



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MANEJO DE SOLO E ÁGUA  
MESTRADO EM MANEJO DE SOLO E ÁGUA

LARISSA FERNANDES DA SILVA

REPRODUÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE *Eisenia foetida*, ATIVIDADE  
ENZIMÁTICA MICROBIANA E CARACTERIZAÇÃO DE VERMICOMPOSTO NO  
SEMIÁRIDO

Mossoró

2020

LARISSA FERNANDES DA SILVA

REPRODUÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE *Eisenia foetida*, ATIVIDADE  
ENZIMÁTICA MICROBIANA E CARACTERIZAÇÃO DE VERMICOMPOSTO NO  
SEMIÁRIDO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Mestre em Manejo de Solo e Água.

Linha de Pesquisa: Impactos Ambientais pelo Uso do Solo e da Água

Orientadora: Prof. Dra. Eulene Francisco da Silva

Mossoró

2020

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

S586r Silva , Larissa Fernandes da .  
REPRODUÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE Eisenia  
foetida, ATIVIDADE ENZIMÁTICA MICROBIANA E  
CARACTERIZAÇÃO DE VERMICOMPOSTO NO SEMIÁRIDO /  
Larissa Fernandes da Silva . - 2020.  
52 f. : il.

Orientadora: Eulene Francisco da Silva .  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal  
Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em  
Manejo de Solo e Água, 2020.

1. Minhoca. 2. Enzimas . 3. Macronutrientes .  
4. Substâncias húmicas . 5. Humatos. I. Silva ,  
Eulene Francisco da , orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

LARISSA FERNANDES DA SILVA

REPRODUÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE *Eisenia foetida*, ATIVIDADE  
ENZIMÁTICA MICROBIANA E CARACTERIZAÇÃO DE VERMICOMPOSTO NO  
SEMIÁRIDO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Mestre em Manejo de Solo e Água.

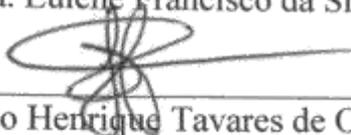
Linha de Pesquisa: Impactos Ambientais pelo Uso do Solo e da Água

Defendida em: 28/02/2020

**BANCA EXAMINADORA**



Prof. Dra. Eulene Francisco da Silva



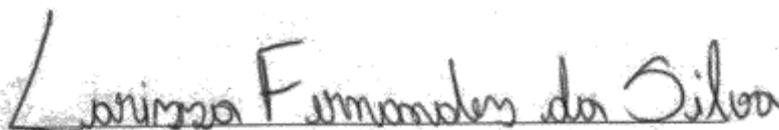
Prof. Dr. Fábio Henrique Tavares de Oliveira



Prof. Dra. Jeane Cruz Portela



Prof. Dra. Diana Ferreira de Freitas



Discente Larissa Fernandes da Silva

## RESUMO GERAL

O processo de vermicompostagem tem como produto o húmus de minhoca, substrato rico em matéria orgânica. Avaliou-se a reprodução e desenvolvimento de *Eisenia foetida*, atividade enzimática microbiana, frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica, caracterização química e humatos isolados dos vermicompostos. O experimento foi desenvolvido em conjunto com os agricultores da Associação dos Agricultores Familiares da Agrovila Pomar, no assentamento rural Eldorado dos Carajás II (Maísa), em Mossoró-RN, Brasil. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 6x4, com quatro repetições. Os tratamentos constaram de seis substratos: T1 - esterco bovino + folhas de cajueiro (*Anacardium occidentale* L.); T2 - esterco caprino + folhas de cajueiro; T3 - esterco bovino + folhas de catanduva (*Piptadenia moniliformis* Benth.); T4 - esterco caprino + folhas de catanduva; T5 - esterco bovino + folhas de cajueiro + folhas de catanduva; T6 - esterco caprino + folhas de cajueiro + folhas de catanduva, em quatro períodos de avaliação (30, 60, 90 e 120 dias após a implantação do experimento), totalizando 96 unidades experimentais. Foram analisados reprodução e desenvolvimento da minhoca, atividade enzimática ( $\beta$ -glicosidase, desidrogenase, fosfatases alcalina e ácida), frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica, características químicas e humatos isolados dos vermicompostos. Os tratamentos preparados com esterco bovino sobressaíram ao esterco caprino, que independente do resíduo vegetal estimulou a multiplicação, a biomassa total da minhoca, maior teor de carbono na biomassa microbiana e atividade enzimática durante a vermicompostagem. Os tratamentos com esterco bovino proporcionaram maiores teores de nitrogênio, carbono orgânico total e carbono nas frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica. A humificação foi favorecida pelo maior aporte e qualidade do material orgânico, associado ao maior teor de cálcio nos tratamentos com esterco bovino. Os tratamentos constituídos com esterco caprino apresentaram os maiores teores de P e K extraído com Mehlich-1, todavia, após digestão nítrica os maiores teores foram encontrados nos tratamentos com esterco bovino. Os humatos isolados dos tratamentos com esterco bovino apresentaram menor evolução química, maior presença de C em grupos alifáticos, maior acidez total e carboxílica.

**Palavras-chave:** Minhoca. Enzimas. Macronutrientes. Substâncias húmicas. Humatos.

## ABSTRACT

The vermicomposting process produces worm humus, a substrate rich in organic matter. The reproduction and development of *Eisenia foetida*, microbial enzymatic activity, labile and recalcitrant fractions of organic matter, chemical characterization and isolated humus from vermicomposts were evaluated. The experiment was developed in conjunction with farmers from the Association of Family Farmers of Agrovila Pomar, in the rural settlement Eldorado dos Carajás II (Maísa), in Mossoró-RN, Brazil. The experimental design used was in randomized blocks, in a 6x4 factorial scheme, with four replications. The treatments consisted of six substrates: T1 - bovine manure + cashew leaves (*Anacardium occidentale* L.); T2 - goat manure + cashew leaves; T3 - bovine manure + catanduva leaves (*Piptadenia moniliformis* Benth.); T4 - goat manure + catanduva leaves; T5 - cattle manure + cashew leaves + catanduva leaves; T6 - goat manure + cashew leaves + catanduva leaves, in four evaluation periods (30, 60, 90 and 120 days after the implementation of the experiment), totaling 96 experimental units. Worm reproduction and development, enzymatic activity ( $\alpha$ -glycosidase, dehydrogenase, alkaline and acid phosphatases), labile and recalcitrant fractions of organic matter, chemical characteristics and isolated humus from the vermicomposts were analyzed. The treatments prepared with bovine manure stood out from goat manure, which regardless of plant residue stimulated multiplication, the total biomass of the earthworm, higher carbon content in microbial biomass and enzymatic activity during vermicomposting. The treatments with bovine manure provided higher levels of nitrogen, total organic carbon and carbon in the labile and recalcitrant fractions of organic matter. Humification was favored by the higher input and quality of organic material, associated with the higher calcium content in treatments with bovine manure. The treatments made with goat manure showed the highest levels of P and K extracted with Mehlich-1, however, after nitric digestion the highest levels were found in treatments with bovine manure. Humates isolated from treatments with bovine manure showed less chemical evolution, greater presence of C in aliphatic groups, greater total and carboxylic acidity.

**Keywords:** Worm. Enzymes. Macronutrients. Humic substances. Humates.

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO 1 – EFEITO DE VERMICOMPOSTOS NO CRESCIMENTO, REPRODUÇÃO E BIOMASSA DE *Eisenia foetida* E NA ATIVIDADE ENZIMÁTICA. **Erro! Indicador não definido.**

Tabela 1. Composição dos tratamentos .....	18
Tabela 2. Caracterização química dos resíduos orgânicos utilizados na formulação dos tratamentos.....	9
Tabela 3. Quantidade de minhoca, índice de multiplicação, comprimento e biomassa total de minhoca em vermicompostagem .....	22
Tabela 4. Carbono da biomassa microbiana e atividade enzimática em vermicomposto .....	21
Tabela 5. Correlação de Pearson (r) entre quantidade, comprimento e biomassa total de minhoca, carbono da biomassa microbiana e atividade enzimática em vermicompostagem...	26
Tabela 6. Equações de regressão e valor de R <sup>2</sup> para quantidade de minhoca, biomassa total e carbono da biomassa microbiana em 120 dias de vermicompostagem .....	28
Tabela 7. Equações de regressão e valor de R <sup>2</sup> para β-glicosidase, desidrogenase, fosfatases alcalina e ácida, em 120 dias de vermicompostagem.....	29

### CAPÍTULO 2 – TIPOS DE CARBONO, CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E HUMATOS ISOLADOS DE VERMICOMPOSTOS .....

Tabela 1. Composição dos tratamentos .....	38
Tabela 2. Caracterização química dos resíduos orgânicos utilizados na formulação dos tratamentos.....	41
Tabela 3. Carbono orgânico total e C nas frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica, nutrientes disponíveis por extratores e após digestão (mineralizáveis) dos vermicompostos..	44
Tabela 4. Equações de regressão e valor de R <sup>2</sup> para carbono orgânico total, carbono lábil, carbono do ácido fúlvico e húmico em 120 dias de vermicompostagem .....	46
Tabela 5. Equações de regressão e valor de R <sup>2</sup> para nutrientes disponíveis e mineralizados em 120 dias de vermicompostagem .....	48
Tabela 6. Composição elementar, relações atômicas, razão E <sub>4</sub> /E <sub>6</sub> e acidez dos humatos isolados de vermicompostos.....	51

## Sumário

INTRODUÇÃO GERAL .....	9
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	12
CAPÍTULO 1 – EFEITO DE VERMICOMPOSTOS NO CRESCIMENTO, REPRODUÇÃO E BIOMASSA DE <i>Eisenia foetida</i> E NA ATIVIDADE ENZIMÁTICA.....	14
RESUMO.....	15
ABSTRATC .....	16
INTRODUÇÃO.....	17
MATERIAL E MÉTODOS.....	18
Localização e Implantação do Experimento.....	18
Caracterização dos Resíduos Orgânicos.....	19
Reprodução e Desenvolvimento das Minhocas.....	19
Teor de Carbono da Biomassa Microbiana (CBM) dos Vermicompostos.....	21
Análises Enzimáticas ( $\beta$ -glicosidase, desidrogenase, fosfatases alcalina e ácida) dos Vermicompostos.....	21
Análise Estatística.....	21
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	22
CONCLUSÃO.....	30
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	30
CAPÍTULO 2 – TIPOS DE CARBONO, CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E HUMATOS ISOLADOS DE VERMICOMPOSTOS .....	34
RESUMO.....	35
ABSTRATC .....	36
INTRODUÇÃO.....	37
MATERIAL E MÉTODOS.....	38
Localização e Implantação do experimento .....	38
Caracterização dos Resíduos Orgânicos.....	39
Reprodução e Desenvolvimento das Minhocas.....	39
Teor de Carbono Orgânico Total (COT), Carbono Lábil (CL) e Carbono das Substâncias Húmicas (C-SH) .....	41
Análises Químicas dos Nutrientes Disponíveis por meio de Extratores Químicos.....	41
Análises Químicas dos Vermicompostos Mineralizados após Digestão em Forno de Micro-ondas .....	41
Extração e Caracterização Química dos Humatos.....	42
Análise Estatística.....	42
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	42
CONCLUSÃO.....	51
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	52

## INTRODUÇÃO GERAL

Em função de características naturais complexas e altamente heterogêneas em relação à chuva, ao solo e a vegetação a região semiárida nordestina representa um enorme desafio para o uso e o manejo do solo e da água em sistemas agrícolas. Os solos da região apresentam baixos teores de matéria orgânica, preocupante, uma vez que a matéria orgânica é fundamental para a dinâmica ecológica dos solos. A matéria orgânica no solo contribui para melhoria da sua estrutura, com reflexos no aumento da permeabilidade e conservação da umidade, na manutenção do poder tampão e da atividade biológica, na liberação e solubilização de nutrientes para as plantas (Nascimento et al., 2015; Silva, 2017; Trindade et al., 2018).

Nessa região, a adubação orgânica vem ganhando força impulsionada pela agricultura familiar sustentável, prática de suma importância para os solos do semiárido nordestino (Rocha, Silva & Santos, 2017). Na tentativa de diversificar a produção agrícola sustentável, aumentar a renda, garantir a segurança alimentar e conservar o solo, agricultores do semiárido nordestino pertencentes ao assentamento rural Eldorado dos Carajás II, estão produzindo vermicomposto (húmus de minhoca), substrato rico em matéria orgânica. Esses agricultores iniciaram a produção por ser uma atividade perfeitamente adaptada à pequena escala de produção, pela simplicidade de manejo, disponibilidade de espaço físico para a implantação do minhocário, terem matéria orgânica e mão-de-obra. Além disso, é fonte alternativa de renda, uma vez que, podem comercializar o vermicomposto (Rocha, Silva & Santos, 2017). Todavia, não se conhece a composição química nem seu efeito sobre a reprodução e desenvolvimento das minhocas.

No processo de vermicompostagem os agricultores utilizam a minhoca *Eisenia foetida* que adapta-se facilmente às condições de cativeiro, possui grande capacidade de produção de húmus e uma alta velocidade de reprodução, sendo altamente capaz de se acasalar durante praticamente toda sua existência (Oliveira et al., 2008). Porém sua atividade reprodutiva e desenvolvimento, podem ser influenciados pelas condições ambientais, nutricionais, densidade populacional e tipo de substrato (Steffen et al., 2013; Alencar et al., 2016), por isso, surge à necessidade de estudos que considere a realidade e as condições vivencias pelos agricultores (*in situ*) ao aplicarem a vermicompostagem. Associado a isso, análises microbiológicas e enzimáticas são fundamentais, uma vez que, os microrganismos são responsáveis pela decomposição da matéria orgânica, ciclagem de nutrientes e fluxo de energia no solo, podendo ter influência tanto na decomposição, quanto humificação do carbono (Bowles et al., 2014).

Além das análises microbiológicas e enzimáticas, os parâmetros normalmente utilizados são: relação C/N, pH e teores de macro e micronutrientes (Cunha et al., 2015; Malafaia et al., 2015; Almeida et al., 2018), mas pouco tem sido estudado em relação à composição e às características das substâncias húmicas e frações lábeis dessa matéria orgânica. Outro aspecto a se considerar é realizar também a análise dos teores de nutrientes disponíveis por extratores associado aos nutrientes após digestão do substrato em meio ácido, uma vez que, dessa forma ter-se-á uma melhor compreensão da disponibilidade no curto e médio prazo.

Dentre os resíduos sólidos orgânicos utilizados como substrato na vermicompostagem destacam-se: palhas, esterco (Lima et al., 2019), serragem, casca de arroz, resíduos urbanos (lixo orgânico doméstico e lodo de esgoto) (Sena et al., 2019) e resíduos agroindustriais (Santos et al., 2019). Contudo, na falta de disponibilidade de outros materiais orgânicos, os agricultores optaram por substratos disponíveis nos seus pomares, como folhas de cajueiro (*Anacardium occidentale L.*) e catanduva (*Pityrocarpa moniliformis Benth.*), esterco bovino e caprino.

O cajueiro é uma planta nativa do nordeste Brasileiro e apresenta considerável capacidade adaptativa a solos de baixa fertilidade, temperaturas elevadas e estresse hídrico. Devido a essas características, o cajueiro tornou-se importante fonte de renda nos estados do Nordeste. A catanduva é uma espécie pioneira, de porte médio e, no nordeste do Brasil ocorre principalmente em solos arenosos, possui crescimento rápido e pode ser utilizada em projetos de recuperação de áreas degradadas (Maia-Silva et al., 2012).

Entretanto, a longo prazo, com relação ao uso da folha de cajueiro e de catanduva, pode não ser sustentável, pois a serapilheira dessas plantas é um compartimento ativo e vital do ecossistema. É um reservatório de matéria orgânica e de nutrientes, que influencia e regula boa parte dos processos funcionais que ocorrem em um ecossistema, além de controlar diversas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (fator-chave para a manutenção de sistemas florestais e controle de processos erosivos). A sustentabilidade ambiental *in situ* desses substratos usados na vermicompostagem poderá ser comprometida a longo prazo, no entanto, é o que esses agricultores possuem disponíveis. Neste contexto, o estudo sobre a viabilidade de seu uso, e se este material pode ser substituído é fundamental para os agricultores da região semiárida.

Nessa perspectiva, parte-se do seguinte problema: Qual o vermicomposto de melhor qualidade para a reprodução e desenvolvimento de *Eisenia foetida*, assim como apresenta as melhores características químicas? As principais hipóteses são de que o vermicomposto com esterco bovino independente do resíduo vegetal possui a melhor qualidade para reprodução e

desenvolvimento de minhoca, e conseqüentemente possui as melhores características químicas.

Diante do exposto, essa dissertação está dividida em dois capítulos. O primeiro objetivou avaliar a reprodução e desenvolvimento de *Eisenia foetida*, assim como a biomassa microbiana e atividade enzimática em vermicompostos oriundos da mistura de resíduos animais e vegetais no semiárido nordestino. O segundo foi mais abrangente e objetivou-se: a) quantificar os nutrientes disponíveis por extratores e mineralizados após digestão níttrica dos vermicompostos oriundos da mistura de resíduos animais e vegetais; b) quantificar os teores de carbono nas frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica dos vermicompostos e, c) analisar humatos isolados dos vermicompostos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alencar, A. P.; Netto, A. J.; Nogueira, B. D. Efeito de substratos na produção e multiplicação de *Eisenia fetida* Savigny (1826). *Acta Kariri Pesquisa e Desenvolvimento, Crato/CE*, v.1, p.21-28, 2016.
- Almeida, R. G.; Xavier, G. E.; Valente, S. B.; Roll, B. V. F.; Nichelle, D. C. Vermicompostagem da mistura de cinza de casca de arroz com esterco bovino e serragem. *Archivos de Zootecnia*, v.67, n.258, p.212-218, 2018.
- Bowles, T. M.; Acosta-Martínez, V.; Calderón, F.; Jackson, L. E. Soil enzyme activities, microbial communities, and carbon and nitrogen availability in organic agroecosystems across an intensively-managed agricultural landscapeq. *Soil Biology & Biochemistry*, v. 68, p.252-262, 2014.
- Cunha, A. H. N.; Fernandes, E. P.; Araújo, F. G. de; Malafaia, G.; Correio, J. A. V. Vermicompostagem de lodo de curtume associado a diferentes substratos. *Multi-Science Journal*, v. 1, n.3, p.31-39, 2015.
- Lima, M. V. G.; Filho, C. A. dos S.; Ferreira, J. V. V.; Souza, K. G. de; Shockness, L. dos S. F.; Bento, G. F. Vermicompostos como substratos no desempenho de mudas de alface e rúcula. *Revista Verde*, v.14, n.3, p.374-381, 2019.
- Maia-Silva, C.; Silva, C. I.; Queiroz, M. H.; Rubens, T.; Imperatriz-Fonseca, V. L. Guia de plantas: visitadas por abelhas na Caatinga. Fortaleza, CE : Editora Fundação Brasil Cidadão, 1. ed., 2012.
- Malafaia, G.; Jordão, C. R.; Araújo, F. G. de; Leandro, W. M.; Rodrigues, A. S. de L. Vermicompostagem de lodo de curtume em associação com esterco bovino utilizando *Eisenia fetida*. *Engenharia Sanitária Ambiental*, v.20, n.4, p.709-716, 2015.
- Nascimento, A. F.; Pires, F. R.; Czepak, M. P.; Fernandes, A. A.; Rodrigues, J. O. Caracterização de vermicomposto produzido com palha de café e esterco bovino. *Revista aatinga, Mossoró*, v.28, n.4, p.1-9, 2015.
- Oliveira, E. M.; Costa, F. X.; Costa, C. C. Reprodução de minhoca (*Eisenia foetida*) em diferentes substratos. *Revista Caatinga*, v.21, p.146-150, 2008.
- Rocha, D. F. da; Silva, T. N.; SANTOS, C. A. B. Atividade reprodutiva da *Eisenia foetida* (Savigny, 1826) (Haplotaxida: Lumbricidae) em diferentes habitats. *Revista Ouricuri*, v.7, n.2, p.17-30, 2017.
- Santos, L. S.; Sousa, M. A.; Souza, Á. I. A. F.; Rodrigues, M.; Cruz, W. P. Reprodução e sobrevivência de *Eisenia andrei* sob diferentes resíduos agroindustriais. *Revista de Ciências Agrárias*, v.62, 2019.
- Sena, L. M.; Arruda, J. F.; Francisca, C. R. S.; Almeida, F. B. B.; Brito, P. O. B.; Gondim, F. A. Compostagem e vermicompostagem como alternativa para tratamento e destinação de resíduos orgânicos. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v.14, n.2, p.266-272, 2019.

Silva, J. I. A. O. Desenvolvimento e meio ambiente no semiárido: contradições do modelo de conservação das Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPNs) na Caatinga Sociedade e Estado, v.32, n.2, p.313, 2017.

Steffen, G. P. K.; Antonioli, Z. I.; Steffen, R. B.; Jacques, R. J. S. Importância ecológica e ambiental das minhocas. Revista de Ciências Agrárias, v.36, n.2, 2013.

Trindade, P. C.; Lana, R. P.; Veloso, C. M.; Pereira, D. S. Desempenho agrônomo e qualidade da silagem do capim elefante com adubação orgânica. Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável, v.8, n.2, 2018.

**CAPÍTULO 1 – EFEITO DE VERMICOMPOSTOS NO CRESCIMENTO,  
REPRODUÇÃO E BIOMASSA DE *Eisenia foetida* E NA ATIVIDADE ENZIMÁTICA**

## RESUMO

O húmus de minhoca é promissor para uso nos solos do semiárido nordestino, favorecendo excelente resultado agrônômico. Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar a reprodução e desenvolvimento de *Eisenia foetida*, assim como a biomassa microbiana e atividade enzimática em vermicompostos oriundos da mistura de resíduos animais e vegetais no semiárido nordestino. O experimento foi desenvolvido em conjunto com os agricultores da Associação dos Agricultores Familiares da Agrovila Pomar, no assentamento rural Eldorado dos Carajás II (Maísa), em Mossoró-RN, Brasil. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 6x4, com quatro repetições. Os tratamentos constaram de seis substratos: T1 - esterco bovino + folhas de cajueiro (*Anacardium occidentale* L.); T2 - esterco caprino + folhas de cajueiro; T3 - esterco bovino + folhas de catanduva (*Piptadenia moniliformis* Benth.); T4 - esterco caprino + folhas de catanduva; T5 - esterco bovino + folhas de cajueiro + folhas de catanduva; T6 - esterco caprino + folhas de cajueiro + folhas de catanduva, em quatro períodos de avaliação (30, 60, 90 e 120 dias após a implantação do experimento), totalizando 96 unidades experimentais. Independente do resíduo vegetal, os tratamentos com esterco bovino estimularam a multiplicação e a biomassa total de *Eisenia foetida*. A superior oferta do carbono fornecido pelos tratamentos com esterco bovino para utilização dos microrganismos proporcionou, maior teor de carbono na biomassa microbiana e atividade das enzimas  $\beta$ -glicosidase, desidrogenase, fosfatases alcalina e ácida. O comprimento de minhoca não foi influenciado pelos tratamentos. Assim, conclui-se que a dinâmica de envelhecimento dos vermicompostos foi caracterizada pela diminuição nas populações microbianas, quantidade e biomassa total de minhoca, o que resultou na redução da síntese de novas enzimas e/ou a degradação do reservatório de enzimas remanescentes.

**Palavras-Chave:** Esterco bovino. Esterco caprino. Biomassa microbiana.  $\beta$ -Glicosidase. Fosfatases. Semiárido Brasileiro.

## ABSTRACT

Earthworm humus is promising for use in soils in the Northeastern semi-arid region, favoring excellent agronomic results. Thus, the objective of this study was to evaluate the reproduction and development of *Eisenia foetida*, as well as the microbial biomass and enzymatic activity in vermicomposites from the mixture of animal and plant residues in the northeastern semiarid. The experiment was developed in conjunction with farmers from the Association of Family Farmers of Agrovila Pomar, in the rural settlement Eldorado dos Carajás II (Maísa), in Mossoró-RN, Brazil. The experimental design used was in randomized blocks, in a 6x4 factorial scheme, with four replications. The treatments consisted of six substrates: T1 - bovine manure + cashew leaves (*Anacardium occidentale* L.); T2 - goat manure + cashew leaves; T3 - bovine manure + catanduva leaves (*Piptadenia moniliformis* Benth.); T4 - goat manure + catanduva leaves; T5 - cattle manure + cashew leaves + catanduva leaves; T6 - goat manure + cashew leaves + catanduva leaves, in four evaluation periods (30, 60, 90 and 120 days after the implementation of the experiment), totaling 96 experimental units. Regardless of the vegetable residue, treatments with bovine manure stimulated the multiplication and the total biomass of *Eisenia foetida*. The superior supply of carbon provided by treatments with bovine manure for the use of microorganisms provided, higher carbon content in microbial biomass and activity of  $\beta$ -glycosidase, dehydrogenase, alkaline and acid phosphatases. The worm length was not influenced by the treatments. Thus, it is concluded that the aging dynamics of the vermicomposites was characterized by a decrease in microbial populations, quantity and total earthworm biomass, which resulted in the reduction of the synthesis of new enzymes and / or the degradation of the remaining enzyme reservoir.

**Keywords:** Bovine manure. Goat manure. Microbial biomass.  $\beta$ -Glycosidase. Phosphatases. Brazilian semiarid.

## INTRODUÇÃO

A produção agroecológica tem ganhado espaço no mercado brasileiro, em virtude da maior conscientização dos consumidores sobre a importância da segurança alimentar. Agricultores rurais do semiárido nordestino inseridos na cadeia de produção orgânica estão adaptando a vermicompostagem à pequena escala de produção, incentivados pela oportunidade de gerar renda extra com a venda do húmus de minhoca e utilizá-lo como fertilizante no plantio (Rocha, Silva & Santos, 2017). Os solos dessa região apresentam baixos teores de matéria orgânica, um fator limitante que reduz a sua capacidade produtiva. A aplicação do húmus de minhoca nesses solos é essencial, tanto através da agricultura orgânica como por meio da agricultura convencional.

O húmus gerado no trato digestivo da minhoca durante a vermicompostagem tem excelentes resultados agrônomicos. Isso se deve ao fato de atuar sobre atributos físicos do solo, como aeração, manutenção da umidade, porosidade, densidade e capacidade de retenção de água, além de disponibilizar nutrientes prontamente assimiláveis pelas plantas. Aumentando também a atividade enzimática, presença de ácidos húmicos e hormônios vegetais no solo (Araújo et al., 2019).

As minhocas estimulam a atividade bioquímica e ciclagem dos nutrientes, contribuindo para a redução do período de degradação de resíduos orgânicos, resultando na maturação do vermicomposto em menos tempo (Devi et al., 2009). A *Eisenia foetida* apresenta alta capacidade de proliferação, elevada resistência e adaptabilidade às condições de cativeiro, no entanto na literatura não são reportadas diferenças acerca da sua reprodução e desenvolvimento em função do tipo de resíduo orgânico e suas misturas (Alencar et al., 2016; Bhat et al., 2016; Sharma & Garg, 2018; Gong et al., 2018). Associado a isso, análises microbiológicas e enzimáticas são fundamentais, uma vez que, os microrganismos são responsáveis pela decomposição da matéria orgânica, ciclagem de nutrientes e fluxo de energia no solo, podendo ter influência tanto na decomposição, quanto na humificação do carbono (Bowles et al., 2014).

Dentre os resíduos sólidos orgânicos utilizados na vermicompostagem destacam-se: palhas, esterco (Lima et al., 2019), serragem, casca de arroz, resíduos urbanos (lixo orgânico doméstico e lodo de esgoto) (Sena et al., 2019) e resíduos agroindustriais (Santos et al., 2019). Na falta de disponibilidade de outros resíduos orgânicos, os agricultores rurais do Assentamento Eldorado dos Carajás II situado em Mossoró/RN optaram por resíduos disponíveis nas suas áreas de cultivo, como folhas de cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) e de catanduva (*Pityrocarpa moniliformis* Benth.) associadas a esterco bovino e caprino.

Parte-se da hipótese de que os tratamentos independentes do resíduo vegetal (folhas de cajueiro e de catanduva) influenciaram a reprodução e desenvolvimento de *Eisenia foetida*, assim como a biomassa microbiana e a atividade enzimática nos substratos. Diante do exposto, o objetivo deste estudo foi avaliar a reprodução e desenvolvimento de *Eisenia foetida*, assim como a biomassa microbiana e atividade enzimática em vermicompostos oriundos da mistura de resíduos animais e vegetais no semiárido nordestino.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Localização e Implantação do Experimento

O experimento foi implantado na sede da Associação dos Agricultores Familiares da Agrovila Pomar (ASSAF) no assentamento rural Eldorado dos Carajás II (Maísa), localizado em Mossoró, estado do Rio Grande do Norte. O clima segundo Köppen classifica-se como BSh, semiárido com temperatura média anual de 26,5 °C e precipitação pluviométrica menor que 650 mm, com maior intensidade nos meses de fevereiro a junho, com vegetação predominante Caatinga (Alvares et al., 2014).

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 6x4, com quatro repetições. Os tratamentos constaram de seis substratos (Tabela 1), com quatro datas de avaliação (30, 60, 90 e 120 dias após a implantação do experimento) totalizando 96 unidades experimentais. As quantidades de substratos utilizados foram em proporções equivalentes aos utilizados pelos agricultores. Os esterco e as folhas foram secos a temperatura ambiente (26,5 °C) e macerados manualmente até atingir a menor granulometria possível.

Tabela 1. Composição dos tratamentos

Tratamento	Resíduos orgânicos*
T1	esterco bovino 800 g + folha de cajueiro 25 g
T2	esterco caprino 800 g + folha de cajueiro 25 g
T3	esterco bovino 800 g + folha de catanduva 25 g
T4	esterco caprino 500 g + folha de catanduva 25 g
T5	esterco bovino 800 g + folha de catanduva 12,5 g + folha de cajueiro 12,5 g
T6	esterco caprino 800 g + folha de catanduva 12,5 g + folha de cajueiro 12,5 g

\*As massas dos esterco e das folhas são com base na massa seca.

As unidades experimentais utilizadas foram vasos de polietileno, com capacidade de 8 litros contendo drenos de 0,5 cm no fundo. Cada vaso foi forrado com material de

polipropileno com malha de 1 mm e tamanho de 25 x 25 cm<sup>2</sup>, para impedir a fuga das minhocas e a entrada de formigas. Os vasos foram mantidos ao ar livre sob sombra de árvores, semelhante aos conduzidos pelos agricultores no seu cotidiano. Para se obter a aproximação da realidade do agricultor a irrigação foi realizada uma vez por dia (início da manhã) próximo a capacidade de campo (avaliação visual) (Gassen, 2006). Os vasos foram trocados de posição uma vez por semana no sentido horário. Essas trocas foram feitas em blocos, para que todas as repetições dos tratamentos passassem por variadas posições no ambiente.

### **Caracterização dos Resíduos Orgânicos**

Na Tabela 2 encontram-se a caracterização química dos resíduos orgânicos vegetais e animais utilizados na formulação dos tratamentos. A condutividade elétrica (CE) foi determinada, utilizado 10 cm<sup>3</sup> do vermicomposto e adicionado 25 mL de água destilada à amostra. Ficou em repouso por 1 h e foi realizado a leitura em pHmetro (Silva, 2009). Posteriormente a amostra foi agitada manualmente e realizada a leitura do potencial hidrogeniônico (pH) (Silva, 2009). O teor de lignina foi determinado em detergente ácido (LDA) (Gomes, Detmann & Cabral, 2012). Os teores de nutrientes totais foram determinados seguindo Silva (2009)

### **Reprodução e Desenvolvimento das Minhocas**

A matriz de *Eisenia foetida* foi cedida pela ASSAF, cujo comprimento médio esteve entre 9 e 12 cm o que é considerado tamanho da fase adulta. Com auxílio de um pincel de cerdas finas foi retirada o excesso de solo aderido ao corpo das minhocas e determinada a biomassa inicial com auxílio de uma balança de precisão. Nos resíduos homogeneizados e umedecidos próximo a capacidade de campo (avaliação visual) (Gassen, 2006), em cada unidade experimental foram adicionadas cinco minhocas (média proporcional utilizada pelos agricultores locais em pequena escala).

Em cada data de avaliação (30, 60, 90 e 120 dias), os vasos foram “desmontados” e o conteúdo dos vasos depositado em bandejas plásticas, nas quais as minhocas foram separadas manualmente. Posteriormente, determinou-se a quantidade de indivíduos por vaso, comprimento médio de cinco minhocas maiores com auxílio de régua (cm) e biomassa total (g) utilizando balança de precisão. Por fim determinou-se o índice de multiplicação das minhocas (população final/população inicial) (Farias et al., 2018).

Tabela 2. Caracterização química dos resíduos orgânicos utilizados na formulação dos tratamentos

Resíduos orgânicos	pH	CE --(dS m <sup>-1</sup> )-	Lignina ---(%)--	C	N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Zn	Cu
				------(g kg <sup>-1</sup> )-----							------(mg kg <sup>-1</sup> )-----			
Esterco bovino	7.1	0.7	22.2	56.6	45.1	0.7	6.5	0.3	0.07	352	114	17	9.8	0.4
Esterco caprino	8.5	2.4	20.0	15.3	29.8	0.2	8.3	0.1	0.05	218	242	5	5.9	1
Folha de cajueiro	5.9	0.5	35.2	57.1	30.0	0.05	6.2	0.4	0.07	589	141	30	2.5	0.7
Folha de catanduva	4.2	0.5	32.5	52.4	205.5	0.1	1.5	0.1	0.03	146	482	20	3.2	1.2

C - Carbono. N - Nitrogênio. P - Fósforo. K - Potássio. Ca - Cálcio. Mg - Magnésio. Na - Sódio. Fe - Ferro. Mn - Manganês. Zn - Zinco. Cu - Cobre.

## **Teor de Carbono da Biomassa Microbiana (CBM) dos Vermicompostos**

O CBM foi determinado pelo método de irradiação-extração por micro-ondas. 10 g de vermicomposto com umidade ajustada para 60 % sofreram irradiação de micro-ondas, recebendo  $800 \text{ J g}^{-1}$  durante 96 s, em duas etapas, e outras não foram irradiadas. O carbono das amostras irradiadas e não irradiadas foi extraído com  $\text{K}_2\text{SO}_4$  a  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  na razão 1: 2,5 (vermicomposto: extrator). A dosagem de carbono nos extratos foi realizada pela reação com  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$   $0,17 \text{ mol L}^{-1}$  e 5 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado, titulado com  $\text{Fe}_2\text{SO}_4\text{NH}_4$   $0,03 \text{ mol L}^{-1}$ . O cálculo do CBM foi obtido pela diferença entre os teores de C das amostras irradiadas e as amostras não irradiadas, sendo adotado valor de Kc igual a 0,213 (Islam & Weil, 1988).

## **Análises Enzimáticas ( $\beta$ -glicosidase, desidrogenase, fosfatases alcalina e ácida) dos Vermicompostos**

A atividade da  $\beta$ -glicosidase foi determinada por espectrofotometria, utilizando 1 g de vermicomposto incubado com 0,25 mL de tolueno, 4 mL do tampão (pH 6) e 1 mL de p-nitrofenil- $\beta$ -D-glucosídeo ( $0,05 \text{ mol L}^{-1}$ ) por 1 h a  $37 \text{ }^\circ\text{C}$ . Após esta reação, 1 mL de  $\text{CaCl}_2$  ( $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ ) e 4 mL do tampão THAM (pH 12) foram adicionados quando a solução adquiriu a coloração amarelada. A leitura foi realizada em espectrofotômetro a 410 nm, sendo o resultado expresso em  $\mu\text{g}$  de p-nitrofenol  $\text{g}^{-1}$  de vermicomposto  $\text{h}^{-1}$ . (Eivazi & Tabatabai 1988).

A atividade da enzima desidrogenase foi determinada pela estimativa da taxa de redução de cloreto de trifeniltetrazóico (TTC) (1,5 %) para trifenilformazan (TFF) após incubação a  $30 \text{ }^\circ\text{C}$  por 24 h, quantificado a 545 nm. (Casida et al., 1964). A fosfatase alcalina e ácida foi medida incubando o vermicomposto (0,5 g de peso fresco) com 1 mL de p-nitrofenilfosfato (0,015 M) por 1 hora a  $37 \text{ }^\circ\text{C}$  e subsequente medição colorimétrica do p-nitrofenol liberado (Eivazi & Tabatabai, 1977).

## **Análise Estatística**

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância ( $F < 0,05$ ) e ao detectar diferenças significativas foram submetidos ao teste de Tukey e a regressão ( $P \leq 0,05$ ). As relações entre os componentes foram determinadas por análise de correlação de Pearson ( $P \leq 0,05$ ). Para isso, foi utilizado o software Sistema de Análises Estatísticas e Genéticas (SAEG 9.1®) (Ribeiro Junior, 2001).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A quantidade de minhoca (QM) e o índice de multiplicação (IM) demonstram que os tratamentos com esterco bovino T1, T3 e T5 foram superiores aos tratamentos com esterco caprino (T2, T4 e T6), independente do resíduo vegetal (Tabela 2). O que pode ter contribuído para a multiplicação foi a maior quantidade de nutrientes no esterco bovino, especialmente de N ( $45,1 \text{ g kg}^{-1}$ ), P ( $0,7 \text{ g kg}^{-1}$ ) e Ca ( $0,3 \text{ g kg}^{-1}$ ) (Tabela 1). A biomassa total de minhoca (BTM) seguiu a mesma tendência da QM e do IM, ou seja, apresentou superioridade em T1, T3 e T5 (Tabela 2). Apenas para comprimento de minhoca (CM) não foi encontrado diferença estatística significativa entre os tratamentos. A média obtida foi aproximadamente 12,7 cm.

Tabela 3. Quantidade de minhoca, índice de multiplicação, comprimento e biomassa total de minhoca em vermicompostagem

Tratamentos	QM	IM	BTM (g)	CM (cm)
T1	41 b	11 a	16 a	13 a
T2	18 c	5 b	8 b	12 a
T3	40 b	10 a	16 a	13 a
T4	16 c	4 b	9 b	13 a
T5	49 a	12 a	17 a	13 a
T6	22 c	5 b	9 b	13 a

Média (n=8) de quatro tempos de avaliação. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tuckey ( $P < 0,05$ ). QM - quantidade de minhoca; IM - índice de multiplicação; BTM - biomassa total de minhoca; CM - comprimento de minhoca. T1 - esterco bovino + folhas de cajueiro (*Anacardium occidentale* L.); T2 - esterco caprino + folhas de cajueiro; T3 - esterco bovino + folhas de catanduva (*Piptadenia moniliformis* Benth.); T4 - esterco caprino + folhas de catanduva; T5 - esterco bovino + folhas de cajueiro + folhas de catanduva; T6 - esterco caprino + folhas de cajueiro + folhas de catanduva.

A elevada quantidade de areia no esterco caprino refletiu no baixo teor de carbono orgânico total ( $25,3 \text{ g kg}^{-1}$ ) em relação ao esterco bovino ( $56,6 \text{ g kg}^{-1}$ ) (Tabela 2). Acredita-se que essa distinção refletiu na redução da oferta de alimento para as minhocas, o que pode ter ocasionado redução na multiplicação e menor ganho de massa corpórea. Além disso, devido à baixa quantidade de esterco caprino produzido na propriedade para a vermicompostagem, os agricultores ainda o adicionam em menores proporções (Tabela 1), fato que influenciou negativamente na multiplicação e biomassa das minhocas (Tabela 3).

Na literatura o esterco bovino é considerado fonte de alimento para a *Eisenia foetida*. Steffen et al. (2010) obtiveram, após 60 dias, um índice de multiplicação de minhoca 38 vezes maior no tratamento constituído, exclusivamente por esterco bovino. Todavia, no caso deste trabalho, o índice de multiplicação foi menor, pois se considerou todo o período da vermicompostagem, ou seja, até 120 dias. Antonioli et al. (2009) constatou que a adição de casca de arroz inteira, moída ou carbonizada adicionada ao esterco bovino, favoreceu a

reprodução da *Eisenia foetida* proporcionando maior presença de organismos jovens, adultos e maior multiplicação de minhoca.

Ao avaliar esterco de diferentes animais na vermicompostagem e sua interferência na reprodução da *Eisenia foetida*, Loh et al. (2005) observaram que o esterco bovino comparado ao caprino proporcionou melhores condições para desempenho reprodutivo e biomassa de minhoca. Além disso, observou-se maiores quantidades de minhocas, produção de casulo/minhoca e minhocas jovens após cinco semanas de experimento. Os autores caracterizaram o esterco bovino como ambiente favorável para desenvolvimento de minhoca, atribuindo seu melhor desempenho ao maior teor de N.

Analisando diferentes proporções de resíduos de palha de arroz, papel e esterco bovino, Sharma & Garga (2018) observaram que na proporção de 90 % + 10 % de esterco e palha, foi registrada a maior biomassa máxima (1501,7 /minhoca), ganho de biomassa líquida/minhoca (1176,3 mg) e quantidade total de minhoca jovens (247,0). Onde a biomassa máxima foi atingida entre o 60º e o 75º dia na maioria dos vermicompostos. O menor desempenho foi registrado quando diminui a quantidade de esterco para a proporção de 50 % + 50 % (esterco + palha).

Similarmente ao ocorrido com a reprodução de minhoca (Tabela 3), o carbono da biomassa microbiana (CBM) (Tabela 4) também foi maior nos tratamentos T1, T3 e T5, porém entre o tratamento T2, T4 e T6 não se constataram diferenças significativas (Tabela 4). Quanto ao tipo do resíduo vegetal misturados aos esterco, não interferiu no aumento da população microbiana, assim como ocorreu no trabalho realizado por Nascimento et al. (2015). Dados semelhantes foram encontrados por Aquino et al. (2005), que aos 26 dias após a vermicompostagem observaram que o substrato com esterco bovino apresentou maior valor de biomassa microbiana, possivelmente pela maior oferta de C e energia para utilização dos microrganismos.

Encontraram-se os maiores valores médios da atividade enzimática  $\beta$ -glicosidase nos tratamentos contendo esterco bovino T3 e T5 (Tabela 4). Valores similares foram observados por Villar et al. (2016) em vermicompostagem com lodo de esgoto fresco e compostado, foram detectados valores médios de  $4200 \mu\text{g PNPg}^{-1} \text{ dw h}^{-1}$ , sem diferença entre os tratamentos. Vale ressaltar que a  $\beta$ -glicosidase é uma das enzimas mais comuns encontradas no solo, tem papel fundamental na hidrólise de celobiose, atuando na etapa final de degradação da celulose, liberando como produto a glicose, que é uma importante fonte de energia para os microrganismos (Makoi & Ndakidemi, 2008). Os principais fatores que influenciam sua atividade destacam-se a quantidade e qualidade dos resíduos orgânicos (Mendes & Reis Jr., 2004). Para desidrogenase, fosfatases alcalina e ácida, os tratamentos T1,

Tabela 4. Carbono da biomassa microbiana e atividade enzimática em vermicomposto

Tratamentos	CBM $\mu\text{g g}^{-1}$	$\beta$ -glicosidase $\mu\text{g PNPg}^{-1} \text{dw h}^{-1}$	Desidrogenase ( $\mu\text{g TPF g}^{-1} \text{dw}^{-1}$ )	Fosfatase Alcalina $\mu\text{g PNPg}^{-1} \text{dw h}^{-1}$	Fosfatase Ácida $\mu\text{g PNPg}^{-1} \text{dw h}^{-1}$
T1	8.819 ab	3.338 b	889 a	1.258 a	769 a
T2	7.724 bc	2.261 c	678 b	875 b	563 b
T3	9.262 a	3.373 ab	846 a	1.190 a	723 a
T4	7.363 c	2.485 c	644 b	789 b	533 b
T5	9.786 a	3.764 a	885 a	1.235 a	726 a
T6	7.461 bc	2.998 b	670 b	908 b	550 b

Média (n=8) de quatro tempos de avaliação. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tuckey ( $P < 0,05$ ). T1 - esterco bovino + folhas de cajueiro (*Anacardium occidentale* L.); T2 - esterco caprino + folhas de cajueiro; T3 - esterco bovino + folhas de catanduva (*Piptadenia moniliformis* Benth.); T4 - esterco caprino + folhas de catanduva; T5 - esterco bovino + folhas de cajueiro + folhas de catanduva; T6 - esterco caprino + folhas de cajueiro + folhas de catanduva.

T3 e T5 foram os que também se destacaram em relação aos demais (Tabela 4). Como o esterco bovino apresentou melhor qualidade química (Tabela 2) e, está em maior quantidade que o caprino (Tabela 1) acredita-se que isso contribuiu de maneira positiva para obtenção de maiores valores na síntese das enzimas (Tabela 4).

Nota-se que CBM correlacionou-se positivamente com QM e BTM (Tabela 5), indicando que o CBM foi estimulado pela atividade das minhocas, como observado por Aira et al. (2007) utilizando como substrato chorume de porco (pig slurry) e Domínguez & Gómez-Brandón (2013) lodo de esgoto, observaram o aumento do carbono da biomassa microbiana da 1ª a 16ª semana de vermicompostagem em comparação ao controle (sem minhocas).

Houve forte correlação entre CBM e as atividades enzimáticas (Tabela 5). Correlações reportadas por outros estudos (Turner et al., 2002; Böhme et al., 2005; Aira et al., 2007). Segundo Chaer & Tótola (2007), a forte correlação que o carbono da biomassa microbiana apresenta com essas enzimas, faz com que sejam indicadores de qualidade relacionada à função do solo de ciclar e armazenar nutrientes. Assim, o teor de carbono da biomassa microbiana possui relação direta com a matéria orgânica ativa no solo, capaz de manter elevada taxa de decomposição de resíduos orgânicos e reciclar nutriente (Godoy et al., 2015).

Houve forte correlação positiva entre BTM e QM uma vez que, quanto maior a QM, maior ganho de massa total (Tabela 4). A correlação positiva entre QM e as atividades enzimáticas (Tabela 4) sugere que as minhocas tiveram papel importante na ativação enzimática por duas ações possíveis: i) aumentando a disponibilidade de substrato e/ou ii) ativando o metabolismo microbiano.

Analisando a QM observou-se que nos tratamentos com esterco bovino T1, T3 e T5 as quantidades máximas de minhocas (68, 60 e 75,) foram aos 70, 81 e 83 dias, respectivamente (Tabela 6). Enquanto nos tratamentos com esterco caprino T2, T4 e T6, foram reduzidos para 59, 61 e 72 dias, respectivamente, com quantidades máximas de 31, 27 e 33 minhocas, respectivamente (Tabela 6). Quanto ao CM não houve ajuste, pois praticamente não existiu variabilidade ao longo do tempo (Tabela 6).

Para BTM os tratamentos com esterco bovino T1, T3 e T5, atingiram os valores máximos (23.5, 22.3 e 24 g) aos 75, 85 e 91 dias, respectivamente. Com esterco caprino os tratamentos T2, T4 e T6 tiveram biomassa máxima (11.3, 13.1 e 12.2 g) aos 53, 56 e 57 dias, respectivamente (Tabela 6). A redução no ganho de peso das minhocas com esterco caprino foi quase metade quando comparado com o esterco bovino. A biomassa de minhoca reflete a menor disponibilidade de alimentos no início da incubação e o maior esgotamento do substrato com o tempo. A variabilidade na quantidade e biomassa de minhoca depende da qualidade do substrato e das condições ambientais. Hussain et al. (2016) relataram que

Tabela 5. Correlação de Pearson (r) entre quantidade, comprimento e biomassa total de minhoca, carbono da biomassa microbiana e atividade enzimática em vermicompostagem

	QM	CM	BTM	CBM	$\beta$ -glicosidase	Desidrogenase	F. Alcalina	F. Ácida
QM	1							
CM	-0.09	1						
BTM	0.94	0.02	1					
CBM	0.63	0.27	0.60	1				
$\beta$ - glicosidase	0.66	0.37	0.66	0.86	1			
Desidrogenase	0.54	0.43	0.54	0.89	0.87	1		
F. Alcalina	0.55	0.46	0.56	0.86	0.90	0.91	1	
F. Ácida	0.46	0.52	0.50	0.82	0.85	0.91	0.92	1

QM - quantidade de minhoca; CM - comprimento de minhoca; BTM - biomassa total de minhoca; CBM - carbono da biomassa microbiana; F. Alcalina - fosfatase alcalina; F. Ácida - fosfatase ácida. As correlações foram geradas com as médias agrupadas dentro de cada tratamento e todos os valores apresentados foram significativos num intervalo de confiança de 95 %.

*Eisenia foetida* exibiu biomassa máxima em palha de arroz após 11<sup>a</sup> e 14<sup>a</sup> semana de vermicompostagem (77 e 98 dias) e depois declinou.

Com a redução da matéria orgânica fresca e da ação microbiana ao longo dos 120 dias de vermicompostagem houve, aumento da matéria orgânica humificada reduziu-se a QM, BTM e o CBM (Tabela 6). Assumindo que uma minhoca consome a alimentação até metade do seu peso corporal por dia (Carlesso et al., 2011; Malińska et al., 2016), a quantidade de resíduo consumido pelas minhocas foi eficiente para aumentar a quantidade e a biomassa até a 11<sup>a</sup> e 13<sup>a</sup> semana respectivamente, para substrato contendo esterco bovino (Tabela 6). Este período foi reduzido para oito e 10 semanas, considerando os tratamentos contendo esterco caprino, indicando que o esterco bovino, nas condições experimentais, oferece melhores condições para reprodução e ganho de massa. Após esse período foi observada diminuição significativa na reprodução e desenvolvimento da minhoca até o final do experimento (Tabela 6).

A população de minhocas adultas tende a reduzir ao longo da vermicompostagem, seja pelo aumento populacional provocado pela multiplicação de minhocas (Ndegwa et al., 2000), ou pela redução na oferta de alimento (Aquino et al., 2005). Analisado lodo de esgoto, Benitez et al. (1999) observaram que após 9 semanas (63 dias), a biomassa total das minhocas declinou de forma constante e alguns vermes clitélizados perderam condições reprodutivas. Indicando que após 9 semanas todo o resíduo fresco foi consumido pelas minhocas, e um novo resíduo seria necessário para manter a reprodução e desenvolvimento das minhocas.

Para os tratamentos T2 e T4 contendo esterco caprino, observou-se redução linear para  $\beta$ -glicosidase, todavia para T6 houve atividade máxima aos 33 dias ( $4407.2 \mu\text{g PNPg}^{-1} \text{dw h}^{-1}$ ), decrescendo após esse período (Tabela 7). Nos tratamentos T1 e T3 com esterco bovino estendeu-se por 48 dias o período de atividade dessa enzima e, 46 dias para T5 (Tabela 7). A modificação na qualidade do composto pode interferir na atividade enzimática. Em geral, a maturidade progressiva do composto resulta em uma diminuição nos carboidratos (C hidrofílico) e aumento de C-alquil e compostos de C aromáticos (hidrofóbicos) (Keiji et al., 2012), fato que pode ter contribuído para redução da atividade da  $\beta$ -glicosidase e CBM durante os 120 dias de vermicompostagem (Tabela 7).

A atividade da desidrogenase para os tratamentos T1, T3, T5 e T6 não se ajustaram a nenhum modelo de regressão (Tabela 7). Porém, os tratamentos com esterco caprino T2 e T4 tiveram atividades máximas diferentes quanto ao material vegetal. Em T2 com folhas de cajueiro a atividade máxima ( $974.5 \mu\text{g TPF g}^{-1} \text{dw}^{-1}$ ) ocorreu aos 27 dias, e para T4 com folhas de catanduva a atividade máxima ( $1058.4 \mu\text{g TPF g}^{-1} \text{dw}^{-1}$ ) ocorreu aos 41 dias (Tabela 7). Possivelmente essa diferença ocorreu pela qualidade do material vegetal (Tabela 2).

Tabela 6. Equações de regressão e valor de R<sup>2</sup> para quantidade de minhoca, biomassa total e carbono da biomassa microbiana em 120 dias de vermicompostagem

Tratamentos	Equações	R <sup>2</sup>
QM		
T1	$\hat{y} = -1,721 + 1,986^*x - 0,0142^*x^2$	0.82
T2	$\hat{y} = 4,843 + 0,895^{**}x - 0,00756^{**}x^2$	0.91
T3	$\hat{y} = 0,329 + 1,486^{**}x - 0,00920^*x^2$	0.88
T4	$\hat{y} = 3,39 + 0,786^*x - 0,00645^*x^2$	0.63
T5	$\hat{y} = -0,886 + 1,86^*x - 0,0114^*x^2$	0.63
T6	$\hat{y} = 3,029 + 0,825^*x - 0,00573^*x^2$	0.61
BTM (g)		
T1	$\hat{y} = 3,661 + 0,528^*x - 0,00351^*x^2$	0.64
T2	$\hat{y} = 5,842 + 0,210^{**}x - 0,002004^{**}x^2$	0.97
T3	$\hat{y} = 3,673 + 0,439^*x - 0,00258^*x^2$	0.72
T4	$\hat{y} = 5,365 + 0,274^*x - 0,00243^*x^2$	0.56
T5	$\hat{y} = 4,084 + 0,437^*x - 0,00239^*x^2$	0.55
T6	$\hat{y} = 5,17 + 0,245^*x - 0,00213^*x^2$	0.59
CBM ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )		
T1	$\hat{y} = 14578,2 - 95,982^*x$	0.73
T2	$\hat{y} = 16250,5 - 142,21^*x$	0.87
T3	$\hat{y} = 15813,0 - 109,19^{**}x$	0.89
T4	$\hat{y} = 16111,0 - 145,78^*x$	0.82
T5	$\hat{y} = 16232 - 107,43^*x$	0.70
T6	$\hat{y} = 15901,5 - 140,67^{**}x$	0.83

\* e \*\* Significativo a 5 % e a 1 % de probabilidade, respectivamente. QM - quantidade de minhoca; BTM - biomassa total de minhoca; CBM - carbono da biomassa microbiana. T1 - esterco bovino + folhas de cajueiro (*Anacardium occidentale* L.); T2 - esterco caprino + folhas de cajueiro; T3 - esterco bovino + folhas de catanduva (*Piptadenia moniliformis* Benth.); T4 - esterco caprino + folhas de catanduva; T5 - esterco bovino + folhas de cajueiro + folhas de catanduva; T6 - esterco caprino + folhas de cajueiro + folhas de catanduva.

Para a atividade da fosfatase alcalina, os tratamentos T2, T4, T5 e T6 tiveram ajustes lineares decrescentes. Todavia para T1 e T3 os ajustes foram quadráticos com atividades máximas de 1499.2 e 1433.2  $\mu\text{g PNPg}^{-1} \text{ dw h}^{-1}$ , aos 37 e 40 dias, respectivamente (Tabela 7). Para a fosfatase ácida todos os tratamentos reduziram linearmente sua atividade ao longo de 120 dias. Gong et al. (2018) observaram que com a adição de Bamboo biochar a atividade da desidrogenase aumentou até 20 dias em todos os tratamentos e diminuiu gradualmente até a estabilização. Já para fosfatase alcalina também houve aumento na sua atividade desde o início do processo de vermicompostagem, entretanto o ponto de máximo foi atingido aos 30 dias, decrescendo após esse período. Villar et al. (2016) constataram que em lodo de esgoto vermicompostado as cinco enzimas hidrolíticas (celulase,  $\beta$ -glicosidase, protease, fosfatases ácida e alcalina) diminuíram com processos de degradação da matéria orgânica, fato também constatado nesse estudo.

Tabela 7. Equações de regressão e valor de R<sup>2</sup> para β-glicosidase, desidrogenase, fosfatases alcalina e ácida, em 120 dias de vermicompostagem

Tratamentos	Equações	R <sup>2</sup>
β-glicosidase (μg PNPg <sup>-1</sup> dw h <sup>-1</sup> )		
T1	$\hat{y} = 3095,7 + 74,03^{**}x - 0,777^{**}x^2$	0.93
T2	$\hat{y} = 3755,9 - 24,91^*x$	0.81
T3	$\hat{y} = 3146,7 + 68,4^{**}x - 0,717^{**}x^2$	0.95
T4	$\hat{y} = 4425,6 - 32,34^*x$	0.85
T5	$\hat{y} = 3683,3 + 73,55^*x - 0,802^*x^2$	0.83
T6	$\hat{y} = 3817,5 + 36,12^*x - 0,553^*x^2$	0.69
Desidrogenase (μg TPF g <sup>-1</sup> dw <sup>-1</sup> )		
T1	$\bar{y} = 889$	-
T2	$\hat{y} = 966,2 + 0,619^*x - 0,0115^*x^2$	0.76
T3	$\bar{y} = 846$	-
T4	$\hat{y} = 908,5 + 7,38^*x - 0,0908^*x^2$	0.78
T5	$\bar{y} = 885$	-
T6	$\bar{y} = 670$	-
Fosfatase Alcalina (μg PNPg <sup>-1</sup> dw h <sup>-1</sup> )		
T1	$\hat{y} = 1354,9 + 7,71^*x - 0,103^*x^2$	0.85
T2	$\hat{y} = 1415,4 - 8,99^*x$	0.84
T3	$\hat{y} = 1256,4 + 8,82^{**}x - 0,110^{**}x^2$	0.96
T4	$\hat{y} = 1336,4 - 9,1178^*x$	0.80
T5	$\hat{y} = 1642,4 - 6,789^*x$	0.80
T6	$\hat{y} = 1378,2 - 7,84^*x$	0.69
Fosfatase Ácida (μg PNPg <sup>-1</sup> dw h <sup>-1</sup> )		
T1	$\hat{y} = 941,2 - 2,87^*x$	0.70
T2	$\hat{y} = 871,77 - 5,148^{**}x$	0.78
T3	$\hat{y} = 917,7 - 3,236^*x$	0.80
T4	$\hat{y} = 910,75 - 6,292^*x$	0.75
T5	$\hat{y} = 943,2 - 3,6183^*x$	0.76
T6	$\hat{y} = 907,3 - 5,3778^*x$	0.71

\* e \*\* Significativo a 5 % e a 1 % de probabilidade, respectivamente. T1 - esterco bovino + folhas de cajueiro (*Anacardium occidentale* L.); T2 - esterco caprino + folhas de cajueiro; T3 - esterco bovino + folhas de catanduva (*Piptadenia moniliformis* Benth.); T4 - esterco caprino + folhas de catanduva; T5 - esterco bovino + folhas de cajueiro + folhas de catanduva; T6 - esterco caprino + folhas de cajueiro + folhas de catanduva.

As fosfomonoesterases catalisam a liberação de fósforo inorgânico (ortofosfato) de fosfomonésteres orgânicos, e sabe-se que ortofosfato é um inibidor das fosfatases do solo (López-Hernández et al., 1989). Assim, com a diminuição da microbiota e o aumento da mineralização durante a vermicompostagem, associado a atividade subsequente de minhocas, pode ter havido aumento no conteúdo de ortofosfato e reduzido a atividade e síntese das fosfatases. Padrões similares de atividade das fosfatases, com aumento inicial e subsequente diminuição foram relatados por Benitez et al. (2005) durante a vermicompostagem de resíduos de azeitonas lignocelulósicas com a minhoca *Eisenia andrei*.

Embora a adição dos resíduos vegetais estruturantes ao alimento promova melhorias quanto à aeração, drenagem, locomoção e proteção das minhocas, não se verificou distinção entre os tratamentos quanto a adição das folhas de cajueiro e catanduva sobre a reprodução e desenvolvimento de *Eisenia foetida* assim como na biomassa microbiana e na atividade enzimática dos substratos. Recomenda-se deixar esse material sobre o solo e buscar alternativas viáveis para vermicompostagem, pois a serapilheira é fundamental para ciclagem de nutrientes, transferências de energia entre os níveis tróficos e proteção contra erosão, e, consequentemente equilíbrio e dinâmica dos ecossistemas.

## CONCLUSÃO

Os tratamentos preparados com esterco bovino sobressaíram ao esterco caprino, que independente do resíduo vegetal estimulou a multiplicação e a biomassa total da minhoca *Eisenia foetida*. A maior oferta de carbono e energia para os microrganismos proporcionaram maior teor de carbono na biomassa microbiana e atividade das enzimas  $\beta$ -glicosidase, desidrogenase, fosfatases alcalina e ácida durante a vermicompostagem. Não houve distinção entre os tratamentos quanto aos resíduos vegetais, sendo mais viável ambientalmente deixarem-nas desempenhando a sua função como serapilheira, colaborando com a ciclagem de nutrientes, manutenção e proteção do ambiente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aira, M.; Monroy, F.; Domínguez, J. Earthworms strongly modify microbial biomass and activity triggering enzymatic activities during vermicomposting independently of the application rates of pig slurry. *Science of the Total Environment*, v.385, p.252-261, 2007.

Alencar, A. P.; Netto, A. J.; Nogueira, B. D. Efeito de substratos na produção e multiplicação de *Eisenia foetida* Savigny (1826). *Acta Kariri Pesquisa e Desenvolvimento*, Crato/CE, v.1, p.21-28, 2016.

Alvares, C. A.; Stape, J. L.; Sentelhas, P. C.; Alves, J. L. M. G.; Sparovek, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v.22, p.711-728, 2014.

Antoniolli, Z. A.; Steffen, G. P. K.; Steffen, R. B. Utilização de casca de arroz e esterco bovino como substrato para a multiplicação de *Eisenia foetida* Savigny (1826). *Ciência Agrotecnologia*, v.33, p.824-830, 2009.

Aquino, A. M.; Almeida, D. L.; Guerra, J. G. M.; De-Polli, H. Biomassa microbiana, colóides orgânicos e nitrogênio inorgânico durante a vermicompostagem de diferentes substratos. *Pesquisa agropecuária brasileira*, v.40, p.1087-1093, 2005.

Araújo, R, L, de; Carvalho, F. L. de C.; Barbosa Júnior, L. B.; Milhomem, J. P. da L.; Veras, F. H. C.; Bandeira, A. C.; Silva, J. P. da; Lobo, R. F. de. Desempenho agrônômico do coentro submetido a diferentes doses de composto orgânico. *Global Science and Technology*, v.12, n.02, p.128-140, 2019.

Benitez, E.; Sainz, H.; Nogales, R. Hydrolytic enzyme activities of extracted humic substances during the vermicomposting of a lignocellulosic olive waste. *Bioresour Technol*, v.96, p.785-90, 2005.

Benitez, E.; Nogales, R.; Elvira, C.; Masciandaro, G.; Ceccanti, B. Enzyme activities as indicators of the stabilization of sewage sludges composting with *Eisenia foetida*. *Bioresource Technology*, v.67, p.297-303, 1999.

Bhat, S. A.; Singh, J.; Vig, A. P. Effect on Growth of Earthworm and Chemical Parameters during Vermicomposting of Pressmud Sludge Mixed with Cattle Dung Mixture. *Procedia Environmental Sciences*, v.35, p.425-434, 2016.

Böhme, L.; Langer, U.; Böhme, F. Microbial biomass, enzyme activities and microbial community structure in two European long-term field experiments. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v.109, p.141-152, 2005.

Bowles, T. M.; Acosta-Martínez, V.; Calderón, F.; Jackson, L. E. Soil enzyme activities, microbial communities, and carbon and nitrogen availability in organic agroecosystems across an intensively-managed agricultural landscape. *Soil Biology & Biochemistry*, v. 68, p.252-262, 2014.

Carlesso, W. M.; Ribeiro, R.; Hoehne, L. Tratamento de resíduos a partir de compostagem e vermicompostagem. *Revista Destaques Acadêmicos*, v.3, p.105-110, 2011.

Casida, L. E. Jr.; Klevin, D. A.; Santoro, T. Soil dehydrogenase activity. *Soil Science*, v.93, p.371-376, 1964.

Chaer, G. M.; Tótola, M. R. Impacto do manejo de resíduos orgânicos durante a reforma de plantios de eucalipto sobre indicadores de qualidade do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, p.1381-1396, 2007.

Cotta, J. A. O.; Carvalho, N. L. C.; Brum, T. S.; Rezende, M .O. O. Compostagem versus vermicompostagem: comparação das técnicas utilizando resíduos vegetais, esterco bovino e serragem. *Engenharia Sanitária Ambiental*, v.20, p.65-78, 2015.

Devi, H. S.; Vijayalakshmi, K.; Pavana Jyotsna, K.; Shaheen, S. K.; Jyothi, K.; Surekha Rani, M. Comparative assessment in enzyme activities and microbial Populations during normal and Vermicoposting. *Journal of Environmental Biology*, v.30, p.1013-1017, 2009.

Domínguez, J.; Gómez-Brandón, M. The influence of earthworms on nutriente dynamics during the process of vermicomposting. *Waste Management & Research*, v.31, p.859-868, 2013.

Eivazi, F.; Tabatabai, M. A. Phosphatases in soils. *Soil Biology and Biochemistry*, v.9, p.167-172, 1977.

- Eivazi, F.; Tabatabai, M. A. Glucosidases and galactosidases in soils. *Soil Biology and Biochemistry*, v.20, p.601-606, 1988.
- Farias, J. R. M.; Batista, R. F.; Farias, P. C. B.; Vital, A. F. M.; Santos, R. V. Reprodução de minhocas em substratos orgânicos e a percepção de agricultores familiares sobre a minhocultura. *Revista Agropecuária Técnica*, v.39, p.202-210, 2018.
- Gassen, F. Monitoramento da compactação do solo: uma proposta da assistência técnica. *Revista Plantio Direto*. Aldeia Norte Editora, Passo Fundo, Edição 92, 2006.
- Godoy, S. G.; Stone, L. F.; Ferreira, E. P. B.; Cobucci, T.; Lacerda, M. C. Correlação entre produtividade do arroz no sistema semeadura direta e atributos do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.19, p.119-125, 2015.
- Gomes, D. I.; Detmann, E.; Cabral, L. S. Avaliação da lignina. In: *Institutos nacionais de ciência e tecnologia - INCR. Métodos para análise de alimentos*. 2012, Cap.9, p.127-146.
- Gong, X. C. L.; Lia, S.; Chang, S. X.; Sun, X.; An, Z. Bamboo biochar amendment improves the growth and reproduction of *Eisenia fetida* and the quality of green waste vermicompost. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v.156, p.197-204, 2018.
- Hussain, N.; Singh, A.; Saha, S.; Kumar, M. V. S.; Bhattacharyya, P.; Bhattacharya, S. S. Excellent N-fixing and P-solubilizing traits in earthworm gut-isolated bacteria: A vermicompost based assessment with vegetable market waste and rice straw feed mixtures. *Bioresource Technology*, v.222, p.165-174, 2016.
- Islam, K. R.; Weil, R. R. A rapid microwave digestion method for colorimetric measurement of soil organic carbon. *Communication Soil Science Plant Analytic*, v.29, p.2269-2284, 1988.
- Keiji, J.; Martim, S. A.; Navarro, E. C.; Pérez-Alfoce, F.; Hernandez, T.; Garcia, C.; Aguiar, N. O.; Canellas, L. P. Root growth promotion by humic acids from composted and non-composted urban organic wastes. *Plant Soil*, v.353, p.209-220, 2012.
- Lim, S. L.; Wu, T. Y.; Lim, P. N.; Shak, K. P. Y. The use of vermicompost in organic farming: overview, effects on soil and economics. *Journal Science Food Agriculture*, v.95, p.1143-1156, 2015.
- Lima, M. V. G.; Filho, C. A. dos S.; Ferreira, J. V. V.; Souza, K. G. de; Shockness, L. dos S. F.; Bento, G. F. Vermicompostos como substratos no desempenho de mudas de alface e rúcula. *Revista Verde*, v.14, n.3, p.374-381, 2019.
- Loh, T. C.; Lee, Y. C.; Liang, J. B.; Tan, D. Vermicomposting of cattle and goat manures by *Eisenia foetida* and their growth and reproduction performance. *Bioresource Technology*, v.96, p.111-114, 2005.
- López-Hernández, D.; Nino, M.; Nannipieri, P.; Fardeau, J. C. Phosphatase activity in *Nasutitermes ephratae* termite nests. *Biology and Fertility of Soils*, v.7, p.134-7, 1989.
- Makoi, J. H. J. R.; Ndakidemi, P. A. Selected soil enzymes: Examples of their potential roles in the ecosystem. *African Journal of Biotechnology*, v.7, p.181-191, 2008.

- Mendes, I. C.; Reis Junior, F. B. Uso de parâmetros microbiológicos como indicadores para avaliar a qualidade do solo e a sustentabilidade dos agroecossistemas. Planaltina - DF. Embrapa Cerrados - (Documentos / Embrapa cerrados), 2004.
- Nascimento, A. F.; Pires, F. R.; Czepak, M. P.; Fernandes, A. A.; Alves, A.; Rodrigues, J. O. Caracterização de vermicomposto produzido com palha de café e esterco bovino. Revista Caatinga, v.28, p.1-9, 2015.
- Ndegwa, P. M.; Thompson, S. A.; Das, K. C. Effects of stocking density and feeding rate on vermicomposting of biosolids. Bioresource Technology, v.71, p.5-12, 2000.
- Oliveira, E. M.; Costa, F. X.; Costa, C. C. Reprodução de minhoca (*Eisenia foetida*) em diferentes substratos. Revista Caatinga, v.21, p.146-150, 2008.
- Ribeiro Junior, J.B.I. Análises estatísticas no SAEG (Sistema para análises estatísticas). Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2001.
- Rocha, D. F. da; Silva, T. N.; SANTOS, C. A. B. Atividade reprodutiva da *Eisenia foetida* (Savigny, 1826) (Haplotaxida: Lumbricidae) em diferentes habitats. Revista Ouricuri, v.7, n.2, p.17-30, 2017.
- Santos, L. S. dos; Sousa, M. A. de; Souza, Á. I. A. F. e; Rodrigues, M.; Cruz, W. P. da. Reprodução e sobrevivência de *Eisenia andrei* sob diferentes resíduos agroindustriais. Revista de Ciências Agrárias, v.62, 2019.
- Sena, L. M.; Arruda, J. F. de; Costa, F. R. da S.; Almeida, F. B. B. de; Brito, P. O. B. de; Gondim, F. A. Compostagem e vermicompostagem como alternativa para tratamento e destinação de resíduos orgânicos. Revista Verde, v.14, n.2, p.266-272, 2019.
- Silva, F. C. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2. ed. Brasília. Embrapa, 2009. 627p
- Sharma, K.; Garg, V. K. Comparative analysis of vermicompost quality produced from rice straw and paper waste employing earthworm *Eisenia fetida* (sav.). Bioresource technology, v.250, p.708-715, 2018.
- Steffen, G. P. K.; Antonioli, Z. I.; Steffen, R. B.; Machado, R. G. Casca de arroz e esterco bovino como substratos para a multiplicação de minhocas e produção de mudas de tomate e alface. Acta Zoológica Mexicana, Cidade do México, Número Especial, v.2, p.333-343, 2010.
- Turner, B. L.; Hopkins, D. W.; Haygarth, P. M.; Ostle, N. b-Glucosidase activity in pasture soils. Applied Soil Ecology, v.20, p.157-162, 2002.
- Villar, I.; Alves, D.; Pérez-Díaz, D.; Mato, S. Changes in microbial dynamics during vermicomposting of fresh and composted sewage sludge. Waste Management, v.48, p.409-417, 2016.

**CAPÍTULO 2 – TIPOS DE CARBONO, CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E  
HUMATOS ISOLADOS DE VERMICOMPOSTOS**

## RESUMO

Atualmente têm-se o aumento na demanda por pesquisas que reúnam informações sobre matéria orgânica lábil e humificada e indicadores de fertilidade de vermicompostos. Com isso, os objetivos deste trabalho foram: a) quantificar os nutrientes disponíveis por extratores e mineralizados após digestão nítrica dos vermicompostos oriundos da mistura de resíduos animais e vegetais; b) quantificar os teores de carbono nas frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica dos vermicompostos e, c) analisar humatos isolados dos vermicompostos. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 6x4, com quatro repetições. Os tratamentos constaram de seis substratos: T1 - esterco bovino + folhas de cajueiro (*Anacardium occidentale* L.); T2 - esterco caprino + folhas de cajueiro; T3 - Esterco bovino + folhas catanduva (*Piptadenia moniliformis* Benth.); T4 - esterco caprino + folhas de catanduva; T5 - esterco bovino + folhas de cajueiro + folhas de catanduva; T6 - esterco caprino + folhas de cajueiro + folhas de catanduva, em quatro períodos de avaliação (30, 60, 90 e 120 dias após a implantação do experimento), totalizando 96 unidades experimentais. Os tratamentos com esterco bovino proporcionaram maiores teores de nitrogênio, carbono orgânico total e carbono nas frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica. Enquanto os tratamentos com esterco caprino apresentaram maiores teores de P e K extraído com Mehlich-1. Todavia, após digestão nítrica os maiores teores foram encontrados nos tratamentos com esterco bovino. Nos humatos isolados dos tratamentos com esterco bovino constatou-se menor evolução química, maior presença de C em grupos alifáticos e superior acidez total e carboxílica.

**Palavras-Chave:** Labilidade. Substâncias húmicas. Macronutrientes. Relação E<sub>4</sub>/E<sub>6</sub>

## ABSTRACT

Currently, there is an increase in demand for research that gathers information on labile and humic organic matter and vermicompost fertility indicators. Thus, the objectives of this work were: a) to quantify the nutrients available by extractors and minerals after nitric digestion of vermicompost compounds from the mixture of animal and plant residues; b) quantify the carbon content in the labile and recalcitrant fractions of the vermicompost organic matter and, c) analyze humates isolated from the vermicompost. The experimental design used was in randomized blocks, in a 6x4 factorial scheme, with four replications. The treatments consisted of six substrates: T1 - bovine manure + cashew leaves (*Anacardium occidentale* L.); T2 - goat manure + cashew leaves; T3 - Bovine manure + catanduva leaves (*Piptadenia moniliformis* Benth.); T4 - goat manure + catanduva leaves; T5 - cattle manure + cashew leaves + catanduva leaves; T6 - goat manure + cashew leaves + catanduva leaves, in four evaluation periods (30, 60, 90 and 120 days after the implementation of the experiment), totaling 96 experimental units. The treatments with bovine manure provided higher levels of nitrogen, total organic carbon and carbon in the labile and recalcitrant fractions of organic matter. While treatments with goat manure showed higher levels of P and K extracted with Mehlich-1. However, after nitric digestion, the highest levels were found in treatments with bovine manure. In the humates isolated from the treatments with bovine manure, less chemical evolution was observed, greater presence of C in aliphatic groups and higher total and carboxylic acidity.

**Keywords:** Lability. Humic substances. Macronutrients. E<sub>4</sub> E<sub>6</sub> ratio

## INTRODUÇÃO

Produtores rurais da região semiárida nordestina têm disseminado a aplicação do húmus de minhoca no solo por meio dos sistemas de produção orgânico. Esse fato tem gerado o aumento na demanda por pesquisas, pois se necessita de alguns parâmetros para caracterizar a qualidade desse húmus viabilizando sua aplicação no solo. Parâmetros normalmente utilizados são: relação C/N, pH e teores de macro e micronutrientes (Cunha et al., 2015; Malafaia et al., 2015; Almeida et al., 2018), mas pouco se conhece em relação à composição e às características das substâncias húmicas e frações lábeis da matéria orgânica do húmus de minhoca.

Na fração lábil da matéria orgânica (proteínas, ácidos orgânicos, açúcares, ceras, graxas, resinas) observa-se alta taxa de decomposição e curto período de permanência no solo, e sua principal função é o fornecimento dos nutrientes às plantas pela mineralização, além da energia e C aos microrganismos. A fração humificada (substâncias húmicas) resulta na formação de substâncias com estruturas químicas complexas e de maior estabilidade no solo do que os materiais que as originaram, e atua na estruturação do solo, armazenamento de C, aumenta a capacidade de retenção de água e complexação de elementos tóxicos no solo (Moral et al., 2005).

Além disso, é interessante analisar os teores de nutrientes disponíveis por extratores e após digestão do húmus, uma vez que, dessa forma ter-se-á melhor compreensão da disponibilidade no curto e médio prazo. Preenchendo a lacuna de trabalhos que não abordam essas características relacionadas ao húmus de minhoca. Estudos relacionados a extratos alcalinos de matéria orgânica, genericamente conhecidos como humatos, têm crescido nos últimos anos por serem bioestimulantes e terem efeito direto sobre o desenvolvimento e metabolismo em várias espécies de plantas (Nardi et al., 2002; Façanha et al., 2002; Rodda et al., 2006). Para utilizá-lo é interessante o conhecimento da sua natureza química como composição elementar, relações atômicas, acidez (total, carboxílica, fenólica), e relação  $E_4/E_6$  para escolha do melhor vermicomposto (húmus).

A vermicompostagem é utilizada para a estabilização de diversos materiais orgânicos ricos em nutrientes destacando-se: palhas, esterco (Rocha, Silva & Santos, 2017; Lima et al., 2019), serragem, casca de arroz (Antunes et al., 2015), resíduos urbanos (lixo orgânico doméstico e lodo de esgoto) (Sena et al., 2019) e resíduos agroindustriais (Santos et al., 2019).

Parte-se da hipótese de que os vermicompostos constituídos por esterco bovino possuem os maiores teores de nutrientes mineralizados e disponíveis, e seus humatos isolados têm maior presença de C em grupos alifáticos. Desse modo, os objetivos deste trabalho foram:

a) quantificar os nutrientes disponíveis por extratores e mineralizados após digestão níttrica dos vermicompostos oriundos da mistura de resíduos animais e vegetais; b) quantificar os teores de carbono nas frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica dos vermicompostos e, c) analisar humatos isolados dos vermicompostos.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Localização e Implantação do experimento

O experimento foi implantado na sede da Associação dos Agricultores Familiares da Agrovila Pomar (ASSAF) no assentamento rural Eldorado dos Carajás II (Maísa), localizado em Mossoró, estado do Rio Grande do Norte. O clima segundo Köppen classifica-se como BSh, semiárido com temperatura média anual de 26,5 °C e precipitação pluviométrica menor que 650 mm, com maior intensidade nos meses de fevereiro a junho, com vegetação predominante Caatinga (Alvares et al., 2014).

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 6x4, com quatro repetições. Os tratamentos constaram de seis substratos (Tabela 1), com quatro datas de avaliação (30, 60, 90 e 120 dias após a implantação do experimento) totalizando 96 unidades experimentais. As quantidades de substratos utilizados foram em proporções equivalentes aos utilizados pelos agricultores. Os esterco e as folhas foram secos a temperatura ambiente (26,5 °C) e macerados manualmente até atingir a menor granulometria possível.

Tabela 1. Composição dos tratamentos

Tratamento	Resíduos orgânico*
T1	esterco bovino 800 g + folha de cajueiro 25 g
T2	esterco caprino 800 g + folha de cajueiro 25 g
T3	esterco bovino 800 g + folha de catanduva 25 g
T4	esterco caprino 500 g + folha de catanduva 25 g
T5	esterco bovino 800 g + folha de catanduva 12,5 g + folha de cajueiro 12,5 g
T6	esterco caprino 800 g + folha de catanduva 12,5 g + folha de cajueiro 12,5 g

\*As massas dos esterco e das folhas são com base na massa seca.

As unidades experimentais utilizadas foram vasos de polietileno, com capacidade de 8 litros contendo drenos de 0,5 cm no fundo. Cada vaso foi forrado com material de polipropileno com malha de 1 mm e tamanho de 25 x 25 cm<sup>2</sup>, para impedir a fuga das minhocas e a entrada de formigas. Os vasos foram mantidos ao ar livre sob sombra de

árvores, semelhante aos conduzidos pelos agricultores no seu cotidiano. Para se obter a aproximação da realidade do agricultor a irrigação foi realizada uma vez por dia (início da manhã) próximo a capacidade de campo (avaliação visual) (Gassen, 2006). Os vasos foram trocados de posição uma vez por semana no sentido horário. Essas trocas foram feitas em blocos, para que todas as repetições dos tratamentos passassem por variadas posições no ambiente.

### **Caracterização dos Resíduos Orgânicos**

Na Tabela 2 encontram-se a caracterização química dos resíduos orgânicos vegetais e animais utilizados na formulação dos tratamentos. A condutividade elétrica (CE) foi determinada, utilizado 10 cm<sup>3</sup> do vermicomposto e adicionado 25 mL de água destilada à amostra. Ficou em repouso por 1 h e foi realizado a leitura em pHmetro (Silva, 2009). Posteriormente a amostra foi agitada manualmente e realizada a leitura do potencial hidrogeniônico (pH) (Silva, 2009). O teor de lignina foi determinado em detergente ácido (LDA) (Gomes, Detmann & Cabral, 2012). Os teores de nutrientes totais foram determinados seguindo Silva (2009)

### **Reprodução e Desenvolvimento das Minhocas**

A matriz de *Eisenia foetida* foi cedida pela ASSAF, cujo comprimento médio esteve entre 9 e 12 cm o que é considerado tamanho da fase adulta. Com auxílio de um pincel de cerdas finas foi retirada o excesso de solo aderido ao corpo das minhocas e determinada a biomassa inicial com auxílio de uma balança de precisão. Nos resíduos homogeneizados e umedecidos próximo a capacidade de campo (avaliação visual) (Gassen, 2006), em cada unidade experimental foram adicionadas cinco minhocas (média proporcional utilizada pelos agricultores locais em pequena escala).

Em cada data de avaliação (30, 60, 90 e 120 dias), os vasos foram “desmontados” e o conteúdo dos vasos depositado em bandejas plásticas, nas quais as minhocas foram separadas manualmente. Posteriormente, determinou-se a quantidade de indivíduos por vaso, comprimento médio de cinco minhocas maiores com auxílio de régua (cm) e biomassa total (g) utilizando balança de precisão. Por fim determinou-se o índice de multiplicação das minhocas (população final/população inicial) (Farias et al., 2018).

Tabela 2. Caracterização química dos resíduos orgânicos utilizados na formulação dos tratamentos

Resíduos orgânicos	pH	CE --(dS m <sup>-1</sup> )-	Lignina ---(%)--	C	N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Zn	Cu
				----- (g kg <sup>-1</sup> ) -----							----- (mg kg <sup>-1</sup> ) -----			
Esterco bovino	7.1	0.7	22.2	56.6	45.1	0.7	6.5	0.3	0.07	352	114	17	9.8	0.4
Esterco caprino	8.5	2.4	20.0	15.3	29.8	0.2	8.3	0.1	0.05	218	242	5	5.9	1
Folha de cajueiro	5.9	0.5	35.2	57.1	30.0	0.05	6.2	0.4	0.07	589	141	30	2.5	0.7
Folha de catanduva	4.2	0.5	32.5	52.4	205.5	0.1	1.5	0.1	0.03	146	482	20	3.2	1.2

C - Carbono. N - Nitrogênio. P - Fósforo. K - Potássio. Ca - Cálcio. Mg - Magnésio. Na - Sódio. Fe - Ferro. Mn - Manganês. Zn - Zinco. Cu - Cobre.

## **Teor de Carbono Orgânico Total (COT), Carbono Lábil (CL) e Carbono das Substâncias Húmicas (C-SH)**

A determinação do COT foi realizada pelo método da oxidação por via úmida, com aquecimento externo, proposto por Yeomans & Bremner (1988). Para a determinação do teor de CL, sub-amostras de 1,0 g do vermicomposto foram acondicionadas em tubo de centrífuga de 50 mL, juntamente com 25 mL de solução de  $\text{KMnO}_4$  ( $0,033 \text{ mol L}^{-1}$ ) (Shang & Tiessen, 1997). Os tubos foram colocados em agitador horizontal a 170 rpm por 1 h, e centrifugados a 960 g por 10 min, sempre protegidos da luz. Após centrifugação, colocaram-se 100  $\mu\text{L}$  do sobrenadante em tubos de ensaio e o volume foi completado com 10 mL com água deionizada. As leituras do CL foram realizadas em espectrofotômetro, com comprimento de onda de 565 nm.

Para C-SH, o vermicomposto foi submetido ao fracionamento segundo o método da International Humic Substances Society (IHSS) (Swift, 2001). Desse fracionamento, foram obtidas as frações correspondentes ao carbono do ácido fúlvico (C-AF), ácidos húmicos (C-AH) e humina (C-HUM), pela solubilidade diferencial em soluções ácidas e alcalinas. Os teores do C nas frações humificadas foram determinados conforme Yeomans & Bremner (1988), e do somatório de todas essas frações foi obtido o C-SH.

## **Análises Químicas dos Nutrientes Disponíveis por meio de Extratores Químicos**

As análises químicas foram realizadas de acordo com Texeira et al. (2017) e constaram de: extração de P disponível,  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$  com Mehlich-1 e determinação dos teores de P por colorimetria,  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$  por fotometria de chama; extração dos cátions trocáveis  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  com  $\text{KCl}$   $1 \text{ mol L}^{-1}$  e determinação dos teores por espectrofotometria de absorção atômica.

## **Análises Químicas dos Vermicompostos Mineralizados após Digestão em Forno de Micro-ondas**

As amostras dos vermicompostos foram submetidas à digestão úmida em sistema fechado em tubos de teflon pressurizados, com aquecimento por micro-ondas (MARST<sup>TM</sup> CEM Corporation) e ácido nítrico concentrado. O resultado desse processo foi a obtenção de um extrato líquido, onde foram analisados Cu, Fe, Mn, Zn, Ca e Mg, por espectrofotometria de absorção atômica – EAA. Os nutrientes fósforo (P), sódio (Na) e potássio (K) foram analisados por colorimetria e espectrofotometria de chama, respectivamente (EMBRAPA, 2009).

## **Extração e Caracterização Química dos Humatos**

A extração das substâncias húmicas alcalino solúveis do vermicomposto foi realizada com KOH 0,1 mol L<sup>-1</sup> na relação vermicomposto/extrator de 1:10 com base em volume por 16 h. Em seguida as substâncias húmicas foram separadas do resíduo por decantação e sifonação. O excesso dos íons foi retirado mediante o uso de resina de troca dos íons Amberlite IRA – 120 (forma H<sup>+</sup>) posteriormente liofilizada (Rodda et al., 2006). Nestes humatos (substâncias húmicas), determinou-se a composição elementar (C, H e N) por meio do analisador elementar automático Perkin Elmer 2400 em amostras de 10 mg em duplicata. O conteúdo do oxigênio foi determinado por diferença, descontado o teor das cinzas obtidas com a incineração das três amostras dos humatos por tratamento em mufla a 700 °C.

Para acidez total utilizou-se o método de Ba(OH)<sub>2</sub> e a acidez carboxílica foi determinada pelo método do Ca(OAc)<sub>2</sub>, de acordo com Schnitzer & Gupta (1965). A acidez fenólica foi obtida por diferença. A relação obtida com a absorbância entre o comprimento de onda 465 e 665 nm (relação E<sub>4</sub>/E<sub>6</sub>) foi determinada em solução dos humatos com 4 mg em 10 mL de NaHCO<sub>3</sub> 0,05 mol L<sup>-1</sup>, utilizando-se espectrofotômetro de UV-Visível Hitachi U3501 e cubeta de quartzo com 1 cm de caminho óptico.

### **Análise Estatística**

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (F<0,05) e ao detectar diferenças significativas foram submetidos ao teste de Tukey e a regressão (P≤0,05). As relações entre os componentes foram determinadas por análise de correlação de Pearson (P≤0,05). Para isso, foi utilizado o software Sistema de Análises Estatísticas e Genéticas (SAEG 9.1®) (Ribeiro Junior, 2001).

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os teores de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) foram superiores nos tratamentos T1, T3 e T5 contendo esterco bovino independente do resíduo vegetal (Tabela 3). O mesmo comportamento foi observado para o carbono lábil (CL) (Tabela 3). Também não se constatou diferença entre os resíduos vegetais, nos teores do carbono das substâncias húmicas (C-SH), todavia a amplitude dos valores nos teores de C entre os esterco foi ainda maior (Tabela 3). A quantificação do C-SH é importante, pois o potencial de captura e armazenamento do C se dá basicamente nesta fração, isso foi observado de forma preponderante nos tratamentos T1, T3 e T5, constituídos por esterco bovino (Tabela 3).

Tabela 8. Carbono orgânico total e C nas frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica, nutrientes disponíveis por extratores e após digestão (mineralizáveis) dos vermicompostos

Frações de C e NT	T1	T2	T3	T4	T5	T6
COT (dag kg <sup>-1</sup> )	55.90 a	19.95 b	50.90 a	16.57 b	54.87 a	17.68 b
NT (dag kg <sup>-1</sup> )	15.60 a	5.56 b	16.90 a	8.09 b	19.37 a	8.18 b
CL (g kg <sup>-1</sup> )	6.59 a	4.94 b	6.36 a	4.73 b	6.69 a	4.89 b
C-SH (dag kg <sup>-1</sup> )	105.97 a	32.12 b	101.20 a	33.92 b	105.23 a	34.57 b
C-HUM (dag kg <sup>-1</sup> )	101.72 a	30.83 b	96.67 a	32.66 b	101.10 a	33.13 b
C-AF (dag kg <sup>-1</sup> )	1.80 a	0.59 b	1.86 a	0.53 b	1.86 a	0.65 b
C-AH (dag kg <sup>-1</sup> )	2.44 a	0.69 b	2.66 a	0.73 b	2.27 a	0.77 b
Disponível						
P (mg dm <sup>-3</sup> )	166.03 c	304.18 a	177.62 c	296.27 a	137.53 c	225.48 b
K (mg dm <sup>-3</sup> )	352.58 c	616.46 a	320.05 c	758.77 a	316.40 c	689.08 a
Na (mg dm <sup>-3</sup> )	204.47 a	187.28 a	177.16 a	185.71 a	228.39 a	226.11 a
Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	7.07 a	5.74 bc	6.75 a	5.40 c	6.06 b	5.45 bc
Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	2.92 b	2.17 c	3.43 a	2.04 c	2.73 b	1.82 c
Mineralizado						
P (g kg <sup>-1</sup> )	0.28 a	0.19 b	0.23 a	0.18 b	0.18 b	0.16 b
K (g kg <sup>-1</sup> )	3.12 a	2.30 a	2.39 a	2.21 a	2.48 a	2.12 a
Ca (g kg <sup>-1</sup> )	5.2 a	2.5 b	4.4 a	2.2 b	4.0 a	2.1 b
Mg (g kg <sup>-1</sup> )	0.7 a	0.5 a	0.7 a	0.5 a	0.6 a	0.5 a
Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	1.09 a	0.63 b	1.11 a	0.94 b	1.15 a	0.87 b
Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	142.32 d	262.57 b	205.33 c	299. a	229.80 c	283.37 ab
Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	29.05 a	9.93 b	24.88 a	8.07 b	25.61 a	9.97 b
Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	9.33 a	5.68 c	9.49 a	6.43 c	7.82 b	5.65 c

Média (n=8) de quatro tempos de avaliação. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tuckey (P < 0,05). COT - carbono orgânico total; NT - nitrogênio total; CL - carbono lábil; C-SH - carbono das substâncias húmicas; C-HUM - carbono da humina; C-AF - carbono do ácido fúlvico; C-AH - carbono do ácido húmico. T1 - esterco bovino + folhas de cajueiro (*Anacardium occidentale* L.); T2 - esterco caprino + folhas de cajueiro; T3 - esterco bovino + folhas de catanduva (*Piptadenia moniliformis* Benth.); T4 - esterco caprino + folhas de catanduva; T5 - esterco bovino + folhas de cajueiro + folhas de catanduva; T6 - esterco caprino + folhas de cajueiro + folhas de catanduva.

Houve maior teor de C na fração humina (C-HUM), seguida do ácido húmico (C-AH) e ácido fúlvico (C-AF) (Tabela 3). O teor elevado de C-HUM, possivelmente é consequência ao fato dessa fração ser menos solúvel e mais polimerizada, portanto, a que possui superior grau de estabilização. Tal resultado corrobora com Rosa et al. (2017) ao afirmarem que a fração humina predomina, indicando a resistência à decomposição microbiana. Os maiores teores de C-HUM, C-AF e C-AH foram nos tratamentos T1, T3 e T5, respectivamente (Tabela 3).

Verificou-se, de forma qualitativa, que havia elevada quantidade de areia na composição do esterco caprino, o que refletiu no baixo teor de COT ( $25,3 \text{ g kg}^{-1}$ ) em relação ao esterco bovino ( $56,6 \text{ g kg}^{-1}$ ) (Tabela 2), reduzindo assim a oferta do alimento para as minhocas e microrganismos. Fato que pode ter ocasionado a menor humificação dos tratamentos. Associado a isso, observou-se menor oferta de esterco caprino, como matéria prima para produção do vermicomposto assim os agricultores utiliza-no em menor quantidade, fato que também influencia negativamente no teor final do C orgânico total, frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica do solo (Tabela 3).

Observou-se maior disponibilidade de P e K extraído com Mehlich-1, nos tratamentos contendo esterco caprino T2, T4 e T6, independente do resíduo vegetal (Tabela 3). Assim o estudo corrobora com Souto et al. (2013), que analisaram a liberação de nutrientes em tratamentos contendo esterco ovino e bovino os maiores teores de fósforo e nitrogênio. Os autores sugeriram-nos como fonte alternativa complementar de fósforo e nitrogênio para o solo, especificamente os do semiárido brasileiro que, na sua maioria, se constata baixos níveis desse nutriente. Contudo, a reduzida disponibilidade desses estercos em função dos pequenos rebanhos e quantidades dos dejetos excretadas, é considerada um fator limitante.

Para P mineralizado os maiores teores foram para T1 seguido de T3 ambos com esterco bovino (Tabela 3). Em estudo semelhante, Cunha et al. (2015) observaram que o vermicomposto produzido com 75 % de esterco bovino apresentou maior teor de P, além dos teores de potássio, cálcio, magnésio e enxofre. Após digestão nítrica, não se constatou diferença entre os tratamentos para K (Tabela 3). Diferente desse estudo, Souto et al. (2013) verificaram que o esterco bovino apresentou maiores teores de potássio mineralizável ( $2,43 \text{ g kg}^{-1}$ ), superando em mais de 50 % o esterco caprino ( $1,07 \text{ g kg}^{-1}$ ).

Notou-se que não houve diferença estatística entre os tratamentos para  $\text{Na}^+$  disponível (Tabela 3). Para  $\text{Ca}^{2+}$  disponível e mineralizável após digestão nítrica, observou-se maiores valores nos tratamentos com esterco bovino T1 e T3 (Tabela 3). A correlação de Pearson foi positiva tanto entre o teor de  $\text{Ca}^{2+}$  disponível por extrator com C-SH (0,63;  $p>0,05$ ) e C-HUM (0,75;  $p>0,05$ ), quanto o Ca estrutural mineralizado após digestão nítrica com C-SH (0,78;

$p > 0,05$ ) e C-HUM (0,82;  $p > 0,05$ ). Assim, pode-se inferir que, neste caso, a humificação foi favorecida pelo maior aporte e qualidade do material orgânico, associado ao maior teor de  $\text{Ca}^{2+}$  nos tratamentos T1, T3 e T5 com esterco bovino (Tabela 3).

A estabilização química da matéria orgânica, especialmente as frações húmicas, pode ser explicada pela disponibilidade do Ca em fazer pontes metálicas com grupamentos ácidos responsáveis pela estabilização da matéria orgânica do solo, formando os humatos de Ca. Isto demonstra que não só o aporte de material orgânico, como também os nutrientes, são essenciais para a humificação da matéria orgânica do solo. Como Brieds et al. (2012) e Marinho et al. (2016) também observaram aumento de matéria orgânica na presença de cátions.

Para  $\text{Mg}^{2+}$  disponível os maiores teores foram encontrados nos tratamentos T1 e T3 com esterco bovino + catanduva, respectivamente (Tabela 3). Todavia não houve diferença entre os tratamentos quanto ao  $\text{Mg}^{+2}$  mineralizado (Tabela 3). Para Cu houve aumento nos tratamentos T1, T3 e T5 com esterco bovino. Para Fe os maiores teores foram encontrados quando a catanduva associou-se ao esterco caprino, nos tratamentos T4 e T6 (Tabela 3). Isto possivelmente ocorreu devido aos altos teores iniciais desse elemento tanto no esterco caprino ( $242 \text{ mg kg}^{-1}$ ) quanto nas folhas de catanduva ( $482 \text{ mg kg}^{-1}$ ) (Tabela 2).

Constatou-se os maiores teores de Mn em T1, T3 e T5 com esterco bovino (Tabela 3). O teor inicial de Mn em esterco caprino ( $5,7 \text{ mg kg}^{-1}$ ) foi baixo, o que possivelmente refletiu em menores teores de seus substratos (Tabela 2). Para Zn os maiores valores foram encontrados nos tratamentos T1 e T3 (Tabela 3), possivelmente devido aos maiores teores iniciais no esterco bovino ( $9,8 \text{ mg kg}^{-1}$ ) (Tabela 2).

Quanto aos teores de COT nos tratamentos ao longo dos 120 dias, constatou-se mineralização ao longo do tempo (Tabela 4). A exceção foi para T2 e T5, com ponto de mínima aos 67 e 43 dias com teor de COT de 10,3 e 55,93  $\text{dag kg}^{-1}$ , respectivamente, e posterior redução. Para os demais tratamentos, T1, T3, T4 e T6 houve redução linear no teor de COT (Tabela 4). Acredita-se que a diminuição ocorreu porque, durante o processo de vermicompostagem, as minhocas utilizam parte do carbono para seu crescimento, ou seja, elas fixam parte do carbono em sua biomassa, outra parte é transformada em  $\text{CO}_2$  e perdida para o meio externo, e por fim, formação de um material mais estabilizado. Corroborando com Antunes et al. (2015), que observaram redução linear do teor de COT com evolução da vermicompostagem dos esterco bovino e caprino, associados a restos de alimentos, frutas e vegetais.

Para o CL nos 120 dias, ocorreram reduções lineares em quase todos os tratamentos. A exceção T5 teve o ponto de mínima ( $6,4 \text{ dag kg}^{-1}$ ) aos 71 dias e posterior acréscimo (Tabela

4). Resultado semelhante foi obtido por Dores-Silva et al. (2013), ao utilizarem a vermicompostagem como processo de estabilização de resíduos orgânicos observaram redução na fração do carbono lábil, permanecendo no composto a fração do carbono recalcitrante.

Tabela 9. Equações de regressão e valor de R<sup>2</sup> para carbono orgânico total, carbono lábil, carbono do ácido fúlvico e húmico em 120 dias de vermicompostagem

Tratamentos	Equações	R <sup>2</sup>
COT (dag kg)		
T1	$\hat{y} = 56,67 - 0,013 * x$	0.67
T2	$\hat{y} = 33,13 + 0,682^{**}x - 0,0051^{**}x^2$	0.97
T3	$\hat{y} = 53,56 - 0,044 * x$	0.58
T4	$\hat{y} = 25,27 - 0,144 * x$	0.69
T5	$\hat{y} = 54,96 + 0,045^*x - 0,00052^*x^2$	0.75
T6	$\hat{y} = 27,64 - 0,165^{**}x$	0.65
CL (g kg <sup>-1</sup> )		
T1	$\hat{y} = 7,001 - 0,0067^{**}x$	0.83
T2	$\hat{y} = 5,34 - 0,0066 * x$	0.68
T3	$\hat{y} = 6,37 - 0,0078 * x$	0.63
T4	$\hat{y} = 5,07 - 0,0055 * x$	0.57
T5	$\hat{y} = 7,03 - 0,017^*x + 0,00012^*x^2$	0.78
T6	$\hat{y} = 5,65 - 0,0127^{**}x$	0.84
C-AF (dag kg)		
T1	$\hat{y} = 2,12 - 0,0053^{**}x$	0.83
T2	$\hat{y} = 1,304 - 0,0267^{**}x + 0,000165^*x^2$	0.89
T3	$\hat{y} = 2,18 - 0,0052^{**}x$	0.81
T4	$\hat{y} = 1,22 - 0,0255^{**}x + 0,000154^{**}x^2$	0.93
T5	$\hat{y} = 2,24 - 0,0064^{**}x$	0.67
T6	$\hat{y} = 1,27 - 0,0102^{**}x$	0.69
C-AH (dag kg)		
T1	$\hat{y} = 2,64 - 0,023^*x + 0,00021^*x^2$	0.73
T2	$\hat{y} = 1,67 - 0,039^{**}x + 0,000252^{**}x^2$	0.96
T3	$\hat{y} = 2,55 - 0,012 * x + 0,000155 * x^2$	0.67
T4	$\hat{y} = 1,50 - 0,0287^{**}x + 0,000177^{**}x^2$	0.95
T5	$\hat{y} = 2,68 - 0,0304^{**}x + 0,00026^{**}x^2$	0.87
T6	$\hat{y} = 1,94 - 0,044^{**}x + 0,00027^{**}x^2$	0.93

\* e \*\* Significativo a 5 % e a 1 % de probabilidade, respectivamente. COT - carbono orgânico total; CL - carbono lábil; C-AF - carbono do ácido fúlvico; C-AH - carbono do ácido húmico. T1 - esterco bovino + folhas de cajueiro (*Anacardium occidentale* L.); T2 - esterco caprino + folhas de cajueiro; T3 - esterco bovino + folhas de catanduva (*Piptadenia moniliformis* Benth.); T4 - esterco caprino + folhas de catanduva; T5 - esterco bovino + folhas de cajueiro + folhas de catanduva; T6 - esterco caprino + folhas de cajueiro + folhas de catanduva.

O C-AH apresentou ajuste quadrático positivo para todos os tratamentos, ou seja, um ponto de mínimo e, posterior aumento nessa fração. Para os tratamentos com esterco bovino T1, T3 e T5 houve redução até os 55, 38 e 58 dias, com mínimo produzido de 2,01, 2,31 e 1,79 dag kg<sup>-1</sup> do C-AH. Enquanto nos tratamentos com esterco caprino houve redução até os 77, 81 e 81 dias, com mínimo produzido de 0,16, 0,34 e 0,15 dag kg<sup>-1</sup> de C-AH, respectivamente (Tabela 4). Isto indica a estabilização do vermicomposto, com maior conteúdo de carbono na forma humificada e elevada capacidade de adsorver cátions dos resíduos orgânicos (Melo et al., 2008). Esse fato ocorre devido à ação conjunta dos microrganismos e minhocas que alteram qualitativa e quantitativamente a composição das substâncias húmicas e dos materiais orgânicos (Cotta et al., 2015).

Constatou-se o aumento linear de Ca<sup>2+</sup> em todos os tratamentos (Tabela 5) e acréscimo nos tratamentos em relação à quantidade inicial deste elemento (Tabela 2). Isto possivelmente ocorreu em virtude das glândulas calcíferas presentes no tubo digestivo das minhocas, que favoreceram a preservação e aumento do Ca<sup>2+</sup> no meio pela manutenção do pH alcalino (devido à ação da enzima anidrase carbônica, que posteriormente catalisa a fixação do CO<sub>2</sub> em CaCO<sub>3</sub>) e evitando decréscimo do pH (Farias, 2017; Almeida et al., 2018). Os tratamentos (T2, T3, T4 e T6) tiveram a disponibilidade de Mg<sup>2+</sup> reduzida ao longo do tempo (Tabela 5).

O K ao longo de 120 dias, constatou redução linear em todos os tratamentos (Tabela 5). Isso é resultado de o K apresentar alta mobilidade e não ser metabolizado, encontrando-se quase que totalmente na forma de íon, nas células vegetais, assim, a utilização de irrigação associado à precipitação pluvial favorece a sua liberação (Souto et al., 2013). Resultado semelhante foi observado por Malafaia et al. (2015), que utilizaram como composto o lodo de curtume associado com esterco bovino. Além disso, segundo Rosolem et al. (2003), este elemento forma ligações com complexos orgânicos de fácil reversibilidade. Enquanto para Zn, houve aumento linear em todos os tratamentos (Tabela 5).

Tabela 10. Equações de regressão e valor de R<sup>2</sup> para nutrientes disponíveis e mineralizados em 120 dias de vermicompostagem

Tratamentos	Equações	R <sup>2</sup>
Ca disponível (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )		
T1	$\hat{y} = 5,05 + 0,034 * x$	0.67
T2	$\hat{y} = 4,707 + 0,0172^{**}x$	0.92
T3	$\hat{y} = 4,22 + 0,0421 * x$	0.99
T4	$\hat{y} = 4,01 + 0,023 * x$	0.62
T5	$\hat{y} = 3,06 + 0,0501^{**}x$	0.75
T6	$\hat{y} = 3,77 + 0,02803^{**}x$	0.75
Mg disponível (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )		
T1	$\hat{y} = 2,58 + 0,0166 * x - 0,000454 * x^2$	0.80
T2	$\hat{y} = 3,194 - 0,0170 * x$	0.64
T3	$\hat{y} = 2,242 + 0,0199^{**}x$	0.93
T4	$\hat{y} = 2,98 - 0,0156^{**}x$	0.94
T5	$\hat{y} = 2,73$	-
T6	$\hat{y} = 2,231 - 0,0068^{**}x$	0.71
K mineralizado (g kg <sup>-1</sup> )		
T1	$\hat{y} = 6,15 - 0,0503^{**}x$	0.77
T2	$\hat{y} = 5,69 - 0,0563^{**}x$	0.74
T3	$\hat{y} = 4,20 - 0,0300^{**}x$	0.73
T4	$\hat{y} = 5,047 - 0,0471^{**}x$	0.70
T5	$\hat{y} = 4,678 - 0,036^{**}x$	0.78
T6	$\hat{y} = 4,88 - 0,046^{**}x$	0.79
Zn mineralizado (mg kg <sup>-1</sup> )		
T1	$\hat{y} = 5,92 + 0,056^{**}x$	0.99
T2	$\hat{y} = 3,27 + 0,0402^{**}x$	0.82
T3	$\hat{y} = 6,232 + 0,0543^{**}x$	0.92
T4	$\hat{y} = 5,205 + 0,0205^{**}x$	0.81
T5	$\hat{y} = 5,119 + 0,0451^{**}x$	0.95
T6	$\hat{y} = 4,21 + 0,024^{**}x$	0.95

\* e \*\* Significativo a 5 % e a 1 % de probabilidade, respectivamente. T1 - esterco bovino + folhas de cajueiro (*Anacardium occidentale* L.); T2 - esterco caprino + folhas de cajueiro; T3 - esterco bovino + folhas de catanduva (*Piptadenia moniliformis* Benth.); T4 - esterco caprino + folhas de catanduva; T5 - esterco bovino + folhas de cajueiro + folhas de catanduva; T6 - esterco caprino + folhas de cajueiro + folhas de catanduva.

Os teores de C nos humatos variaram de 319 a 565,5 g kg<sup>-1</sup>, H de 45,5 a 76,1 g kg<sup>-1</sup>, N de 46,1 a 67,3 g kg<sup>-1</sup> e O de 272,4 a 493,1 g kg<sup>-1</sup> (Tabela 6). Os seus maiores teores foram associados aos tratamentos com esterco bovino, T1, T3 e T5. Todos os humatos tiveram relação C:N abaixo de 20 o que pode indicar que o processo de humificação foi mais favorecido pela atividade microbiana (Sanchez et al., 2007). Os humatos isolados dos tratamentos com esterco bovino (Tabela 6) apresentaram conteúdo maior de C e maior relação

C:N, porém verifica-se maior conteúdo de N, indicando provavelmente, uma incorporação de nitrogênio nas substâncias húmicas que é um indicador do grau de humificação, uma vez que, as reações de condensação moleculares incorporam compostos nitrogenados às estruturas humificadas (Stevenson, 1994).

Os tratamentos T1, T3 e T5, obtiveram humatos com relação H:C acima de um, respectivamente (Tabela 6). Indicando presença de C em grupos alifáticos em maior proporção do que C em grupos aromáticos (Nascimento-Filho, 1990). Semelhante a este estudo, Rodda et al. (2006) e Castilhos et al. (2008) utilizaram esterco bovino como substrato para vermicompostagem e obtiveram relação H:C de 1,2 e 1,1 respectivamente.

Na relação O:C não foi constatada diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 6). Os valores de O:C obtidos para todos os tratamentos foram menores que o valor e 1,5 encontrado por Rodda et al. (2006), utilizando esterco bovino, bagaço de cana e leguminosa em vermicompostagem. Essa relação está associada com os teores de carboidratos das substâncias húmicas. Elevados valores indicam menor grau de humificação, devido à diminuição nos teores de carboidratos (Rodda et al., 2006).

Os tratamentos T2, T4 e T6, produzidos com esterco caprino, apresentaram os menores valores para a razão  $E_4/E_6$  (Tabela 6). Isso permite inferir que houve maior grau de humificação das substâncias húmicas para estes tratamentos. Para os tratamentos com esterco bovino T1, T3 e T5, foram obtidos os maiores valores de  $E_4/E_6$  e C/N sendo os tratamentos de menores evoluções químicas, menor aromaticidade e baixa condensação estrutural. Esses valores mais altos de  $E_4/E_6$  podem ser indicativos da presença de grupos funcionais oxigenados, como grupos hidroxil, carbonil, carboxil e éster (Enev et al., 2014; Dores-Silva et al., 2015).

Todavia, para todos os tratamentos as razões  $E_4/E_6$  foram maiores que 5,5, e de acordo com a literatura (Rosa et al., 2000), razões menores que 4 indicam maior presença de estruturas aromáticas condensadas, assim como valores maiores que 4, presença de poucas estruturas aromáticas condensadas. Assim, apesar do esterco caprino apresentar maior presença de estruturas aromáticas condensadas, esta aromaticidade pode não ser tão significativa no processo geral.

Os maiores valores de acidez total foram verificados nos humatos isolados dos tratamentos T1, T3 e T5 com esterco bovino (Tabela 6). Assim, quanto maior o valor de acidez total, maior o número de moles de  $H^+$  disponíveis para reações químicas. Indicando ser este o material húmico de menor evolução química. A maior acidez total nestes tratamentos é um indicativo da maior hidrofilicidade dos substratos contendo esterco bovino. Essa elevada

Tabela 11. Composição elementar, relações atômicas, razão E<sub>4</sub>/E<sub>6</sub> e acidez dos humatos isolados de vermicompostos

Propriedades	T1	T2	T3	T4	T5	T6
C (g kg <sup>-1</sup> )	565,50 a	332,4 b	560,2 a	319,0 b	550,5 a	322,0 b
H (g kg <sup>-1</sup> )	71,30 a	47,9 b	76,1 a	45,5 b	71,8 a	46,2 b
N (g kg <sup>-1</sup> )	66,60 a	52,5 b	67,3 a	46,6 b	66,9 a	46,1 b
O (g kg <sup>-1</sup> )	493,10 a	283,4 b	483,1 a	272,4 b	477,6 a	274,7 b
C/N	8,66 a	6,87 b	8,81 a	7,44 b	8,43 a	7,84 b
H/C	1,01 a	0,88 b	1,21 a	0,81 b	1,19 a	0,88 b
O/C	1,09 a	1,06 a	1,06 a	1,17 a	1,09 a	1,05 a
E <sub>4</sub> /E <sub>6</sub>	6,0 a	5,77 bc	6,25 a	5,66 bc	6,84 a	5,56 c
AT (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	524,41 a	417,54 b	534,43 a	398,45 b	552,45 a	388,10 b
AC (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	352,95 ab	226,49 c	347,64 b	224,08 c	385,62 a	210,82 c
AF (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	171,46 a	191,05 a	186,79 a	174,37 a	166,83 a	177,28 a

Média (n=8) de quatro tempos de avaliação. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tuckey (P < 0,05) AT - acidez total; AC - acidez carboxílica; AF - acidez fenólica. T1 - esterco bovino + folhas de cajueiro (*Anacardium occidentale* L.); T2 - esterco caprino + folhas de cajueiro; T3 - esterco bovino + folhas de catanduva (*Piptadenia moniliformis* Benth.); T4 - esterco caprino + folhas de catanduva; T5 - esterco bovino + folhas de cajueiro + folhas de catanduva; T6 - esterco caprino + folhas de cajueiro + folhas de catanduva.

reatividade indica uma participação significativa das substâncias húmicas no desenvolvimento das cargas nos tratamentos (Tabela 3) (Dobbss et al., 2009).

Semelhante ao ocorrido com a acidez total, na acidez carboxílica os tratamentos com esterco bovino T1, T3 e T5 foram superiores aos com esterco caprino, todavia na acidez fenólica não houve diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 6). Segundo Cotta (2019), durante o processo de estabilização, tem-se uma diminuição dos grupos alifáticos na estrutura da matéria orgânica e a formação de anéis aromáticos substituídos, os quais são geralmente grupos carboxílicos, hidroxílicos e carbonílicos; assim houve maior tendência ao aumento do grupo carboxílico durante a vermicompostagem. De acordo com Colombo et al. (2007), as substâncias húmicas têm muitos sítios ionizáveis, especialmente grupos carboxílicos e fenólicos, que lhes conferem a apreciável capacidade de formarem complexos estáveis com cátions de metais pesados. Em função desta propriedade, as substâncias húmicas exercem importante papel na mobilidade, no transporte e na atividade dos íons metálicos no ambiente.

## **CONCLUSÃO**

Os tratamentos com esterco bovino proporcionaram maiores teores de nitrogênio, carbono orgânico total e carbono nas frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica. A humificação foi favorecida pelo superior aporte e qualidade do material orgânico, associado ao maior teor de cálcio nos tratamentos com esterco bovino.

Nos tratamentos com esterco caprino se verificou maiores teores de P e K extraído com Mehlich-1 e, após digestão nítrica os maiores teores foram encontrados nos tratamentos com esterco bovino. Para os micronutrientes não se obteve diferença ao tipo de esterco vermicompostado, nem ao resíduo vegetal utilizado, cada micronutriente apresentou comportamento diferenciado.

Os humatos isolados dos tratamentos com esterco bovino apresentaram menor evolução química, maior presença de C em grupos alifáticos, superior acidez total e carboxílica. Não houve distinção entre os tratamentos quanto aos resíduos vegetais, sendo mais viável ambientalmente deixarem-nas desempenhando a sua função como serapilheira, colaborando com a ciclagem de nutrientes, manutenção e proteção do ambiente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, R. G.; Xavier, G. E.; Valente, S. B.; Roll, B. V. F.; Nichelle, D. C. Vermicompostagem da mistura de cinza de casca de arroz com esterco bovino e serragem. *Archivos de Zootecnia*, v.67, n.258, p.212-218, 2018.
- Alvares, C. A.; Stape, J. L.; Sentelhas, P.C.; Alves, J. L. M. G. Sparovek, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v.22, n.6, p.711-728, 2014.
- Antunes, R. M.; Castilhos, R. M. V.; Castilhos, D. D.; Leal, O. A.; Dick, D. P.; Andreazza, R. Transformações químicas dos ácidos húmicos durante o processo de vermicompostagem de resíduos orgânicos. *Engenharia Sanitária Ambiental*, v.20, n.4, p. 699-708, 2015.
- Aquino, M. A.; Almeida, D. L.; Freire, L. R.; Polli, H. Reprodução de minhocas (*Oligochaeta*) em esterco bovino e bagaço de cana-de-açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.29, p.161-168, 1994.
- Briedis, C.; Sá, J. C. de M.; Caires, E. F.; Navarro, J. de F.; Inagaki, T. M.; Boer, A.; Neto, C. Q.; Ferreira, A. de O.; Canalli, L. B.; Santos, J. B. dos. Soil organic matter pools and carbon-protection mechanisms in aggregate classes influenced by surface liming in a no-till system. *Geoderma*, v.170, n.1, p.80-88, 2012.
- Canellas, L. P.; Façanha, A. R. Chemical nature of soil humified fractions and their bioactivity. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, v.39, n.3, p.233-240, 2004.
- Castilhos, R. M. V.; Dick, D. P.; Castilhos, D. D.; Morselli, T. B. A. G.; Costa, P. F. P.; Casagrande, W. B.; Rosa, C. M. Distribuição e caracterização de substâncias húmicas em vermicompostos de origem animal e vegetal. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.2669-2675, 2008.
- Colombo, S. M.; Santos, L. B. O.; Masini, J. C. Propriedades ácido-base e de complexação de ácidos húmico e fúlvico isolados de vermicomposto. *Química Nova*, v.30, v.5, p.1261-1266, 2007.
- Cotta, J. A. O. Humic acids: The dynamics of mineralization during bioremediation by vermicomposting of soils contaminated by diesel. *Research, Society and Development*, v.8, n.8, p.1-20, 2019.
- Cotta, J. A. O.; Carvalho, N. L. C.; Brum, T. S.; Rezende, M. O. O. Compostagem versus vermicompostagem: comparação das técnicas utilizando resíduos vegetais, esterco bovino e serragem. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.20, n.1, p.65-78, 2015.
- Cunha, A. H. N.; Fernandes, E. P.; Araújo, F. G. de; Malafaia, G.; Correio, J. A. V. Vermicompostagem de lodo de curtume associado a diferentes substratos. *Multi-Science Journal*, v. 1, n.3, p.31-39, 2015.
- Dobbss, L. B.; Rumjaneck, V. M.; Baldotto, M. A.; Velloso, A. C. X.; Canellas, L. P. Caracterização química e espectroscópica de ácidos húmicos e fúlvicos isolados da camada superficial de latossolos brasileiros. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.33, p.51-63, 2009.

Teixeira, P. C.; Donagemma G. K.; Wenceslau, A. F.; Teixeira, G. Manual de métodos de análise de solo. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2017. 573 p.

Dores-Silva, P. R.; Landgraf, M. D.; Rezende, M. O. O. Processo de estabilização de resíduos orgânicos: vermicompostagem versus compostagem. *Revista Química Nova*, São Paulo, v. 36, n. 5, p. 640-645, 2013.

Dores-Silva, P. R.; Landgraf, M. D.; Rezende, M. O. O. Chemical differentiation of domestic sewage sludge and cattle manure stabilized by microbioreactors: study by pyrolysis coupled to gas chromatography coupled to mass spectroscopy. *Journal of Brazilian Chemical Society*, v.26, n.5, p.860-868, 2015.

EMBRAPA. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2. ed. rev. ampl., Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627p.

Enev, V.; Pospisílová, L.; Klucáková, M.; Liptaj, T.; Duskocil, L. Spectral characterization of selected humic substances. *Soil and Water Research*, v.9, p.9-17, 2014.

Façanha, A. R.; Façanha, A. L. O. R.; Olivares, F. L.; Guridi, F.; Santos, G. A.; Velloso, A. C. X.; Rumjanek, V. M.; Brasil, F.; Schripsema, J.; Braz-Filho, R.; Oliveira, M. A. de; Canellas, L. P. Bioatividade de ácidos húmicos: efeitos sobre o desenvolvimento radicular e sobre a bomba de prótons da membrana plasmática. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.37, n.37, p.1301-1310, 2002.

Farias, J. R. M. Reprodução de minhocas em diferentes substratos orgânicos e a percepção de agricultores familiares sobre a minhocultura. Campina Grande: UFCG, 2017. 75p. Monografia Graduação

Gassen, F. Monitoramento da compactação do solo: uma proposta da assistência técnica. *Revista Plantio Direto*. Aldeia Norte Editora, Passo Fundo, Edição 92, 2006.

Gomes, D. I.; Detmann, E.; Cabral, L. S. Avaliação da lignina. In: Institutos nacionais de ciência e tecnologia - INCR. Métodos para análise de alimentos. 2012, Cap.9, p.127-146.

Huber, A. C. K.; Morselli, T. B. G. A. Estudo da mesofauna (ácaros e colêmbolos) no processo da vermicompostagem. *Revista da Faculdade de Zootecnia, Veterinária e Agronomia*, v.18, n.2, p.12-20, 2011.

Kononova, M. M. *Materia orgánica del suelo: su naturaleza, propiedades y métodos de investigación*. Barcelona, Oikos-Tau, 1982. 365p.

Li, X.; Xing, M.; Yang, J.; Huang, Z. Compositional and functional features of humic acid-like fractions from vermicomposting of sewage sludge and cow dung. *Journal of Hazardous Materials*, v.185, n.2-3, p.740-748, 2011.

Lima, M. V. G.; Filho, C. A. dos S.; Ferreira, J. V. V.; Souza, K. G. de; Shockness, L. dos S. F.; Bento, G. F. Vermicompostos como substratos no desempenho de mudas de alface e rúcula. *Revista Verde*, v.14, n.3, p.374-381, 2019.

Malafaia, G.; Jordão, C. R.; Araújo, F. G. de; Leandro, W. M.; Rodrigues, A. S. de L. Vermicompostagem de lodo de curtume em associação com esterco bovino utilizando Eisenia fétida. *Engenharia Sanitária Ambiental*, v.20, n.4, p.709-716, 2015.

Marinho, A. C. da C. S.; Portela, J. C.; Silva, E. F. da; Dias, N. da S.; Júnior, F. S. de S.; Silva, A. C. da; Silva, J. F. da. Organic matter and physicochemical attributes of a cambisol under different agricultural uses in a semi-arid region of Brazil. *Australian Journal of Crop Science*, v.10, n.1, p.32-41, 2016.

Melo, L. C. A.; Silva, C. A.; Dias, B. de O. Caracterização da matriz orgânica de resíduos de origens diversificadas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.101-110, 2008.

Moral, R.; Moreno-Caselles, J.; Perrez-Murcia, M. D.; Perez-Espinosa, A.; RufetE, B.; Paredes, C. Characterization of the organic matter pool in manures. *Bioresource Technology*, v.96, p.153-158, 2005.

Nardi, S.; Pizzeghello, D.; Muscolo, A.; Vianello, A. Physiological effects of humic substances on higher plants. *Soil Biology and Biochemistry*, v.34, p.1527-1536, 2002.

Nascimento-Filho, A. P. Contribuição ao estudo de substâncias tipo ácido húmico por redução degradativa com amálgama de sódio. Rio de Janeiro: UFRL, 1990. Dissertação Mestrado

Oades, J. M. The retention of soil organic matter in soils. *Biogeochemistry*. v.5, p.35-70, 1998.

Ribeiro Junior, J. I. Análises estatísticas no SAEG (Sistema para análises estatísticas). Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa. 2001. 301p.

Rocha, D. F. da; Silva, T. N.; SANTOS, C. A. B. Atividade reprodutiva da *Eisenia foetida* (Savigny, 1826) (Haplotaxida: Lumbricidae) em diferentes habitats. *Revista Ouricuri*, v.7, n.2, p.17-30, 2017.

Rodda, M. R. C.; Canellas, L. P.; Façanha, A. R.; Zandonadi, D. B.; Guerra, J. G. M.; Almeida, D. L.; Santos, G. A. Estímulo no crescimento e na hidrólise de ATP em raízes de alface tratadas com humatos de vermicomposto. II - efeito da fonte de vermicompostos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.30, p.657-664, 2006.

Rodda, M. R. C.; Canellas, L. P.; Façanha, A. R.; Zandonadi, D. B.; Guerra, J. G. M.; Almeida, D. L.; Santos, G. A. Estímulo no crescimento e na hidrólise de ATP em raízes de alface tratadas com humatos de vermicomposto I. efeito de doses de humatos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.30, p.649-656, 2006.

Rosa, A. H.; Rocha, J. C.; Furlan, M. Humic substances of peat: study of the parameters that influence on the process of alkaline and extraction. *Química Nova*, v.23, n.4, p.472-476, 2000.

Rosa, D. M.; Nóbrega, L. H. P.; Mauli, M. M.; Lima, G. P. de; Pacheco, F. P. Substâncias húmicas do solo cultivado com plantas de cobertura em rotação com milho e soja. *Revista Ciência Agronômica*, v.48, n.2, p.221-230, 2017.

Rosolem, C. A.; Silva, R. H.; Esteves, J. A. F. Potassium supply to cotton roots as affected by potassium fertilization and liming. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.38, n.5, p.635-641, 2003.

Sanches, S. M.; Campos, S. X. de; Vieira, E. M. Caracterização das frações das substâncias húmicas de diferentes tamanhos moleculares. *Eclética Química*, São Paulo, v.32, v.1, p.49-56, 2007.

Santos, L. S. dos; Sousa, M. A. de; Souza, Á. I. A. F. e; Rodrigues, M.; Cruz, W. P. da. Reprodução e sobrevivência de *Eisenia andrei* sob diferentes resíduos agroindustriais. *Revista de Ciências Agrárias*, v.62, 2019.

Schnitzer, M.; Gupta, U. C. Determination of acidity in soil organic matter. *Soil Science Society of America, Proceedings*, v.29, p.274-277, 1965.

Sena, L. M.; Arruda, J. F. de; Costa, F. R. da S.; Almeida, F. B. B. de; Brito, P. O. B. de; Gondim, F. A. Compostagem e vermicompostagem como alternativa para tratamento e destinação de resíduos orgânicos. *Revista Verde*, v.14, n.2, p.266-272, 2019.

Shang, C.; Tiessen, H. Organic matter lability in tropical Oxisol: evidence from shifting cultivation, chemical oxidation, particle size, density, and magnetic fractionations. *Soil Science*, v.162, n.11, p.795-807, 1997.

Silva, F. C. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2. ed. Brasília. Embrapa, 2009. 627p

Silva, T. O.; Menezes, R. S. C. Adubação orgânica da batata com esterco e ou, *Crotalaria juncea*. II - Disponibilidade de N, P e K no solo ao longo do ciclo de cultivo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, n.3, p.51-61, 2007.

Souto, P. C.; Souto, J. S.; Nascimento, J. A. M. Do. Liberação de nutrientes de esterco em luvisolo no semiárido paraibano. *Revista Caatinga*, v.26, n.4, p.69-78, 2013.

Stevenson, F. J. Humus chemistry. Genesis, composition, reactions. New York: John Wiley & Sons, 1994. 496p.

Swift, R. S. Sequestration of Carbon by Soil. *Soil Science*. v.166, p. 858-871, 2001.

Yoemans, J. C.; Bremner, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.19, n.13, p.1467-1476, 1988.