

Comparação entre dois correctivos orgânicos quanto à disponibilidade do fósforo para o azevém

Comparison between two organic amendments on phosphorus availability for ryegrass

M. G. Serrão¹, F. Pedra² & H. Domingues¹

RESUMO

A incorporação ao solo de compostos de resíduos sólidos urbanos (RSU) e de lamas residuais urbanas (LRU), com fósforo (P) em formas orgânicas e inorgânicas, pode influenciar a dinâmica do elemento no solo, com reflexos na nutrição das culturas.

Neste trabalho, avaliam-se os efeitos da aplicação de um composto de RSU e de uma LRU com tratamento secundário na absorção de P de uma planta indicadora e no teor de P “assimilável” do solo, determinado pelo método de Egnér-Riehm (P Riehm).

O estudo incidiu sobre amostras provenientes de um ensaio em vasos com múltiplos objectivos. O ensaio teve duas séries, uma das quais foi cultivada com azevém anual (*Lolium multiflorum*) durante cerca de sete meses, e a outra foi mantida sem planta durante o mesmo período. Compararam-se as modalidades de cada série, em triplicado, referentes às combinações de dois solos com 4 níveis (equivalentes a 0, 15, 30 e 60 t/ha) de aplicação do composto de RSU e de LRU. Utilizaram-se amostras

superficiais de um Podzol Háptico (PZha) e de um Vertissolo Cálcico (VRcc), com teores baixos de P Riehm. Na série com planta, efectuou-se uma adubação basal que incluiu P, no início do ensaio. Após a última colheita da parte aérea do azevém, determinaram-se os valores de absorção total de P, avaliada em seis cortes, e os teores de P Riehm. Para comparar os solos quanto à capacidade inicial de retenção de P, efectuou-se a determinação do índice de “ponto único” de Bache & Williams (1971).

Foi no solo VRcc e com 60 t/ha de LRU que ocorreu a mais elevada absorção total de P (378 mg/vaso) pela parte aérea do azevém ($P \leq 0,001$). Neste solo, a absorção total de P aumentou com a aplicação de ambos os resíduos, exceptuando-se a de 15 t/ha de composto de RSU. Contudo, o teor de P Riehm só teve acréscimos com a aplicação de 60 t/ha de LRU, na série sem planta, e com 60 t/ha de RSU, na série com azevém. De forma diversa, no solo PZha, apenas se registaram valores de absorção total de P superiores ao da testemunha com 60 t/ha de ambos os correctivos, similares ($P \leq 0,001$), o que está de acordo com os

¹ Estação Agronómica Nacional, Departamento de Ciência do Solo, Quinta do Marquês, 2784-505 Oeiras, e-mail: gserrao@netcabo.pt; ²Laboratório Químico Agrícola Rebelo da Silva, Tapada da Ajuda, Apartado 3228, 1301-903 Lisboa, e-mail: lqars.qualidade@mail.telepac.pt

muito maiores valores de P Riehm, face à testemunha, registados em ambas as séries (sem e com planta), com o mesmo nível dos correctivos.

Inferese que a aplicação do maior nível de LRU foi similar ou superior à de igual nível de composto de RSU no aumento de disponibilidade do P nestes solos, em parte pelo seu maior teor de P total. Outros estudos específicos de P, nomeadamente os que incluíam a evolução do pH e da capacidade de retenção de P com a aplicação dos resíduos, poderão vir a esclarecer melhor as diferenças de comportamento dos solos.

ABSTRACT

Municipal solid waste compost (MSW) and urban sewage sludge (SS) applied to soils, containing phosphorus (P) in organic and inorganic forms, can affect the element dynamics in soil, with subsequent reflexes on plant nutrition.

This work aimed to evaluate the effects of the application of a MSW and a biologically treated SS on P uptake by a test plant and soil "available" P concentration as determined by the Egnér-Riehm method (Riehm-P).

The study fell upon soil and plant samples deriving from a pot trial with multiple aims. It had two pot series, one maintained with annual ryegrass (*Lolium multiflorum*) during approximately seven months, and the other one without plants until the end of the same period. The treatments of each series, in triplicate, referring to the combinations of two soils and four MSW and SS rates (equivalent to 0, 15, 30, and 60 t/ha) were compared. Topsoil samples of a Haplic Podzol (PZha) and of a Calcic Vertisol (VRcc), with low Riehm-P concentrations, were used. A basal fertilisation including P was applied at the beginning

of the trial, in the series cropped with annual ryegrass. Total P uptake, evaluated in six harvests of the aboveground biomass, and soil Riehm-P contents at the last harvest were determined. A single P sorption index (Bache & Williams, 1971) was also determined to compare the initial soils P sorption capacity.

The highest total P uptake value (378 mg/pot) was achieved in the VRcc soil at the 60 t/ha SS rate ($P \leq 0.001$). In this soil, total P uptake increased with the MSW and SS application, with the exception of the 15 t/ha MSW rate. However, soil Riehm-P concentration only raised at the 60 t/ha SS rate, in the series without plant test, and at the 60 t/ha MSW rate, in the series with annual ryegrass. Differently, in the PZha soil, total P uptake values were not higher than the control but at the highest MSW and SS rate, where they did not differ ($P \leq 0.001$). This agreed to the much higher positive effect of the same MSW and SS rate on soil Riehm-P concentration, in both series.

The highest SS rate was as or more efficient than the same MSW rate in increasing P availability in these soils, in part due to its higher total P content. Other specific soil P studies will help to clarify the different soil behaviour, namely the soil pH evolution and P sorption capacity variation as influenced by the residue application.

INTRODUÇÃO

Com o objectivo de elevar o nível de matéria orgânica (MO) dos solos, podem aplicar-se vários tipos de correctivos orgânicos, entre os quais se incluem as lamas residuais urbanas desidratadas (LRU), provenientes do tratamento dos esgotos domésticos, e os compostos de resíduos sólidos urbanos (RSU).

Estes resíduos também veiculam nutrientes das plantas como o fósforo (P), cuja dinâmica no solo depende, sobretudo, das características dos solos e resíduos e das quantidades incorporadas, como é evidenciado na revisão bibliográfica de Sommers & Sutton (1980). Com efeito, os resíduos podem conter P inorgânico e libertar compostos orgânicos de P durante a decomposição no solo, susceptíveis de mineralização (Dalal, 1977). Por outro lado, também tem sido verificado que os correctivos orgânicos, em especial, se tiverem teores totais de P apreciáveis, podem reduzir a futura retenção de P no solo (Lyamuremye, Dick & Baham, 1996). Este decréscimo tem sido atribuído, com frequência, à complexação de Al e Fe solúvel, em solos ácidos, por aniões de ácidos orgânicos libertados pelo resíduo, à competição entre o ortofosfatião (H_2PO_4^-) e iões de ácidos orgânicos para os locais de adsorção de P e à libertação de P pelo material orgânico durante a decomposição (Mkhabela & Warman, 2005).

Entre os factores que condicionam a taxa de mineralização dos compostos orgânicos de P presentes nos resíduos orgânicos adicionados ao solo, incluem-se o teor de P desses resíduos, a maturidade do material adicionado, as quantidades aplicadas e o período adoptado para avaliação daquela taxa (Fuller *et al.*, 1956). Em relação ao teor de P total dos materiais, que tem sido considerado determinante para a existência de uma taxa de mineralização “efectiva” (resultante dos mecanismos de mineralização e imobilização), Singh & Jones (1976) indicaram o valor de 3 g P kg^{-1} na matéria seca como limite crítico abaixo do qual não ocorre contribuição dos resíduos para o teor de P disponível para as plantas.

O teor de P total dos resíduos de origem doméstica (LRU e composto de RSU) é bastante variável. Assim, alguns autores referiram, para as LRU, teores na matéria seca

que oscilam entre 11,4 e 34,5 g P kg^{-1} , com teor médio de 25,8 g P kg^{-1} P (Brito, 1986) e entre 7 e 19 g P kg^{-1} (Varenes, 2003). Para as LRU desidratadas inglesas, com tratamento, Smith (1986) indicou um teor médio de 3,9 g P kg^{-1} . Para os compostos de RSU, Varenes (2003) referiu o intervalo de variação de 3 a 6 g P kg^{-1} de matéria seca e Gonçalves (1999) afirmou que, no País, o teor total de P raramente excede 7 g kg^{-1} .

A ocorrência de P nas LRU tem sido atribuída, em especial, aos detergentes, ocupando as formas inorgânicas (iões fosfato e polifosfato) uma proporção apreciável, que pode atingir 70 a 90% do P total (Sommers *et al.*, 1976). Nos compostos de RSU, o P encontra-se basicamente na forma orgânica, embora possam ocorrer teores apreciáveis de P inorgânico, nomeadamente na forma de ortofosfatião (Gonçalves, 1999).

Nas duas últimas décadas, vários têm sido os estudos realizados no País para caracterizar as LRU e compostos de RSU e/ou examinar o valor agronómico deste tipo de resíduos, incluindo os efeitos que a sua aplicação induz em parâmetros físicos e químicos indicadores da fertilidade e/ou poluição dos solos. Grande parte dos trabalhos nacionais relativos às LRU encontra-se referida em Serrão *et al.* (2004a). Quanto aos compostos de RSU, salientam-se os de Ribeiro (1996), Gonçalves (1999), Gonçalves *et al.* (2004) e Brito (2005). Também têm sido comparados os dois tipos de resíduos (Fonte, 2004, Paiva e Pona, 2004, Pedra *et al.* 2004, Trindade, 2004). Todavia, têm sido escassos os estudos do efeito destes resíduos na disponibilidade do P para as plantas, avaliada pela absorção de P e/ou por um índice de P “assimilável” do solo, tanto em relação às LRU (Brito, 1986, Serrão *et al.*, 2001a; 2001b, Serrão *et al.*, 2002a; 2002b, Serrão *et al.*, 2004b), como ao composto de RSU (Gonçalves, 1999).

Este trabalho insere-se num estudo aprofundado sobre a influência destes tipos de resíduos na dinâmica do P no sistema solo-planta, em solos com teores reduzidos de P “assimilável”. Avaliam-se os efeitos da aplicação de um composto de resíduo sólido urbano (RSU) e de uma lama residual urbana (LRU) nos índices de disponibilidade do P representados pela absorção do elemento por uma planta indicadora e pelos teores de P do solo extraível pelo método de Egnér-Riehm.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo teve por base um ensaio em vasos que foi instalado em Dezembro de 2002 e conduzido durante cerca de sete meses, em abrigo. No ensaio, foram utilizadas amostras superficiais (0-20 cm) de um Podzol Háptico (PZha) e de um Vertissolo Cálcico (VRcc), de acordo com a classificação do ISSS-ISRIC-FAO (1998), que foram colhidas, respectivamente na região de Pegões e de Queluz.

O delineamento experimental e a descrição da técnica utilizada na instalação e condução do ensaio já foram referidos parcialmente (Pedra *et al.*, 2004). Em síntese, o ensaio foi delineado em blocos completamente casualizados. Para cada solo, foram preparadas duas séries de vasos, sendo uma mantida sem plantas, e a outra tendo azevém anual (*Lolium multiflorum*) como planta indicadora. Cada série, em triplicado, teve como tratamentos as combinações de dois solos com 4 níveis (equivalentes a 0, 15, 30 e 60 t/ha) de aplicação do composto de RSU proveniente da Estação de Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos de Setúbal (“Amarsul”) e da LRU com tratamento secundário anaeróbio da ETAR de Frielas. Na série com planta, antes da sementeira, foi efectuada uma adubação basal que

incluiu P (cerca de 655 mg/vaso, sob a forma de KH_2PO_4). A produção de matéria seca da parte aérea do azevém foi avaliada em seis cortes.

Calcularam-se os valores de absorção total de P pela parte aérea do azevém através do somatório das absorções de P em cada corte, as quais foram obtidas pelo produto dos valores de matéria seca produzida (g/vaso) e das respectivas concentrações de P total ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$) na matéria seca. Estas foram determinadas no Laboratório Químico Agrícola Rebelo da Silva (LQARS), por via húmida, com ácido nítrico concentrado, em digestor de microondas de vaso fechado e doseamento do P, nos extractos, por espectrofotometria de emissão de plasma (ICP-OES radial - simultâneo com detector óptico).

As amostras de terra obtidas após o último corte do azevém foram analisadas quanto aos teores de P “assimilável” pelo método de Egnér-Riehm, por extracção com solução de lactato de amónio 0,1 N e ácido acético 0,4 N e agitação de 2 h (Balbino, 1968) e doseamento do P no extracto, utilizando ácido ascórbico como agente redutor. Os valores de absorção total de P e os teores de P Riehm de cada série (42) foram sujeitos a análise de variância e ao teste de Duncan ($P \leq 0,05$), para comparação de médias. Para comparar os solos quanto à capacidade inicial de retenção de P, efectuou-se a determinação do índice de “ponto único” ($x/\log C$), de Bache & Williams (1971), descrita em Gonçalves (1985). Neste índice, x e C representam, respectivamente, a quantidade de P retido ($\text{mg } 100\text{g}^{-1}$), para uma adição de $1550 \text{ mg P } 100\text{g}^{-1}$ de solo, e C a concentração de equilíbrio correspondente, expressa em $\mu\text{mol P L}^{-1}$.

No Quadro 1, indicam-se algumas características seleccionadas das amostras de terra, no início do ensaio, e dos correctivos orgânicos, que foram determinadas pelos

QUADRO 1 - Algumas características dos solos (0-20 cm) e dos correctivos orgânicos

Característica	PZha	VRcc	LRU	Composto de RSU
Humidade (%)	-	-	10,0	10,9
Textura	Arenosa	Franco-argilosa	-	-
pH (H ₂ O)	5,1	7,4	6,9	7,3
C total (g kg ⁻¹)			265	231
MO (g kg ⁻¹)	6,5	8,5	465	399
N total (g kg ⁻¹)	0,4	1,2	23	16
C/N	17,0	8,8	11,5	14,4
CTC cmol _(c) kg ⁻¹	2,8	39,4	-	-
P total (g kg ⁻¹)	-	-	24,4	7,9
P Riehm (mg kg ⁻¹)	7	18	-	-
Índice de retenção de P (x/log C)	1,2	13,3	-	-
Retenção de P (%)	3	28	-	-

métodos em curso no LQARS, com excepção do índice x/log C.

Até à profundidade de 20 cm, a textura dos solos era arenosa no solo PZha e franco-argilosa no solo VRcc. A reacção era ácida (5,5 <pH <6,6) no solo PZha e neutra (6,6 <pH <7,5) no solo VRcc (Costa, 1979). Os teores de MO (<20 g kg⁻¹) eram baixos (Costa, 1979) e os de P “assimilável” (<21,8 mg kg⁻¹) também, face às necessidades nutricionais de várias culturas como os cereais de Inverno (Almeida & Balbino, 1960). A capacidade de troca catiónica do solo PZha (< 10 cmol_(c) kg⁻¹), muito inferior à do solo VRcc, estava inserida na classe mais baixa adoptada por Alves & Cardoso (1967). O índice de capacidade de retenção de P do solo VRcc era bastante superior ao do solo PZha, em relação estreita com os valores da % de retenção de P (28% e 3%, respectivamente, no solo VRcc e PZha).

A humidade dos resíduos era baixa, a reacção mostrou-se próxima da neutralidade e o teor de MO, embora apreciável, era inferior ao valor mínimo (500 g kg⁻¹) exigido pela Norma Portuguesa 1048-2 (1990) para serem classificados como

adubos orgânicos. A LRU não estava completamente estabilizada (C/N > 10), dado o teor de N total ser médio (2 a 5%) e a relação C/N se situar entre 10 e 14 (Brito, 1986). No composto de RSU, as características humidade (<45%), C orgânico (>175 g kg⁻¹), MO (>350 g kg⁻¹), N total (10 g kg⁻¹), C total/N total (<20) e P total (>0,31 g kg⁻¹) ajustaram-se aos da Classe de Qualidade Mínima Exigível da proposta de Gonçalves (1999) para o estabelecimento de um Norma portuguesa com especificações sobre o “compostado” de RSU destinado a utilização agrícola.

O valor (<20) da relação C total/N total do composto de RSU sugeriu que, em princípio, o grau de maturação seria adequado, pelo que o composto estaria suficientemente estabilizado quanto à competição pelo azoto, entre os microrganismos do solo e as plantas. A relação similar C total/P orgânico dos resíduos não foi determinada, por não ser considerada um índice rigoroso para prever a facilidade de mineralização, no solo, do P em formas orgânicas nestes resíduos (Dalal, 1979).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Absorção total de P

A análise de variância dos valores da absorção total de P pela parte aérea do azevém (Quadro 2), revelou efeitos médios altamente significativos do tratamento (tipo e nível de resíduo) e da interação dupla solo x tratamento ($P \leq 0,001$).

Os valores médios de absorção total de P pela parte aérea do azevém (Quadro 3) oscilaram entre 287 e 343 mg P/vaso, no solo PZha e entre 278 e 378 mg P/vaso, no solo VRcc, constatando-se que o mais elevado valor deste parâmetro (378 mg/vaso), no ensaio, ocorreu no solo VRcc e com 60 t/ha de LRU ($P \leq 0,05$).

Para os valores de absorção total de P pela parte aérea do azevém contribuíram os da produção total e do teor de P total médio dos seis cortes (não mostrados), cuja comparação só é apresentada, neste trabalho, em linhas gerais. A produção total no solo VRcc (entre 102 e 111 g/vaso) foi sistematicamente superior à do solo PZha (entre 72 e

91 g/vaso), para cada tratamento ($P \leq 0,05$), enquanto que o teor de P total médio (oscilando entre 0,38 e 0,42 g 100 g⁻¹, no solo PZha e entre 0,28 e 0,34 g 100 g⁻¹, no solo VRcc) teve o comportamento inverso, sendo sempre inferior no solo VRcc, provavelmente por efeito de diluição do elemento nos tecidos foliares.

O maior valor de absorção de P no ensaio, no solo VRcc e com 60 t/ha de LRU, pode ser explicado, principalmente, pela elevada produção total de matéria seca da parte aérea do azevém (109 g/vaso) com esta combinação de solo e tratamento. De facto, embora a produção não tenha sido estatisticamente diferente da registada na testemunha (102 g/vaso), foi similar à dos dois tratamentos (30 t/ha de LRU e de RSU) em que se verificaram produções (111 g/vaso) superiores às da testemunha. A adicionar a este facto, também foi com 60 t/ha de LRU que a concentração de P total média atingiu o maior valor (0,34 g 100 g⁻¹) neste solo.

No solo PZha, só ocorreram valores médios de absorção total de P significativamente superiores ao da testemunha com

QUADRO 2 - Síntese da análise de variância (Valores de F) dos valores de absorção total de P pela parte aérea do azevém e dos teores de P Riehm nas duas séries de vasos

Origem da variação	G.l.	Absorção total de P (mg/vaso)	P Riehm (mg kg ⁻¹)	
			Série sem planta	Série com planta
<u>Efeitos principais</u>				
A: Solo	1	3,46n.s.	21,12***	83,59***
B: Tratamento	6	21,12***	31,73***	23,21***
C: Repetição	2	0,86n.s.	1,48n.s.	0,24n.s.
<u>Interações</u>				
A x B	6	13,43***	7,55***	12,05***
A x C	2	1,16n.s.	1,20n.s.	0,57n.s.
B x C	12	1,16n.s.	1,34n.s.	0,74n.s.

G.l. – Graus de liberdade; *** $P \leq 0,001$; ** $P \leq 0,01$; * $P \leq 0,05$; n.s. não significativo

QUADRO 3 - Valores médios da absorção total de P (mg/vaso) nos dois solos e nos diferentes tratamentos de LRU e RSU, no final do ensaio

Tratamento	Solo PZha	Solo VRcc
0 t/ha	312def	278h
15 t/ha RSU	329bcd	294fgh
30 t/ha RSU	317cde	322bcde
60 t/ha RSU	343b	335bc
15 t/ha LRU	287gh	318cde
30 t/ha LRU	301efg	345b
60 t/ha LRU	335bc	378a

Em cada linha ou coluna, valores seguidos de igual letra não diferem significativamente ($P \leq 0,05$).

a aplicação do maior nível (60 t/ha) de LRU e de composto de RSU, que induziram acréscimos semelhantes entre si, de 23 e 31 mg/vaso, respectivamente. A maior absorção total de P nestes tratamentos deve atribuir-se, principalmente, aos respectivos valores de produção total de matéria seca do azevém (91 e 84 g/vaso, com 60 t/ha de composto de RSU e de LRU respectivamente) que não diferiram estatisticamente entre si, mas também foram os mais elevados face ao da testemunha (74,5 g/vaso), neste solo (Pedra *et al.*, 2004). A reforçar esta ilação, quando os correctivos foram aplicados neste solo, os teores de P no material foliar, na média dos seis cortes, foram estatisticamente inferiores ao registado na testemunha, verificando-se um efeito depressivo crescente com o aumento do nível de composto de RSU. A aplicação de 15 t/ha de composto de RSU, embora similar à testemunha, induziu uma absorção total de P mais elevada do que a de idêntico nível de LRU (acrécimo de 42 mg/vaso) e do que a de 30 t/ha de LRU (+ 28 mg/vaso), o que também pode ser explicado pelo maior valor de produção naquele tratamento.

De forma diferente, no solo VRcc, verificou-se uma clara tendência para acréscimos crescentes significativos da absorção

total de P com o aumento do nível de aplicação dos correctivos, o que foi sistemático com a LRU (Quadro 3). A absorção total de P foi superior à da testemunha com a aplicação dos vários níveis de correctivos, excepto com 15 t/ha de composto de RSU, sendo o maior acréscimo (100 mg/vaso) registado com 60 t/ha de LRU, como já foi referido. Com a aplicação de 15 t/ha de composto de RSU (de efeito idêntico ao da testemunha), a absorção total de P foi inferior em cerca de 24 mg/vaso à de 15 t/ha de LRU. O nível 30 t/ha de ambos os correctivos induziu uma absorção de grandeza estatística similar. Porém, com o nível 60 t/ha de composto de RSU, o aumento de absorção de P (57 mg/vaso), face à testemunha, foi inferior em 43 mg/vaso em relação ao incremento registado com 60 t/ha de LRU.

Teores de P Riehm

Para os teores de P Riehm no final do período experimental, registaram-se efeitos médios altamente significativos ($P \leq 0,001$) do solo, do tratamento e da interacção solo x tratamento (Quadro 2).

Na série sem planta (Quadro 4 e Figuras 1a e 1b), para além do maior nível de LRU no solo PZha, apenas as doses equivalentes

QUADRO 4 - Teores médios de P Riehm nos solos das duas unidades, no final do ensaio

Tratamento	Série sem planta (1)		Série com planta (2)		Solo PZha	Solo VRcc
	Solo PZha	Solo VRcc	Solo PZha	Solo VRcc	Diferença (2)-(1)	Diferença (2)-(1)
0 t/ha	8e	16de	24g	21g	16	5
15 t/ha RSU	21de	25de	46ef	37fg	25	12
30 t/ha RSU	43de	37de	55de	33fg	12	-4
60 t/ha RSU	105b	64bcd	88b	73c	-17	9
15 t/ha LRU	42de	35de	66cd	31fg	24	-4
30 t/ha LRU	102b	55cde	72c	47ef	-30	-8
60 t/ha LRU	235a	97bc	114a	27g	-121	-70

Na mesma série, em cada linha ou coluna, valores seguidos de igual letra não diferem significativamente ($P \leq 0,05$).

a 30 t/ha de LRU e 60 t/ha de RSU (semelhantes estatisticamente) neste solo e a 60 t/ha de LRU, no solo VRcc, induziram teores de P Riehm mais elevados do que a testemunha.

Os acréscimos no solo PZha, de 94 mg kg⁻¹, 227 mg kg⁻¹ e 97 mg kg⁻¹ com 30 t/ha de LRU, 60 t/ha de LRU e 60 t/ha de RSU, respectivamente, alteraram o teor de P Muito Baixo (<11 mg kg⁻¹) deste solo para um teor (>87 mg kg⁻¹) considerado Muito Alto (Almeida & Balbino, 1960). Também o teor do solo VRcc se tornou Muito Alto com a aplicação de 60 t/ha de LRU, devido ao acréscimo de cerca de 80 mg kg⁻¹.

Embora com menor teor inicial de P Riehm do que o solo VRcc, o solo PZha mostrou tendência para nele ocorrerem acréscimos mais elevados de P Riehm, na série sem planta, o que poderá ser, ao menos em parte, justificada pela muito menor capacidade de retenção de P deste solo (Quadro 1).

Na série com planta, que recebeu P inorgânico no início do ensaio, os teores de P Riehm (Quadro 4 e Figuras 1c e 1d) correspondem ao P inorgânico dito “assimilável” que permaneceu no solo após a remoção de P pela cultura. Em relação à teste-

munha em cada solo, o maior acréscimo de P Riehm (90 mg kg⁻¹), também foi observado no solo PZha, com 60 t/ha de LRU (Figura 1c). Neste solo, todos os tratamentos com aplicação de correctivo foram superiores à testemunha, verificando-se tendência para uma resposta crescente dos teores de P Riehm com o aumento progressivo do nível de resíduo, excepto no nível de 30 t/ha de LRU e de composto de RSU.

De modo diverso, no solo VRcc (Figura 1d), apenas se verificaram aumentos significativos de P Riehm residual com a aplicação de 30 t/ha de LRU e de 60 t/ha de composto de RSU, respectivamente, de 26 mg kg⁻¹ e 52 mg kg⁻¹.

Em ambos os solos, as diferenças entre os teores de P Riehm registados nas séries com e sem planta (Quadro 4) foram claramente negativas no tratamento com o maior nível de aplicação de LRU, em concordância com maiores valores de absorção de P nele registados.

Comparando a variação da absorção total de P pela parte aérea do azevém com os tratamentos com a alteração que ocorreu nos teores de P Riehm, constata-se que embora tenha sido no solo VRcc e com 60 t/ha de LRU que se tenha registado a mais

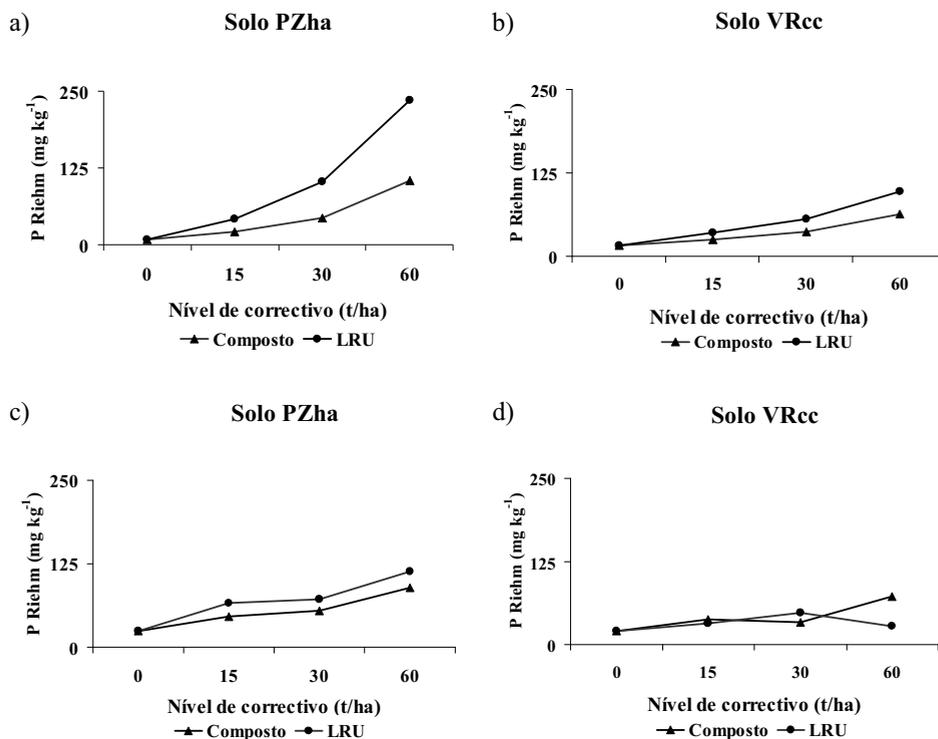


Figura 1 - Teores de P Riehm no final do ensaio: a) PZha, série sem planta; b) VRcc, série sem planta; c) PZha, série com planta; d) VRcc, série com planta

elevada absorção total de P (378 mg/vaso), o teor de P Riehm só cresceu com a aplicação de 60 t/ha de LRU, na série sem planta, e com 60 t/ha de RSU, na série com azevém. No entanto, neste solo, a absorção total de P aumentou com a aplicação de ambos os resíduos, com excepção do nível 15 t/ha de composto de RSU. Já no solo PZha, apenas se registaram valores de absorção total de P superiores ao da testemunha com 60 t/ha de ambos os correctivos, que foram similares, o que está de acordo com os muito maiores valores de P Riehm, face à testemunha, registados nos mesmos tratamentos, em ambas as séries (sem e com planta).

Tal como no solo VRcc, Brito (1986) observou tendência para acréscimo do P absorvido pela alfaca com a aplicação em doses crescentes da LRU da ETAR de Frielas em solos das Famílias Pmg, Vt e Cb, atribuindo este facto ao aumento de pH do solo e à incorporação nos solos de P inorgânico presente na LRU.

Também Serrão *et al.* (2001b) registaram incrementos significativos da absorção de P por uma consociação pratense semeada num Luvissole Háptico de Mértola cujo teor de P Riehm era baixo, com os níveis mais elevados (8 e 12 t/ha) de aplicação da LRU da ETAR de Évora, atingindo esses incrementos valores superiores ao obser-

vado com a adubação completa corrigida anualmente. Num ensaio de níveis deste resíduo, instalado no mesmo solo e local, com consociação pratense semeada, também ocorreram acréscimos significativos apreciáveis do teor de P Riehm no final do 1º e 2º anos após a aplicação da LRU da ETAR de Évora (12 e 24 t/ha), tendo-se registado, também, maiores produções (Serrão *et al.*, 2004a). A potencialidade apreciável de libertação de P inorgânico da LRU de Castelo Branco, em dois Luvisolos Dístricos, por comparação com a de uma lama celulósica de Vila Velha de Rodão, também foi constatada pela maior elevação dos teores de P Riehm com aquela LRU (Serrão *et al.*, 2002b).

Relativamente ao efeito de um composto de RSU produzido pela empresa Tritolixo na absorção de P por três culturas sucessivas e nos teores de P “assimilável” finais de dois solos (Ap e Cbc), também determinados pelo método de Egnér-Riehm, Gonçalves (1999) verificou uma resposta crescente nítida à aplicação do resíduo, mas apenas no Solo Ap. O mesmo foi observado no presente estudo em relação à absorção total de P no solo VRcc, mas não se verificaram acréscimos sucessivos nos teores de P Riehm na série sem planta, nem neste solo, nem no solo PZha, o que sugere que, sem a adição de P efectuada na série com planta (655 mg/vaso), grande parte do P inorgânico libertado pelos resíduos para a solução do solo nas tratamentos com níveis de aplicação inferiores a 60 t/ha foi adsorvido.

Em relação aos dois índices adoptados neste estudo para avaliar a disponibilidade de P para as plantas (absorção de P e teores de P Riehm), a LRU mostrou ter maior ou igual possibilidade de promover incrementos do que o composto de RSU. Os dados disponíveis de composição dos correctivos sugerem que o teor bastante elevado de P

total da LRU (24,4 g kg⁻¹), que excedeu em muito o do composto de RSU (7,9 g kg⁻¹), foi um factor determinante para a diferença no comportamento dos correctivos. De facto, o teor de P total da LRU em estudo ultrapassou, claramente, o teor médio (3,9 g kg⁻¹) das lamas desidratadas tratadas inglesas, referido por Smith (1986) e o limite superior (19 g kg⁻¹) da gama de concentrações indicada por Varennes (2003). O facto da LRU estar menos estabilizada do que o composto de RSU em relação à mineralização do azoto neles presente em formas orgânicas, sugere que a mineralização do P orgânico na LRU também pode ter ocorrido em maior extensão do que no composto de RSU.

CONCLUSÕES

A aplicação do maior nível de LRU (60 t/ha) foi similar ou superior à de igual nível de composto de RSU no aumento de disponibilidade do P nestes solos, devido, ao menos em parte, ao maior teor de P total da LRU.

Para esclarecer melhor as diferenças de comportamento dos solos, será necessário realizar outros estudos específicos de P, que incluam a evolução do valor de pH e a comparação da capacidade de retenção de P nos tratamentos, bem como a distribuição do elemento em formas orgânica e inorgânica, nos solos e correctivos.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado pelo Projecto PIDDAC n.º 112 (2002-2004). Os autores agradecem à Assistente de Investigação Cristina Sempiterno (LQARS) a colaboração na instalação e condução do ensaio em vasos. À Técnica Profissional Maria de

Lurdes Cravo de Oliveira (EAN) agradecem a determinação do índice de capacidade de retenção de P.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, L.A.V. & Balbino, L.R. 1960. Determinação do fósforo e do potássio assimiláveis em alguns solos do País. *Anais do Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa*, **23**: 19-42.
- Alves, J.A. & Cardoso, J.C. 1967. *Empreendimento de Fertilização Mineral e Correção do Solo. I- Fertilização Mineral. II Plano de Fomento (1959-1964)*. Direcção Geral dos Serviços Agrícolas, Lisboa.
- Bache, B.W. & Williams, E.G. 1971. A phosphate sorption index for soils. *Journal of Soil Science*, **22**: 289-301.
- Balbino, L.R. 1968. O método de Egnér-Riehm na determinação do fósforo e do potássio assimiláveis em solos de Portugal. *Revista Agronómica*, **51**: 46-56.
- Brito, J.M.C. 1986. *As Lamas Pretas como Fertilizante (Contribuição para o Seu Estudo)*. Trabalho elaborado com vista à obtenção do Grau de Doutor. ISA, Lisboa.
- Brito, L.M. 2005. Efeito da aplicação de resíduos sólidos urbanos e de azoto mineral de cobertura na produtividade da cultura da cebola (*Allium cepa* L.). *Revista de Ciências Agrárias*, **28**: 160-166.
- Costa, J.B. 1979. *Caracterização e Constituição do Solo*. (2ª Ed). Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, Portugal.
- Dalal, R.C. 1977. Soil organic phosphorus. *Advances in Agronomy*, **29**: 85-117.
- Dalal, R.C. 1979. Mineralization of carbon and phosphorus from carbon-14 and phosphorus-32 labelled plant material added to soil. *Soil Science Society America Journal*, **43**: 913-916.
- Fonte, S.F.C. 2004. *Taxas de Mineralização de Matéria Orgânica Veiculada por Composto de Resíduos Sólidos Urbanos e Lama Residual Urbana*. Relatório Final do Estágio Profissionalizante da Licenciatura em Química Tecnológica, Faculdade de Ciências, Lisboa.
- Fuller, W.H., Nielsen, D.R. & Miller, R.W. 1956. Some factors influencing the utilization of phosphorus from crop residues. *Proceedings Soil Science Society America*, **20**: 218-224.
- Gonçalves, M.G. 1985. Capacidade de retenção de fósforo de alguns solos ácidos derivados de granitos e sua relação com algumas características dos solos. *Garcia de Orta, Série de Estudos Agronômicos*, **12**: 97-104.
- Gonçalves, M.J.S. 1999. *Gestão e Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos, sua Valorização para Fins Agrícolas pelo Método de Compostagem*. Trabalho elaborado com vista à obtenção do Grau de Doutor em Engenharia Agronómica, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa.
- Gonçalves, M.S., Costa, A.V. & Sempiterno, C.M. 2004. Efeito da aplicação do compostado de resíduos sólidos urbanos sobre as características químicas do solo e a relação entre as formas extraíveis e totais de metais pesados. *Revista de Ciências Agrárias*, **27**: 314-326.
- ISSS-ISRIC-FAO 1998. *World Reference Base for Soil resources. World Soil Resources Report*, **84**. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Lyamuremye, F., Dick, R.P. & Baham, J. 1996. Organic amendments and phosphorus dynamics: II. Distribution of soil phosphorus fractions. *Soil Science*, **161**: 436-443.

- Mkhabela, M.S. & Warman, P.R. 2005. The influence of municipal solid waste compost on yield, soil phosphorus availability, and uptake by two vegetable crops grown in a Pugwash sandy loam soil in Nova Scotia. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **106**: 57-67.
- Norma Portuguesa 1048-2, 1990. *Matérias Fertilizantes. Adubos e correctivos Alcalinizantes. Características, Processos de Análise E Marcação*. Instituto Português da Qualidade, Lisboa.
- Paiva e Pona, T.C. 2004. *Distribuição de Cobre e do Zinco em Algumas Frações Químicas dum Solo Fertilizado com Dois Tipos de Resíduos Orgânicos*. Relatório Final do Estágio Profissionalizante da Licenciatura em Química Tecnológica, Faculdade de Ciências, Lisboa.
- Pedra, F., Domingues, H., Paiva e Pona, T., Sempiterno, C.M. & Pólo, A. 2004. Avaliação do efeito da incorporação ao solo de dois correctivos orgânicos na produção de azevém e na absorção de cobre e zinco. *Actas X Simpósio Ibérico de Nutrição Mineral das Plantas*, pp. 115-119.
- Ribeiro, H.M.F. 1996. *Possibilidade de Utilização de Resíduos Sólidos Urbanos Compostados na Formulação de Substratos para Plantas Envasadas*. Dissertação apresentada para efeitos de obtenção do grau de Mestre. ISA, Lisboa.
- Serrão, M.G., Neves, M.J. & Fernandes, M.L. 2001a. Efeito residual da aplicação de lamas de ETAR na disponibilidade do fósforo num Litossolo derivado de xistos e num Solo Litólico Não Húmico de granitos cultivados com pastagens. *Revista de Ciências Agrárias*, **24**: 193-201.
- Serrão, M.G., Boto, J.M., Neves, M.J., Fernandes, M.L., Varela, A. & Dordio, A. 2001b. Valor nutritivo de uma pastagem sujeita a fertilizações orgânicas e inorgânicas e exportação de nutrientes. *Pastagens e Forragens*, **22**: 169-185.
- Serrão, M. G., Boto, J. M., Neves, M. J., Fernandes, M. L., Martins, J. C., Pires, F. P. & Oliveira, A. 2002a. Evolução da fertilidade de um Solo Mediterrâneo Pardo de Materiais Não Calcários de grauvaques sob pastagem, por efeito da adubação e da fertilização com uma lama de ETAR. *Revista de Ciências Agrárias*, **25 (3 e 4)**: 382-393.
- Serrão, M.G., Neves, M.J., Menino, M.R. & Fernandes, M.L. 2002b. Differences between P availability of two Fluvisols treated with municipal and pulp-mill sewage sludges. *Abstracts 17th World Congress Soil Science*, **5**, pp 1729. Symposium 57, Bangkok, Thailand.
- Serrão, M.G., Fernandes, M.L., Martins, J.C., Pires, F.P., Domingues, H., Horta, C., Campos, A.M. & Dordio, A. 2004a. As lamas residuais urbanas como melhoradoras da produção de misturas pratenses semeadas em solos marginais do Alentejo. *Pastagens e Forragens*, **25** (em publicação).
- Serrão, M.G., Domingues, H., Fernandes, M., Martins, J., Pires, F., Saraiva, I., Fareleira, P., Matos, N., Ferreira, E., Campos, A.M., Horta, C. & Dordio, A. 2008. Contributo para a melhoria de solos marginais destinados a pastagens pela aplicação de lama residual urbana, sem riscos ambientais. *Revista de Ciências Agrárias* (em publicação).
- Singh, B.B. & Jones, J.A. 1976. Phosphorus sorption and desorption characteristics of soil as affected by organic residues. *Soil Science Society America Journal*, **40**: 389-394.
- Smith, S.R. 1996. *Agricultural Recycling of Sewage Sludge and the Environment*. CAB International, Wallingford, U K.

- Sommers, L.E. & Sutton, A.L. 1980. Use of waste materials as sources of phosphorus. In Khasewneh, F.E., Sample, E.C. & Kamprath, E.J. (eds) *The Role of Phosphorus in Agriculture*, pp. 515-544. American Society of Agronomy, Madison, USA.
- Sommers, L.E. & Nelson, D.W. & Yost, K.W. 1976. Variable nature of chemical composition of sewage sludge. *Journal of Environmental Quality*, **5**: 303-306.
- Trindade, V.A.M. 2004. *Distribuição dos Metais Pesados em Algumas Frações de Matéria Orgânica Veiculada por Dois Tipos de Resíduos Orgânicos*. Relatório Final do Estágio Profissionalizante da Licenciatura em Química Tecnológica, Faculdade de Ciências, Lisboa.
- Varenes, A. 2003. *Produtividade dos Solos e Ambiente*. Escolar Editora, Lisboa, Portugal.