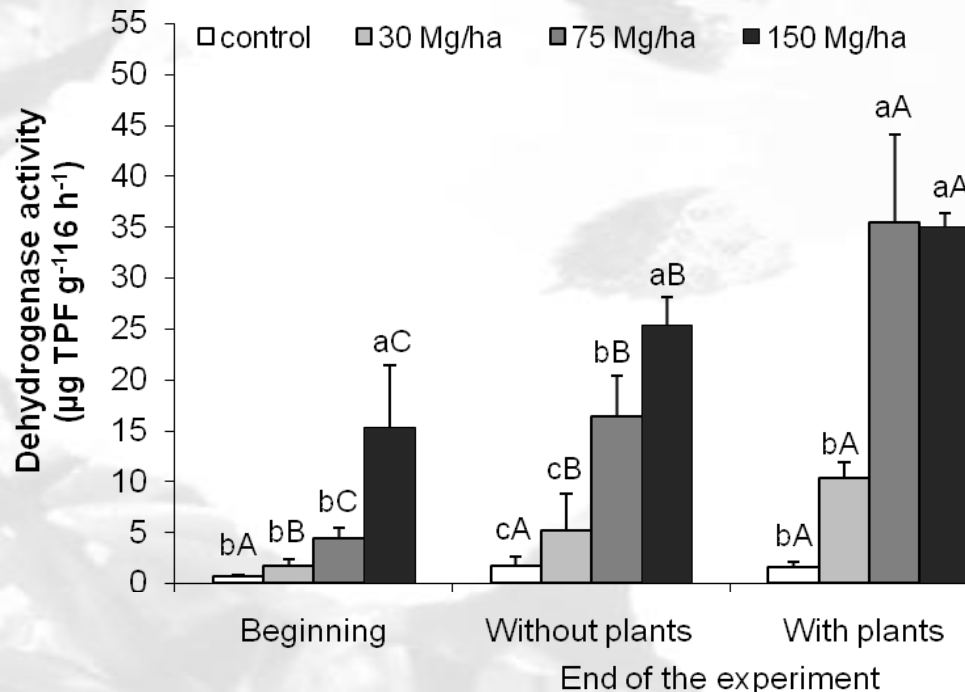
✓ Las enmiendas diminuíram a absorção de Arsénico e de Plomo pelas plantas

✓ Enmiendas + plantas melhoraram as características del

suelo: pH (4 → 5,8); C orgânico (2 → 22 g/kg); N (0,2 → 1,2 g/kg);

P_{ext} (<0,2 → 10,7 g/kg); K_{ext} (1,4 → 2,1 g/kg)

Actividade microbiológica do solo foi melhorada pelas plantas



Actividade Enzimática no Solo

✓ Actividade microbiana total (Desidrogenase)

✓ Actividade dos microrganismos associada a:

• Ciclo do carbono (Glucosidade)

• Ciclo do fósforo (Fosfatase)

Ensaio em maceta

Gossan - pH: 3,5

+ enmiendas (orgânicos e inorgânicos)



g/kg

As: 8,7-11

Pb: 32-35

Sb: 2-2,2

Cu: 0,3-0,4

Zn: 0,1-0,12



Conclusion

Fitoestabilização de áreas degradadas - Suelos contaminados

- ✓ Com ou sem aplicação de enmiendas/correctivos
- ✓ Espécies de plantas espontâneas/endêmicas ou mesmo cultivadas
 - Adaptadas aos ambientes extremos
 - Tolerantes aos elementos potencialmente tóxicos (metais e metalóides)
 - Não acumuladoras de elementos químicos tóxicos para o biota

As plantas podem ajudar a "curar" el Suelo

- ✓ Recuperando os ecossistemas
- ✓ Aumentando a biodiversidade
- ✓ Reduzindo/impedindo a erosão do solo
- ✓ Aumentando a matéria orgânica e nutrientes no solo
- ✓ Reduzindo a disponibilidade dos elementos químicos potencialmente tóxicos
- ✓ Contribuindo para o sequestro de carbono
- ✓ Contribuindo para a recuperação da qualidade da paisagem

2015

International
Year of Soils



CICLO DE CONFERENCIAS, UNIVERSIDAD DE GRANADA
DEPARTAMENTO DE EDAFOLOGÍA Y QUÍMICA AGRÍCOLA

Granada, 9 Marzo 2015