

Compostagem e vermicompostagem de macrófitas aquáticas para uso agrônômico

Composting and vermicomposting of aquatic macrophytes for agronomic use

Compostaje y vermicompostaje de macrófitos acuáticos para uso agronómico

Recebido: 09/04/2022 | Revisado: 20/05/2022 | Aceitado: 06/10/2022 | Publicado: 12/10/2022

Gênesis Alves de Azevedo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4786-9278>
Universidade Estadual Paulista, Brasil
E-mail: genesis.azevedo@unesp.br

Kátia Luciene Maltoni

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6619-4504>
Universidade Estadual Paulista, Brasil
E-mail: katia.maltoni@unesp.br

Fagner Angelo da Silva e Oliveira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7875-9602>
Universidade Estadual Paulista, Brasil
E-mail: fagner.angelo@unesp.br

Gláucia Amorim Faria

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2474-4840>
Universidade Estadual Paulista, Brasil
E-mail: glauucia.a.faria@unesp.br

Ana Maria Rodrigues Cassiolato

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2021-2647>
Universidade Estadual Paulista, Brasil
E-mail: ana.cassiolato@unesp.br

James Ribeiro de Azevedo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3319-6161>
Universidade Federal do Maranhão, Brasil
E-mail: james.azevedo@ufma.br

Resumo

O manejo inadequado de plantas aquáticas e seus resíduos influenciam a ecologia de rios, lagos e o ambiente do entorno, desse modo, encontrar um destino adequado para resíduos e quando possível reutilizá-los tem grande importância dentro do contexto da sustentabilidade ambiental, no entanto, o uso de resíduos orgânicos, muitas vezes, depende da transformação do material inicial em substâncias húmicas estabilizadas, para liberação de elementos químicos. Desse modo, objetivou-se a formulação de compostos e vermicompostos, a partir de macrófitas aquáticas, para uso agrícola. No experimento as macrófitas foram submetidas ao processo de compostagem natural e vermicompostagem (compostagem com minhocas *Eisenia foetida*), os quais foram testados em cultivo protegido em vasos (5 L), utilizando o milho variedade DKB 390 PRO3 como planta indicadora. O experimento seguiu o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 3 x 5, sendo 2 tipos de produtos ou compostagem (natural, apenas com adição de água e vermicompostagem (adição de água e 1,0 kg de minhoca por m³ de material)), 3 tempos de compostagem (20, 40 e 60 dias) e 5 doses (0, 20, 40, 80 e 120 t ha⁻¹), com 4 repetições e uma planta por vaso após desbaste. Tanto o composto como o vermicomposto aumentaram os teores de P, MO, K⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺ do solo e foram eficientes para o crescimento inicial do milho, que não apresentou diferenças para índice de velocidade de emergência, altura, diâmetro de colmo, número de folhas, massa fresca e seca da parte aérea e do sistema radicular, comprimento e volume de raiz, quando em solo condicionado com composto ou vermicomposto. Estes resultados indicam ser desnecessário o uso da vermicompostagem das macrófitas e mostram que é possível utilizá-las para condicionamento químico do solo agrícola.

Palavras-chave: Fertilidade do solo; *Zea mays* L.; Resíduo orgânico.

Abstract

The environmentally suitable environment for the environment possible to reuse it in the possible way for the environmental environment, the possible to reuse it for the environmental environment possible to reuse it. The use of organic particles often depends on the initial transformation into stabilized humic substances to release chemical elements. Thus, the objective was to formulate macrocompounds and vermicomposts, such as aquatic ones, for agricultural use. In the macrophyte experiment, they were protected in cultivation as a natural compost plant and composting (macrophytic composition) and cultivation (compost in pots 5 L), using corn variety DBK 390 PRO3. The experiment follows the water and naturalized design, in a 2 x 3 x 5 scheme, with 2 types of products or composition, addition of only compost (addition of worms per 3 of material), 3 composting times (20, 40 and 60 days) and 5 doses (20, 40, 80 and 120 t ha⁻¹), with 4 replications and one plant per pot after thinning. Both the worm and the worm increased the soil P, MO, K⁺, Ca²⁺ and Mg²⁺ contents and were efficient for the initial growth of corn, which did not show differences for the emergence speed index, diameter, stem, number of leaves, fresh

and dry mass of shoot and root system, length and root volume, when in soil conditioned with compost or vermicompost. These results are intended for the use of vermicomposting macrophytes and show that it is possible to use them for soil chemical conditioning.

Keywords: Soil fertility; *Zea mays*; Organic residue.

Resumen

El manejo inadecuado de las plantas acuáticas y sus residuos influye en la ecología de los ríos, lagos y el medio ambiente circundante, por lo que encontrar un destino adecuado para los residuos y cuando sea posible reutilizarlos es de gran importancia en el contexto de la sostenibilidad ambiental, sin embargo, el uso de residuos orgánicos muchas veces depende de la transformación del material de partida en sustancias húmicas estabilizadas, para la liberación de elementos químicos. Así, el objetivo fue formular compostos y vermicompostos, a partir de macrófitas acuáticas, para uso agrícola. En el experimento, las macrófitas fueron sometidas al proceso de compostaje natural y vermicompostaje (compostaje con lombrices de tierra *Eisenia foetida*), las cuales fueron probadas en cultivo protegido en macetas (5 L), utilizando como planta indicadora la variedad de maíz DKB 390 PRO3. El experimento siguió un diseño completamente al azar, en esquema factorial 2 x 3 x 5, con 2 tipos de productos o compost (natural, solo con adición de agua y vermicompostaje (adición de agua y 1,0 kg de lombriz por m³ de material), 3 tiempos de compostaje (20, 40 y 60 días) y 5 dosis (0, 20, 40, 80 y 120 t ha⁻¹), con 4 repeticiones y una planta por maceta después del raleo. Tanto la composta como la vermicomposta incrementaron los contenidos de P, MO, K⁺, Ca²⁺ y Mg²⁺ del suelo y fueron eficientes para el crecimiento inicial del maíz, el cual no mostró diferencias en el índice de velocidad de emergencia, altura, diámetro del tallo, número de hojas, masa fresca y seca del brote. y sistema de raíces, longitud y volumen de raíces, cuando en suelo acondicionado con compost o vermicompost. Estos resultados indican que el uso de macrófitas vermicompostadoras es innecesario y muestran que es posible utilizarlas para el acondicionamiento químico del suelo agrícola.

Palabras clave: Fertilidad del suelo; *Zea mays* L.; Residuo orgánico.

1. Introdução

Encontrar um destino adequado para resíduos e quando possível reutilizá-los tem grande importância dentro do contexto da sustentabilidade ambiental, no entanto, o uso de resíduos orgânicos, muitas vezes, depende da transformação do material inicial em substâncias húmicas estabilizadas, para liberação de elementos químicos (Pereira et al., 2013). A compostagem exerce essa função, de transformação dos resíduos orgânicos, evitando impactos ambientais e produzindo fertilizante para o solo. Podendo ser vista como uma forma de reciclar material orgânico, tratando-o naturalmente para transformá-lo em biomassa nutritiva para plantas (Sena et al, 2019).

Dentre os resíduos conhecidos tem-se as macrófitas aquáticas, que podem representar uma fonte alternativa de nutrientes para plantas, reduzindo a demanda por insumos e, conseqüentemente, os custos de produção, aumentando a lucratividade em negócios agrícolas (Henry-Silva et al., 2015).

As macrófitas aquáticas são removidas dos cursos d'água, rios, lagos e etc., por diferentes motivos, ficando depositadas à superfície, passando a ser consideradas um resíduo orgânico, que pode ser melhorado por meio da compostagem e, também, da vermicompostagem. Esta é um processo aeróbio que envolve a fragmentação e a digestão parcial de resíduos orgânicos pelas minhocas, conjuntamente com sua microflora intestinal, bem como microrganismos mesófilos presentes na matéria orgânica (Valente et al., 2018).

A fragmentação dos resíduos aumenta a área de exposição aos microrganismos, acelerando o processo de vermicompostagem (Fornes et al. (2012). Adicionalmente, a atividade direta das minhocas aumenta significativamente a mineralização do carbono e do nitrogênio do material. Este processo tem como vantagem a menor emissão de gases de efeito estufa, fator importante quando a técnica é utilizada em maior escala (Swati; Hait, 2018).

Tanto o composto como o vermicomposto são capazes de promover melhoria nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, disponibilizando macro e micronutrientes para a solução que, prontamente, estarão disponíveis às plantas, além de auxiliar na retenção de umidade (Malafaia et al., 2015).

Estas premissas permitem abordar a hipótese de que a compostagem e a vermicompostagem de macrófitas aquáticas podem resultar em produtos com características potenciais para uso agrícola. Podendo ajudar a reduzir o volume de resíduos de macrófita acumulados anualmente à superfície dos lagos e rios, refletindo em redução de custos para produção de alimentos.

Desse modo, objetivou-se a formulação de compostos e vermicompostos, a partir de macrófitas aquáticas, com intuito de avaliar a possibilidade de uso agrícola por meio germinação e do crescimento inicial de milho.

2. Metodologia

O experimento foi realizado em ambiente protegido, de 30 de setembro à 03 de dezembro de 2020, na Faculdade de Engenharia, UNESP, Campus de Ilha Solteira. Conduzido em duas etapas, o experimento contou, na primeira etapa, com a produção de compostos e vermicompostos a partir de macrófitas aquáticas, utilizando 3 tempos de compostagem, e na segunda etapa, estes foram testados como condicionantes do solo, em vasos, utilizando o milho como planta indicadora.

As macrófitas aquáticas utilizadas foram coletadas no período de março a junho de 2020, no reservatório da Usina Hidrelétrica (UHE) de Jupiá, situada no Rio Paraná, abaixo da confluência com os Rios Tietê e Sucuriú, entre os municípios de Três Lagoas (MS) e Castilho (SP) (20°46'45"S, 51°37'45"W). Estas são, frequentemente, removidas do lago no período de março a junho, devido a obstrução que causam à captação de água nas unidades geradoras da UHE e ficam depositadas à superfície em uma área destinada a isto. As macrófitas de ocorrência comum no reservatório de Jupiá são *Egeria densa*, *Egeria najas* e *Ceratophyllum demersum* (Martins et al., 2008). Após terem sido retiradas da água ficaram depositadas à superfície durante 90 dias para redução do excesso de umidade.

Antecedendo a preparação dos compostos e vermicomposto, as macrófitas foram transferidas para local coberto e ventilado, para remoção de resíduos considerados inadequados (plásticos, metais, vidros, borrachas), permanecendo neste local por mais 90 dias, sendo revolvidas para secagem do material. Para utilização como matéria prima no preparo de compostos orgânicos, estas foram analisadas de acordo com a resolução RDC N°07 do MAPA (2016), cujos resultados são apresentados nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1. Teores totais de arsênio, chumbo, cromo, mercúrio e selênio encontrados na macrófita aquática, pelo método EPA e tolerâncias máximas segundo MAPA (Instrução normativa nº 5, 10 de março de 2016 para metais pesados)

Parâmetros	Unidade	Teores encontrados	Tolerâncias máximas
Arsênio	(mg kg ⁻¹)	2,2	20,00
Chumbo	(mg kg ⁻¹)	16,3	300,00
Cromo	(mg kg ⁻¹)	34,6	500,00
Mercúrio	(mg kg ⁻¹)	< 0,1	2,50
Selênio	(mg kg ⁻¹)	< 0,1	80,00

Fonte: Elaborada pelos autores.

Tabela 2. Resultados analíticos para macrófita aquática-MAC (nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), carbono orgânico (CO), relação C/N, pH, condutividade elétrica (CE), umidade (Umidade), densidade úmida (DU), densidade seca (DS IN17), capacidade de retenção de água (CRA 10) e capacidade de troca catiônica (CTC)), segundo MAPA (Instrução normativa nº 61, 08 de julho de 2020 para análise química de compostos orgânicos)

Amostra	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	CO	C/N
	----- (g kg ⁻¹)-----					----- (mg kg ⁻¹)-----		(g kg ⁻¹)	-- (mg kg ⁻¹ --		(g kg ⁻¹)	-	
MAC	15,0	1,7	68,0	13,7	1,9	3,7	52	61,2	14,5	1,6	78,3	192	12,8
Amostra	pH	CE	Umidade	DU	DS IN17	CRA 10	CRA 10	CTC	CTC				
	-	(dS m ⁻¹)	(% m m ⁻¹)	(kg m ⁻³)	(kg m ⁻³)	(% v v ⁻¹)	(% m m ⁻¹)	(mmol _c kg ⁻¹)	(mmol _c dm ⁻³)				
MAC	7,2	1,4	57,5	670,0	284,5	69,0	239,3	655,2	439,0				

Fonte: Elaborada pelos autores.

Essa matéria prima foi, então, transferida para pequenas composteiras com capacidade para 0,14 m³ (caixas de cimento, impermeabilizadas e com drenos ao fundo). Durante o período de permanência nas composteiras o material recebeu 5 L de água a cada 2 dias, mantendo a umidade do material entre 40 – 60 % do volume e temperatura entre 50° e 60°C (Sartori, et al., 2011). A temperatura foi aferida diariamente, com termômetro digital do tipo espeto.

As composteiras (doze unidades) foram separadas em dois grupos. Em um dos grupos, seis composteiras receberam minhocas da espécie *Eisenia foetida* (Vermelha da Califórnia ou minhoca europeia do esterco), de uso comum no Brasil, em quantidade equivalente a 1,0 kg de minhoca por m³ de material (Ricci, 1996). Os produtos das unidades de compostagem que receberam minhocas passaram a denominação de vermicomposto, e os que receberam apenas água são agora denominados composto. O tempo de permanência destes nas composteiras variou em 20, 40 e 60 dias.

A cada 20 dias, quatro composteiras pararam de receber água. As duas com vermicomposto foram peneiradas (20 mm) para remoção das minhocas. Após alguns dias, quando secos, com 12% de umidade, foram ensacados e armazenados, sendo produzido, assim, um composto e um vermicomposto a cada 20 dias de compostagem (20, 40 e 60 dias).

Numa segunda etapa, compostos (COMP) e vermicompostos (VERM) produzidos foram adicionados ao solo e testados para germinação e crescimento inicial do milho, esta etapa foi conduzida em vasos (5 L), em cultivo protegido. A cultivar foi selecionada como planta indicadora por ser um híbrido precoce, com boa tolerância a temperaturas elevadas e plantio em baixas altitudes (Saito; Andrade, 2017).

O solo utilizado no experimento, possui textura arenosa (867 g kg⁻¹ areia, 6 g kg⁻¹ de silte e 127g kg⁻¹ de argila) com granulometria determinada pelo método da pipeta (Donagemma et al., 2017) e a análise de fertilidade realizada segundo Raij et al. (2001) (Tabela 3).

Tabela 3. Análise da fertilidade inicial do solo.

P	MO	pH	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H+Al	Al ³⁺	SB	CTC
(mg dm ⁻³)	(g dm ⁻³)	(CaCl ₂)	----- (mmol _c dm ⁻³)-----						
1	12	4,9	0,4	6	4	15	2	10,4	25,4
V	m	B	Cu	Fe	Mn	Zn			
----- (%)-----		----- (mg dm ⁻³)-----							
41	16	0,12	0,5	14	3,9	0,1			

P = fósforo, MO = matéria orgânica, pH = reação do solo, K⁺ = potássio, Ca²⁺ = cálcio, Mg²⁺ = magnésio, H+Al = acidez potencial, Al³⁺ = alumínio, SB = soma de bases, CTC = capacidade de troca catiônica, V% = saturação por bases, m% = saturação por alumínio, B = boro, Cu = cobre, Fe = ferro, Mn = manganês, Zn = zinco. Fonte: Elaborada pelos autores.

Utilizaram-se cinco diferentes doses de COMP e VERM, equivalentes a 0, 20, 40, 80 e 120 t ha⁻¹, com quatro repetições (vasos). Desta forma o experimento seguiu o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 3 x 5, sendo dois

tipos de compostagem (COMP e VERM), três tempos de compostagem (20, 40 e 60 dias) e cinco doses (0, 20, 40, 80 e 120 t ha⁻¹), totalizando 120 unidades experimentais (vasos).

Preparadas as unidades experimentais, cinco sementes de milho tratadas com fungicida não sistêmico com ação preventiva, N-(trichloromethylthio)ciclohex-4-ene-1,2-dicarboximide (CAPTANA-480 g/L), foram introduzidas em cada vaso na profundidade de 1 cm e a germinação foi acompanhada por 4 dias para determinação do índice velocidade de emergência (IVE) e porcentagem de germinação (PG), (Maguire, 1962). Durante o teste de germinação e crescimento inicial a irrigação foi realizada diariamente e.

O crescimento inicial foi aferido com 1 planta/vaso (após desbaste realizado 15 dias após a semeadura) no estádio V6, avaliando: número médio de folhas (NF - contagem direta); índice de clorofila foliar (SPAD - medida feita com clorofilômetro digital da marca Konica Minolta); comprimento do sistema radicular (CSR) e altura da planta (ALT) medidos com régua graduada; diâmetro do colmo (DIAM - paquímetro digital); volume do sistema radicular (VSR – proveta graduada e pinça, Zenzen et al. (2007)); massa fresca e seca do sistema radicular (MFSR e MSSR) e da parte aérea (MFPA e MSPA), respectivamente (Carneiro, 1985). A MFSR e MFPA foram determinadas com auxílio de balança digital. Para determinação de MSSR e MSPA os materiais foram colocados em sacos de papel de 8 kg e levados a estufa de circulação forçada de ar à 60°C por 48 horas e em seguida pesados.

Na sequência, o solo foi coletado e analisado para fósforo (P), matéria orgânica (MO), reação do solo (pH), potássio (K⁺), cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺), alumínio (Al³⁺), acidez potencial (H+Al) e capacidade de troca catiônica (CTC), de acordo com Raij et al. (2001).

Os resultados obtidos foram testados para a hipótese da normalidade pelo teste Shapiro-Wilk (Shapiro; Wilk, 1965). Atendidas as pressuposições procedeu-se à análise de variância (ANOVA), sendo aplicado o teste F a 5% de significância para detectar as diferenças nas fontes de variação e entre os tipos de compostagem. Quando encontrada diferença significativa para tempo de compostagem as médias foram comparadas pelo teste Tukey a 5 % de significância e para doses foi realizada a análise de variância na regressão.

3. Resultados e Discussão

A utilização do COMP e do VERM, produzidos a partir dos processos de compostagem e vermicompostagem das macrófitas aquáticas, em diferentes tempos e doses, proporcionou efeitos significativos ($p < 0,05$), ($p < 0,01$) e não significativo (^{ns}), para as variáveis analisadas nas diferentes fontes de variação, tipo de compostagem (TIPO), doses do composto (DOSES), tempo de compostagem (TEMPO) e interações (Tabela 4).

Tabela 4. Valores médios de fósforo (P), matéria orgânica (MO), reação do solo (pH), potássio (K⁺), cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺), acidez potencial (H+Al) e capacidade de troca catiônica (CTC), bem como média geral, coeficiente de variação (CV), p-valor, equações de regressão, coeficiente de determinação (R²), valor F, desvio e ponto de mínimo (PMin), para as fontes de variação tipo de compostagem (TIPO), tempo de compostagem (TEMPO) e doses aplicadas (DOSES), para experimento conduzido com milho

Fontes de Variação	P mg dm ⁻³	MO g dm ⁻³	pH CaCl ₂	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺ mmol dm ⁻³	H+Al	CTC
<i>p</i> -valor								
TIPO (T)	0,5731	0,8035	0,0225	0,8574	0,6217	0,3936	0,6114	0,5959
TEMPO (TE)	0,0751	0,0181	0,1522	0,0383	0,1239	0,3925	0,0125	0,1029
DOSES (D)	0,0000	0,0000	0,1395	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
T x TE	0,4951	0,8435	0,0953	0,6665	0,9252	0,7061	0,0009	0,9304
T x D	0,5697	0,9686	0,0000	0,3215	0,4996	0,5549	0,0000	0,3282
TE x D	0,7030	0,2210	0,6759	0,0926	0,8736	0,9341	0,0000	0,7497
T x TE x D	0,8367	0,9004	0,1162	0,7413	0,9993	0,8024	0,0002	0,9987
Média geral	25	22	6	2	44	16	10	72
CV (%)	44	16	3	41	43	18	15	29
Médias								
TIPO								
Composto	26A	21A	6,53A	2,2A	43A	16A	10,1A	71A
Vermicomposto	25A	22A	6,44B	2,3A	45A	16A	10,2A	73A
Médias								
TEMPO (Dias)								
20	22A	20B	6,5A	2,0B	38A	15A	10,1A	65A
40	26A	21AB	6,5A	2,1B	45A	16A	9,7B	73A
60	28A	23A	6,4A	2,6A	48A	16A	10,7A	78A
Médias								
DOSE (t ha ⁻¹)								
0	9	17	6,4	1,1	20	14	11	46
20	16	19	6,4	1,3	28	14	10	53
40	23	21	6,5	1,7	43	16	9	70
80	38	24	6,5	2,4	59	17	9	88
120	42	26	6,5	4,7	69	19	11	104
Variável	Equações de regressão			R ²	Valor F	Desvio	PMin	
P	$\hat{y} = 10,71 + 0,1127 x$			0,9616	107,2405**	0,621	-	
MO	$\hat{y} = 17,84 + 0,0232 x$			0,9573	73,7390**	0,875	-	
pH	\hat{y}^{ns}			-	-	-	-	
K ⁺	$\hat{y} = 0,7543 + 0,0148 x$			0,8962	155,5040**	0,263	-	
Ca ²⁺	$\hat{y} = 21,92 + 0,1617 x$			0,9682	74,9630**	0,706	-	
Mg ²⁺	$\hat{y} = 13,85 + 0,0193 x$			0,9701	32,6970**	0,616	-	
H+Al	$\hat{y} = 10,99 - 0,0264 x + 0,0019 x^2$			0,9072	39,0050**	0,140	7	
CTC	$\hat{y} = 46,53 + 0,1918 x$			0,9878	81,2710**	0,745	-	

^{ns}, * e ** valores não significativos, significativos a 5 e 1 % respectivamente. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si a 5% de significância ($p \geq 0,05$) pelos testes F e Tukey, para as fontes de variação T e TE, respectivamente.

Fonte: Elaborada pelos autores.

O pH do solo foi o único atributo químico a apresentar variações entre os tipos de compostagem realizados (COMP e VERM), sendo superior à 6,4 quando COMP foi incorporado ao solo (Tabela 4). Na presença de VERM o pH atingiu 6,0, embora menor que nos tratamentos que receberam COMP, este pH está adequado ao cultivo da maioria das culturas (Kämpf, 2000). Para pH foram encontrados resultados significativos no desdobramento TIPO X DOSES (Tabelas 4 e 5). Neste, é possível verificar que o pH responde a adição de doses crescentes de COMP e supera os valores com adição de 120 t ha⁻¹ de VERM, sugerindo maior eficiência do COMP na elevação do pH do solo.

Tabela 5. Valores médios para pH no desdobramento tipo de compostagem (TIPO) x doses do composto (DOSES), bem como *p*-valor, equações de regressão, coeficiente de determinação (R^2) e valor F

DOSES (t ha ⁻¹)	TIPO		<i>p</i> -valor	Regressão	TIPO	
	Composto	Vermicomposto			Composto	Vermicomposto
0	6,35b	6,53a	0,0312	Equação	$\hat{y} = 6,37 + 0,0041 x$	\hat{y}^{ns}
20	6,40a	6,43a	0,6806	R^2	0,8991	-
40	6,57a	6,47a	0,2195	Valor F	27,104**	-
80	6,57a	6,47a	0,2195			
120	6,74a	6,31b	0,0000			
<i>p</i> -valor	0,0001	0,0849				

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem estatisticamente entre si a 5% de significância ($p \geq 0,05$) pelo teste F.

Fonte: Elaborada pelos autores.

No entanto esta discussão deve ser cercada de cautela, uma vez que a irrigação foi conduzida com água de abastecimento público, o que resultou em elevação do pH de 4,9 para 6,4 (Tabelas 3 e 4) mesmo onde não se adicionou material compostado ao solo. Esta observação não invalida o efeito de COMP e VERM sobre o pH, mas indica que estes podem ter sido menos intensos. Boni et al. (2015), explicam o problema da qualidade da água na região e relatam incrementos em pH ao irrigar o solo com água de abastecimento público, corroborando os dados de pH deste experimento.

O tempo de compostagem influenciou o comportamento da MO e da H + Al, o K⁺ embora com indicação estatística de variação ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey não foi possível detectar diferenças entre os tempos de compostagem (Tabela 4). A MO tem seus teores aumentados em 3g kg⁻¹ com o tempo de 60 dias, o que equivale a 3 kg de MO a mais a cada 1t de macrófita, em relação a 20 dias de decomposição. O comportamento da H + Al também apresenta variações com o TEMPO, tendo aos 40 dias a ocorrência da menor concentração (Tabela 4).

Os atributos químicos avaliados foram influenciados pelas doses de compostos aplicadas (Tabela 4) com incrementos lineares para P, MO, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ e CTC, apenas a H + Al apresenta resposta quadrática, diminuindo com a adição das menores doses de COMP e VERM e voltando a aumentar em 120 t ha⁻¹.

Na avaliação estatística dos teores de nutrientes do solo, o P apresenta diferenças significativas ($p < 0,01$) para doses de COMP e VERM aplicadas (0, 20, 40, 80 e 120 t ha⁻¹), tendo a dose equivalente a 120 t ha⁻¹ proporcionado a maior concentração de P no solo, decorrente do maior volume de material orgânico utilizado e da elevação do pH (Tabela 4). Não houve diferença estatística para os valores de P entre COMP e VERM, assim como o tempo de decomposição do material e suas interações não apresentaram diferenças. Desse modo, para o fornecimento de P ao solo não é necessária a vermicompostagem e 20 dias de compostagem são suficientes. Farias et al., (2016) relataram que os substratos com macrófitas foram os mais promissores no fornecimento de P às plantas.

O teor de MO do solo aumentou 53% ao utilizar a dose de 120 t ha⁻¹ (Tabela 4), em relação a não aplicação. Este resultado é semelhante ao observado por Andreotti (2015), em teste feito com palhicho de cana em função de doses de vinhaça em que observaram que o tempo de decomposição do palhicho teve resultados pouco significativo em detrimento das doses de vinhaça aplicadas. O teor de K⁺ no solo (Tabela 4) aumenta com as doses aplicadas, chegando a 327 % de incremento na maior dose (120 t ha⁻¹), indicando que o uso de COMP ou VERM, independente do tempo pode adicionar K ao solo (Cotta et al., 2015).

Os teores de Ca²⁺, Mg²⁺ e CTC (Tabela 4) variam em função das doses e aumentaram 245, 36 e 126 %, respectivamente, entre a menor e a maior dose aplicada (0 e 120 t ha⁻¹), mostrando a contribuição dos compostos COMP e VERM na elevação da CTC, e do Ca²⁺ no solo. Os menores incrementos observados para Mg²⁺, em função das doses aplicadas, são dependentes da composição da macrófita, que contém 1,9 g kg⁻¹ de Mg (Tabela 2) teor reduzido se comparado

ao de cálcio (13,7 g kg⁻¹). A acidez potencial (H+Al) gerou resultados significativos para todas as interações testadas (Tabelas 4 e 6), com maior H+Al ocorrendo com 60 dias de vermicompostagem e na dose equivalente à 120 t ha⁻¹.

Tabela 6. Valores médios para acidez potencial (H+Al) no desdobramento tipo de compostagem (TIPO) x tempo de compostagem (TEMPO), tipo de compostagem (TIPO) x doses aplicadas (DOSES), e tempo de compostagem (TEMPO) x doses aplicadas (DOSES), bem como *p*-valor, equações de regressão, coeficiente de determinação (R²), valor F e ponto de mínimo (PMin)

TIPO	TEMPO (dias)			<i>p</i> -valor
	20	40	60	
Composto	10,46aA	10,13aA	10,00aB	0,5712
Vermicomposto	9,60aA	9,26aA	11,23abA	0,0000
<i>p</i> -valor	0,0600	0,0600	0,0045	

TIPO	DOSES					<i>p</i> -valor
	0	20	40	80	120	
Composto	12,00A	11,00A	9,55A	9,00A	9,44B	0,0000
Vermicomposto	9,44B	9,55B	9,11A	9,00A	13,22A	0,0000
<i>p</i> -valor	0,0000	0,0162	0,4494	1,0000	0,0000	

TIPO	Equações de regressão para (TIPO) x (DOSES)	R ²	Valor F	PMin
Composto	$\hat{y} = 11,30 - 0,0084 x$	0,6594	24,408*	-
Vermicomposto	$\hat{y} = 9,90 - 0,0230 x + 0,0011 x^2$	0,9014	29,036*	10

DOSES (t ha ⁻¹)	TEMPO (dias)			<i>p</i> -valor
	20	40	60	
0	11,50a	10,16a	10,50a	0,1609
20	10,66a	10,16a	10,00a	0,6267
40	9,33a	9,33a	9,33a	1,0000
80	9,00a	9,00a	9,00a	1,0000
120	9,66b	9,83a	14,50a	0,0000
<i>p</i> -valor	0,0049	0,3870	0,0000	

TEMPO	Equações de regressão para (TEMPO) x (DOSES)	R ²	Valor F	PMin
20	$\hat{y} = 11,58 - 0,0735 x + 0,0023 x^2$	0,9679	7,574**	16
40	\hat{y}^{ns}	-	-	-
60	$\hat{y} = 10,99 - 0,0302 x + 0,0011 x^2$	0,9172	42,276*	14

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si a 5% de significância ($p \geq 0,05$) pelos testes Tukey e F, respectivamente. Fonte: Elaborada pelos autores.

Os resultados, em relação aos tipos de compostagem realizados, mostram que não há necessidade de vermicompor o material orgânico (Tabela 4), em função da estreita diferença entre os resultados obtidos para todas as variáveis resposta de solo (Cotta et al., 2015), assim o COMP preparado a partir das macrófitas contribui para melhorar o condicionamento químico do solo. O tipo e o tempo de compostagem não trazem ganhos para fertilidade do solo, já as doses mostraram incrementos positivos para P, MO, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ e CTC, o que permite indicar o uso da macrófitas compostada como condicionante químico do solo.

A porcentagem de germinação (PG) do milho apresenta diferença significativa ($p < 0,01$) entre COMP e VERM (Tabela 7), com a ocorrência de maior PG nos tratamentos que receberam VERM. Embora com diferenças, a PG foi alta nos dois tratamentos (COMP e VERM), superando os 85% considerados padrão para comercialização do milho (Sbrussi; Zucareli, 2014). As doses de COMP e VERM e o TEMPO, bem como suas interações não promoveram diferenças estatística para PG.

A maior PG ocorreu na presença de VERM o que pode ter relação com a ação das minhocas sobre os processos de humificação, que ao digerir o material orgânico, aumenta o grau de maturação e melhoram as características físicas (Tabela 3)

e químicas do VERM (Loureiro et al., 2007), criando um meio satisfatório à germinação das sementes de milho, que apresentam média geral de 95% (Tabela 7).

Tabela 7. Valores médios para porcentagem de germinação (PG), índice de velocidade de emergência (IVE), altura (ALT), diâmetro de colmo (DIAM), número de folhas (NF) e clorofila foliar (SPAD) do milho, bem como média geral, coeficiente variação (CV), *p*-valor, equações de regressão, coeficiente de determinação (R^2), valor F e ponto de máximo (PM), para as fontes de variação tipos de compostagem (TIPO), tempo de compostagem (TEMPO) e doses aplicadas (DOSES), para experimento conduzido com milho

Fontes de Variação	PG (%)	IVE	ALT (cm)	DIAM (mm)	NF unidade	SPAD	
				<i>p</i> valor			
TIPO (T)	0,0028	0,0669	0,9524	0,1005	0,5170	0,0006	
TEMPO (TE)	0,1541	0,0011	0,0471	0,0073	0,0030	0,3197	
DOSES (D)	0,7447	0,5274	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
T X TE	0,0774	0,0504	0,0487	0,0920	0,0009	0,1190	
T X D	0,7447	0,0229	0,9287	0,7599	0,1235	0,0883	
TE X D	0,3579	0,5798	0,3893	0,0027	0,2556	0,1858	
T X TE X D	0,7921	0,2985	0,1768	0,4314	0,5297	0,5375	
Média geral	91	7	80	12	5	38	
CV (%)	17	45	14	14	16	15	
TIPO				Médias			
COMP	87B	6A	80A	12A	4,5A	36B	
VERM	95A	7A	81A	11A	4,6A	40A	
TEMPO (Dias)				Médias			
20	88A	5B	79AB	11B	4,5AB	38A	
40	94A	8A	84A	12A	4,8A	39A	
60	91A	8A	78B	11B	4,3B	38A	
DOSES (t ha ⁻¹)				Médias			
0	91	7	68	9	3,7	29	
20	93	7	87	12	5,0	42	
40	93	7	93	13	5,5	40	
80	89	7	89	13	5,0	41	
120	88	6	65	10	3,5	39	
Variável		Equações de regressão			R^2	Valor F	PM
ALT		$\hat{y} = 69,85 + 0,8822 x - 0,0077 x^2$			0,9781	130,795**	57
DIAM		$\hat{y} = 9,22 + 0,1551 x - 0,0012 x^2$			0,9795	198,740**	78
NF		$\hat{y} = 3,88 + 0,0568 x - 0,0005 x^2$			0,9453	126,657**	57
SPAD		$\hat{y} = 31,46 + 0,3268 x - 0,0022 x^2$			0,6952	39,916**	74

^{ns}, * e ** valores não significativos, significativos a 5 e 1 % respectivamente. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si a 5% de significância ($p \geq 0,05$) pelos testes F e Tukey, para as fontes de variação T e TE, respectivamente.

Fonte: Elaborada pelos autores.

Dados indicando que a presença do VERM no substrato atende às demandas das sementes quanto às condições edáficas adequadas para que ocorra a germinação, além de mostrar que as sementes utilizadas demonstram alto potencial germinativo, característica relativa à qualidade das sementes (Santos, 2018). Os diferentes tipos de compostos não influenciaram o IVE, apenas na maior dose de VERM nota-se uma ligeira redução no IVE (Tabela 8), este pode ser um indicativo de dose muito elevada (Tubehle; Souikane, 2020).

Tabela 8. Valores médios para índice de velocidade de emergência (IVE) no desdobramento tipo de compostagem (TIPO) x doses do composto (DOSES), bem como *p*-valor, equações de regressão, coeficiente de determinação (R^2) e valor F

DOSES (t ha ⁻¹)	TIPO		<i>p</i> -valor
	Composto	Vermicomposto	
0	6,60a	7,61a	0,4262
20	6,02b	8,52a	0,0501
40	6,57a	8,18a	0,2026
80	5,16b	7,90a	0,0321
120	7,36a	4,72b	0,0387
<i>p</i> -valor	0,5054	0,0242	
TIPO	Equação de regressão	R ²	Valor F
Composto	\hat{y}^{ns}	-	-
Vermicomposto	$\hat{y} = 8,64 - 0,0242 x$	0,5798	6,820*

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste F a 5% ($p \geq 0,05$).

Fonte: Elaborada pelos autores.

O TEMPO indica a ocorrência de interferência negativa do menor período de compostagem sobre o IVE (Tabela 7). Esta ocorrência pode estar relacionada ao menor tempo de compostagem (de 20 dias), que pode não ter sido suficiente para estabilização do material, o que pode ter prejudicado o IVE. Compostos orgânicos antes de estarem estabilizados interferem no crescimento das plantas, devido à grande atividade microbiana que o mesmo promove no solo, podendo induzir a inúmeras deficiências minerais, já que estes estarão sendo processados pelos microrganismos (Kiehl, 1998). A interação entre os tipos de compostagem utilizado e as diferentes doses de interferiam estatisticamente nos resultados obtidos para o IVE, nas doses de 20, 80 e 120 t ha⁻¹, com 20 e 80 t ha⁻¹ a melhor resposta ocorre com a aplicação de VERM e com 120 t ha⁻¹ a melhor resposta ocorre na presença de COMP (Tabela 8).

A maioria das variáveis apresentam resposta positiva para as diferentes doses de COMP ou VERM em comparação aos tratamentos que não receberam compostos orgânicos, para o crescimento inicial das plantas (Tabela 7).

As variáveis ALT, DIAM e NF não foram influenciadas pelo COMP ou VERM adicionado ao solo, mas responderam ao TEMPO e às DOSES (Tabela 7), tendo o tempo de compostagem de 40 dias contribuído para a ocorrência de plantas com maior altura, diâmetro e número de folhas. Diante destes resultados pode-se considerar que o tempo de 40 dias é o ideal para seu aproveitamento na cultura do milho, nas condições de crescimento deste trabalho.

Resultados similares foram observados por Souza et al., (2019) avaliando as características físicas e biológicas da compostagem de resíduos animais, na qual determinaram redução do volume do material orgânico a partir de 40 dias de compostagem, fazendo-se revolvimento diariamente. Assim, pode-se considerar que 20 dias de decomposição podem ser insuficientes para preparação e estabilização de COMP e VERM, conferindo resultado inferior para ALT, DIAM e NF (Tabela 9).

Influências significativas de DOSES (0, 20, 40, 80, 120 t ha⁻¹) sobre ALT, DIAM, NF e índice SPAD (clorofila foliar) foram observadas. Em todas as equações, foram encontrados melhores ajustes para equação quadrática, indicando como ponto de máximo 57, 78, 57 e 74 t ha⁻¹, para ALT, DIAM, NF e SPAD, respectivamente (Tabela 7). Estes resultados indicam que, para o crescimento inicial do milho (DKB 390 PRO3), as doses de 80 e 120 t ha⁻¹ foram elevadas, e que doses entre 57 e 78 t ha⁻¹ seriam suficientes para garantir o maior crescimento inicial do milho, nas condições testadas.

Resultados semelhantes foram observados por Coelho et al., (2018) estudando o crescimento e características produtivas de tomate do tipo cereja em diferentes compostos orgânicos no qual não constataram diferença significativa entre os tipos de compostos para crescimento em altura das plântulas de tomate, avaliados até os 60 dias de crescimento vegetativo.

Embora sem diferenças ($p > 0,05$) para altura, para os tipos de compostagem realizados, o desdobramento da interação TIPO x TEMPO mostra que a altura do milho não variou com o tempo de compostagem na presença de COMP, porém a aplicação do VERM mostra maiores alturas do milho com 20 e 40 dias de vermicompostagem (Tabela 9). Assim, na ausência das minhocas o tempo de compostagem das macrófitas pode ser de apenas 20 dias, e na presença das minhocas o melhor tempo de vermicompostagem varia de 20 a 40 dias. No trabalho de Van Tienen et al., (2020) estudando a compostagem e vermicompostagem para biodegradação da matéria orgânica, os materiais secos e esterco bovino foram estabilizados em um período superior a quarenta dias, tempo mínimo para o maior crescimento das minhocas, sobretudo da espécie africana, e notório aumento do número de indivíduos.

Tabela 9. Valores médios para altura (ALT) e número de folhas (NF) do milho no desdobramento tipo de compostagem (TIPO) x tempo de decomposição (TEMPO) e *p*-valor

TIPO	TEMPO (dias)			<i>p</i> -valor
	20	40	60	
	ALT (cm)			
Composto	77aA	83aA	75aA	0,1330
Vermicomposto	82abA	85aA	81bA	0,0176
<i>p</i> -valor	0,1054	0,7423	0,0658	
	NF			
Composto	4,15bB	4,80aA	4,05bB	0,0088
Vermicomposto	4,90aA	4,85aA	4,50bA	0,0003
<i>p</i> -valor	0,0010	0,8222	0,0453	

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si ($p \geq 0,05$) pelos testes Tukey e F, respectivamente. Fonte: Elaborada pelos autores.

O NF apresenta comportamento similar à ALT, uma vez que apresenta maior número de folhas nas plantas cultivadas com VERM, com tempo de compostagem variando de 20 a 40 dias (Tabela 9). A qualidade do vermicomposto, em termos de concentração de nutrientes tem efeito significativo na produtividade das plantas, o que depende dos resíduos usados e da tecnologia empregada (Tognetti et al., 2005).

O DIAM das plantas, embora não tenha sido influenciado pelo tipo de compostagem realizado, apresenta variações na interação TEMPO x DOSES (Tabela 7 e 10). Na maior dose (120 t ha⁻¹), o DIAM é maior com 40 dias de compostagem. No entanto, o maior DIAM dentro de cada tempo de compostagem é alcançado com doses entre 59 e 69 t ha⁻¹, tornando sem efeito a observação anterior, uma vez que, para doses acima de 69 t ha⁻¹ não se espera mais resposta da planta, para DIAM.

Gomes et al (2002) citam que o diâmetro das mudas fornece uma estimativa do crescimento inicial da planta em campo, e quando avaliado isoladamente, é um bom parâmetro para expressar a qualidade das mudas ao longo do seu crescimento.

Tabela 10. Valores médios para Diâmetro do Colmo (DIAM) no desdobramento tempo de decomposição (TEMPO) x doses aplicadas (DOSES), bem como *p*-valor, equações de regressão, coeficiente de determinação (R²), valor F e ponto de máximo (PM)

TEMPO (dias)	DOSES (t ha ⁻¹)					Equação de regressão	R ²	Valor F	PM
	0	20	40	80	120				
20	9,0A	11,9A	13,48A	12,57A	9,96B	$\hat{y} = 9,30 + 0,1381 x - 0,0011 x^2$	0,9435	53,598*	63
40	9,7A	12,3A	13,14A	14,09A	11,70A	$\hat{y} = 9,81 + 0,1268 x - 0,0009 x^2$	0,9538	36,522*	70
60	8,2A	12,7A	13,19A	13,91A	8,26C	$\hat{y} = 8,55 + 0,2005 x - 0,0017 x^2$	0,9583	122,001*	59
<i>p</i> -valor	0,1167	0,4782	0,8738	0,0638	0,0000				

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância ($p \geq 0,05$). Fonte: Elaborada pelos autores.

Pôde-se observar que, mesmo nas doses mais elevadas de COMP ou VERM, não ocorreram reduções no crescimento foliar das plantas de milho, ao contrário, observou-se aumento no crescimento, em comparação com tratamento sem adição de COMP ou VERM (Tabela 7).

Isso sugere a não-ocorrência de efeito fitotóxico, atribuível a possíveis contaminações existentes em COMP ou VERM. Tal fato pode ser explicado pela estabilização da matéria orgânica e redução ou eliminação de substâncias fitotóxicas, promovida pelo processo de compostagem que, segundo Kiehl (1998), pode causar danos às plantas, em decorrência da presença de substâncias tóxicas como metais pesados em excesso, formação de ácidos, excesso de sais e nitrogênio, características que são ausentes segundo análise inicial do material (Tabela 1), que demonstrou todos os elementos dentro dos limites permitidos para uso na agricultura.

Para a análise de teores de clorofila a partir do SPAD (clorofilômetro soil plant analysis development), foi observado diferença significativa ($p < 0,01$) para o tipo de compostagem, sendo o VERM superior ao COMP (Tabela 7) nas diferentes avaliações de teores de clorofila para os tratamentos analisados, também observou-se diferença significativa ($p < 0,01$) para as diferentes doses aplicadas nas plantas de milho, obtendo-se maiores teores de clorofila nos tratamentos que receberam quantidades equivalentes a 20 t ha^{-1} de COMP ou VERM.

Para o conjunto de variáveis MFPA, MSPA, MFSSR, MSSR, CSR, VSR não foram encontrados efeitos do tipo de compostagem estudada (Tabela 11), mas todas responderam às doses aplicadas e o TEMPO influenciou MFPA e MSPA resultando em maior produção de biomassa vegetal aérea quando a compostagem durou 40 dias. Com comportamento quadrático em relação às doses de COMP ou VERM, observa-se a ocorrência de ponto de máximo variando de 64 a 66 t ha^{-1} (Tabela 11), e indicando que doses maiores não são necessárias.

O comprimento do sistema radícula CSR (cm) apresentou aumento com a dose de 20 e 120 t ha^{-1} (Tabela 11) de composto orgânico, havendo decréscimo no crescimento radicular com as doses correspondentes a 40 e 80 t ha^{-1} de composto, indicando assim, diferença estatística entre os tratamentos ($p < 0,05$). Este comportamento corroborou a hipótese de Santos *et al.*, (2010) quando este afirma que a utilização de diferentes doses de resíduos orgânicos na composição de substratos para o cultivo de mudas contribui sensivelmente para o crescimento das raízes. Os resíduos orgânicos alteram diretamente as características biológicas do solo, reforçando e estimulando as comunidades microbianas, pois são fontes de carbono, energia e nutrientes para os microrganismos (Freitas *et al.*, 2010; Vieira *et al.*, 2011).

A diferença entre o tipo de insumo (COMP) e (VERM), bem como o TE não interferiram significativamente no crescimento das raízes das plantas de milho, as interações entre TIPO X TEMPO e TEMPO X DOSES também não apresentaram diferença estatística quanto ao crescimento das raízes, já a interação entre o TEMPO X DOSES (Tabela 11), apresentou diferença significativa ($p < 0,05$) entre o comprimento das raízes dos diferentes tratamentos.

O estudo realizado por Saraiva *et al.*, (2011), verificou que, maiores doses de fósforo proporcionam maiores valores de comprimento de raiz (Tabela 3), uma vez que este elemento exerce grande importância no processo de transferência de energia, pois compõe a molécula do ATP, que armazena energia produzida na fotossíntese e também na respiração, exercendo assim, influência no crescimento radicular da planta (Taiz *et al.*, 2015).

Tabela 11. Valores médios para comprimento do sistema radicular (CSR), volume do sistema radicular (VSR), massa fresca (MFPA) e seca (MSPA) da parte aérea, massa fresca (MFSR) e seca (MSSR) do sistema radicular do milho, bem como média geral, coeficiente variação (CV), *p*-valor, equações de regressão, coeficiente de determinação (R²), valor F e ponto de máximo (PM), para as fontes de variação tipos de compostagem (TIPO), tempo de compostagem (TEMPO) e doses aplicadas (DOSES), para experimento conduzido com milho

Fontes de Variação	CSR (cm)	VSR (cm ³)	MFPA (g)	MSPA (g)	MFSR (g)	MSSR (g)
<i>p</i> valor						
TIPO (T)	0,2031	0,9628	0,1301	0,6289	0,4309	0,4844
TEMPO (TE)	0,3583	0,2184	0,0289	0,0279	0,1376	0,0995
DOSES (D)	0,0500	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
T X TE	0,3590	0,0299	0,1683	0,2003	0,0950	0,2007
T X D	0,3089	0,8469	0,9203	0,7819	0,9425	0,8481
TE X D	0,0106	0,0214	0,3147	0,7002	0,6943	0,1165
Média geral	40	33	47	15	35	9
CV (%)	41	37	33	38	27	39
TIPO	Médias					
COMP	41A	33A	49A	15A	36A	9A
VERM	37A	33A	45A	15A	34A	10A
TEMPO (Dias)	Médias					
20	40A	32A	43B	14B	35A	9A
40	42A	36A	52A	17A	37A	10A
60	37A	32A	47B	15B	33A	9A
DOSES (t ha ⁻¹)	Médias					
0	43	21	24	8	25	6
20	44	35	49	15	38	10
40	34	43	63	21	44	12
80	34	44	64	29	44	11
120	42	24	66	32	25	7
Variável	Equações de regressão			R ²	Valor F	PM
CSR	$\hat{y} = 45,44 - 0,3426 x + 0,0025 x^2$			0,7233	6,868*	68
VSR	$\hat{y} = 21,29 + 0,8137 x - 0,0065 x^2$			0,9990	76,898**	63
MFPA	$\hat{y} = 24,87 + 1,36 x - 0,0106 x^2$			0,9935	2,753*	64
MSPA	$\hat{y} = 8,63 + 0,3970 x - 0,0030 x^2$			0,9631	70,075**	66
MFSR	$\hat{y} = 25,09 + 0,7244 x - 0,0060 x^2$			0,9967	99,406**	60
MSSR	$\hat{y} = 6,80 + 0,1829 x - 0,0015 x^2$			0,9611	42,505**	61

^{ns}, * e ** valores não significativos, significativos a 5 e 1 % respectivamente. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si a 5% de significância ($p \geq 0,05$) pelos testes F e Tukey, para as fontes de variação T e TE, respectivamente.

Fonte: Elaborada pelos autores.

O volume do sistema radicular das plantas (VSR, cm³) não respondeu aos diferentes tipos de compostos utilizados (Tabela 11), mas apresentou diferença nas doses de composto e vermicomposto adicionadas (0, 20, 40, 80, 120 t ha⁻¹), havendo aumento no volume das raízes até os tratamentos que utilizaram as doses correspondentes a 40 e 80 t ha⁻¹, ocorrendo diminuição no volume das raízes no tratamento com 120 t ha⁻¹. Não ocorreu diferença entre os tratamentos em detrimento ao tempo de decomposição dos compostos orgânicos (TEMPO), não tendo interferência no volume da raiz, assim como na interação (TEMPO X DOSE).

Foi verificada interação ($p < 0,05$) entre o tipo de composto x tempo de compostagem (TIPO X TEMPO), e tempo de decomposição x dose (TEMPO X DOSE), diferiram entre si estatisticamente ($p < 0,05$) para volume da raiz das plantas de milho (Tabela 11). O resultado obtido pelas doses 40 e 80 t ha⁻¹ pode estar relacionado as condições físicas do substrato, sendo que o aumento das doses de vermicomposto na composição do substrato propiciou maior porosidade e conseqüentemente, maior aeração, destacando Lima et al., (2006), que observaram que a aeração do substrato é um dos mais importantes fatores envolvidos no crescimento e volume radicular (Tabela 12).

Tabela 12. Valores médios para comprimento (CSR) e volume (VSR) do sistema radicular no desdobramento tempo de decomposição (TEMPO) x doses aplicadas (DOSES), bem como *p*-valor, coeficiente de determinação (R^2), valor F e ponto de máximo (PM)

DOSES (t ha ⁻¹)	CSR (cm)				VSR (cm ³)			
	TEMPO (dias)			<i>p</i> -valor	TEMPO (dias)			<i>p</i> -valor
	20	40	60		20	40	60	
0	35,93a	41,68a	52,37a	0,1290	23,12a	22,75a	17,50a	0,5630
20	37,31a	61,87a	33,12b	0,0012	26,00c	36,62b	43,62a	0,0123
40	31,37a	32,75a	37,37a	0,7437	45,62a	41,75a	41,25a	0,7162
80	30,18a	33,00a	38,25a	0,6060	41,25a	48,00a	43,62a	0,5065
120	36,00a	39,81a	50,06a	0,2092	26,25b	31,75a	13,87c	0,0094
<i>p</i> -valor	0,4049	1,0000	0,0490		0,0000	0,0000	0,0000	
TEMPO (Dias)	Equações de regressão para (TEMPO) x (DOSES) - CSR				R^2	Valor F	PM	
20	\hat{y}^{ns}				-	-	-	
40	\hat{y}^{ns}				-	-	-	
60	$\hat{y} = 49,16 - 0,6268 x + 0,0043 x^2$				0,8519	6,632**	73	
TEMPO (Dias)	Equações de regressão para (TEMPO) x (DOSES) - VSR				R^2	Valor F	PM	
20	$\hat{y} = 20,64 + 0,7177 x - 0,0055 x^2$				0,8082	18,453*	65	
40	$\hat{y} = 22,82 + 0,7437 x - 0,0055 x^2$				0,9820	18,173*	68	
60	$\hat{y} = 20,41 + 0,9796 x - 0,0086 x^2$				0,9115	43,956*	57	

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha, por variável, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de significância ($p \geq 0,05$).

Fonte: Elaborada pelos autores.

Tabela 13. Valores médios para comprimento do sistema radicular (VSR) no desdobramento entre o tipo de insumo (TIPO) x tempo de decomposição (TEMPO), bem como *p*-valor

COMP	TEMPO (dias)			<i>p</i> -valor
	20	40	60	
	VSR			
Composto	28,45bB	38,65aA	33,65aA	0,0272
Vermicomposto	36,45aA	33,70aA	30,30bA	0,0374
<i>p</i> -valor	0,0285	0,2595	0,2167	

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si a 5% de significância ($p \geq 0,05$) pelos testes F e Tukey, respectivamente. Fonte: Elaborada pelos autores.

A diferença entre os compostos orgânicos não interferiu significativamente no aumento da MFPA e MSPA das plantas de milho, assim como as interações entre o tipo de composto e o tempo de decomposição. O tipo de composto e as doses, e o tempo de decomposição e as doses respectivamente também não tiveram diferença estatística segundo as análises estatísticas (Tabela 11).

As diferentes doses de insumo diferiram entre si estatisticamente ($p < 0,01$) de probabilidade para a MFPA e MSPA nas duas compostagens trabalhadas, havendo aumento linear para as dosagens, assim, as plantas que receberam a dose equivalente a 120 t ha⁻¹ tiveram maior crescimento de parte aérea e conseqüentemente maior massa fresca. O tempo de decomposição dos materiais orgânicos também apresentou diferença significativa ($p < 0,05$) entre os tratamentos, sendo distintos os valores da MFPA e MSPA entre as repetições experimentais.

Conforme argumentado por Smet et al., (2006), o ganho em massa fresca da parte aérea das plantas é um processo complexo regulado pelos fatores exógenos, tais como disponibilidade de nutrientes e água, e fatores endógenos, como os hormonais, a exemplo das auxinas.

Não houve diferença estatística ($p \geq 0,05$) entre os tipos de compostos utilizados (COMP e VERM) para MFSR e MSSR, com média de 35 gramas dentre os tratamentos avaliados para MFSR e 9 gramas para MSSR, em contraponto, houve

diferença estatística ($p < 0,01$) entre as doses de insumo orgânico (0, 20, 40, 80, 120 t ha⁻¹) nos tratamentos avaliados, tanto para MFSR quanto para MSSR, assim, observou-se melhor crescimento do sistema radicular as plantas de milho que receberam a dose equivalente a 40 t ha⁻¹, para ambas as variáveis MFSR e MSSR verifica-se que os dados estão próximos à linha de regressão ajustada (R^2).

Pode-se então aferir que tal resultado para as diferentes doses dos compostos é esperado devido à combinação de fatores físicos do material utilizado. Conforme descrito por Taiz et al., (2015), a MFSR só aumenta satisfatoriamente quando o substrato combina boa aeração com alta capacidade de retenção de água e boa drenagem, assim como as substâncias húmicas que exercem várias funções nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo (STEVENSON, 2012), refletindo no melhor ganho de massa fresca.

4. Conclusão

Tanto o composto como o vermicomposto produzidos a partir de macrófitas aquáticas aumentaram os teores de P, MO, K⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺ do solo.

As macrófitas tanto decomposta naturalmente, como vermicomposta contribuíram para o crescimento inicial do milho (DKB 390 PRO3), apresentando resultados para índice de velocidade de emergência (IVE), altura (ALT), diâmetro de colmo (DC), número de folhas (NF), massa fresca (MFPA) e seca da parte aérea (MSPA) e do sistema radicular, comprimento (CSR) e volume de raiz (VSR).

Em função da sensível diferença entre os resultados dos tratamentos com compostos e vermicompostos, torna-se desnecessário o uso da vermicompostagem, podendo ser utilizado o produto da compostagem das macrófitas para condicionamento químico do solo agrícola.

Referências

- Andreotti, M. et al. (2015) Acúmulo de nutrientes e decomposição do palhço de cana em função de doses de vinhaça. *Bioscience Journal*, Bengaluru, 31(2), 563-576, 2015.
- Boni, T. S. et al. Influência da qualidade da água em experimento conduzido em vasos. *Cultura Agrônômica*, Ilha Solteira, 24(4), 343-354, 2015.
- Carneiro, J. G. A. (1995). *Produção e controle de qualidade de mudas florestais*. Curitiba: UFPR/FUPEF, p. 451.
- Coelho, R. G. et al. (2018). Crescimento e características produtivas de tomate do tipo cereja em diferentes compostos orgânicos. *Revista Espacios*, Caracas, 39(26), 29-41.
- Cotta, J. A. O. et al. (2015). Compostagem versus vermicompostagem: comparação das técnicas usando resíduos vegetais, esterco bovino e serragem. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, Rio de Janeiro, 20(1), 65-78.
- Donagemma et al. Análise granulométrica. (2017). In: Teixeira, P. C.; Donagemma, G. K.; Fontana, A.; Teixeira, W. G. (ed.). *Manual de métodos de análise de solos*. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, p. 95-116.
- Farias, W. M. et al. (2016). Utilização de macrófitas aquáticas em substrato para a produção de mudas de moringa, *Pesquisa Florestal Brasileira*, Colombo, 36(851), 25-30.
- Ferreira, D. F. (2019). SISVAR: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. *Revista Brasileira de Biometria*, Lavras, 37(4), 529-535.
- Fornes, F. et al. (2012). Composting versus vermicomposting: a comparative study of organic matter evolution through straight and combined processes. *Bioresource Technology*, Lucnau, 118, 296-305.
- Freitas, I. C. et al. (2010). Microbial and enzymatic activity in soil after organic composting. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, 43(3), 757-764.
- GOMES, J. M. et al. (2002). Parâmetros morfológicos na avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*. *Revista Árvore*, Viçosa, 26(6), 655-664.
- Henry-Silva, G. G.; Camargo, A. F. M. (2018). Impacto das atividades de aquíicultura e sistemas de tratamento de efluentes com macrófitas aquáticas—relato de caso. *Boletim do Instituto de Pesca*, São Paulo, 34(1), 163-173.
- Kämpf, A. N. (2000). Seleção de materiais para uso como substrato. In: KÄMPF, A. N.; FERMINO, M. H. (ed.). *Substratos para plantas: a base da produção vegetal em recipientes*. Porto Alegre: Genesis, p. 139-145.
- Kiehl, E. J. (1998). *Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto*. São Paulo, Piracicaba, 171 p.

- Lima, R. L. S. (2006). et al. Volume de recipientes e composição de substratos para produção de mudas de mamoneira. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, 30(3), 480-486.
- Loureiro, D. C. et al. (2007). Compostagem e vermicompostagem de resíduos domiciliares com esterco bovino para a produção de insumo orgânico. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 42(7), 1043-1048.
- Maguire, J. D. (1962). Speed of germination aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor 1. *Crop Science*, Hoboken, 2(2), 176-177. <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x>.
- Malafaia, G. et al. (2015). Vermicompostagem de lodo de curtume em associação com esterco bovino utilizando *Eisenia foetida*. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, Rio de Janeiro, 20(4), 709-716.
- MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Registros e autorizações*. (2016). <http://www.agricultura.gov.br/vegetal/registros-autorizacoes/>.
- Martins, D. et al. (2008). Caracterização da comunidade de plantas aquáticas de dezoito reservatórios pertencentes a cinco bacias hidrográficas do estado de São Paulo. *Planta Daninha*, Viçosa, 26(1), 17-32.
- Pereira, R. A. et al. (2013). A compostagem como alternativa para a problemática dos resíduos agroindustriais no Sertão Paraibano. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, Pombal, 8(1), 269-273.
- Raij, B. Van et al. (2001). *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 2001.
- Ricci, M. S. F. (1996). *Manual de vermicompostagem*. Porto Velho (RO): EMBRAPA-CPAF. 23 p. (EMBRAPA-CPAF-Rondônia. Documentos 31).
- Saito, B. C.; Andrade, J. A. D. C. (2017). Potencial de linhagens oriundas de populações de milho braquítico para obtenção de híbridos. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, Sete Lagoas, 16(1), 120-130.
- Santos, D. H. et al. (2010). Qualidade tecnológica da cana-de-açúcar sob adubação com torta de filtro enriquecida com fosfato solúvel. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, 1(15), 443-449.
- Santos, H. G. et al. (2018). *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 5. ed. revisada e ampliada, Brasília: Embrapa, 2018. p. 531.
- Saraiva, K. R. et al. (2011). Produção de mudas de mamoeiro sob doses de adubação fosfatada utilizando como fonte superfosfato simples. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, Fortaleza, 5(4), 376 – 383.
- Sartori, V. C. et al. (2011). Adubação verde e compostagem: estratégias de manejo do solo para conservação das águas. *Cartilha para agricultores* [recurso eletrônico]/org.- Caxias do Sul, RS: Educ. Disponível em: <http://www.ucs.br/site/nucleos-pesquisa-e-inovacao-e-desenvolvimento/nucleos-de-inovacao-e-desenvolvimento/agricultura-sustentavel/> Acesso em: 12 set. 2020.
- Sbrussi, C. A. G; Zucareli, C. (2014). Germinação de sementes de milho com diferentes níveis de vigor em resposta à diferentes temperaturas. *Semina: Ciências Agrárias*, Recife, 35(1), 215-226.
- Sena, L. et al. (2019). Compostagem e vermicompostagem como alternativa para tratamento e de destinação de resíduos orgânicos. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, Pombal, 14(2), 266-272.
- Shapiro S. S.; Wilk M. B. (1996) Analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, Oxford, 52, p. 591-611.
- Smet, I. et al. (2006). Lateral root initiation or the birth of a new meristema. *Plant Molecular Biology*, Yokohama, 60(6), 871-887.
- Souza, H. A. et al. (2019). Características físicas e microbiológicas de compostagem de resíduos animais. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia (Online)*, Belo Horizonte, 71, 291-302.
- Stevenson, F. J. (2012). *Humus chemistry: genesis, composition, reactions*. New York: John Wiley, p. 1-23
- Swati, A.; Hait, S. (2018). Greenhouse gas emission during composting and vermicomposting of organic wastes - A review. *CLEAN - Soil, Air, Water*, Medford, 46(6).
- Taiz, L.; Zeiger, E.; Moller, I. M.; Murphy, A. (2015). *Plant physiology and development*. 6.ed. Massachusetts-EUA: Sinauer Associates, Inc. Publishers, p. 553-590.
- Tognetti, C. F.; Laosa, M. J.; Mazarino, M. T. H. (2005). Composting vs. vermicomposting: A comparison of end product quality. *Compost Science & Utilization*, Londres, 13, 6-13.
- Tubeileh, A. M.; Souikane, R. T. (2020). Effect of olive vegetation water and compost extracts on seed germination of four weed species. *Current Plant Biology*, Pensilvânia, 22, 100150.
- Valente, B. S. et al. (2018). Variabilidade na composição química de vermicompostos comerciais. *Revista Verde*, Cataguases, 13(4), 557-562.
- Van Tienen, Y. M. DA Silva. et al. (2020). Avaliação da compostagem e vermicompostagem para biodegradação da matéria orgânica. *Brazilian Journal of Development*, São José dos Pinhais, 6(7), 46833-48639.
- Vieira, G. D. A.; Castilhos, D. D.; Castilhos, R. M. V. (2011). Atributos microbianos do solo após a adição de lodo anaeróbico da estação de tratamento de efluentes de parboilização do arroz. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, 35, 543-550.
- Zenzen, I. L. et al. (2007). Área foliar e volume do sistema radicular em plantas de soja inoculadas com Estirpes de Bradyrhizobium e submetidas ao alagamento. *Revista Brasileira de Biociências*, Porto Alegre, 5(2), 1092-1094.