

VIABILIDADE AGRÍCOLA DA UTILIZAÇÃO DO BIOSSÓLIDO NO CULTIVO DE CITROS

Giovanna Cunha Mauri¹, Geovana Riquieri Ribeiro², Pedro Henrique Pinto da Silva Fonseca³, Giovanni de Oliveira Garcia⁴.

Universidade Federal do Espírito Santo, Alto Universitário, S/N - 29500-000 - Guararema, Alegre – ES, Brasil. giovanna.mauri@edu.ufes.br, geovana.ribeiro@edu.ufes.br, pedro.h.fonseca@edu.ufes.br, giovanni.garcia@ufes.br.

Resumo

A utilização de bioossólidos em cultivos agrícolas pode contribuir não somente na destinação ambientalmente correta, mas também na ciclagem de nutrientes no sistema solo – planta. Neste sentido, desenvolveu-se o presente estudo com o objetivo de avaliar a resposta das plantas de laranja pera submetidas ao uso agrícola do bioossólido. O experimento foi conduzido seguindo um delineamento em blocos casualizado no esquema fatorial 6x2 com quatro repetições. Os tratamentos corresponderam a utilização de seis doses de nitrogênio advindos do bioossólido e duas avaliações no tempo em que foram quantificados a altura das plantas, diâmetro do caule, volume da copa e os teores das clorofilas A e B. Por meio dos resultados obtidos verificou-se que bioossólido possui viabilidade para uso na cultura da laranja, uma vez que sua composição existe nutrientes de interesse agrônomo e baixa concentração de metais pesados. A altura das plantas não apresentou diferenças com o uso do bioossólido e nas avaliações temporais enquanto o volume de copa aumentou com uso de bioossólido em doses anuais de nitrogênio acima de 230 gramas. O diâmetro do caule e os teores de clorofilas A e B, aumentaram no decorrer das avaliações e quando utilizado bioossólido nos tratamentos.

Palavras-chave: Adubação. Citricultura. Tratamento do Esgoto Doméstico. Nutrientes.

Área do Conhecimento: Engenharia Agrônoma – Agronomia

Introdução

A utilização de fontes orgânicas em cultivos agrícolas contribui significativamente para a melhoria da qualidade do solo, incorporando matéria orgânica que atua como condicionador do solo, aprimorando suas características físicas e fornecendo nutrientes essenciais. Com os altos valores cambiais vigentes no país, os custos relacionados à compra de fertilizantes químicos tendem a subir, neste sentido, o uso de fontes orgânicas pode ser uma estratégia eficaz para reduzir custos e promover a ciclagem de nutrientes no sistema solo-planta, visando a redução do uso exclusivo e isolado de fertilizantes minerais.

Diante do cenário relacionado ao consumo de fertilizantes químicos, a utilização de fontes orgânicas pode ser considerada uma alternativa. Kiehl (1985) destaca o uso de fontes orgânicas em cultivos agrícolas no Brasil como essencial para a incorporação de matéria orgânica e nutrientes necessários ao desenvolvimento das plantas. Exemplos incluem esterco de animais, restos vegetais e resíduos sólidos domésticos e industriais.

Nos últimos anos, o lodo de esgoto gerado em estações de tratamento tem sido considerado uma fonte viável de resíduo orgânico na agricultura, podendo substituir parcialmente adubos químicos, desde que passe por estabilização e secagem, onde passa a ser chamado de bioossólido, sem risco de contaminação por patógenos. Estudos demonstraram que o uso de lodo de esgoto tratado mantém os teores foliares de nitrogênio em *Leucanthemum maximum* (Lacerda et al., 2021), melhora a fertilidade e atributos físicos do solo (Melo & Marques, 2001) e resulta em um desenvolvimento satisfatório de mudas de *A. peregrina* em condições de campo (Yamashita et al., 2024).

Embora o bioossólido possa ser benéfico como adubo orgânico, seu uso indevido e contínuo no solo pode acarretar problemas de contaminação. Para garantir um uso mais seguro do bioossólido na agricultura, a Resolução Federal CONAMA nº 375/06 (BRASIL, 2006) estabelece limites para concentrações de metais pesados e uma maior exigência nos tratamentos para o controle de patógenos.

Diante do exposto, objetivou-se, com o desenvolvimento do presente trabalho, avaliar a viabilidade de uso do bioossólido como fonte de nitrogênio no crescimento e fisiologia da laranja pera.

Metodologia

O experimento foi conduzido em uma área de aproximadamente 1.000 m², localizada na Fazenda Área Experimental do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo na qual está sendo cultivada Laranja Pêra cultivar D6, oriunda de mudas enxertadas sobre porta enxerto citrandarin índio. O clima da região onde foi desenvolvido o experimento, segundo classificação de Köppen, é do tipo “Cwa”, com inverno seco e verão chuvoso. A temperatura, a precipitação e a umidade relativa média anual correspondem a 23,1°C, 1.200 mm e 60% respectivamente.

O experimento foi estabelecido em setembro de 2022, e, no início deste trabalho (setembro de 2023), as plantas estavam com aproximadamente doze meses após o plantio que foi realizado no espaçamento de 4,5 m entre fileiras e 2,3 m entre plantas. O experimento foi conduzido seguindo o delineamento fatorial 6x2, com quatro repetições. Os fatores corresponderam, além da testemunha que recebeu apenas adubação mineral, cinco proporções de biossólido. O outro fator consistiu na realização e duas avaliações no tempo intercaladas por 60 dias. A previsão inicial era promover cinco avaliações temporais, que não foi possível, pois um alagamento decorrente do excesso de precipitações ocorrido em março de 2024, inviabilizou as demais atividades no experimento. Na Tabela 1, encontra-se o detalhamento das proporções de biossólido utilizadas no experimento o qual foi coletado no leito de secagem da Estação de Tratamento de Esgoto do município capixaba de Jerônimo Monteiro.

Tabela 1 - Descrição dos tratamentos aplicados no experimento visando o aproveitamento agrícola do biossólido produzido na estação de tratamento de esgoto do município de Jerônimo Monteiro - ES.

Tratamentos	Dose de nitrogênio	Descrição a fonte de fornecimento do nitrogênio
1	200 g planta ⁻¹ ano ⁻¹	Adubação nitrogenada
2	200 g planta ⁻¹ ano ⁻¹	50% (adubação nitrogenada) + 50% (biossólido)
3	200 g planta ⁻¹ ano ⁻¹	Biossólido
4	230 g planta ⁻¹ ano ⁻¹	Biossólido
5	260 g planta ⁻¹ ano ⁻¹	Biossólido
6	300 g planta ⁻¹ ano ⁻¹	Biossólido

Fonte: Produção do próprio autor.

Após coletado, biossólido foi submetido ao processo de estabilização, conforme preconizado por Matos e Matos (2012). Após finalizado o período necessário para eliminação de possíveis patógenos e protozoários, uma amostra do resíduo foi encaminhada ao laboratório para caracterização química conforme metodologia proposta por Matos (2015).

A demanda anual de nitrogênio apresentada na Tabela 1, foi determinada conforme metodologia preconizada por Prezotti et al (2007) e seu fornecimento por meio dos tratamentos foram feitos de forma parcelados em duas vezes (setembro de 2023 e fevereiro de 2024). A aplicação dos insumos utilizados no presente experimento foi feita de forma manual junto ao caule das plantas.

A resposta das plantas aos tratamentos aplicados foi estudada por meio de uma análise do crescimento e quantificação dos teores de clorofila A e B. O crescimento das plantas foi realizado determinado a altura, o diâmetro do caule e o volume da copa das plantas conforme metodologia proposta por Mendel (1956). Por sua vez, a quantificação dos teores de clorofilas A e B foi feito por meio do uso de um clorofilômetro. As variáveis de crescimento e fisiológicas citadas foram obtidas nas quatro plantas centrais de cada unidade experimental.

Seguindo o delineamento estatístico adotado, os dados obtidos foram analisados estatisticamente por meio de análise de variância seguindo a metodologia apresentada por Ferreira (2018) admitindo 5% de significância. Para as variáveis que apresentaram significância junto aos os fatores e, ou interação significativos, as médias das características avaliadas foram comparadas por meio de média a 5% de probabilidade.

Resultados

A caracterização química do bio sólido proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto de Jerônimo Monteiro - ES utilizado nas aplicações de setembro de 2022 e 2023 encontram-se apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Caracterização química do bio sólido proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto de Jerônimo Monteiro - ES utilizado no experimento referentes às aplicações de setembro de 2022 e 2023.

Variáveis	Laudo de 2022 ⁴	Laudo de 2023 ⁵	Média ± Erro padrão da média ⁶
Umidade (%)	35,42	27,06	31,24 ± 4,18
pH (CaCl ₂)	6,00	4,20	5,10 ± 0,90
CTC (mmol kg ⁻¹)	479,00	-	479,00
Matéria orgânica (%)	68,38	-	68,38
Carbono orgânico ¹ (%)	35,79	28,75	32,27 ± 3,52
Nitrogênio ² (%)	3,39	3,15	3,27 ± 0,12
Relação C/N	11,10	8,00	9,55 ± 1,55
Fósforo ³ (%)	1,48	1,88	1,68 ± 0,20
Potássio ³ (%)	0,75	0,12	0,43 ± 0,31
Cálcio ³ (%)	1,33	1,41	1,37 ± 0,04
Magnésio ³ (%)	0,33	0,07	0,20 ± 0,13
Enxofre ³ (%)	0,93	0,47	0,70 ± 0,23
Ferro ³ (%)	1,45	2,01	1,73 ± 0,28
Zinco ³ (mg kg ⁻¹)	491,70	142,00	316,85 ± 174,85
Cobre ³ (mg kg ⁻¹)	147,50	22,00	84,75 ± 62,75
Manganês ³ (mg kg ⁻¹)	28,40	18,00	23,20 ± 5,20

1 - Oxidação com Bicromato de potássio; 2 - Digestão sulfúrica; 3 - Digestão nitro-perclórica; 4 – Realizada em amostra de bio sólido coletado no ano de 2022, 5 – Realizada em amostra de bio sólido coletado no ano de 2023 e; 6 – Valores médios das variáveis com base o resultado de duas análises.

Fonte: Produção do próprio autor

O resumo da análise de variância referente às variáveis de crescimento e fisiológicas das plantas de laranjas pêra encontram-se apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Resumo da análise de variância correspondentes a altura das plantas, diâmetro do caule e volume a copa obtidos nas plantas de laranja pêra adubadas com diferentes proporções de bio sólido como fonte de nitrogênio.

Fonte de Avaliação	Graus de Liberdade	Quadrados Médios				
		Altura das Plantas	Diâmetro do Caule	Volume da Copa	Clorofila A	Clorofila B
Avaliações	1	94,36 ^{ns}	1,786,21 **	101,76**	177,87**	221,88**
Tratamentos	5	109,13 ^{ns}	100,09**	16,78**	9,95 ^{ns}	42,93 ^{ns}
Interação	5	2,08 ^{ns}	8,45 ^{ns}	6,34**	23,68 ^{ns}	10,45 ^{ns}
Resíduo	36	57,18	37,12	2,15	12,47	37,38 ^{ns}
Total	47	-	-	-	-	-

ns – Não significativo; **Significativo a 1% de probabilidade

Fonte: Produção do próprio autor.

A resposta das variáveis analisadas no experimento em decorrência do resultado obtido na Tabela 3 após o primeiro ano de cultivo das plantas de laranja pêra encontram-se apresentadas na Tabela 4 a 6.

Tabela 4 - Valores médios da variável volume de copa (m^2) obtidos em plantas de laranja pêra adubadas com diferentes proporções de biossólido como fonte de nitrogênio.

Tratamentos	Volume de copa	
	1º Avaliação	2º Avaliação
200 g planta ⁻¹ ano ⁻¹ com adubação Mineral	5,61 a A	6,72 a B
200 g planta ⁻¹ ano ⁻¹ Com adubação mineral + biossólido	5,67 a A	6,80 a B
200 g planta ⁻¹ ano ⁻¹ com biossólido	5,49 a A	6,26 a B
230 g planta ⁻¹ ano ⁻¹ com biossólido	6,03 b A	9,21 a A
260 g planta ⁻¹ ano ⁻¹ com biossólido	6,06 b A	9,26 a A
300 g planta ⁻¹ ano ⁻¹ com biossólido	6,49 b A	9,56 a A

Médias seguidas pela mesma letra minúscula em linha e maiúscula nas colunas não diferem significativamente entre si, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Duncan.

Fonte: Produção do próprio autor.

Tabela 5 - Valores médios do diâmetro do caule (mm) obtidos em plantas de laranja pêra adubadas com diferentes proporções de biossólido como fonte de nitrogênio.

Tratamentos	Diâmetro do Caule
200 g planta ⁻¹ ano ⁻¹ com adubação Mineral	53,92 B
200 g planta ⁻¹ ano ⁻¹ Com adubação mineral + biossólido	58,99 A
200 g planta ⁻¹ ano ⁻¹ com biossólido	58,51 A
230 g planta ⁻¹ ano ⁻¹ com biossólido	55,74 A
260 g planta ⁻¹ ano ⁻¹ com biossólido	55,15 A
300 g planta ⁻¹ ano ⁻¹ com biossólido	56,13 A

Médias em coluna pela mesma letra maiúscula em coluna não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Fonte: Produção do próprio autor.

Tabela 6 - Valores médios do diâmetro do caule (mm) e do teor de clorofila A e B ($\mu g/cm^2$) obtidos em plantas de laranja pêra adubadas com diferentes proporções de biossólido como fonte de nitrogênio.

Tratamentos	1ª Avaliação	2ª Avaliação
Clorofila A ($\mu g/cm^2$)	39,85 b	43,71 a
Clorofila B ($\mu g/cm^2$)	20,51 b	24,80 a
Diâmetro do caule (mm)	48,16 b	60,36 a

Médias em coluna pela mesma letra minúscula em linha não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Fonte: Produção do próprio autor

Discussão

O biossólido gerado na estação de tratamento de esgoto de Jerônimo Monteiro, por meio de sua composição, apresentou viabilidade para uso agrícola. Analisando a Tabela 2, é possível verificar a presença de nutrientes importantes para o crescimento e desenvolvimento das plantas, bem como a existência de material orgânico que contribui, ao ser utilizado, para as melhorias da estrutura do solo. Por sua vez, os teores de zinco e cobre estão abaixo do limite estabelecido pela resolução CONAMA 498/2020 a qual estipula limites máximos para metais pesados e contaminantes em biossólidos para uso na agricultura.

O resultado da análise de variância com os dados referentes às variáveis de crescimento e fisiológicas, apresentada na Tabela 3, indicou que a altura das plantas não apresentou diferenças significativas por meio dos tratamentos aplicados, ou seja, as plantas de laranja pera do presente experimento, apresentaram crescimento em altura de forma uniforme, independente do tratamento aplicado. De forma isolada, o volume de copa das plantas apresentou alterações significativas na interação dos fatores adotados no presente experimento. De forma distinta, as diferentes proporções de biossólido promoveu alterações apenas no diâmetro do caule, enquanto as avaliações temporais mostraram-se interferir nos valores médios do diâmetro do caule e das clorofilas A e B.

Os valores médios do volume de copa apresentados na Tabela 4, dentro de cada período, demonstram que na primeira avaliação, não houve diferenças entre os tratamentos aplicados, no entanto, na segunda avaliação é possível verificar ganho no volume de copa quando foi utilizado somente o biofósforo a partir da dose anual de 230 g de nitrogênio. Por sua vez, analisando os dados desta variável dentro de cada tratamento, o aumento no volume de copa foi observado quando foi utilizado o biofósforo nas doses anuais de 230, 260 e 300 gramas de nitrogênio. Não somente pelo nitrogênio, mas presença de outros nutrientes essenciais às plantas contidos no biofósforo conforme apresentados na Tabela 1, contribuíram para o reflexo positivo no tamanho da copa das plantas avaliadas.

Os resultados apresentados na Tabela 5, demonstram que o uso do biofósforo proporcionou o crescimento positivo no diâmetro do caule das plantas, o que é desejável, pois o aumento em tamanho desta variável proporciona uma melhor sustentação das plantas. Do mesmo modo, analisando os valores médios do diâmetro do caule e das clorofilas A e B, apresentados na Tabela 6, verifica-se que estas variáveis aumentaram seus valores médios da primeira para a segunda avaliação. Estes resultados se devem a incorporação de nutrientes presentes no biofósforo, pois Taiz et al. (2017), afirmam que plantas que apresentam teores nutricionais adequados, principalmente cálcio e o fósforo produzem maiores teores de clorofila, resultando em maiores taxas fotossintéticas o que reflete em ganhos no crescimento vegetal.

Conclusão

- O biofósforo utilizado no experimento é viável para uso na cultura da laranja pois apresenta em sua composição, nutrientes de interesse agrônomo e metais pesados abaixo dos limites estabelecidos pela legislação vigente;
- A altura média das plantas não apresentou diferenças entre os tratamentos aplicados e bem como teve crescimento semelhante no intervalo da primeira para a segunda avaliação;
- O volume médio da copa das plantas aumentou, da primeira para a segunda avaliação, com uso de biofósforo em doses anuais acima de 230 gramas de nitrogênio.
- Utilizar biofósforo acima de 230 por planta, somente proporcionou crescimento no volume de copa das plantas a partir da segunda avaliação, e;
- Os maiores valores no diâmetro do caule e nos teores de clorofila A e B foram obtidos na segunda avaliação.

Referências

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 375/2006, de 30 de agosto de 2006. 2006.

BRASIL. (2020). Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA. Resolução n. 498, de 19 de agosto de 2020. Define critérios e procedimentos para produção e aplicação de biofósforo em solos, e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF. <https://www.in.gov.br>

FERREIRA, P.V. Estatística experimental aplicada às ciências agrárias. Viçosa:UFV.2018. 588 p. KIEHL, E.. J. **Fertilizantes orgânicos**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1985. 492 p.

LACERDA, Sara Moreno Pereira et al. Lodo de esgoto da ete como fonte de nitrogênio na cultura da margarida (*leucanthemum maximum*) Sewage sludge from wastewater treatment plant as a source of nitrogen in the culture of daisy (*leucanthemum maximum*). **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 12, p. 121518-121529, 2021.

LIMA, Thyego Pery Monteiro de; CORRÊA, Rodrigo Studart. Efeitos do uso de lodo de estações de tratamento de esgoto sobre a disponibilidade de água em um substrato minerado no Cerrado. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 26, n. 2, p. 301-308, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-415220190016>. Acesso: 04/08/2024.

MATOS, A.T. MATOS, M.P. Manual de Análise de Resíduos Sólidos e Águas Residuais. Editora UFRV: Viçosa, 2015, 149p.

MELO, WJ de; MARQUES, M. O.; MELO, VP de. O uso agrícola do bio sólido e as propriedades do solo. **Biossólidos na agricultura**, v. 2, p. 289-363, 2001.

MENDEL, K. Roosock-scion relationships Shamonuti trees on light soil. *Ktavin*, v. 6, p. 35-60, 1956.

PREZOTTI, L. C.; GOMES, J. A.; DADALTO, G. G.; OLIVEIRA, J. A. Manual de recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo. 5ª ed. Vitória: SEEA/Incaper/CEDAGRO, 2007.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. A; MURPHY. A. (2017). Fisiologia e Desenvolvimento vegetais e Desenvolvimento vegetal.(6aed.), ArtMed.

YAMASHITA, V. P. NASCIMENTO, M. M.; PERONI, Guilherme; CÉSAR, R. G.; LOBO, T. F.; BRITO, G. R.; SIQUEIRA, M. V. B. M. O Uso do Lodo de Esgoto Compostado como Adubo no Desenvolvimento Inicial de *Anadenanthera peregrina* em Plantios de Restauração Florestal. *Fronteira: Journal of Social, Technological and Environmental Science*, [S. l.], v. 13, n. 1, p. 187–199, 2024. DOI: 10.21664/2238-8869. 2024v13i1.p187-199.

Agradecimentos

O presente estudo foi desenvolvido com o apoio da Universidade Federal do Espírito Santo - UFES e pelo Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento por meio da concessão de bolsa de Iniciação Científica.