

Efeito da aplicação de lamas tratadas e vermicompostadas nas propriedades químicas de um Cambissolo dístico

Effect of the application of treated and vermicomposted sludge on the chemical properties of a distric Cambisol

Daniel Migueis¹, Paula Rodrigues¹, Henrique Trindade², Paula Oliveira², Ana Coimbra², Marta Roboredo² & João Ricardo Sousa^{2,*}

¹ Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal

² Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Centro de Investigação e Tecnologias Agroambientais e Biológicas (CITAB), Vila Real, Portugal

(*E-mail: jricardo@utad.pt)

<https://doi.org/10.19084/rca.33907>

Recebido/received: 2023.07.31

Aceite/accepted: 2023.11.20

RESUMO

A aplicação de lamas tratadas no solo é justificada pelo seu valor fertilizante. A baixa estabilidade destes subprodutos, promove uma diminuição da qualidade do solo, facto que justifica a respetiva valorização biológica. A aplicação de produtos resultantes da vermicompostagem, permitirá acréscimos na qualidade do solo, razão que justifica a realização do presente trabalho. Deste modo, foi avaliado o efeito da aplicação de matéria orgânica (20 t MS/ha), na forma de lamas tratadas (LT) e vermicompostadas (LVC), nas características químicas de um cambissolo dístico, comparativamente a um grupo controlo (0 t MS/ha), num ensaio de incubação de curta duração (28 dias), em condições laboratoriais. Os resultados obtidos revelaram que as LVC induziram acréscimos mais elevados e significativos ($p < 0,05$) que as LT nos parâmetros da fertilidade do solo, como o pH, matéria orgânica, P extraível, bases de troca e micronutrientes. Tendência oposta foi observada para o N mineral e metais pesados, devido a uma maior redução de $N-NH_4^+$ e fenómenos de assimilação/absorção por parte das minhocas, respetivamente, resultado da uma maior estabilidade das LVC. Estes resultados revelam que a utilização de materiais orgânicos estabilizados, é a opção mais eficaz na melhoria da qualidade e sustentabilidade das funções do solo.

Palavras-chave: lamas, vermicompostagem, incubação, fertilidade, solo.

ABSTRACT

The application of treated sludges in the soil is justified by their fertilizing value. The low stability of these by-products leads to a decrease in soil quality, justifying their biological valorisation. The application of products resulting from vermicomposting allows soil quality improvements, main reason for the present study. Therefore, the effect of the application of organic matter (20 t MS/ha), in the form of treated sludges (LT) and vermicomposted sludges (LVC), was evaluated in the chemical characteristics of a district cambisol, compared to a control group (0 t MS/ha), based on a short-term incubation test (28 days), under laboratory conditions. The obtained results revealed that LVC induced higher and significant ($p < 0.05$) increases in soil fertility parameters, such as pH, organic matter, extractable P, exchangeable bases, and micronutrients, compared to LT. An opposite trend was observed for mineral N and heavy metal, due to a higher reduction of $N-NH_4^+$ and assimilation/absorption phenomena by the worms, respectively, as a result of the greater stability of LVC. These results reveal that the use of stabilized organic materials is the most effective option in improving the quality and sustainability of soil functions.

Keywords: sewage-sludge, composting, incubation, fertility, soil.

INTRODUÇÃO

A qualidade e saúde do solo são fundamentais para a garantia da segurança alimentar e a sustentabilidade ambiental. Um solo saudável permite aumentar a produtividade, mitigar os fenômenos de erosão e poluição, manter a biodiversidade e outros serviços essenciais aos ecossistemas (Bünemann *et al.*, 2018). A preservação das funcionalidades do solo implica, entre outras estratégias, a manutenção ou aumento dos teores de carbono orgânico, através da aplicação de materiais orgânicos com valor fertilizante. Os subprodutos resultantes das estações de tratamento de águas residuais (ETAR), nomeadamente a respetiva fração sólida, vulgarmente designada por lama, desde que cumpram os respetivos requisitos legais (DL 276, 2009), são usados como fertilizante agrícola devido aos teores consideráveis de matéria orgânica e nutrientes, podendo promover melhorias ao nível da fertilidade do solo, capacidade de retenção de água, sequestro de carbono e prevenção dos processos de erosão (Romanos *et al.*, 2019). Todavia, na gestão destes materiais é importante garantir que, antes da respetiva aplicação ao solo, sejam tratados de forma adequada de modo a minimizar impactos negativos na respetiva qualidade. O processo de vermicompostagem, que envolve a bio-oxidação e estabilização da matéria orgânica, por ação conjunta das minhocas e microrganismos, em ambiente mesófilo controlado (Dominguez & Edwards, 2011), poderá constituir uma alternativa viável na gestão da qualidade ou valor fertilizante das lamas de ETAR. Este processo, para além de promover uma diminuição do volume destes materiais, possibilita a obtenção de um fertilizante orgânico cujas características poderão gerar maiores benefícios para o ambiente edáfico como para as plantas contribuindo, adicionalmente, para uma redução da dependência dos fertilizantes químicos e uma maior sustentabilidade ambiental (Rékási *et al.*, 2023). Ainda assim, uma utilização mais eficaz e eficiente dos materiais resultantes do processo de vermicompostagem deverá ter em consideração, não somente as características da qualidade (bio) química da respetiva matéria orgânica, como também da matriz edáfica em que são aplicados. Deste modo, estudos comparativos entre materiais com diferentes graus de estabilização, através de ensaios de incubação em condições controladas, em

matrizes edáficas dominantes em determinados contextos edafo-climáticos, constituem uma ferramenta essencial de gestão da matéria orgânica e nutrientes nestes materiais, permitindo avaliar os efeitos que a respetiva aplicação exerce sobre a qualidade e saúde do solo, razão que constitui o objetivo do trabalho agora apresentado.

MATERIAIS E MÉTODOS

Solo

Como matriz edáfica para o estudo realizado, foi selecionado um *cambissolo districo* de granito (WRB, 2006). Após colheita aleatória de uma amostra composta, o solo foi seco em condições de temperatura ambiente e na ausência de incidência direta de luz, para estabilização do teor de humidade para valores inferiores a 10 %, e sujeito a uma crivagem (\varnothing 4 mm), para efeitos de utilização no ensaio experimental. Uma toma composta desta fração foi selecionada e sujeita a uma segunda crivagem (\varnothing 2 mm), para obtenção da fração terra fina do solo, com objetivo da caracterização físico-química inicial, cujos resultados obtidos são apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 - Características iniciais do solo usado no estudo

pH (H ₂ O)	Mat. Org	P ₂ O ₅	K ₂ O	CTC _e	argila	textura
-	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	cmol _e kg ⁻¹	g kg ⁻¹	-	-
5,0	10,0	40,0	74,0	1,82	77,0	arenoso franco

Os teores de humidade do solo foram otimizados, procedendo-se à avaliação da capacidade máxima de retenção de água (CMRA) e respetiva correção, numa primeira fase, para 25% do valor obtido, com a respetiva incubação em condições laboratoriais, durante um período de 48-h, para eliminação do *flush* inicial resultante do tratamento (secagem e crivagem) do solo (Keeney, 1982). Os procedimentos analíticos estão de acordo com as melhores práticas aplicadas pelo laboratório Joaquim Quelhas dos Santos da UTAD, tendo como base os princípios descritos por Bundy & Meisinger (1994) e Houba *et al.* (1995).

Materiais orgânicos

Os materiais orgânicos estudados têm por base subprodutos resultantes do tratamento de efluentes de origem urbana, obtidos na estação de tratamento de águas residuais, localizada em Vila Real. As lamas recolhidas foram sujeitas a um tratamento secundário, seguido de uma estabilização por digestão anaeróbia e respetiva desidratação sendo, para efeitos de discussão neste trabalho, designadas por lamas tratadas (LT). Um segundo material orgânico incluído no presente estudo, designado de lama vermicompostada (LVC), foi obtido a partir da mistura de LT com estrume de equino e palha de arroz, na proporção de 25, 65 e 10% (peso fresco), sujeita a um período de pré-compostagem de 5 semanas, seguido de uma fase de vermicompostagem, com minhocas da espécie *Eisenia fetida*, numa razão de 29 indivíduos por kg de peso fresco de mistura, durante um período de 60 dias, em condições controladas de temperatura, humidade e arejamento. Para ambos os materiais orgânicos, LT e LVC, foi colhida uma toma composta de 1,5 kg (peso fresco) para efeitos de estudo e caracterização química inicial, cujos resultados são apresentados no Quadro 2. Na caracterização dos materiais orgânicos foram seguidos os mesmos princípios aplicados na análise do solo (Houba *et al.*, 1995), com ligeiras alterações resultantes da respetiva natureza dos materiais (Kalra & Maynard, 1991).

Em termos de caracterização dos materiais, de acordo com o DL 276/2009, procurou-se também avaliar outros parâmetros relacionados com o valor fertilizante dos materiais orgânicos em estudo, nomeadamente elementos potencialmente tóxicos (Quadro 3). Para a respetiva quantificação foi seguido o procedimento descrito por Madjar *et al.* (2020), com a extração em água régia ($\text{HNO}_3:\text{HCl}$ 1:3 v/v) e quantificação por espectrometria de emissão ótica por plasma acoplado indutivamente (ICP-OES), com os resultados a registarem valores inferiores aos limites legalmente estabelecidos para cada elemento analisado.

Ensaio de incubação

Para efeitos de realização do ensaio de incubação foram considerados dois tratamentos com adição de matéria orgânica, na forma de lama tratada (LT) e lama vermicompostada (LVC). Um terceiro tratamento, correspondente ao grupo controlo ou testemunha (TEST), sem adição de lama, foi também incluído. Para cada tratamento foram realizadas 4 repetições, num total de 12 reatores de incubação. Para cada reator-teste foi adicionado uma quantidade de solo equivalente a 2 kg, em termos de peso seco, pré-incubado a 25% da CMRA. Nos reatores relativos aos tratamentos e repetições com material orgânico, foi adicionado ao solo uma quantidade

Quadro 2 - Características físico-químicas iniciais das lamas tratadas (LT) e vermicompostadas (LVC) usadas no estudo

	MS [*]	MO [*]	pH [†]	NH ₄ [†]	NO ₃ [†]	N [*]	P [*]	K [*]	Ca [*]	C:N
	g kg ⁻¹		-	mg kg ⁻¹				g kg ⁻¹		
LT	790	745	7,9	1535	0,7	56	21,4	2,2	10,2	7,7
LVC	642	560	4,8	240	1786	15	6,1	7,8	16,2	21,6

* valores referentes à matéria original; † valores referentes à matéria seca
MS: matéria seca; MO: matéria orgânica

Quadro 3 - Teores de elementos potencialmente tóxicos nas lamas tratadas (LT) e vermicompostadas (LVC) usadas no estudo

	Cu [†]	Zn [†]	Ni [†]	Cd [†]	Cr [†]	Pb [†]	Hg [†]
	mg kg ⁻¹						
LT	181,1	251,6	42,7	0,71	100,9	104,5	0,03
LVC	46,3	187,2	22,5	0,20	54,3	34,8	0,01

* valores referentes à matéria seca

de lama equivalente a 20 toneladas de matéria seca por hectare, na forma de LT e LVC, devidamente homogeneizada. No final, procedeu-se à correção dos teores de humidade em todos os tratamentos, para valores de 50% da CMRA, através da adição de água destilada. Por sua vez, todos os reatores, relativos aos tratamentos e repetições considerados ($n=12$), foram colocados a incubar durante um período de 28 dias em condições controladas de temperatura, humidade e arejamento, na ausência de luz. No final do período de incubação, para todos os tratamentos e repetições experimentadas, uma toma composta do respetivo solo foi recolhida e analisada, numa primeira fase, em amostra fresca, os parâmetros relacionados com o teor de humidade, pH em água, condutividade elétrica (CE) e teores de N mineral (NH_4^+ ; NO_3^-) e, numa segunda fase, após secagem em estufa, entre os 40 e 60 °C, durante um período de 24 h, os teores de fósforo e potássio extraíveis, expressos nos respetivos óxidos (P_2O_5 e K_2O), matéria orgânica, iões no complexo de troca (Ca^{2+} , Mg^{2+} e Al^{3+}), micronutrientes (B, Cu, Zn, Fe) e metais pesados (Ni, Cr, Cd, Pb e Hg).

Análise estatística

Os dados obtidos foram sujeitos a um teste de normalidade, pelo teste de *Shapiro-Wilk*, para um nível de probabilidade de α igual a 0,05. Após testada a normalidade dos dados, procedeu-se à avaliação da variância através de testes paramétricos. Uma análise de variância (ANOVA) a um único fator (tipo de lama) foi realizada na data final do período experimental, para os diferentes parâmetros químicos analisados, com a respetiva separação de médias realizada através do teste das *diferenças mínimas significativas (LSD)*, para igual nível de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No final do período de incubação, para os diferentes parâmetros avaliados, os resultados obtidos evidenciaram efeitos significativos ($p < 0,05$) do tipo de lama (LT, LVC) comparativamente ao grupo controlo (TEST). A aplicação de LVC e LT promoveu aumentos dos valores de parâmetros relacionados com a matéria orgânica (MO), condutividade elétrica (CE), N mineral (NH_4^+ e NO_3^-), fósforo e potássio

extraíveis, expressos na forma de P_2O_5 e K_2O , respetivamente, cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) no complexo de troca do solo em estudo. Os aumentos foram mais notados para o tratamento com LVC no qual, com exceção dos parâmetros CE e N mineral, foram registados valores mais elevados e significativos que no tratamento com LT, no final do período de incubação (Quadro 4). Tendência inversa foi observada na reação do solo em que, comparativamente ao grupo controlo (TEST), a aplicação de lamas promoveu uma diminuição significativa dos valores de pH não sendo, no entanto, observadas diferenças entre o tipo de lamas estudadas, apesar de uma maior tendência de acidificação registada para o caso das LT comparativamente às LVC, com diminuições de 0,37 e 0,34 unidades de pH, respetivamente, comparativamente ao tratamento TEST.

Quadro 4 - Resultados para os vários parâmetros físico-químicos analisados no solo para cada tratamento estudado: testemunha (TEST), lama tratada (LT) e lama vermicompostada (LVC)

parâmetro	TEST	LT	LVC
pH (H_2O)	4,99 b	4,62 a	4,75 a
CE (dS m^{-1})	0,03 a	0,16 b	0,18 b
NH_4^+ (mg kg^{-1})	3,8 a	94,8 b	3,8 a
NO_3^- (mg kg^{-1})	7,5 a	83,1 c	54,9 b
MO (g kg^{-1})	11,68 a	12,56 a	14,43 b
P_2O_5 (mg kg^{-1})	43,6 a	45,5 a	100,1 b
K_2O (mg kg^{-1})	63,0 a	80,6 c	70,3 b
Ca^{2+} ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)	0,67 a	0,89 b	1,13 c
Mg^{2+} ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)	0,21 a	0,31 b	0,39 b
Cu (mg kg^{-1})	6,4 a	6,9 a	6,5 a
Zn (mg kg^{-1})	39,2 a	41,7 a	40,3 a
Ni (mg kg^{-1})	7,4 a	7,6 a	7,5 a
Cd (mg kg^{-1})	0,1 a	0,1 a	0,1 a
Cr (mg kg^{-1})	17,2 a	17,5 a	17,3 a
Pb (mg kg^{-1})	6,6 a	6,4 a	6,4 a
Hg ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	22,7 a	53,7 b	27,8 a

Para cada parâmetro, cada coluna seguida pela mesma letra não difere significativamente pelo teste LSD, para um nível de probabilidade de 0,05.

Para os elementos potencialmente tóxicos, com a aplicação de lamas foi observada uma tendência de aumento dos respetivos teores embora, somente para o caso das LT e no caso do elemento Hg, é que os respetivos valores no solo se revelaram mais elevados e significativos comparativamente aos restantes tratamentos estudados (TEST e LVC)

(Quadro 4). Ainda assim, apesar desta tendência, no final do período de incubação, os teores registrados para cada elemento mostraram-se muito abaixo dos valores limite de concentração definidos para solos recetores deste tipo de materiais (DL 103/2015). Os resultados observados indiciam que a aplicação de LVC ao solo, comparativamente à LT, permite uma melhoria de diversos parâmetros relacionados com a respetiva fertilidade, tal como observado por (Maurya *et al.*, 2023). A maior estabilidade biológica das LVC, consequência dos processos de oxidação biológica conjuntos das minhocas e microrganismos, com um aumento da concentração de compostos pré-humificados (Domínguez & Edwards, 2011), permite maiores acréscimos de matéria orgânica, resultando uma menor dinâmica dos processos de mineralização, facto que poderá estar relacionado com o menor potencial de acidificação, mas também com a menor concentração de formas minerais de N no solo, comparativamente à LT (Quadro 4). A presença de matéria orgânica complexada nas LVC poderá, ainda, explicar os maiores teores de P e Ca, através da formação de complexos argilo-húmicos, promovendo a formação de reservatórios lábeis (Ali *et al.*, 2015). Para os elementos potencialmente tóxicos, a vermicompostagem promove uma redução da respetiva concentração (Quadro 3), ainda que no solo não sejam observadas entre os tipos de lamas

(LVC e LT), com exceção do Hg (Quadro 4). Todavia, a maior presença de matéria orgânica humificada nas LVC (Domínguez & Edwards, 2011), poderá reduzir a biodisponibilidade destes elementos, através de reações de complexação, mitigando potenciais efeitos de toxicidade comparativamente à LT. Ainda assim, no caso das LVC, a concentração destes elementos poderá ser mais reduzida quer aumentando o tempo de vermicompostagem, quer com o uso de espécies de minhocas mais eficientes, nomeadamente a *Eisenia andrei* (Domínguez & Gómez-Brandón, 2012), permitindo melhorar a maturidade e qualidade final do material, tornando a sua aplicação ao solo mais ecocompatível.

CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos é possível concluir que o processo de estabilização biológica da matéria orgânica a partir da vermicompostagem permite, para o caso do subproduto estudado, como as lamas de ETAR, acréscimos importantes no respetivo valor fertilizante e na redução de elementos potencialmente tóxicos, nomeadamente no caso do Hg, podendo a sua aplicação ao solo gerar maiores benefícios para a respetiva qualidade e sustentabilidade das respetivas funcionalidades.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ali, U.; Sajid, N.; Khalid, A.; Riaz, L., Rabbani, M.M.; Syed, J.H. & Malik, R.N. (2015) - A review on vermicomposting of organic wastes. *Environmental Progress and Sustainable Energy*, vol. 34, n. 4, p. 1050-1062. <https://doi.org/10.1002/ep.12100>
- Bundy, J. & Meisinger, J.J. (1994) – Nitrogen Availability Indices. In: Weaver, R.W.; Angle, J.S. & Bottomley, P.S. (Eds) – *Methods of Soil Analysis, Part 2*. Soil Science Society of America, Madison, p. 951-984.
- Bünemann, E.K.; Bongiorno, G.; Bai, Z.; Creamer, R.E.; Deyn, G. de; Goede, Ron de; Fleskens, G.; Geissen, V.; Kuyper, T.W.; Mäder, P.; Pulleman, M.; Sukkel, W.; Groenigen, J.W. de & Brussaard, L. (2018) - Soil quality – A critical review. *Soil Biology & Biochemistry*, vol. 120, p. 105-125. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.01.030>
- Decreto-Lei 276/2009 de 2 de outubro do Ministério do Ambiente do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, Pub. L. No. *Diário da República* n.192/2009, Série I de 2009-10-02 (2009). Lisboa.
- Decreto-Lei n. 103/2015 de 15 de junho do Ministério da Economia, Pub. L. No. *Diário da República* n.114/2015, Série I de 2015-06-15 (2015). Lisboa.
- Domínguez J. & Edwards, C.A. (2011) - Biology and ecology of earthworm's species used for vermicomposting. In: Edwards, C.A.; Arancon, N.Q. & Sherman, R.L. (Eds) - *Vermiculture technology: earthworms, organic waste and environmental management*. CRC Press, Boca Raton, p. 27–40.
- Domínguez J. & Gómez-Brandón, M. (2012) - Vermicomposting: composting with earthworms to recycle organic wastes. In: Kumar, S. & Bharti, A. (Eds.) - *Management of Organic Waste*. Rijeka, Croatia: Intech Open Science, p. 29-48. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.76088>
- Houba, V.G.; Novozamsky, I. & Tenminghoff, E. (1995). *Soil Analysis Procedures*. Department of Soil Science and Plant Nutrition. Wageningen Agricultural University, the Netherlands.
- Kalra, Y.P. & Maynard, D.G. (1991) - *Methods manual for forest soil and plant analysis*. For. Can. Northwest Reg., North. For. Cent. Edmonton, Alberta, Canada.
- Keeney, D.R. (1982) - Nitrogen-availability indices. In: Miller, R.H. & Keeney, D.R. (Eds.) - *Chemical and Microbiological Properties*. Second Edition, American Society of Agronomy, Madison, USA. p. 711-732.
- Madjar, R.M.; Mot, A.; Scaeteanu, G.V. & Mihalache, M. (2020) - Methods used for heavy metal determination in agricultural inputs. *Research Journal of Agricultural Science*, vol. 52, p. 148-155.
- Maurya, S.; Arya, K.Y.; Verma, S.K.; Chahal, R.; Milan, A.; Dhakal, D. & Chhetri, N.S. (2023) - Effect of temporal variation in mineralization of nutrients through sewage sludge, farm yard manure and vermicompost in soil. *International Journal of Plant & Soil Science*, vol. 35, n. 4, p. 100-109. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2023/v35i42805>
- Rékási, M.; Alyi, P.R.; Sandor, D.B.; Szabo, A.; Rivier, P-A.; Farkas, C.; Szecsy, O.; & Uzinger, N. (2023) - Effect of composting and vermicomposting on potentially toxic contents and bioavailability in sewage sludge digestate. *Bioresource Technology Report*, vol. 21, art. 101307. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2022.101307>
- Romanos, D.; Nemer, N.; Khairallah, Y.; Thérèse, M. & Saab, A. (2019) - Assessing the quality of sewage sludge as an agricultural soil amendment in Mediterranean habitats. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, vol. 8, p. 377-383. <https://doi.org/10.1007/s40093-019-00310-x>
- WRB (2006) - *World Reference Base for Soil Resources*. World Resource Report nº 103, FAO, Rome, Italy.