

# Comparação de correctivos aplicados a um solo de uma área mineira contaminado com arsénio e seu efeito no crescimento de plantas

## Comparison of amendments applied to an arsenic contaminated soil from a mining area and their effect on plant growth

A.C. Madeira<sup>1</sup>, C. Esteves<sup>1</sup>, M.M. Abreu<sup>1</sup>,  
A. de Varennes<sup>2</sup> & M.C.F. Magalhães<sup>3</sup>

### RESUMO

Estudou-se o efeito de correctivos (óxido de ferro, Fe; matéria orgânica, MO; fosfato de cálcio, PCa), aplicados a um solo da área mineira de Penedono contaminado com As, no crescimento de tomateiro e salsa. Usaram-se, como controlos, este solo sem correctivos e um solo não contaminado. Durante o crescimento mediu-se a altura das plantas, comprimento foliar e teor relativo de clorofila. Na colheita final determinaram-se os pesos frescos e secos.

Os correctivos influenciaram a disponibilidade de As no solo, relativamente ao original: Fe manteve-a enquanto MO e PCa a aumentaram. Ambas as espécies foram afectadas pelo arsénio, porém a resposta aos tratamentos foi diferente. A altura, comprimento dos folíolos, teor de clorofila, peso seco e número de frutos dos tomateiros foi significativamente superior em MO do que em Fe e controlo. O correctivo MO apresentou resultados promissores relativamente ao crescimento e produtividade do tomateiro.

Contudo, o PCa (12 g kg<sup>-1</sup>) foi o melhor correctivo para o crescimento da salsa.

**Palavras-chave:** arsénio, correctivos, salsa, solo contaminado, tomateiro

### ABSTRACT

Three amendments (iron oxides, Fe; organic matter, MO; calcium phosphate, PCa) were applied to a naturally contaminated soil with arsenic and their effect on the growth of tomato plants and Italian parsley was studied. The results indicate differences associated with the availability of arsenic in the soil in the presence of amendments: Fe had no influence on arsenic availability compared with the unamended soil, while MO and PCa increased the availability of arsenic. Though both plant species have been affected by arsenic toxicity, the response to treatments relatively to plant growth was different. Tomato plants presented greater growth in terms of height,

---

<sup>1</sup> Dept. Ciências do Ambiente, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa (TULisbon), Tapada da Ajuda 1399-017 Lisboa ([acmadeira@isa.utl.pt](mailto:acmadeira@isa.utl.pt)) <sup>2</sup>Dept. Química Agrícola e Ambiental, Instituto Superior de Agronomia; <sup>3</sup>Dept. Química e CICECO, Universidade de Aveiro, 3810-193 Aveiro

leaf length, relative chlorophyll content, dry weight and fruit production when MO was used as amendment. By the contrary, the Italian parsley presented the best growth when PCa ( $12 \text{ g kg}^{-1}$ ) was added to the contaminated soil.

**Key-words:** amendments, arsenic, parsley, soil contamination, tomato

## INTRODUÇÃO

Como resultado da exploração mineira é frequente os solos, situados na área mineira e na sua envolvente, apresentarem teores relativamente elevados em metais pesados e metalóides que podem determinar a sua contaminação, bem como a das águas superficiais e subterrâneas. Esta contaminação pode alterar o crescimento e a produtividade das plantas e causar problemas de saúde pública. A transferência dos elementos químicos entre as várias fases constituintes do solo pode ser considerada o principal processo no controlo da mobilidade e disponibilidade dos mesmos para as plantas.

O arsénio interfere com o metabolismo das plantas inibindo o seu crescimento, embora estas possam apresentar diferentes graus de tolerância ao elemento. Algumas plantas apresentam vários sintomas podendo até morrer, pois o elemento actua negativamente sobre o seu normal desenvolvimento, enquanto outras dispõem de estratégias que lhes permitem adaptar-se às diferentes condições do meio (Meharg & Hartley-Whitaker, 2002; Hartley & Lepp, 2008). De acordo com Kabata-Pendias & Pendias (2001) e Mascher *et al.* (2002) a maioria das plantas tolera concentrações do metalóide no solo entre 1 a  $50 \text{ mg kg}^{-1}$ . Os sintomas mais comuns associados à fitotoxicidade do As são: menor taxa de germinação, redução no crescimento, coloração violácea, mur-

chidão das folhas, descoloração das raízes, e menor produção de frutos e grãos (Carbonell-Barrachina *et al.*, 1995; Kabata-Pendias & Pendias, 2001). O arsénio tende a concentrar-se maioritariamente nas raízes das plantas e nas folhas mais velhas (Kabata-Pendias & Pendias, 2001) encontrando-se em menores concentrações nas folhas mais novas e caules e em concentrações ainda mais baixas nas sementes e frutos (Hartley & Lepp, 2008). Carbonell-Barrachina *et al.* (1997) concluíram que consoante a espécie de planta a absorção, translocação e armazenamento de As será diferente, bem como a sua reacção à toxicidade do elemento.

A resposta das plantas está relacionada com a biodisponibilidade do elemento no solo e com a sua absorção e acumulação na planta (impedindo ou não a sua translocação das raízes para a parte aérea) que, por sua vez, condiciona a sua fitotoxicidade não só para as plantas como também para os seres vivos que delas se alimentam. Naturalmente, ou em resultado da adição de substâncias ao solo, a biodisponibilidade do As pode aumentar ou diminuir em função de vários processos que ocorrem no solo, como solubilização, precipitação ou adsorção (Carbonell-Barrachina *et al.*, 1997; Hartley & Lepp, 2008). O arsénio pode também influenciar a absorção de nutrientes, por interacção ou competição. O comportamento do As no solo é análogo ao do P pois ambos os elementos apresentam semelhanças químicas, por exemplo, os dois formam compostos insolúveis com o Al, Fe e Ca e competem pelos mesmos locais de adsorção (Adriano, 1986). Assim, a adição de adubos fosfatados ao solo pode intensificar a toxicidade do arsénio pois os iões fosfato substituem o arsénio nos locais de adsorção aumentando a sua concentração na solução do solo.

A incorporação de correctivos a um solo contaminado pode ser benéfica por modifi-

car o comportamento dos elementos contaminantes e assim condicionar a sua mobilização/imobilização, bem como a sua biodisponibilidade para as plantas (Hartley & Lepp, 2008). Desta forma, alguns correctivos, podem diminuir a toxicidade de um determinado contaminante permitindo a vegetalização de locais abandonados e degradados, tais como áreas mineiras desactivadas.

O objectivo do trabalho consiste na comparação de diferentes correctivos (óxido de ferro, matéria orgânica e fosfato de cálcio), aplicados a um solo naturalmente contaminado em arsénio da área mineira de Penedono, no crescimento de dois tipos de hortícolas, o tomateiro (*Lycopersicon esculentum* L.) e a salsa (*Petroselinum crispum* (Mill.) Nymen).

## MATERIAIS E MÉTODOS

O ensaio decorreu numa estufa de vidro, de 2 Outubro 2007 a 25 Fevereiro 2008, no Horto da Química Agrícola Boaventura de Azevedo (Instituto Superior de Agronomia). O ensaio foi realizado em vasos (diâmetro superior: 21 cm; altura: 18 cm), num solo contaminado colhido na envolvente da mina de Santo António, em Penedono (lat. 41° 01' N e long. 7° 24' W; a 60 km de Viseu), o qual tem sido usado para castanheiros em consociação com hortícolas e/ou forragem e cujo teor total em As era de 1170 mg kg<sup>-1</sup>. O solo apresenta as seguintes características: textura arenosa-franca; pH (H<sub>2</sub>O), 4,96; C orgânico (Tinsley, 1956), 17,03 g kg<sup>-1</sup>; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Egner-Riehm, 1960), 208,5 mg kg<sup>-1</sup>; K<sub>2</sub>O (Egner-Riehm, 1960), 210,5 mg kg<sup>-1</sup>; N mineral (Keeney & Nelson, 1982), 12,35 mg kg<sup>-1</sup>.

A este solo foram adicionados os seguintes correctivos: óxidos de ferro (goethite sintetizada, Schwertmann & Cornell, 1991) a 1 e 3 g kg<sup>-1</sup> (Fe<sub>1</sub> e Fe<sub>3</sub>); matéria orgânica compostada (35 g kg<sup>-1</sup>; MO); e fosfato de cálcio

(apatite sintetizada) a 4 e 12 g kg<sup>-1</sup> (PCa<sub>4</sub> e PCa<sub>12</sub>). A matéria orgânica adicionada ao solo de Penedono apresentava na sua constituição os seguintes elementos nas concentrações (mg kg<sup>-1</sup>) respectivas: Cu (37), Mn (127), Pb (62), Zn (144), Cr (21), As (36), P (7,25) e Fe (3,6). Como controlos usaram-se o solo contaminado sem correctivos (C<sub>PENEDONO</sub>) e um solo não contaminado (C<sub>PEGÕES</sub>), e de cada tratamento foram feitas cinco repetições.

As características do solo não contaminado de Pegões (com textura arenosa) são as seguintes: pH (H<sub>2</sub>O), 5,4; C orgânico, 5,8 g kg<sup>-1</sup>; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 48,0 mg kg<sup>-1</sup>; K<sub>2</sub>O, 50 mg kg<sup>-1</sup> e As total, 20,6 mg kg<sup>-1</sup>. Aplicou-se na preparação do solo de Pegões, em fundo, 50 mg N/kg de solo (nitrato de amónio), 50 mg P/kg de solo (dihidrogenofosfato de amónio), 50 mg K/kg de solo (sulfato de potássio), e 30 mg Mg/kg de solo (sulfato de magnésio).

Após a mistura dos correctivos o solo foi mantido em incubação durante um período de 17 meses na estufa, sem revolvimento do solo e com rega de modo a manter uma capacidade máxima de retenção de água de 70%. Determinaram-se então o pH, K e P assimiláveis, N mineral e a fracção disponível de As por extracção com cloreto de cálcio 0,01 M durante 6 horas e leitura por espectrofotometria de absorção atómica, com câmara de grafite (Quadro 1).

Ao fim do período de incubação a salsa foi semeada e transplantados os tomates. Foi aplicado um fertilizante azotado (50 mg N/kg solo), à superfície, ao solo de Penedono com tomates, 20 dias após o transplante (30 Outubro). As plantas foram regadas diariamente, para que cada vaso contivesse a mesma quantidade de água (70% da capacidade de retenção de água). Foi feito tratamento fitossanitário (34 dias após o transplante, DAT) para controlo de insectos com aplicação de Décil (25 g L<sup>-1</sup>).

**Quadro 1** - Principais características do solo de Penedono após a adição dos correctivos e respectiva incubação, relativas a uma amostra compósita de todos vasos para cada tratamento

Tratam.	pH	C <sub>ORGÂNICO</sub> g kg <sup>-1</sup>	N <sub>MINERAL</sub> -----mg kg <sup>-1</sup> -----	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	As DISPONÍVEL
Fe <sub>1</sub>	4,31	19,1	60,8	180,8	144,0	12,1
Fe <sub>3</sub>	4,18	18,9	94,3	195,7	161,0	8,7
MO	5,19	23,4	365,1	448,3	1560,0	20,7
PCa <sub>4</sub>	4,55	16,3	338,6	537,5	165,0	21,9
PCa <sub>12</sub>	4,80	15,9	668,7	2063,0	169,0	41,3
C <sub>PENEDONO</sub>	4,24	17,2	83,7	207,5	159,0	10,7

A sementeira dos tomateiros (var. híbrida Eley) foi feita em alvéolos com vermiculite, a 18 Setembro, tendo a vermiculite sido humedecida diariamente até o transplante. As plântulas de tomateiro foram transplantadas a 10 Outubro, quatro por vaso (com 3 kg solo de Penedono/vaso e 4,5 kg de solo de Pegões/vaso), com três semanas de idade. Posteriormente, a 28 DAT (7 Novembro), duas plantas/vaso foram cortadas, pesadas em fresco, lavadas e postas a secar em estufa (ventilação forçada) a 60 °C durante 48 horas e depois pesadas.

Durante o crescimento do tomateiro (semanalmente entre 30 e 90 DAT) foram feitas medições da altura das plantas, do comprimento do folíolo terminal da 4ª folha (ou folha 4) e do teor relativo de clorofila deste folíolo. O teor relativo de clorofila foi obtido através de um medidor portátil de clorofila, SPAD-502 (Minolta Corporation, Ramsey, NJ). As leituras foram feitas a 0,5 ou 1 cm da margem da folha, sendo o valor obtido a média de duas a seis leituras, de acordo com o tamanho da folha. Na colheita final (a 90, 112 e 138 DAT devido ao diferente estado de desenvolvimento das plantas) determinaram-se os pesos frescos e secos das partes aérea e radicular de todos os tratamentos, bem como os pesos frescos e secos de caules, folhas, flores e frutos e a sua contagem em MO, PCa<sub>4</sub>, PCa<sub>12</sub> e C<sub>PEGÕES</sub>.

As sementes de salsa (30 por vaso), da variedade de salsa comum de folha lisa, foram colocadas, em vasos com 1,5 kg solo/vaso, entre duas camadas finas de solo não contaminado (total de 200 mg de solo de Pegões) a 2 Outubro e a sementeira foi seguida de rega. Foi realizada uma adubação de superfície (50 mg N/kg solo) a 26 Outubro e aplicou-se uma solução de sulfato de zinco à salsa, em pulverização foliar (42 dias após a sementeira, DAS; 13 Novembro), para superar deficiências de zinco observadas nas folhas. Durante o crescimento mediu-se o teor relativo de clorofila das folhas (SPAD-502), cujo valor representa a média de duas leituras/folha, e a altura das plantas a 50 DAS. As plantas foram colhidas a 59 DAS (30 Novembro) e determinaram-se os pesos frescos e secos da parte aérea e radicular.

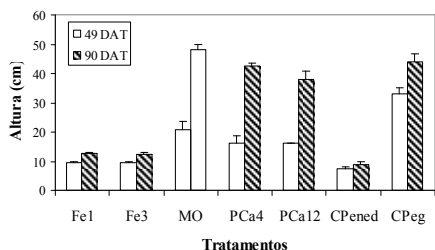
A análise estatística relativa a todos os dados obtidos foi realizada no programa STATISTICA 6.1. O nível de significância escolhido foi de  $P \leq 0,05$ .

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Efeitos no crescimento do Tomateiro

A 49 dias após o transplante (DAT), as plantas de C<sub>PEGÕES</sub> atingiram 33,1 cm de

altura, enquanto as de C<sub>PENEDONO</sub> não ultrapassavam os 7,4 cm (Figura 1). No entanto, a 90 DAT, a maior altura (48,0 cm) foi atingida em solos com MO; o crescimento foi inibido em C<sub>PENEDONO</sub> (8,8 cm) e os óxidos de ferro (Fe<sub>1</sub> e Fe<sub>3</sub>) não contribuíram para aumentar significativamente a altura dos tomateiros (≈12,5 cm).

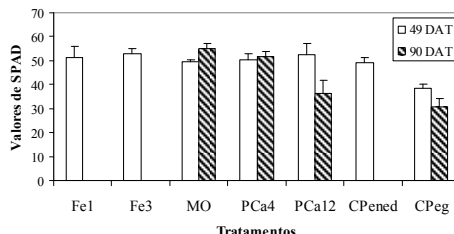
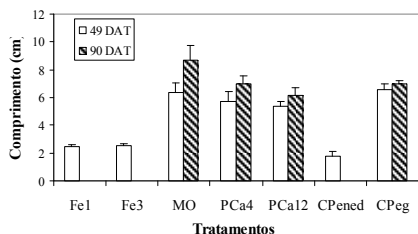


**Figura 1** - Altura média dos tomateiros nos tratamentos Fe<sub>1</sub>, Fe<sub>3</sub> e C<sub>PENEDONO</sub>, a 49 e 90 DAT. As barras representam o desvio padrão (n=10).

Miteva (2002) verificou que, para concentrações até 25 mg As kg<sup>-1</sup> de solo, ocorria um aumento de altura dos caules de tomateiro, enquanto concentrações entre 50 a 100 mg As kg<sup>-1</sup> solo produziam o efeito oposto. Já Carbonnel-Barrachina *et al.*, em 1995, sugeriram que a cultura do tomate parecia ser beneficiada por baixas concentrações de As no solo, podendo o metalóide funcionar como um estimulante ao crescimento. Mascher *et al.* (2002) concluíram também que

baixas concentrações de As no solo podem funcionar como fertilizante levando agora ao aumento do desenvolvimento de trevos. Com o presente estudo foi igualmente possível verificar que o teor em arsênio disponível no solo pode não influenciar negativamente o crescimento dos tomateiros. Os dados obtidos revelam que, para disponibilidades do metalóide no solo de 20,7 (MO), 21,9 (PCA<sub>4</sub>) e 41,3 mg kg<sup>-1</sup> (PCA<sub>12</sub>), os tomateiros atingiram maiores alturas do que para concentrações inferiores observadas em Fe<sub>1</sub>, Fe<sub>3</sub> e C<sub>PENEDONO</sub> (Quadro 1).

Um comportamento semelhante foi obtido para a evolução do comprimento do folíolo terminal da folha 4, a 49 e 90 DAT (Figura 2). As folhas dos tratamentos Fe<sub>1</sub> e Fe<sub>3</sub> e de C<sub>PENEDONO</sub> foram significativamente mais pequenas, apesar de menor teor de As nos solos, e apresentavam cor arroxeada e espessamento. Tal significa que a toxicidade do As parece ser um processo que é influenciado não só pelo teor de As disponível no solo, como por outros factores que poderão incluir o pH e a presença de outros elementos na solução do solo. Relativamente ao teor relativo de clorofila da folha 4, C<sub>PEGÔES</sub> registou os menores valores ao longo do ensaio (38,6 e 34,4 a 49 e 90 DAT, respectivamente), enquanto que todos os outros tratamentos apresentaram teores semelhantes entre si mas superiores (>50) a C<sub>PEGÔES</sub> (Figura 2).



**Figura 2** - Comprimento e teores relativos de clorofila (SPAD) do folíolo terminal da 4ª folha em todos os tratamentos a 49 DAT, e para os tratamentos MO, PCA<sub>4</sub>, PCA<sub>12</sub> e C<sub>PEGÔES</sub> a 90 DAT. As barras representam o desvio padrão (n=10).

As diferenças entre tratamentos foram apoiadas pelos pesos secos obtidos aquando da colheita parcial de tomateiro (28 DAT; Quadro 2). A parte aérea das plantas de C<sub>PEGÔES</sub> tinha um peso seco de 1,209 g, muito superior aos 0,108 g do tratamento de

**Quadro 2** - Pesos frescos (PF) e secos (PS) da parte aérea de tomateiros à colheita parcial (a 28 DAT) (n=10)

Tratamento	Parte Aérea (g/planta)	
	PF	PS
Fe <sub>1</sub>	0,200 <sup>b</sup> (0,050)	0,029 <sup>b</sup> (0,010)
Fe <sub>3</sub>	0,270 <sup>b</sup> (0,045)	0,037 <sup>b</sup> (0,006)
MO	0,990 <sup>b</sup> (0,282)	0,108 <sup>b</sup> (0,027)
PCa <sub>4</sub>	0,460 <sup>b</sup> (0,152)	0,063 <sup>b</sup> (0,014)
C <sub>PENEDONO</sub>	0,130 <sup>b</sup> (0,057)	0,028 <sup>b</sup> (0,007)
C <sub>PEGÔES</sub>	9,740 <sup>a</sup> (1,313)	1,209 <sup>a</sup> (0,182)

Na coluna, médias seguidas de letras diferentes correspondem a valores estatisticamente diferentes ( $P < 0,05$ , Teste de Tukey). Desvio-padrão entre parêntesis.

MO que registava os melhores resultados em solo contaminado. No entanto, estatisticamente, os tratamentos em solo contaminado são considerados semelhantes quanto a este parâmetro. Devido à perda dos tomateiros transplantados em três dos cinco vasos do tratamento PCa<sub>12</sub> não foi efectuada

colheita parcial neste tratamento.

O início da floração foi variável, tendo ocorrido no solo de Pegôes cerca de 43 DAT (21 Novembro). Houve um atraso de duas a três semanas no aparecimento dos primeiros botões florais nos tratamentos à base de matéria orgânica e fosfato de cálcio (63 DAT, 11 Dezembro). Não houve floração em Fe<sub>1</sub>, Fe<sub>3</sub> e C<sub>PENEDONO</sub>. De igual forma, o início da frutificação verificou-se a 65 DAT (14 Dezembro) em C<sub>PEGÔES</sub>, e somente a 90 DAT (8 Janeiro 2008) em MO, PCa<sub>4</sub> e PCa<sub>12</sub>.

Na colheita final, a matéria seca total (Quadro 3, PA+PR) dos tomateiros foi mais elevada no tratamento MO (18,59 g/planta) e os valores mais baixos foram obtidos em Fe<sub>1</sub> e Fe<sub>3</sub> (0,30 g/planta) e C<sub>PENEDONO</sub> (0,18 g/planta). O comportamento do fosfato de cálcio foi intermédio e estatisticamente diferente: 7,74 e 6,75 g/planta para PCa<sub>4</sub> e PCa<sub>12</sub>, respectivamente. Uma relação semelhante entre tratamentos foi obtida para a parte radicular.

A razão PR/PA (Quadro 3) mostra as diferenças no crescimento das plantas de acordo com os tratamentos realizados. Assim, C<sub>PENEDONO</sub> apresentou um crescimento aéreo e radicular semelhante e os tratamentos com óxidos de ferro, iguais

**Quadro 3** - Pesos frescos (PF) e secos (PS) da parte aérea e radicular e razão raiz/parte aérea (relativamente ao peso seco) de tomateiros à colheita final (a 90, 112 e 138 DAT) (n=10)

Tratamento	Parte Aérea (g/planta)		Parte Radicular (g/planta)		PR/PA
	PF	PS	PF	PS	
Fe <sub>1</sub>	0,90 <sup>c</sup> (0,23)	0,18 <sup>c</sup> (0,02)	1,26 <sup>d</sup> (0,21)	0,12 <sup>c</sup> (0,02)	0,67 <sup>b</sup>
Fe <sub>3</sub>	0,94 <sup>c</sup> (0,12)	0,17 <sup>c</sup> (0,01)	1,35 <sup>d</sup> (0,22)	0,13 <sup>c</sup> (0,02)	0,76 <sup>b</sup>
MO	82,60 <sup>a</sup> (19,47)	14,8 <sup>a</sup> (3,75)	31,03 <sup>a</sup> (7,67)	3,79 <sup>a</sup> (1,05)	0,26 <sup>a</sup>
PCa <sub>4</sub>	29,14 <sup>b</sup> (2,88)	6,17 <sup>b</sup> (0,25)	13,34 <sup>b</sup> (1,96)	1,57 <sup>b</sup> (0,18)	0,26 <sup>a</sup>
PCa <sub>12</sub>	35,40 <sup>b</sup> (6,51)	5,92 <sup>b</sup> (0,46)	5,83 <sup>cd</sup> (1,71)	0,83 <sup>bc</sup> (0,25)	0,14 <sup>a</sup>
C <sub>PENEDONO</sub>	0,51 <sup>c</sup> (0,13)	0,09 <sup>c</sup> (0,02)	0,77 <sup>d</sup> (0,24)	0,09 <sup>c</sup> (0,02)	1,02 <sup>c</sup>
C <sub>PEGÔES</sub>	41,99 <sup>b</sup> (11,29)	6,12 <sup>b</sup> (1,18)	9,32 <sup>bc</sup> (0,99)	1,47 <sup>b</sup> (0,21)	0,25 <sup>a</sup>

Na coluna, médias seguidas de letras diferentes correspondem a valores estatisticamente diferentes ( $P < 0,05$ , Teste de Tukey). Desvio-padrão entre parêntesis.

entre si, também não apresentaram um desenvolvimento de PA muito superior a PR. Segundo Mascher *et al.* (2002), uma razão PR/PA elevada significa que a PA das plantas começou a ser mais negativamente afectada do que a raiz e por isso, o seu crescimento diminuiu. Esta razão nos restantes tratamentos foi estatisticamente igual (cerca de 0,23), mostrando que PA se desenvolveu mais do que PR.

O número de frutos por planta foi também estatisticamente superior no tratamento MO (18,30 ± 3,6) relativamente aos tratamentos com fosfato de cálcio (0,50 ± 0,5) e com solo não contaminado (2,90 ± 0,5). A baixa frutificação no solo de Pegões parece ter sido devida a deficiências nutritivas deste solo que se manifestaram nesta fase fenológica.

Comparativamente com o solo original contaminado com arsénio (C<sub>PENEDONO</sub>), constatou-se que MO foi o melhor correctivo no crescimento e produção dos tomateiros (Quadros 3 e 4). Ambos os níveis de fosfatos (PCa<sub>4</sub> e PCa<sub>12</sub>) apresentaram resultados semelhantes ao solo não contaminado (C<sub>PEGÕES</sub>), particularmente em relação aos pesos secos. Quanto aos óxidos de ferro,

estes não induziram melhorias significativas comparativamente ao solo de Penedono mostrando-se estatisticamente iguais na maioria dos parâmetros.

De acordo com Miteva *et al.* (2005) e Akhter *et al.* (2006), o efeito tóxico mais evidente causado pelo As no tomateiro refere-se ao seu crescimento, que será tanto menor, quanto maior a concentração de arsénio no meio. No presente trabalho, os correctivos MO e PCa<sub>4</sub> ao induzirem o aumento da disponibilidade de As para o dobro (20,7 e 21,9 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente), relativamente ao solo original, mostraram que a resposta das plantas não dependeu apenas do nível de As disponível no solo, por comparação com concentrações mais altas do elemento (PCa<sub>12</sub>) ou mais baixas (Fe<sub>1</sub> e Fe<sub>3</sub>).

Trustoš *et al.* (2006) observaram que existe uma maior acumulação de As nas raízes, com tendência a diminuir nas folhas e caule, ocorrendo os valores mais baixos nos frutos. Desta forma é de prever que, embora a formação de biomassa de toda a planta seja diminuída, as raízes sejam as mais afectadas com redução de peso e comprimento, como constatado por Miteva *et al.* (2005) e no

**Quadro 4** - Pesos frescos e secos da parte aérea (caules, folhas, flores e frutos) de tomateiros, à colheita final (a 112 e 138 DAT)

Trat.	Peso Fresco (g/planta)				Peso Seco (g/planta)			
	Caule	Folhas	Flores	Frutos	Caule	Folhas	Flores	Frutos
MO	12,49 <sup>a</sup>	32,13 <sup>a</sup>	2,81 <sup>a</sup>	35,17 <sup>a</sup>	3,06 <sup>a</sup>	5,67 <sup>a</sup>	0,62 <sup>a</sup>	5,46 <sup>a</sup>
	(3,27)	(11,08)	(0,92)	(7,27)	(0,81)	(1,71)	(0,15)	(1,19)
PCa <sub>4</sub>	8,50 <sup>b</sup>	17,50 <sup>b</sup>	2,64 <sup>a</sup>	0,50 <sup>c</sup>	1,98 <sup>b</sup>	3,60 <sup>b</sup>	0,51 <sup>b</sup>	0,08 <sup>c</sup>
	(0,84)	(3,43)	(0,20)	(0,49)	(0,11)	(0,23)	(0,05)	(0,09)
PCa <sub>12</sub>	5,85 <sup>b</sup>	20,40 <sup>b</sup>	1,80 <sup>ab</sup>	7,35 <sup>bc</sup>	1,14 <sup>c</sup>	3,48 <sup>b</sup>	0,34 <sup>b</sup>	0,97 <sup>bc</sup>
	(0,14)	(1,91)	(0,31)	(8,87)	(0,10)	(0,49)	(0,06)	(1,11)
C <sub>PEGÕES</sub>	8,13 <sup>b</sup>	14,61 <sup>b</sup>	1,25 <sup>b</sup>	18,0 <sup>b</sup>	1,62 <sup>bc</sup>	2,47 <sup>b</sup>	0,24 <sup>b</sup>	1,79 <sup>b</sup>
	(1,48)	(5,06)	(0,61)	(9,33)	(0,30)	(0,36)	(0,10)	(0,88)

Na coluna, médias seguidas de letras diferentes correspondem a valores estatisticamente diferentes ( $P < 0,05$ , Teste de Tukey). Desvio-padrão entre parêntesis.

**Quadro 5** - Pesos frescos (PF) e secos (PS) da parte aérea e da parte radicular de salsa à colheita final (59 DAS) (n=50)

Tratamento	Parte Aérea (mg/planta)		Raiz (mg/planta)		PR/PA
	PF	PS	PF	PS	
Fe <sub>1</sub>	16,0 <sup>c</sup> (1,0)	3,0 <sup>c</sup> (0,4)	19,1 <sup>c</sup> (3,3)	1,6 <sup>c</sup> (0,3)	0,54 <sup>a</sup>
Fe <sub>3</sub>	17,0 <sup>c</sup> (2,0)	3,3 <sup>c</sup> (0,2)	25,0 <sup>c</sup> (2,8)	2,1 <sup>c</sup> (0,2)	0,65 <sup>a</sup>
MO	30,0 <sup>c</sup> (2,0)	4,7 <sup>c</sup> (0,5)	21,4 <sup>c</sup> (5,7)	2,1 <sup>c</sup> (4,0)	0,43 <sup>a</sup>
PCa <sub>4</sub>	32,0 <sup>c</sup> (4,0)	6,1 <sup>c</sup> (8,0)	34,8 <sup>c</sup> (6,0)	2,6 <sup>c</sup> (0,5)	0,43 <sup>a</sup>
PCa <sub>12</sub>	802,0 <sup>b</sup> (288,0)	113,7 <sup>b</sup> (36,0)	959,0 <sup>b</sup> (402,0)	51,1 <sup>b</sup> (27,0)	0,45 <sup>a</sup>
C <sub>PENEDONO</sub>	18,0 <sup>c</sup> (3,0)	3,5 <sup>c</sup> (0,6)	27,6 <sup>c</sup> (10,2)	1,8 <sup>c</sup> (0,3)	0,53 <sup>a</sup>
C <sub>PEGÕES</sub>	1317,0 <sup>a</sup> (510,0)	193,2 <sup>a</sup> (42,1)	2042,0 <sup>a</sup> (443,0)	91,1 <sup>a</sup> (18,7)	0,47 <sup>a</sup>

Na coluna, médias seguidas de letras diferentes correspondem a valores estatisticamente diferentes ( $P < 0,05$ , Teste de Tukey). Desvio-padrão entre parêntesis.

presente trabalho. Com raízes mais pequenas também a parte aérea acaba por ter um menor desenvolvimento e crescimento, tornando-se assim mais frágil.

O crescimento das plantas de tomateiro pode ter sido também condicionado pelas condições meteorológicas verificadas durante o período do ensaio. Embora o local onde decorreu o ensaio tenha um ambiente controlado não foi possível, contudo, reproduzir as condições óptimas exigidas ao crescimento da cultura, o qual pode ser afectado quando a temperatura diurna é inferior a 18 °C e a nocturna inferior a 10 °C (FAO, 2001;

[http://www.fao.org/nr/water/cropinfo\\_tomato.html](http://www.fao.org/nr/water/cropinfo_tomato.html), 5/6/2008). Nos meses de Dezembro e Janeiro verificaram-se estas condições, o que pode ter levado a uma mais rápida perda de vitalidade das plantas, além da possível deficiente nutrição das plantas como no caso dos tomateiros de C<sub>PEGÕES</sub>.

### Efeitos no crescimento da Salsa

Devido ao pequeno tamanho das plantas e dimensões das folhas, só foi possível determinar correctamente a altura e o teor relativo de clorofila nos tratamentos PCa<sub>12</sub> e C<sub>PE-</sub>

GÕES; a altura das plantas dos outros tratamentos não ultrapassou os 1 a 2 cm. As plantas em C<sub>PEGÕES</sub> mostraram um crescimento ligeiramente superior às do solo tratado com PCa<sub>12</sub>: a altura foi de 9,8 (±1,1) e 6,5 (±1,5) cm, respectivamente. Os valores do teor relativo de clorofila medidos pelo SPAD sugerem um ligeiro aumento em C<sub>PEGÕES</sub> (36,6±1,5) relativamente a PCa<sub>12</sub> (31,5±1,6) entre 38 e 57 DAS.

Analisando a matéria seca verificou-se que, em todos os tratamentos, a PA da salsa encontrava-se mais desenvolvida do que a PR (sendo o valor desta cerca de metade do valor de PA) (Quadro 5). Isto significa que a presença de As estaria a condicionar mais fortemente o desenvolvimento das raízes do que da parte aérea da salsa, tal como se verifica na maioria das espécies (Kabata-Pendias & Pendias, 2001).

Os maiores pesos secos foram obtidos em C<sub>PEGÕES</sub>, sendo cerca de 1,7 vezes superiores aos de PCa<sub>12</sub>. A matéria seca total (PA e PR) para estes tratamentos foi de 284 e 165 mg/planta, respectivamente; contudo, as plantas de PCa<sub>12</sub> apresentavam visualmente um aspecto semelhante às de C<sub>PEGÕES</sub>. Os restantes tratamentos apresentaram pesos secos muito mais baixos e semelhantes em



termos estatísticos. Assim, os correctivos influenciaram o crescimento da salsa de forma diferente da observada em tomateiros. Estes resultados apontam para que o fosfato de cálcio, a  $12 \text{ g kg}^{-1}$ , tenha sido o melhor correctivo para o crescimento da salsa neste solo, embora fosse o tratamento com uma maior concentração de As disponível no solo ( $41,3 \text{ mg kg}^{-1}$ ).

### CONCLUSÕES

O correctivo à base de fosfato de cálcio na concentração  $12 \text{ g kg}^{-1}$  foi o que apresentou melhores resultados relativamente ao crescimento da salsa, enquanto a matéria orgânica foi, dos correctivos testados neste solo contaminado naturalmente com As, o que apresentou melhores resultados relativamente ao crescimento e produtividade das plantas de tomateiro. O óxido de ferro comportou-se como o pior correctivo, já que o crescimento de ambas as plantas foi semelhante às do solo contaminado sem correctivo (C<sub>PENEDONO</sub>).

### AGRADECIMENTOS

O trabalho foi financiado pelo Projecto PPTDC/AMB/57586/2004, da Fundação para a Ciência e Tecnologia.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adriano, D.C. 1986. Trace elements in the terrestrial environment. Springer Verlag, New York, USA.
- Akhter, F., Uddin, M.S., Balasubramanian, R., Mridha, A.U. & Tenuta, M. 2006. Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) Reduce Arsenic Uptake of Tomato (*Lycopersicon esculentum*) in Contaminated Soil. [http://www.umanitoba.ca/afs/agronomists\\_conf/proceedings/2006/akhter\\_arbuscular\\_mycorrhizal.pdf](http://www.umanitoba.ca/afs/agronomists_conf/proceedings/2006/akhter_arbuscular_mycorrhizal.pdf) (Acedido a 29/6/07).
- Burló, F., Guijarro, I., Carbonell-Barrachina, A.A., Valero, D. & Sánchez, F.M. 1999. Arsenic Species: Effects on and Accumulation by Tomato Plants. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 47: 1247-1253.
- Carbonell-Barrachina, A.A., Burló, F. & Mataix-Beneyto, J. 1995. Arsenic uptake, distribution, and accumulation in tomato plants: effect of arsenite on plant growth and yield. *Journal of Plant Nutrition*, 18: 1237-1250.
- Carbonell-Barrachina, A.A., Burló, F., Burgos-Hernández, A., López, E. & Mataix, J. 1997. The influence of arsenite concentration on arsenic accumulation in tomato and bean plants. *Scientia Horticulturae*, 71: 167-176.
- Egnér, H., Riehm, H. & Domingo, W.R., 1960. Untersuchungen über die chemische Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoffzustandes der Böden. II. Chemische Extraktionsmethoden zur Phosphor und Kaliumbestimmung. *Kungliga Lanbrukshögskolans Annaler* 26: 199-215.
- Hartley, W. & Lepp, N.W. 2008. Remediation of arsenic contaminated soils by iron-oxide application, evaluated in terms of plant productivity, arsenic and phytotoxic metal uptake. *Science of the Total Environment*, 390: 35-44.
- Kabata-Pendias, A. & Pendias, H. 2001. Trace elements in soils and plants. CRC Press, Boca Raton, USA. 3<sup>a</sup> ed.
- Keeney, D. R & Nelson, D. W. 1982. Nitrogen-inorganic forms. In A. Page, R. Miller, & D. R. Keeney (eds). *Methods of Soils Analysis*, 2<sup>a</sup> ed. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA.

- Mascher, R., Lippmann, B., Holzinger, S. & Bergmann, H. 2002. Arsenate toxicity: effects on oxidative stress response molecules and enzymes in red clover plants. *Plant Science*, 163: 961-969.
- Meharg, A. A. & Hartley-Whitaker, J. 2002. Arsenic uptake and metabolism in arsenic resistant and nonresistant plant species. *New Phytologist*, 154: 29-43.
- Miteva, E. 2002. Accumulation and effect of arsenic on tomatoes. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 33: 1917-1926.
- Miteva, E., Hristova, D., Nenova, V. & Maneva, S. 2005. Arsenic as a factor affecting virus infection in tomato plants: changes in plant growth, peroxidase activity and chloroplast pigments. *Scientia Horticulturae*, 105: 343-358.
- Schwertmann, U. & Cornell, R.M. 1991. *Iron oxides in the laboratory*. VCH Publishers, New York, USA.
- Tinsley, J. 1956. The extraction of organic matter from soils with formic acid. *Transaction 6<sup>th</sup> International Soil Science*, Paris, 541-546 pp.
- Tlustoš, P., Száková, J., Pavlíková, D. & Balík, J. 2006. The response of tomato (*Lycopersicon esculentum*) to different concentrations of inorganic and organic compounds of arsenic. *Biologia*, 61: 91-96.