

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CAMPUS DE CASCAVEL
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

**ADIÇÃO DE DEJETOS DE BOVINOS DE CORTE EM PROCESSOS BIOLÓGICOS DE
ESTABILIZAÇÃO DE CAMA DE OVINOS**

TAIANA CESTONARO

CASCAVEL – Paraná – Brasil

Abril – 2013

TAIANA CESTONARO

**ADIÇÃO DE DEJETOS DE BOVINOS DE CORTE EM PROCESSOS BIOLÓGICOS DE
ESTABILIZAÇÃO DE CAMA DE OVINOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Mônica Sarolli Silva de Mendonça Costa

Co-orientadora: Prof^a. Dr^a. Simone Damasceno Gomes

CASCADEL – Paraná – Brasil

Abril – 2013

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca Central do Campus de Cascavel – Unioeste
Ficha catalográfica elaborada por Jeanine da Silva Barros CRB-9/1362

C418a Cestonaro, Taiana
Adição de dejetos de bovinos de corte em processos biológicos de estabilização de cama de ovinos. / Taiana Cestonaro.— Cascavel, PR: UNIOESTE, 2013.
51 f.

Orientadora: Profa. Dra. Mônica Sarolli Silva de Mendonça Costa
Co-orientadora: Profa. Dra. Simone Damasceno Gomes
Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná.
Bibliografia.

1. Compostagem. 2. Vermicompostagem. 3. Co-digestão anaeróbia.
4. Análise multivariada. I. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. II. Título.

CDD 21.ed. 631

TAIANA CESTONARO

ADIÇÃO DE DEJETOS DE BOVINOS DE CORTE EM PROCESSOS BIOLÓGICOS DE ESTABILIZAÇÃO DE CAMA DE OVINOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação “*Stricto Sensu*” em Engenharia Agrícola, em cumprimento parcial aos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, **aprovada** pela seguinte banca examinadora:

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Mônica Sarolli Silva de Mendonça Costa
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, UNIOESTE - Cascavel/PR

Dr^a. Adriana Maria de Aquino
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, EMBRAPA Agrobiologia

Prof. Dr. Luiz Antonio de Mendonça Costa
Doutor em Energia na Agricultura, bolsista CNPq/RHAE

Prof^a. Dr^a. Simone Damasceno Gomes
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, UNIOESTE - Cascavel/PR

Prof^a. Dr^a. Luciana Pagliosa Carvalho Guedes
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, UNIOESTE - Cascavel/PR

CASCADEL, 04 de abril de 2013

BIOGRAFIA

TAIANA CESTONARO – Filha de Terezinha Bernardi Cestonaro e Leomar César Cestonaro. Nasceu em 11 de outubro de 1988 e é natural da cidade de Concórdia-SC. Em agosto de 2010, graduou-se em Engenharia Ambiental pela Universidade do Contestado (UnC), *Campus* de Concórdia. De maio de 2010 a janeiro de 2011, atuou pela empresa Lago Azul Consultoria do município de Itá-SC e realizou atividades de educação ambiental. Em março de 2011, iniciou o Mestrado em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), *Campus* Cascavel, Área de concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

*“Saudações a quem tem coragem,
Aos que estão aqui pra qualquer viagem.
Não fique esperando a vida passar tão rápido,
A felicidade é um estado imaginário...”*

(Dé/ Frejat/ Guto Goffi)

Aos meus maiores amores: mãe, pai e mana,

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE) e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (PGEAGRI), pela oportunidade;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos;

À professora orientadora Mônica S. S. de M. Costa pela disposição, orientação, atenção e esforços para tornar possível a realização deste trabalho, até mesmo “colocando a mão na massa”;

Aos colegas do Laboratório de Análises de Resíduos Agroindustriais - LARA que foram fundamentais em muitas etapas do trabalho. Aos que ajudaram nas práticas da compostagem, e que faziam dessa tarefa uma diversão: Dércio, Rozatti, Higor, Leocir, professora Mônica, professor Mendonça, Marcos e até o Chico. A todos os corajosos que não me deixaram na mão na contagem das mais de 16 mil minhocas na vermicompostagem, e àqueles que ajudaram nos experimentos de biodigestão anaeróbia e que não se cansavam de admirar e elogiar ‘o perfume’ do biofertilizante... Esse pessoal é fera! Agradecimentos especiais ao Dércio, Higor, Fran Torres, Rozatti e Marcos, que tornaram a minha experiência de mestrado uma etapa mais feliz, seja pela simples companhia, compreensão nos vários dias que não dava nada certo, conversas trocadas, dúvidas provocadas. Sentirei saudades do dia-a-dia no lab com vocês!

Agradecimento novamente ao Dércio, nosso ‘bibliotecário’ de plantão. Dessa vez, pelos vários livros emprestados ou repassados na forma digital que contribuíram para o enriquecimento dessa dissertação;

Aos professores do PGEAGRI, pelos ensinamentos transmitidos e total atenção no esclarecimento das dúvidas;

Aos colegas da Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pelas companhias, conversas e trocas de experiências;

À professora Simone Damasceno Gomes por disponibilizar o Laboratório de Saneamento para realização de algumas análises e ao Edison pela orientação técnica e colaboração sempre que foi necessário;

Aos funcionários da UNIOESTE, principalmente ao pessoal do setor de transportes e também ao seu Sírío que auxiliou nos trabalhos de campo da compostagem.

Muito Obrigada!

ADIÇÃO DE DEJETOS DE BOVINOS DE CORTE EM PROCESSOS BIOLÓGICOS DE ESTABILIZAÇÃO DE CAMA DE OVINOS

RESUMO

A cama de ovinos é composta por dejeções incorporadas a um material lignocelulósico, a casca de arroz. Materiais com essa característica apresentam maior tempo de estabilização ou limitações na decomposição, pois são constituídos de frações resistentes, por vezes inacessíveis aos microrganismos. Algumas alternativas são utilizadas para facilitar a reciclagem desses nutrientes, como a simples combinação com outro resíduo. Com este propósito, objetivou-se avaliar a vermicompostagem, a compostagem e a co-digestão anaeróbia de cama de ovinos em mistura com dejetos bovinos a fim de que fossem fornecidas condições adequadas para a transformação dos resíduos. Os três ensaios foram realizados a partir de cinco proporções de cama de ovinos e dejetos bovinos: 0: 100, 25: 75, 50: 50, 75: 25 e 100: 0, os quais representavam os tratamentos T_{100} , T_{75} , T_{50} , T_{25} e T_0 , respectivamente. A vermicompostagem foi conduzida de novembro de 2011 a março de 2012. O preparo do material foi realizado a fim de que fossem eliminados os compostos tóxicos. Posteriormente, foram depositados 0,88 kg de massa seca e 15 minhocas adultas da espécie *Eisenia foetida* nos vermireatores. O conteúdo de cinzas de $\geq 45\%$ serviu de parâmetro de estabilidade adotado neste ensaio. As leiras de compostagem foram conduzidas de abril a julho de 2012, em pátio coberto e com piso em concreto. Cada leira contou com 200 kg de massa seca e foram realizados revolvimentos manuais duas vezes por semana no primeiro mês e semanalmente a partir desse momento. A compostagem foi acompanhada até as leiras apresentarem valores de temperatura próximos a ambiente, quando considerou-se o material estabilizado. Na co-digestão anaeróbia, o período experimental foi de maio a outubro de 2012. A mistura de entrada, diluída com água, foi feita a fim de obter-se o teor de sólidos totais de 5%. Para fermentação dos resíduos, utilizaram-se biodigestores de PVC de bancada com volume útil de 6 L. A co-digestão anaeróbia foi conduzida em sistema batelada e acompanhada até o decréscimo da curva de produção de biogás. O delineamento experimental adotado em todos os ensaios foi inteiramente casualizado, com emprego de análises estatísticas univariadas e multivariadas para avaliação dos dados. Os resultados demonstraram a necessidade de 50% de dejetos de bovinos na mistura, para que a cama de ovinos pudesse ser absorvida eficientemente na compostagem e na co-digestão anaeróbia. Essa proporção deu origem a um composto e biofertilizante com maior estabilidade e conteúdo de nutrientes, além de proporcionar maiores produções de biogás. Em vermicompostagem, a cama de ovinos apresentou potencial de ser utilizada em proporção de até 75% na mistura com dejetos bovinos, para desenvolvimento da espécie *Eisenia foetida*. Porém, proporções superiores a 25% diminuíram a qualidade do vermicomposto. A casca de arroz não foi transformada em todos os ensaios.

PALAVRAS-CHAVE: vermicompostagem, compostagem, co-digestão anaeróbia, análise multivariada.

ADDITION OF BEEF CATTLE MANURE IN BIOLOGICAL PROCESSES OF SHEEP LITTER STABILIZATION

ABSTRACT

Sheep litter has in its composition manures incorporated to rice husk, which is a lignocellulosic material. Materials with this characteristic are stabilized for longer period of time and have restrictions on decomposing since they present strong fractions that can, sometimes, be inaccessible to micro-organisms. Some alternatives have been used in order to ease these nutrients recycling, for example its ordinary mixing with another residue. Thus, this essay aimed at evaluating vermicomposting, composting and anaerobic co-digestion applied to sheep litter mixed with cattle manure in order to provide available conditions to change such residues. Three assays were carried out from five ratios of sheep litter and cattle manure: 0:100, 25:75, 50:50, 75:25 and 100:0, which represented treatments T_{100} , T_{75} , T_{50} , T_{25} and T_0 , respectively. The process of vermicomposting was carried out from November 2011 to march 2012. The material has undergone a preparation in order to eliminate toxic composts. Then, 0.88 kg of dry mass and 15 adult worms (*Eisenia foetida*) were allocated in the vermireactor. The $\geq 45\%$ ash content was the stability parameter adopted in this assay. The composting piles were carried out from April to July 2012 in a covered area of concrete floor. Each pile had 200 kg of dry mass and received manual turnings two times a week during the first month and weekly from then on. Composting was supervised until the piles reached values close to room temperature, when the material was stabilized. The experimental period for anaerobic co-digestion occurred from May to October 2012. An entry mixture diluted with water was made in order to obtain a 5% content of total solids. And for residues fermentation, PVC bench scale bio-digesters were used to storage 6 L volume of such material. An anaerobic co-digestion was carried out in a batch system and observed until the curve of biogas production had decreased. In all assays, the adopted experimental design was completely randomized with univariate and multivariate statistics for data evaluation. The results showed that 50% of cattle manure was necessary in the mixture so that sheep litter could be efficiently absorbed in composting and in anaerobic co-digestion. This ratio generated a compost and biofertilizer with greater stability and content of nutrients as well as provided a larger scale of biogas production. In vermicomposting, the sheep litter showed potential to be used in a ratio up to 75% in mixture with cattle manure for *Eisenia foetida* specie development. However, greater ratios than 25% have decreased the vermicompost quality and in all assays, the rice husk was not transformed.

KEYWORDS: vermicomposting, composting, anaerobic co-digestion, multivariate analysis.

SUMÁRIO

ARTIGO 1:

Vermicompostagem de cama de ovinos em mistura com dejetos de bovinos: emprego de ferramentas estatísticas 1

ARTIGO 2:

Compostagem de cama de ovinos e dejetos bovinos: uma abordagem multivariada da transformação dos resíduos 18

ARTIGO 3:

Co-digestão anaeróbia de cama de ovinos e dejetos bovinos: influência das proporções na produção de biogás e na qualidade do biofertilizante 34

LISTA DE TABELAS

ARTIGO 1: VERMICOMPOSTAGEM DE CAMA DE OVINOS EM MISTURA COM DEJETOS BOVINOS: EMPREGO DE FERRAMENTAS ESTATÍSTICAS

Tabela 1	Caracterização da cama de ovinos e dos dejetos de bovinos utilizados na vermicompostagem	3
Tabela 2	Características do material inicial e do vermicomposto final para os parâmetros avaliados na vermicompostagem de cama de ovinos em mistura com dejetos de bovinos.....	7
Tabela 3	Correlação linear entre as variáveis	8
Tabela 4	Componentes principais (CP`s), proporção de variância explicada pelos CP`s e proporção de variância acumulada para os CP`s calculados em função das 10 variáveis pesquisadas (CE, NTK, P, K, C, celulose, hemicelulose, relação C/N, cinzas e relação AH/AF).....	9
Tabela 5	Número de minhocas da espécie <i>Eisenia foetida</i> aos 60 dias e no final da vermicompostagem de cama de ovinos em mistura com dejetos de bovinos..	12

ARTIGO 2: COMPOSTAGEM DE CAMA DE OVINOS E DEJETOS BOVINOS: UMA ABORDAGEM MULTIVARIADA DA TRANSFORMAÇÃO DOS RESÍDUOS

Tabela 1	Caracterização da cama de ovinos e dos dejetos de bovinos utilizados como substratos na compostagem.....	20
Tabela 2	Características do material inicial e do composto final para os parâmetros avaliados na compostagem de cama de ovinos em mistura com dejetos de bovinos.....	24
Tabela 3	Correlação linear entre as variáveis	26
Tabela 4	Componentes principais (CP`s), proporção de variância explicada pelos CP`s e proporção de variância acumulada para os CP`s calculados em função das 10 variáveis pesquisadas	26

ARTIGO 3: CO-DIGESTÃO ANAERÓBIA DE CAMA DE OVINOS E DEJETOS BOVINOS: INFLUÊNCIA DAS PROPORÇÕES NA PRODUÇÃO DE BIOGÁS E NA QUALIDADE DO BIOFERTILIZANTE

Tabela 1	Caracterização da cama de ovinos e dos dejetos bovinos utilizados como substrato para a co-digestão anaeróbia	36
Tabela 2	Características da mistura inicial e do biofertilizante final dos parâmetros avaliados na co-digestão anaeróbia de cama de ovinos em mistura com dejetos de bovinos, operada em sistema batelada com TRH de 159 dias	40
Tabela 3	Potenciais médios de produção de biogás a partir da co-digestão anaeróbia de cama de ovinos em mistura com dejetos de bovinos, operada em sistema batelada com TRH de 159 dias	42
Tabela 4	Correlação linear entre as variáveis	44

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO 1: VERMICOMPOSTAGEM DE CAMA DE OVINOS EM MISTURA COM DEJETOS BOVINOS: EMPREGO DE FERRAMENTAS ESTATÍSTICAS

- Figura 1** Vermireatores de madeira OSB 4
- Figura 2** Gráfico Biplot a partir da ACP para a variação dos parâmetros durante a vermicompostagem de cama de ovinos em mistura com dejetos de bovinos. As setas indicam as variáveis e os números indicam os tratamentos. O agrupamento dos tratamentos indicado no gráfico está somente em função de CP1 9

ARTIGO 2: COMPOSTAGEM DE CAMA DE OVINOS E DEJETOS BOVINOS: UMA ABORDAGEM MULTIVARIADA DA TRANSFORMAÇÃO DOS RESÍDUOS

- Figura 1** Pátio de compostagem 21
- Figura 2** Evolução da temperatura média diária em função dos dias de compostagem de cama de ovinos em mistura com dejetos de bovinos 23
- Figura 3** Gráfico Biplot a partir da ACP para a variação dos parâmetros durante a compostagem de cama de ovinos em mistura com dejetos de bovinos. As setas indicam as variáveis e os números indicam os tratamentos. O agrupamento dos tratamentos indicados no gráfico está somente em função de CP1 27
- Figura 4** Dendrograma obtido pelo método da ligação média com base na distância euclidiana para as variáveis NTK, P, K, cinzas, relação AH/AF, massa, volume, carbono, celulose e hemicelulose 30

ARTIGO 3: CO-DIGESTÃO ANAERÓBIA DE CAMA DE OVINOS E DEJETOS BOVINOS: INFLUÊNCIA DAS PROPORÇÕES NA PRODUÇÃO DE BIOGÁS E NA QUALIDADE DO BIOFERTILIZANTE

- Figura 1** Representação em corte do biodigestor em PVC de bancada 37
- Figura 2** Gráfico Biplot a partir da ACP para a variação dos parâmetros durante a co-digestão anaeróbia de cama de ovinos em mistura com dejetos bovinos. As setas indicam as variáveis e os números indicam os tratamentos 45
- Figura 3** Dendrograma obtido pelo método da ligação média com base na distância euclidiana para as variáveis produção de biogás, P, CE, NTK, relação AH/AF, K, hemicelulose, celulose e DQO 47

VERMICOMPOSTAGEM DE CAMA DE OVINOS EM MISTURA COM DEJETOS BOVINOS: EMPREGO DE FERRAMENTAS ESTATÍSTICAS

RESUMO: Os dejetos animais geralmente constituem-se bons substratos para a vermicompostagem, quando pré-tratados. Porém, nos sistemas de criação animal sobre cama, a mistura dos dejetos com o substrato lignocelulósico constituinte da cama, por vezes, dificulta tanto desenvolvimento das minhocas como o processo. Assim, torna-se interessante a mistura com outro resíduo visando melhores condições para a estabilização do material. Com este propósito, foi conduzida a vermicompostagem da cama de ovinos em mistura com dejetos bovinos em vermireatores de bancada, inoculados com 0,88 kg de matéria seca. Observou-se que a cama de ovinos, composta por casca de arroz, apresentou potencial para ser vermicompostada quando em mistura com no mínimo 25% de dejetos bovinos, visando à multiplicação da espécie *Eisenia foetida*. Entretanto, proporções de dejetos bovinos $\geq 75\%$ aumentaram a qualidade do vermicomposto.

Palavras-chave: casca de arroz, vermicomposto, *Eisenia foetida*, matéria orgânica, análise multivariada.

INTRODUÇÃO

Nesse estudo, demonstrou-se que a cama de ovinos apresentou potencial para ser vermicompostada quando utilizada com no mínimo 25% de dejetos bovinos na mistura, para desenvolvimento da espécie *Eisenia foetida*. Porém, proporções de dejetos bovinos $\geq 75\%$ aumentaram a qualidade do vermicomposto. Assim, somente parte desse resíduo pode ser absorvida e aproveitada eficientemente por vermicompostagem. Tendo em vista que as limitações do uso da cama de ovinos decorreram pela presença da casca de arroz em sua constituição, observa-se a importância do material utilizado como cama, não unicamente na fase da criação animal, mas também, posteriormente, quando necessária à reciclagem da mesma. Dentre os materiais empregados como cama, tem-se ampla variedade como: a casca de arroz, sabugo de milho, capim, palhada de soja, serragem e maravalha. É preciso avaliar os benefícios e prejuízos do material escolhido, desde a disponibilidade, os gastos na aquisição até as dificuldades de estabilização. Na vermicompostagem, a variabilidade de materiais pode apresentar diferentes comportamentos e quanto melhores as características de biodegradabilidade do material adotado, mais facilmente será a estabilização e o aproveitamento dos nutrientes novamente no sistema de produção. Porém, visto que,

normalmente, empregam-se materiais lignocelulósicos como substratos para a cama, já se espera que esse resíduo não poderá ser utilizado sozinho na vermicompostagem.

Dessa forma, os estudos que visam avaliar a mistura de resíduos em vermicompostagem são justificados à medida que um substrato puro, por vezes, pode ser tóxico, porém quando misturado com outros resíduos tem o potencial de promover benefícios ao sistema, seja por meio das características químicas ou físicas favoráveis. Nesse sentido, os dejetos bovinos são frequentemente empregados em misturas a fim de melhorar as condições de vermicompostagem. Exemplos disso são os trabalhos recentemente realizados com o emprego deste resíduo, a fim de viabilizar a vermicompostagem e melhorar tanto o desenvolvimento das minhocas quanto a qualidade do vermicomposto. Dentre eles estão os trabalhos de Suthar (2009), com dejetos de bovinos, materiais palhosos e resíduos vegetais de mercado; Kaur *et al.* (2010), com lodo tóxico de fábrica de papel e dejetos bovinos; Vig *et al.* (2011), com lodo de indústrias de curtume e dejetos bovinos; Xing *et al.* (2012), ao utilizarem lodo de esgoto e dejetos bovinos e Suthar *et al.* (2012), com lodo da indústria do processamento de leite, dejetos bovinos e palhadas. As conclusões observadas nos trabalhos citados caminham no mesmo sentido, pois exaltam as boas qualidades que os dejetos bovinos adicionam ao sistema.

No presente trabalho, optou-se por avaliar o processo de vermicompostagem com auxílio de técnicas multivariadas. Métodos univariados, geralmente empregados, como a Análise de Variância – ANOVA, podem acarretar erros de interpretação quando aplicados às variáveis dependentes com intercorrelação. Ao serem utilizadas ANOVA's individuais, ignora-se a correlação entre as variáveis dependentes e, com isso, utiliza-se menos do que a informação total disponível para avaliar diferenças gerais de grupos (HAIR *et al.*, 2005). Métodos multivariados, como a Análise de Variância Multivariada – MANOVA, apresentam-se mais adequados neste contexto, pois possuem poder de identificar diferenças combinadas não encontradas nos testes univariados (RENCHE, 2002). Entretanto, o grande tamanho amostral requerido para realização da MANOVA (HAIR *et al.*, 2005), por vezes, inviabiliza seu uso. Além do mais, essa técnica mostra-se adequada para variáveis com correlação moderada entre si. Quando observadas altas correlações, torna-se melhor o uso de outras técnicas multivariadas que objetivam reduzir o conjunto de dados, como a Análise de Componentes Principais - ACP (LATTIN *et al.* 2011). A ACP permite visualizar as relações existentes entre variáveis, entre observações e entre variáveis e observações, no mesmo espaço bidimensional (JOLLIFFE, 2002), a fim de facilitar a interpretação dos resultados.

Assim, objetivou-se a avaliação das implicações da vermicompostagem de cama de ovinos em mistura com dejetos de bovinos, quanto ao desenvolvimento das minhocas e

qualidade do vermicomposto, com o auxílio de ferramentas estatísticas e percepções visuais do material.

MATERIAL E MÉTODOS

Eisenia foetida, cama de ovinos e dejetos bovinos

Minhocas adultas, caracterizadas pela presença de clitelo, foram obtidas em uma fazenda produtora de vermicomposto localizada no município de Boa Vista da Aparecida/PR. A cama de ovinos, com aproximadamente um mês e 15 dias de uso, foi proveniente de um sistema de confinamento localizado na cidade de Cascavel/PR. A cama é caracterizada pela presença de casca de arroz em mistura com as dejeções e urina dos animais. Os dejetos bovinos, da mesma forma, também foram obtidos a partir de sistema de criação em confinamento localizado na cidade de Cafelândia/PR. A caracterização da cama de ovinos e dos dejetos bovinos é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 Caracterização da cama de ovinos e dos dejetos bovinos utilizados na vermicompostagem

Parâmetros	Cama de ovinos (alimentação I)*	Cama de ovinos (alimentação II)**	Dejetos bovinos
pH	8,82	8,76	8,74
CE (mS cm ⁻¹)	3,57	0,84	1,31
Carbono (%)	40,62	42,13	33,20
NTK (%)	2,00	2,42	2,70
Potássio (g kg ⁻¹)	6,88	3,32	6,00
Fósforo (g kg ⁻¹)	7,39	8,03	6,24
Cinzas (%)	24,23	25,67	39,29
Celulose (%)	25,31	18,58	11,25
Hemicelulose (%)	22,24	20,74	23,78
AH/AF	0,98	1,29	1,52
C/N	20	17	12

* Cama de ovinos após a pré-compostagem; ** Cama de ovinos após a lavagem.

CE: Condutividade elétrica; NTK: Nitrogênio Total Kjeldahl; AH/AF: Ácidos Húmicos/Ácidos Fúlvicos C/N: Carbono/Nitrogênio

Instalação e condução do experimento

O experimento foi conduzido no Laboratório de Análises de Resíduos Agroindustriais – LARA, pertencente à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, *campus* de Cascavel. Para acomodação dos resíduos e das minhocas, foram confeccionados vinte vermireatores horizontais de madeira OSB (*Oriented Strand Board*), com fundo vazado e revestido por tela

de náilon fina e dimensões de 0,15 x 0,28 x 0,40 m, de altura, largura e comprimento, respectivamente (Figura 1).

Cinco proporções de cama de ovinos e dejetos bovinos foram preparadas: 0: 100, 25: 75, 50: 50, 75: 25, 100: 0, as quais representavam os tratamentos T_{100} , T_{75} , T_{50} , T_{25} e T_0 . Cada tratamento recebeu 0,88 kg de resíduos (matéria seca). Os vermireatores foram cobertos com um tela de malha fina a fim de evitar a fuga das minhocas e suspensos a 0,05 m da bancada, para permitir melhores trocas gasosas.

A cama de ovinos e os dejetos de bovinos foram pré-compostados em leiras separadas por vinte e cinco dias. Então, procedeu-se a alimentação dos vermireatores, em duas fases, visando ao melhor aproveitamento do alimento. Na montagem (alimentação I), dia 05 de novembro de 2011, foram depositados 50% (0,44 kg) do material e quinze minhocas adultas por vermireator. Todo o resíduo foi manualmente fragmentado, para facilitar a ingestão pelas minhocas. A segunda alimentação ocorreu quarenta dias após a primeira, quando foram depositados os 50% (0,44 kg) restantes do material.

Após a alimentação I, os dejetos bovinos foram congelados para a manutenção de suas características. Observou-se que houve 100% de mortalidade no T_0 , assim, optou-se por continuar o pré-tratamento da cama de ovinos que iria ser introduzida na alimentação II. Então, realizou-se a lavagem da cama de ovinos, a qual foi depositada sobre uma bancada suspensa e com fundo vazado, para possibilitar a lixiviação dos sais solúveis e gases dissolvidos presentes no material. O intervalo de quarenta dias entre as duas alimentações foi calculado com base em uma taxa de alimentação de 1 kg alimento kg minhoca⁻¹ dia⁻¹. Durante todo o período experimental, foi umedecido o conteúdo dos reatores em dias alternados, para manter o teor de umidade em 75% ± 10. A vermicompostagem foi acompanhada até o momento da estabilização dos resíduos (cinzas ≥45%), conforme descrito por SINGH *et al.* (2004).



Figura 1 Vermireatores de madeira OSB.

Métodos Analíticos

Amostras homogeneizadas das duas misturas de alimentação (I e II) formaram a única amostra representativa da entrada e outra amostra foi coletada ao final de cada tratamento. Todos os resultados das análises foram corrigidos para a base seca (105 °C).

A condutividade elétrica (CE) e o pH foram determinados na mesma solução, preparada a partir da amostra em suspensão com água destilada na proporção de 1:10 (m/v). Para leitura do pH foi utilizado potenciômetro de bancada da marca TECNAL, modelo TEC-3MP e para condutividade elétrica, condutivímetro de bancada da marca MS Tecnopon Equipamentos Especiais, modelo mCA 150.

O teor de cinzas foi determinado segundo APHA (2012). O carbono (C) foi determinado por ignição em forno mufla a 550 °C por 12 h, conforme descrito por Cunha Queda *et al.* (2003). O valor da matéria orgânica obtido após a queima da amostra foi dividido pela constante 1,8 para obtenção do teor de carbono.

O fracionamento químico da matéria orgânica bem como a quantificação do carbono das frações ácidos fúlvicos (AF) e ácidos húmicos (AH) foram realizados de acordo com Benites *et al.* (2003), para a obtenção da relação AH/AF. O destilador de Kjeldahl foi utilizado para a determinação do nitrogênio total Kjeldahl (NTK), segundo Malavolta *et al.* (1997). A relação C/N foi calculada a partir das estimativas de C e NTK na amostra. A celulose e a hemicelulose foram obtidas por meio da determinação de fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) pelo método sequencial descrito por Campos *et al.* (2004), em aparelho de digestão de fibras da marca Marconi modelo MA-444/CI. Foi utilizada extração via seca para os minerais P e K, conforme Alcarde (2009). A leitura do P foi realizada em espectrofotômetro da marca Femto, modelo 700 Plus, segundo Malavolta *et al.* (1997) e o K determinado por fotometria de chama, em fotômetro da marca *Digimed*, modelo DM-62.

O número de minhocas foi contabilizado aos 60 dias e ao final de cada tratamento. Para isso, procedeu-se a deposição do material em uma bandeja plástica. Em seguida, as minhocas foram retiradas, contabilizadas e depositadas novamente no seu respectivo vermireator.

Delineamento Experimental e Análises Estatísticas

O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado com cinco tratamentos e quatro repetições, totalizando vinte (20) unidades experimentais. Os dados foram submetidos à estatística multivariada, por meio da Análise de Componentes Principais - ACP e a estatística univariada, por meio da Análise de Variância - ANOVA.

Foi realizada a ACP para interpretar as relações entre as variáveis monitoradas e dessas com os indivíduos pesquisados (tratamentos). Os Componentes Principais (CP's) foram extraídos a partir da matriz de correlação das variáveis originais, a fim de evitar interferências das unidades de medida das variáveis estudadas. Foram selecionados os CP's suficientes para explicar entre 80 e 90% da variância dos dados (JOHNSON; WICHERN, 2007). Os dados utilizados para realização da ACP foram as variações dos parâmetros na vermicompostagem, obtidas pela subtração entre o valor do vermicomposto final e o valor do material inicial, sem transformar em porcentagem.

A ANOVA foi realizada para os dados de contagem das minhocas. Inicialmente, foram verificadas as pressuposições do modelo, posteriormente, quando houve influência de algum tratamento na variável resposta, utilizou-se o teste de Tukey ($p < 0,05$) para comparação das médias. O coeficiente de correlação de Pearson foi utilizado para verificar o grau de associação linear existente entre a proporção de cama de ovinos na mistura e o número de minhocas. Os dados foram analisados com auxílio do software estatístico R (*R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2012*).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Características do vermicomposto

Os tempos de vermicompostagem dos tratamentos foram de: 94 dias para T_{100} , 113 dias para T_{75} e 148 dias para T_{50} e T_{25} . As características do material inicial e do vermicomposto final para os parâmetros avaliados na vermicompostagem estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 Características do material inicial e do vermicomposto final para os parâmetros avaliados na vermicompostagem de cama de ovinos em mistura com dejetos bovinos

Tratamentos		Parâmetros										
		pH	CE ^c	NTK ^a	P ^b	K ^b	C ^a	Cel. ^a	Hemi. ^a	C/N	Cinzas ^a	AH/AF
T ₁₀₀	Inicial	8,88	1,22	2,86	10,29	6,00	33,32	11,43	26,77	11,63	40,16	1,44
	Final	6,57	2,91	2,79	11,34	6,00	29,06	7,06	18,26	10,41	46,14	2,35
T ₇₅	Inicial	8,65	1,21	2,78	9,53	6,00	35,29	14,92	22,65	12,69	35,67	1,49
	Final	6,50	2,39	2,70	11,64	6,65	30,36	8,45	16,72	11,25	45,08	2,76
T ₅₀	Inicial	8,76	1,08	2,58	9,31	6,97	37,31	18,80	21,92	14,49	32,65	1,35
	Final	6,68	1,60	2,57	11,76	5,67	32,03	10,18	16,61	12,48	41,19	2,34
T ₂₅	Inicial	8,43	1,77	2,54	8,62	5,52	39,79	20,78	22,38	15,66	29,80	1,29
	Final	7,11	1,22	2,52	12,11	4,16	32,94	9,57	17,70	13,06	39,44	2,38

Cel: Celulose; Hemi: Hemicelulose.

T₁₀₀ - cama de ovinos: dejetos bovinos (0:100); T₇₅ - cama de ovinos: dejetos bovinos (25:75); T₅₀ - cama de ovinos: dejetos bovinos (50:50); T₂₅ - cama de ovinos: dejetos bovinos (75:25).

^a concentração em %

^b concentração em g kg⁻¹

^c concentração em mS cm⁻¹

Todas as proporções de cama de ovinos em mistura com dejetos de bovinos originaram um vermicomposto com características semelhantes de NTK, P e K. Inicialmente, a cama de ovinos possuía menos NTK, devido à presença de casca de arroz, a qual contém baixos teores de NTK, P e K, com valores de 0,76; 0,083; 0,14%, respectivamente (LIM et al., 2012). Porém, o NTK e P foram concentrados nesse resíduo após sua lavagem (preparo para a alimentação II) compensando os baixos teores de nutrientes da casca de arroz. Além disso, a pré-compostagem dos dejetos bovinos proporcionou perdas de NTK, cuja concentração era de 2,89% (dado não apresentado) antes da pré-compostagem e 2,70% após a pré-compostagem. Ou seja, o preparo dos resíduos influenciou no conteúdo final de nutrientes do vermicomposto.

Quanto aos parâmetros de estabilidade do vermicomposto, é importante a observação conjunta dos dados, haja vista as controvérsias encontradas na literatura sobre boa empregabilidade dos mesmos. Alguns autores propõem índices como relação C/N <12, relação AH/AF >1,6 (IGLESIAS JIMÉNEZ; PÉREZ GARCIA, 1992) e cinzas ≥ 45% (SINGH et al., 2004). Assim, a inclusão de dejetos bovinos em proporção ≥75% se ajustou a esses índices, enquanto proporções desse resíduo, inferiores a 50%, atenderam apenas à relação AH/AF.

Menores proporções de dejetos bovinos possivelmente não alcançaram o valor ótimo de cinzas (45%) para estabilização dos resíduos, haja vista a maior presença de casca de

arroz na mistura. Conforme Lim *et al.* (2012), a vermicompostagem da casca de arroz moída permitiu a sobrevivência das minhocas, mas proporcionou os menores índices de desenvolvimento, quando comparado à mistura dessa com resíduos de frutas. Antonioli *et al.* (2009) também observaram a sobrevivência das minhocas no substrato casca de arroz moída, após 60 dias de vermicompostagem. Porém, quando a casca de arroz *in natura*, ou seja, sem moagem, foi avaliada na vermicompostagem, o substrato não proporcionou condições para o desenvolvimento das minhocas, devido a não permanência ou morte.

Os resultados encontrados por esses autores indicam que a casca de arroz moída pode ser ingerida pelas minhocas, porém não é palatável a elas. Por outro lado, as minhocas não conseguem se utilizar da casca de arroz inteira, devido ao tamanho da partícula, que dificulta a sucção. Isso explica a estagnação do conteúdo de cinzas nos tratamentos com maior proporção de cama e consequente maior proporção de casca de arroz, mesmo ainda havendo matéria orgânica para conversão.

Análise de Componentes Principais

Na Tabela 3, estão apresentados os coeficientes de correlação linear entre as variáveis.

Tabela 3 Correlação linear entre as variáveis

	CE	NTK	P	K	C	AH/AF	Cinzas	Cel.	Hemi.	C/N
CE	1									
NTK	-0,36	1								
P	-0,95	0,37	1							
K	0,75	-0,45	-0,57	1						
C	0,93	-0,35	-0,90	0,59	1					
AH/AF	-0,12	-0,35	0,19	0,25	-0,15	1				
Cinzas	-0,61	0,10	0,65	-0,22	-0,56	0,70	1			
Cel.	0,94	-0,48	-0,90	0,72	0,86	-0,11	-0,61	1		
Hemi.	-0,68	0,25	0,67	-0,40	-0,58	0,45	0,80	-0,71	1	
C/N	0,83	-0,77	-0,81	0,65	0,86	0,06	-0,45	0,84	-0,54	1

Cel: Celulose; Hemi: Hemicelulose.

Ao se considerar o elevado número de correlações de magnitude moderada a forte entre as variáveis, fica evidente a dependência entre as mesmas e a importância em utilizar uma análise estatística que contemple isso na sua interpretação, como a ACP (LATTIN *et al.* 2011). A partir da ACP, foram selecionados os dois primeiros CP's, suficientes para explicar 82,78% da variância dos dados (Tabela 4).

Tabela 4 Componentes principais (CP's), proporção de variância explicada pelos CP's e proporção de variância acumulada para os CP's calculados em função das dez variáveis pesquisadas (CE, NTK, P, K, C, celulose, hemicelulose, relação C/N, cinzas e relação AH/AF)

Componentes	Proporção de variância (%)	Proporção acumulada (%)
CP1	62,52	62,52
CP2	20,26	82,78

Na Figura 2, estão ilustradas as associações entre os dois primeiros CP's com as variáveis e os tratamentos.

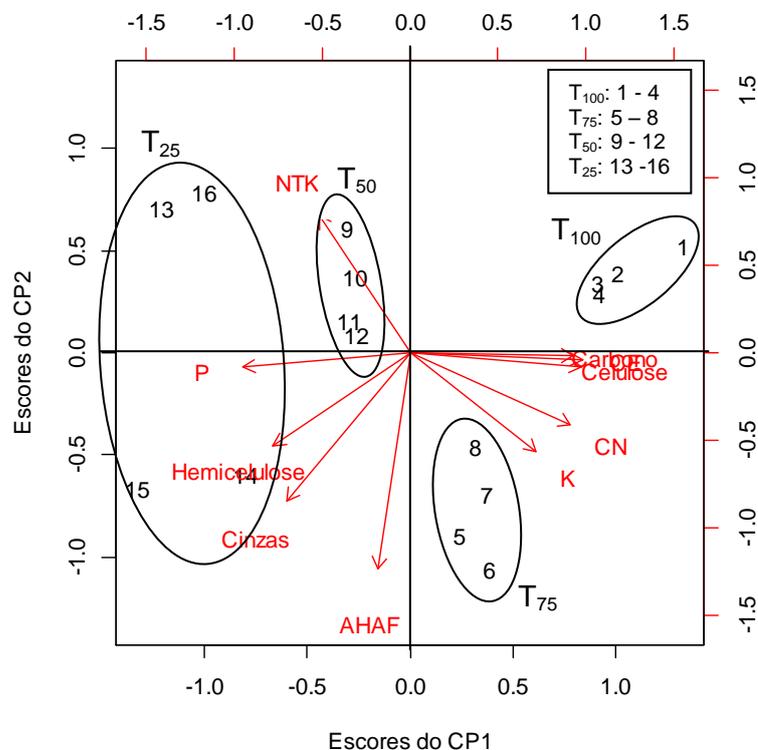


Figura 2 Gráfico Biplot a partir da ACP para a variação dos parâmetros durante a vermicompostagem de cama de ovinos em mistura com dejetos bovinos. As setas indicam as variáveis e os números indicam os tratamentos. O agrupamento dos tratamentos indicado no gráfico está somente em função do CP1.

O CP1 foi responsável pela maior explicação da variância dos dados (62,52%) e as variáveis que mais influenciaram na sua formação foram: P, hemicelulose (correlacionadas negativamente), CE, celulose, carbono, relação C/N e K (correlacionadas positivamente). Tal separação demonstra as variáveis que os tratamentos com menor proporção de dejetos bovino ($\leq 50\%$) ou maior proporção ($\geq 75\%$) mais influenciaram. A influência dos tratamentos sobre as variáveis é expressa em relação à ação do tratamento proporcionando menores perdas ou maiores concentrações das mesmas. Assim, as variáveis com correlação

negativa expressaram a influência dos tratamentos com menor proporção de dejetos bovinos (T_{50} e T_{25}), enquanto as variáveis correlacionadas positivamente expressaram a influência dos tratamentos com maior proporção de dejetos bovinos (T_{100} e T_{75}). Dessa forma, um grupo é formado por T_{50} e T_{25} , que apresentaram maior tempo de vermicompostagem, cujo reflexo ocorre na maior concentração de nutrientes (P), maiores perdas das frações orgânicas (carbono, celulose e relação C/N) e lixiviação de nutrientes solúveis (K). Enquanto o outro grupo é caracterizado pelos tratamentos T_{100} e T_{75} , menor tempo de vermicompostagem, ausência de lixiviação, menores perdas da fração orgânica (exceto hemicelulose) e menor concentração de nutrientes.

As reduções nas variáveis que expressam consumo da fração orgânica, (carbono, celulose e relação C/N) em maior intensidade nas menores proporções de dejetos bovinos, (T_{50} e T_{25}) se devem ao maior tempo de vermicompostagem (148 dias). As reduções decorrem da liberação de carbono na forma de CO_2 , atividade mais intensa na fase inicial da vermicompostagem, momento em que há maior disponibilidade de alimento, seguido por um período longo de degradação lenta (GARG; GUPTA, 2011). Além disso, parte da fração orgânica também é convertida em biomassa de minhocas (SUTHAR, 2009).

Nesse processo, os microrganismos são os principais agentes da transformação bioquímica do resíduo, enquanto as minhocas atuam principalmente de forma indireta, por meio tanto da estimulação das populações microbianas como da quebra física das partículas na moela, a fim de aumentar a área de superfície disponível para atuação dos microrganismos (DOMÍNGUEZ et al., 2010).

Os maiores consumos de celulose na maior proporção de cama e os maiores consumos de hemicelulose na maior proporção de dejetos bovinos na mistura podem estar relacionados à característica inicial do material. Para a cama de ovinos, observaram-se valores de celulose e hemicelulose semelhantes (20,78-22,38%) na mistura inicial, porém, nos dejetos de bovinos, havia maior presença de hemicelulose (26,77%) em comparação à celulose (11,43%). Assim, podem ter predominado grupos de microrganismos específicos em cada substrato, principalmente aqueles relacionados à degradação da hemicelulose nos dejetos de bovinos, uma vez que sua concentração na mistura inicial era maior que o dobro da concentração de celulose.

O conteúdo de cinzas e fósforo concentrou da mistura inicial para o vermicomposto, em maior magnitude nos tratamentos com maior consumo da fração orgânica e maior tempo de vermicompostagem. Apesar disso, quando analisados no mesmo tempo de vermicompostagem, aos 80 dias, os tratamentos T_{100} (100% dejetos bovinos) e T_{25} (25% dejetos bovinos) haviam concentrado 5,63 e 5,43 (dados não apresentados) unidades no

conteúdo das cinzas, respectivamente. Esses valores expressam desempenho próximo desses tratamentos, quanto ao referido parâmetro.

O decréscimo na CE foi verificado somente no tratamento com maior quantidade de cama (T_{25}). Durante a vermicompostagem, ocorre o aumento dos sais solúveis devido à mineralização da matéria orgânica pelas minhocas, pelos microrganismos do intestino das minhocas e pelos microrganismos presentes no próprio resíduo (KARMEGAM; DANIEL, 2009).

O aumento do tempo de vermicompostagem e a maior quantidade de regas proporcionaram lixiviação desses sais solúveis presentes no meio, com conseqüente redução gradual na concentração da CE. Além do tempo de vermicompostagem, o tipo de resíduo também parece ter influenciado as perdas de sais solúveis, uma vez que T_{50} e T_{25} permaneceram mesmo tempo em vermicompostagem, porém, a redução na CE foi evidenciada apenas em T_{25} , o qual possuía a maior proporção de cama de ovinos. O potássio apresentou comportamento semelhante à CE. A lixiviação de nutrientes é sustentada por outros autores, como Sangwan *et al.* (2008), que observaram redução de K e Fornes *et al.* (2012), os quais observaram reduções de K, Na, Ca, Mg, dentre outros.

O CP_2 foi responsável pela explicação de 20,26% da variância dos dados, mas, somente três variáveis contribuíram para sua formação: NTK (correlacionado positivamente), relação AH/AF e cinzas (correlacionados negativamente). O comportamento das variáveis relação AH/AF e cinzas variou no mesmo sentido, enquanto o nitrogênio variou em sentido contrário a elas. O comportamento dos tratamentos em relação a tais variáveis não se apresentou bem definido, apenas para T_{75} .

A redução do nitrogênio em vermicompostagem pode ser atribuída à volatilização da amônia e ao processo de nitrificação e desnitrificação (PLAZA *et al.*, 2008). As perdas de nitrogênio por desnitrificação, provavelmente, não ocorreram neste trabalho, visto que a altura máxima da camada de resíduos foi de 0,06 m e, segundo SINGH *et al.* (2004), camadas superiores a 0,1 m provocam anaerobiose no meio. Porém, as perdas na forma de gás amônia, influenciadas pelas condições do meio, como umidade e temperatura (VELASCO-VELASCO *et al.*, 2011) ou as perdas por nitrificação podem ter ocorrido em pequenas quantidades, embora tais variáveis não tenham sido monitoradas. Além dos fatores já citados, uma parte do nitrogênio é direcionada para o crescimento das minhocas, uma vez que seu corpo possui entre 65 e 70% de proteínas (VIEIRA, 1998).

O aumento da relação AH/AF não apresentou comportamento definido entre os tratamentos. Essa relação é considerada um índice que expressa maturidade, pois indica incremento na taxa de polimerização do material (IGLESIAS-JIMÉNEZ *et al.*, 2007). Assim, quanto maior o valor maior a estabilidade do vermicomposto. Durante a estabilização dos

resíduos, observa-se redução de compostos alifáticos, principalmente materiais proteínicos, enquanto aumentam os componentes mais oxidados e aromáticos, característicos das frações fúlvicas e húmicas (LV et al., 2013). Neste experimento, verificou-se que o incremento da relação AH/AF foi ocasionado pelo decréscimo dos AF, enquanto os AH se mantiveram estáveis (dados não apresentados). Isso indica que o processo caminhava para a estabilização, mas a transformação sofrida pelos resíduos apresentou menores níveis de humificação, quando comparada a um processo de compostagem (CAMPITELLI; CEPPI, 2008).

Reprodução da *Eisenia foetida*

A contagem das minhocas para as diferentes misturas de cama de ovinos com dejetos de bovinos é apresentada na Tabela 5.

Tabela 5 Número de minhocas da espécie *Eisenia foetida* aos 60 dias e ao final da vermicompostagem de cama de ovinos em mistura com dejetos de bovinos

Tratamentos	Número de minhocas		
	Inicial	60 dias	Final
T ₁₀₀	15	512±18,48 a	531± 8,35 b
T ₇₅	15	546± 18,23 a	575± 21,28 ab
T ₅₀	15	457± 12,99 a	529± 11,00 b
T ₂₅	15	186± 10,61 b	680± 16,74 a
p-valor	NA	<0,0001	0,014
C.V (%)	NA	14,54	10,52

T₁₀₀ - cama de ovinos: dejetos bovinos (0:100); T₇₅ - cama de ovinos: dejetos bovinos (25:75); T₅₀ - cama de ovinos: dejetos bovinos (50:50); T₂₅ - cama de ovinos: dejetos bovinos (75:25).

NA=não analisados. C.V=coeficiente de variação. Valores médios seguidos por letras diferentes na mesma coluna diferem entre si (ANOVA; Teste de Tukey, $p<0,05$).

Os dados apresentaram normalidade conforme o Teste de Shapiro-Wilk ($p<0,05$) e homogeneidade das variâncias conforme o Teste de Bartlett ($p<0,05$).

As minhocas não sobreviveram no tratamento composto por 100% cama de ovinos (T₀). A pré-compostagem da cama de ovinos ineficiente, no que diz respeito ao aumento da temperatura e à eliminação dos gases tóxicos da decomposição, pode ter influenciado a mortalidade das minhocas. Na pré-compostagem dos dejetos bovinos, houve intensa atividade microbiana, a qual proporcionou a fase termófila, que melhorou as características do resíduo. Coulibaly e Bi (2010) citam que a pré-compostagem é importante para evitar a mortalidade das minhocas. Estes autores não observaram mortalidade durante 21 semanas de vermicompostagem com dejetos ovinos.

O número total de minhocas (jovens e adultas), aos 60 dias de vermicompostagem, apresentou forte correlação negativa ($r= -0,78$) com o aumento da proporção de cama de

ovinos na mistura e foi significativamente menor ($p < 0,05$), no tratamento com a menor proporção de dejetos bovinos e maior proporção de cama (T_{25}). No final da vermicompostagem, verificou-se comportamento oposto, uma vez que houve correlação positiva moderada do incremento da cama de ovinos na mistura com o número de minhocas ($r = 0,55$).

O menor número de minhocas observado aos 60 dias para o T_{25} pode ser atribuído ao maior tempo de aclimação, necessário à espécie *Eisenia foetida* na presença de maior quantidade de cama de ovinos. O maior número de casulos (dados não apresentados) presentes neste tratamento (225) aos 60 dias, comparado aos demais tratamentos (109-137), contribuiu para essa hipótese. Segundo Suthar (2007), o perfil químico dos resíduos pode afetar o desenvolvimento das minhocas. Nesse estudo com diferentes combinações de restos de cultura, estercos e resíduos sólidos urbanos, o autor verificou que os tratamentos com melhor desenvolvimento da espécie foram aqueles que possuíam matéria orgânica facilmente metabolizável, carboidratos não assimilados e baixa concentração de substâncias que retardam o crescimento.

O potencial de aumento da população foi evidenciado no final da vermicompostagem, uma vez que o T_{25} aumentou 3,65 vezes sua população, enquanto os demais tratamentos aumentaram de 1,03 a 1,15 vezes. O menor número de casulos ao final da vermicompostagem, com valores de 27, 21, 13 e 7 para os tratamentos T_{100} , T_{75} , T_{50} e T_{25} , respectivamente, é indicativo do esgotamento do alimento para as minhocas. Nos tratamentos T_{25} e T_{50} , isso ocorreu devido ao maior conteúdo de cama de ovinos na mistura.

Assim, a casca de arroz caracteriza-se como um componente que propicia melhorias físicas da mistura, modifica a textura, umidade e aeração, favorece o desenvolvimento e taxa de reprodução das minhocas (ANTONIOLLI et al., 2009), mas nutricionalmente pode não ser eficientemente utilizada por elas ao longo da vermicompostagem. Chauhan e Singh (2012) observaram menores taxas de crescimento na mistura de dejetos caprinos com farelo de arroz, em detrimento aos dejetos caprinos puros. O farelo de arroz, devido a menor granulometria, não contribui com os atributos físicos da mistura como a casca, além de diminuir a qualidade da matéria orgânica a ser ingerida pelas minhocas.

CONCLUSÕES

A espécie *Eisenia foetida* se desenvolveu bem quando em mistura com no mínimo 25% de dejetos bovinos.

Proporções $\geq 75\%$ de dejetos bovinos na mistura proporcionaram um vermicomposto mais estabilizado, quanto à relação C/N e ao conteúdo de cinzas.

Tanto o aumento do tempo de vermicompostagem como o maior conteúdo de cama de ovinos na mistura provocaram maiores perdas de sais solúveis.

A casca de arroz não sofreu transformação na vermicompostagem.

AGRADECIMENTOS

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

REFERÊNCIAS

ALCARDE, J. C. **Manual de análise de fertilizantes**. Piracicaba: FEALQ, 2009. 259 p.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA; AWWA; WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22 ed., Washington:APHA, 2012. 1496 p.

ANTONIOLLI, Z. I.; STEFFEN, G. P. K.; STEFFEN, R. B. Utilização de casca de arroz e esterco bovino como substrato para a multiplicação de *Eisenia fetida* Savigny (1826). **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v.33, n.3, p.824-830, 2009.

BENITES, V. M.; MADARI, B.; MACHADO, P. L. de A. **Extração e Fracionamento Quantitativo de Substâncias Húmicas do Solo: um Procedimento Simplificado de Baixo Custo**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. 7 p. (Comunicado Técnico 16).

CAMPITELLI, P.; CEPPI, S. Effects of composting technologies on the chemical and physicochemical properties of humic acids. **Geoderma**, v.144, n.1-2, p.325-333, 2008.

CAMPOS, F. P. de; NUSSIO, C. M. B.; NUSSIO, L. G. **Métodos de Análise de Alimentos**. Piracicaba: FEALQ, 2004. 135 p.

CHAUHAN, H. K.; SINGH, K. Effect of binary combinations of buffalo, cow and goat dung with different agro wastes on reproduction and development of earthworm *Eisenia fetida* (Haplotoxida: Lumbricidae). **World Journal of Zoology**, v.7, n.1, p.23-29, 2012.

COULIBALY, S. S.; BI, I. A. Z. Influence of animal wastes on growth and reproduction of the African earthworm species *Eudrilus eugeniae* (Oligochaeta). **European Journal of Soil Biology**, v.46, n.3-4, p.225-229, 2010.

CUNHA-QUEDA, A.C.F., VALLINI, G., BRUNO DE SOUSA, R.F.X., ALMEIDA DUARTE, E. C. N. F. Estudo da evolução de actividades enzimáticas durante a compostagem de

resíduos provenientes de mercados horto-frutícolas. **Anais do Instituto Superior de Agronomia**, p.193-208, 2003.

DOMÍNGUEZ, J.; AIRA, M.; GÓMEZ-BRANDÓN; M. Vermicomposting: earthworms enhance the work of microbes. *In*: INSAM, H.; FRANKE-WHITTLE, I.; GOBERNA, M. (Eds.). **Microbes at work from wastes to resources**. Heidelberg: Springer-Verlag, 2010. cap. 5, p. 93-114.

FORNES, F.; MENDOZA-HERNÁNDEZ, D.; GARCÍA-DE-LA-FUENTE, R.; ABAD, M.; BELDA, R. M. Composting versus vermicomposting: A comparative study of organic matter evolution through straight and combined processes. **Bioresource Technology**, v.118, n.0, p.296-305, 2012.

GARG, V. K.; GUPTA, R. Optimization of cow dung spiked pre-consumer processing vegetable waste for vermicomposting using *Eisenia fetida*. **Ecotoxicology and Environmental Safety**. v.74, n.1, p.19-24, 2011.

HAIR, J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. **Análise multivariada de dados**. 5 ed. Porto Alegre: Bookman, 2005. 593 p.

IGLESIAS JIMÉNEZ, E.; PÉREZ GARCÍA, V. Determination of maturity indices for city refuse composts. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.38, n.4, p.331-343, 1992.

IGLESIAS-JIMÉNEZ, E.; BARRAL-SILVA, M. T.; MARHUENDA-EGEA, F. C. Indicadores de la estabilidad y madurez del compost. *In*: MORENO-CASCO, J.; MORAL-HERRERO, R. (Eds.) **Compostaje**. Madrid: Mundi-Prensa, 2007. cap. 11, p. 243–284.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. **Applied multivariate statistical analysis**. 6 ed. New Jersey: Prentice-Hall, 2007. 800p.

JOLLIFFE, I. T. **Principal component analysis**. 2 ed. New York: Springer-Verlag, 2002. 487 p.

KARMEGAM, N.; DANIEL T. Investigating efficiency of *Lampito mauritii* (Kinberg) and *Perionyx ceylanensis* Michaelsen for vermicomposting of different types of organic substrates. **The Environmentalist**, v.29, n.3, p.287–300, 2009.

KAUR, A.; SINGH, J.; VIG, A. P.; DHALIWAL, S.S.; RUP, P. J. Cocomposting with and without *Eisenia fetida* for conversion of toxic paper mill sludge to a soil conditioner, **Bioresource Technology**, v.101, n.21, p.8192-8198, 2010.

LATTIN, J. M.; CARROLL, J. D.; GREEN, P. E. **Análise de dados multivariados**. São Paulo: Cengage Learning, 2011. 455 p.

LIM, S. L.; WU, T. Y.; SIM, E. Y. S.; LIM, P. N.; CLARKE, C. Biotransformation of rice husk into organic fertilizer through vermicomposting. **Ecological Engineering**, v.41, n.0, p.60-64, 2012.

LV, B.; XING, M.; YANG, J.; QI, W.; LU. Chemical and spectroscopic characterization of water extractable organic matter during vermicomposting of cattle dung. **Bioresource Technology**, 2013. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2013.01.006>

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

PLAZA, C.; NOGALES, R.; SENESI, N.; BENÍTEZ, E.; POLO, A. Organic matter humification by vermicomposting of cattle manure alone and mixed with two-phase olive pomace. **Bioresource Technology**, v.99, n.11, p.5085-5089, 2008.

R Development Core Team (2012). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.

RENCHER, A. C. **Methods of Multivariate Analysis**. 2 ed. New York: John Wiley & Sons Inc., 2002. 708 p.

SANGWAN, P.; KAUSHIK, C. P.; GARG, V. K. Vermiconversion of industrial sludge for recycling the nutrients. **Bioresource Technology**, v.99, n.18, p.8699-8704, 2008.

SINGH, N. B.; KHARE, A. K.; BHARGAVA, D. S.; BHATTACHARYA, S. Optimum moisture requirement during vermicomposting using *Perionyx excavates*. **Applied Ecology and Environmental Research**, v.2, n.1 p.53–62, 2004.

SUTHAR, S. Vermicomposting potential of *Perionyx sansibaricus* (Perrier) in different waste materials. **Bioresource Technology**, v.98, n.6, p.1231–1237, 2007.

SUTHAR, S. Vermicomposting of vegetable-market solid waste using *Eisenia fetida*: Impact of bulking material on earthworm growth and decomposition rate. **Ecological Engineering**, v.35, n.5, p.914-920, 2009.

SUTHAR, S.; MUTIYAR, P. K.; SINGH, S. Vermicomposting of milk processing industry sludge spiked with plant wastes. **Bioresource Technology**, v.116, n.0, p.214-219, 2012.

VELASCO-VELASCO, J.; PARKINSON, R.; KURI, V. Ammonia emissions during vermicomposting of sheep manure. **Bioresource Technology**, v.102, n.23, p.10959-10964, 2011.

VIEIRA, M. I. **Criação de minhocas**. São Paulo: Prata, 1998. 86p.

VIG, A. P.; SINGH, J.; WANI, S. H.; SINGH DHALIWAL, S. Vermicomposting of tannery sludge mixed with cattle dung into valuable manure using earthworm *Eisenia fetida* (Savigny). **Bioresource Technology**, v.102, n.17, p.7941-7945, 2011.

XING, M.; LI, X.; YANG, J.; HUANG, Z.; LU, Y. Changes in the chemical characteristics of water-extracted organic matter from vermicomposting of sewage sludge and cow dung. **Journal of Hazardous Materials**, v.205-206, n.0, p.24-31, 2012.

COMPOSTAGEM DE CAMA DE OVINOS E DEJETOS BOVINOS: UMA ABORDAGEM MULTIVARIADA DA TRANSFORMAÇÃO DOS RESÍDUOS

RESUMO: A cama de ovinos possui características favoráveis à compostagem, como carbono prontamente assimilável e material aerador, essencial aos microrganismos. Porém, quando compostada sem outros resíduos pode apresentar desvantagens, devido ao alto conteúdo lignocelulósico da sua composição. Visando melhorar o desempenho do processo de compostagem da cama de ovinos, propôs-se sua utilização com dejetos bovinos. Os resíduos foram misturados em proporções com variação de 0 a 100%, cada, e dispostos em leiras de 200 kg de matéria seca, revolvidas manualmente. Observou-se a necessidade de adicionar 50% de dejetos de bovinos na mistura para que a cama de ovinos pudesse ser eficientemente transformada na compostagem. Tal proporção originou um composto com maior estabilidade e conteúdo de nutrientes. Os resultados também indicaram que a casca de arroz limitou maiores proporções de cama de ovinos na mistura.

Palavras-chave: casca de arroz, matéria orgânica, composto, análise de componentes principais, análise de agrupamentos.

INTRODUÇÃO

A criação de ovinos e caprinos sobre camas é uma realidade e pode trazer benefícios. Conforme Gonçalves *et al.* (2008), em sistemas de caprinocultura leiteira, a utilização de baias com cama, apesar de apresentar maior custo do que a utilização de piso ripado, proporciona maior vida útil às instalações e maior conforto animal. Para o manejo dos resíduos na criação de ovinos, a cama apresenta efeito positivo ao modificar a estrutura dos dejetos, as cíbalas. Essas, quando inteiras, dificultam o ataque microbiano, pois estão na forma de pequenas 'cápsulas' pouco permeáveis, que precisam ser fragmentadas para melhor decomposição (ORRICO *et al.*, 2007). Na cama de ovinos, devido ao pisoteio animal, as cíbalas são naturalmente transformadas em uma massa homogênea misturada à palhada da cama.

Os materiais geralmente utilizados como cama, a exemplo da casca de arroz, possuem características lignocelulósicas, o que lhes confere resistência à decomposição. A combinação desses materiais com as dejeções proporciona propriedades importantes para a cama, nutrientes prontamente disponíveis e material aerador, essenciais para o desenvolvimento dos microrganismos. Alguns autores como Das *et al.* (2011) sugerem o

incremento de materiais carbonáceos, como a palha de arroz, em substratos com baixa relação C/N e características de alta compactação, visando melhor desempenho da compostagem. Além disso, a mistura de resíduos com características diferentes permite maior diversidade de microrganismos, bem como outros benefícios importantes dos materiais lignocelulósicos, dentre os quais estão a aeração e a retenção de água.

Porém, a utilização somente da cama de ovinos na compostagem pode apresentar características desfavoráveis, como longo período para estabilização dos resíduos e menor conteúdo de nutrientes no composto. Leconte *et al.* (2009) observaram que a casca de arroz foi resistente ao ataque microbiano, mais do que a própria serragem. Tal fato foi atribuído à alta superfície de contato da serragem e retenção de água em detrimento a impermeabilização verificada na casca de arroz, devido a características como a presença de sílica. A palha de arroz quando compostada sem uma fonte de nitrogênio de fácil degradação apresenta menores valores de decomposição da matéria orgânica, baixa relação AH/AF, bem como menor atividade da celulase. Quando compostada em mistura principalmente com dejetos animais, a decomposição torna-se mais eficiente (RASHAD *et al.*, 2010).

Haja vista a problemática com a compostagem da cama de ovinos por tal peculiaridade, os dejetos bovinos podem ser introduzidos em benefício ao sistema. Esses apresentam bom desempenho na compostagem, como alta taxa de degradação da matéria orgânica, além da concentração dos nutrientes no sistema, características favoráveis tanto ambiental como economicamente (ORRICO JÚNIOR *et al.*, 2012).

Alguns estudos já observaram resultados satisfatórios na compostagem de casca de arroz em mistura com dejetos de bovinos leiteiros, com populações microbianas e atividades enzimáticas se destacando em algumas proporções estudadas (LIU *et al.*, 2011). Visto que, em geral, são monitorados vários parâmetros no contexto da compostagem, visando ao bom desempenho e avaliação do produto final e que tais parâmetros apresentam inter-relações, a avaliação dos dados por técnicas estatísticas multivariadas torna-se importante. Essas consideram as relações de dependência entre as variáveis e estudam a semelhança entre os elementos amostrais bem como permitem a simplificação da estrutura da variabilidade dos dados (MINGOTI, 2005).

Assim, objetivou-se avaliar a compostagem da cama de ovinos em mistura com dejetos bovinos visando estabelecer as misturas que maximizem a eficiência do processo, quanto à transformação da matéria orgânica e qualidade do composto orgânico.

MATERIAL E MÉTODOS

Origem dos resíduos: cama de ovinos e dejetos bovinos

A cama de ovinos com aproximadamente um mês e 15 dias de uso foi proveniente de um sistema de confinamento localizado na cidade de Cascavel/PR. A cama é caracterizada pela presença de casca de arroz em mistura com as dejeções e urina dos animais. Os dejetos de bovinos de corte foram obtidos a partir de sistema de criação em confinamento, localizado na cidade de Santa Tereza do Oeste/PR. A caracterização da cama de ovinos e dos dejetos bovinos é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 Caracterização da cama de ovinos e dos dejetos bovinos utilizados como substratos na compostagem

Parâmetros	Cama de ovinos	Dejetos bovinos
pH	8,96	9,10
CE (mS cm ⁻¹)	12,76	10,23
Carbono (%)	41,84	43,88
NTK (%)	1,50	2,79
Fósforo (g kg ⁻¹)	5,67	7,89
Potássio (g kg ⁻¹)	13,27	38,45
Cinzas (%)	24,68	21,02
Celulose (%)	26,20	18,00
Hemicelulose(%)	20,77	22,88
AH/AF	0,84	1,23
C/N	28	16

CE: Condutividade elétrica; NTK: Nitrogênio Total Kjeldahl; AH/AF: Ácidos Húmicos/Ácidos Fúlvicos; C/N: Carbono/Nitrogênio

Instalação e condução do experimento

O experimento foi realizado no Núcleo Experimental de Engenharia Agrícola (NEEA) pertencente à Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), *campus* de Cascavel. As leiras foram conduzidas em pátio de compostagem (Figura 1) com piso em concreto e cobertura, a fim de protegê-las das intempéries. O período experimental compreendeu os meses de abril a julho de 2012. Foram confeccionadas dez (10) leiras, a partir de cinco proporções de cama de ovinos e dejetos bovinos: 0:100, 25:75, 50:50, 75:25, 100:0, as quais representam os tratamentos T₁₀₀, T₇₅, T₅₀, T₂₅ e T₀, respectivamente. Cada leira contou com peso inicial de 200 kg, com base na matéria seca. Três dias após o enleiramento dos resíduos, foi coletada amostra inicial de cada leira, considerado o primeiro dia de compostagem, a fim de obter-se uma amostra mais homogênea. Após o enleiramento, os revolvimentos manuais foram efetuados duas vezes por semana no primeiro mês e semanalmente a partir desse período. Os revolvimentos foram realizados

com a finalidade de aerar e umedecer o material, a fim de manter o teor de umidade em torno de 60%. Durante todo o período experimental foi verificado o teor de umidade a cada revolvimento, após secagem de uma quantidade de material das leiras. O conteúdo de água a ser adicionado foi calculado individualmente em função do peso que as leiras apresentavam no revolvimento em questão. A compostagem foi acompanhada até as leiras apresentarem valores de temperatura próximos a do ambiente, quando considerou-se o material estabilizado.



Figura 1 Pátio de compostagem

Métodos Analíticos

A temperatura das leiras foi monitorada diariamente em seis pontos, com auxílio de um termômetro de mercúrio graduado até 250 °C, introduzido a 20 cm de profundidade na leira. Amostras homogêneas de cada leira foram analisadas no início e ao final da compostagem (T_{100} , T_{75} , T_{50} e T_{25} aos 96 dias e T_0 aos 82 dias). As amostras coletadas foram pré-secas a 50 °C, em estufa de circulação forçada de ar, até massa constante, com a finalidade de evitar perdas, especialmente de nitrogênio. Após a secagem, as amostras foram moídas em moinho com peneira de 20 *mesh*, e então utilizadas para todas as determinações, exceto pH e condutividade, analisados na amostra úmida. Todos os resultados das análises foram corrigidos para a base seca (105 °C).

A condutividade elétrica (CE) e o pH foram determinados na mesma solução, preparada a partir da amostra em suspensão com água destilada na proporção de 1:10 (m/v). Para leitura do pH, foi utilizado potenciômetro de bancada da marca TECNAL, modelo TEC-3MP e para condutividade elétrica condutivímetro de bancada da marca MS Tecnopon Equipamentos Especiais, modelo mCA 150. O teor de cinzas foi determinado segundo APHA (2012).

O carbono (C) foi determinado por ignição em forno mufla a 550 °C por 12 horas, conforme Cunha Queda *et al.* (2003). O valor da matéria orgânica obtido após a queima da amostra foi dividido pela constante 1,8 para obtenção do teor de carbono. O fracionamento químico da matéria orgânica bem como a quantificação do carbono das frações ácidos fúlvicos (AF) e ácidos húmicos (AH), para obter-se a relação AH/AF, foram realizados de acordo com Benites *et al.* (2003).

O nitrogênio total Kjeldahl (NTK) foi estimado por meio do destilador de Kjeldahl, segundo Malavolta *et al.* (1997). A relação C/N foi calculada a partir das estimativas de C e NTK na amostra. A celulose e a hemicelulose foram obtidas por determinação de fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) pelo método sequencial descrito por Campos *et al.* (2004), em aparelho de digestão de fibras da marca Marconi modelo MA-444/CI. Foi utilizada extração via seca para os minerais fósforo (P) e potássio (K), conforme Alcarde (2009). A leitura do P foi realizada em espectrofotômetro da marca Femto, modelo 700 Plus, segundo Malavolta *et al.* (1997) e o K foi determinado por fotometria de chama, em fotômetro da marca Digimed, modelo DM-62.

As medições de volume foram realizadas com o auxílio de uma caixa de madeira, com dimensões de 1,21 x 0,80 x 1,82 m de largura, altura e comprimento, respectivamente, onde os resíduos foram acondicionados. Como os valores de largura e comprimento permaneceram constantes, mediu-se somente a altura do material, determinando-se então, o volume de cada leira. A massa foi monitorada com o auxílio de uma balança digital, marca Filizola, modelo ID 1500, com capacidade de 300 kg e precisão de 0,2 kg.

Delineamento Experimental e Análises Estatísticas

O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado, com cinco tratamentos e duas repetições, totalizando dez (10) unidades experimentais. Os dados foram submetidos à estatística multivariada, por meio da Análise de Componentes Principais - ACP e Análise de Agrupamentos.

Realizou-se a ACP para interpretação das relações entre as variáveis monitoradas e dessas com os indivíduos pesquisados (tratamentos). Os Componentes Principais (CP's) foram extraídos a partir da matriz de correlação das variáveis originais, a fim de que fossem evitadas interferências das unidades de medida das variáveis estudadas. Foram selecionados os CP's suficientes para explicar de 80 a 90% da variância dos dados (JOHNSON; WICHERN, 2007). Os dados utilizados para realização da ACP foram relativos às variações dos parâmetros na compostagem, obtidas pela subtração entre o valor do composto final e o valor do material inicial, sem transformá-lo em porcentagem.

Com a Análise de Agrupamentos (*Cluster*), objetivou-se agrupar os indivíduos (tratamentos). Para isso, foi calculada a matriz das distâncias euclidianas e a partir dessa foi utilizado o método de agrupamento hierárquico aglomerativo da ligação média com a finalidade de formar os *clusters*. Foi realizada a padronização das observações com média zero e variância igual a um. Os dados foram analisados com auxílio do *software* estatístico R (*R DEVELOPMENT CORE TEAM*, 2012).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Temperatura

O tempo de compostagem dos tratamentos ocorreu como segue: 96 dias para T_{100} , T_{75} , T_{50} e T_{25} e 82 dias para T_0 . Na Figura 2, observa-se a evolução da temperatura em função dos dias de compostagem.

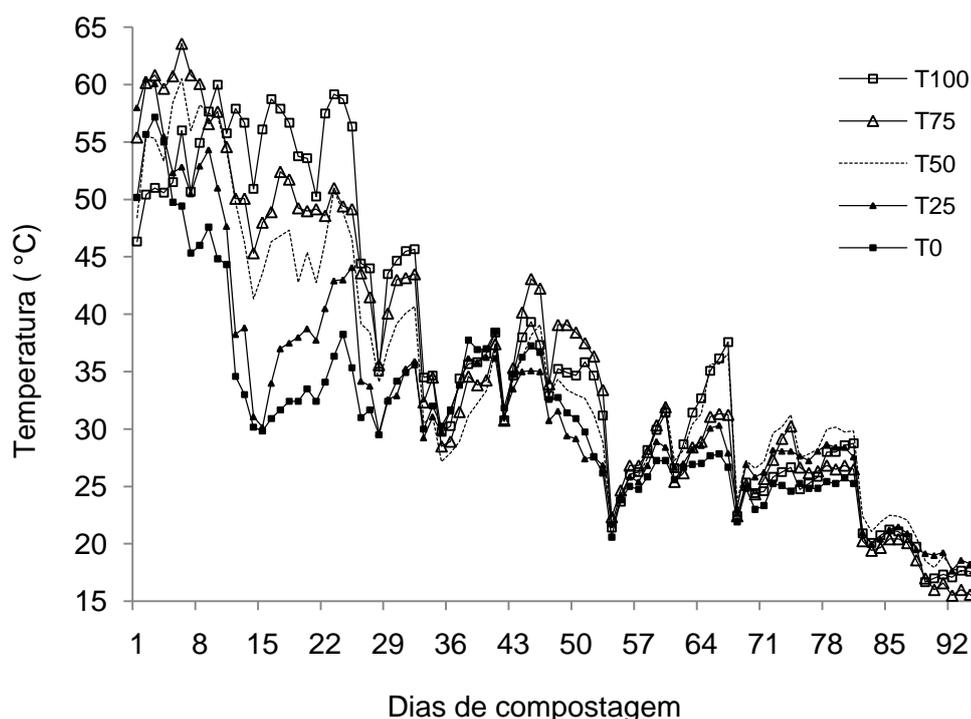


Figura 2 Evolução da temperatura média diária em função dos dias de compostagem de cama de ovinos em mistura com dejetos bovinos.

As leiras com maiores quantidades de cama de ovinos na mistura apresentaram menores valores de temperatura durante todo o período da compostagem. A característica granulométrica do material constituinte da cama contribuiu neste sentido, pois permitiu maior aeração e conservou menos o calor da pilha. A fase termófila das misturas com quantidade de dejetos bovinos $\geq 50\%$ foi de aproximadamente 25 dias, enquanto incrementos menores

de dejetos bovinos na mistura apresentaram 10 dias a menos de fase termófila. Como a capacidade de autoaquecimento do material é altamente correlacionada com a quantidade de matéria biodegradável (GUARDIA et al., 2010), esse comportamento reflete a falta de carbono prontamente disponível, que limitou a atividade microbiana.

Leconte *et al.* (2009) observaram maior fase termófila na mistura de serragem com esterco de aves (105 dias) em detrimento à mistura de casca de arroz com o mesmo esterco (40-60 dias). Os dois substratos *in natura*, tanto a serragem como a casca de arroz, apresentaram valores muito próximos de nitrogênio, relação/CN, celulose, hemicelulose e lignina. Os autores atribuem que a menor atividade microbiana nas pilhas com casca de arroz pode estar relacionada à menor retenção de água e superfície específica para o ataque microbiano. Esse fato é devido ao revestimento de cera e conteúdo de sílica do material. O mesmo comportamento é verificado neste experimento, no qual a qualidade do carbono dos materiais influenciou o desempenho da temperatura no processo.

Características do composto

As características do material inicial e do composto final para os parâmetros avaliados na compostagem são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 Características do material inicial e do composto final para os parâmetros avaliados na compostagem de cama de ovinos em mistura com dejetos de bovinos

Tratamentos	Parâmetros										
	NTK ^a	P ^b	K ^b	C ^a	AH/AF	Cinzas ^a	Cel. ^a	Hemi. ^a	Massa ^a	Vol. ^c	
T ₁₀₀	Inicial	2,72	7,94	37,02	43,75	1,26	21,26	20,59	23,67	192,55	0,89
	Final	3,44	11,52	50,23	37,29	3,04	32,87	7,68	12,77	120,62	0,49
T ₇₅	Inicial	2,39	6,98	30,41	43,59	1,12	21,54	23,96	21,84	196,39	0,96
	Final	3,07	10,54	40,25	37,41	2,58	32,66	11,58	13,07	129,78	0,59
T ₅₀	Inicial	1,97	5,60	21,61	43,03	1,02	22,54	25,80	20,66	200,05	0,99
	Final	2,65	9,15	31,20	38,11	2,11	31,40	15,26	14,76	138,69	0,68
T ₂₅	Inicial	1,55	4,73	14,65	42,74	0,95	23,07	27,24	19,51	191,28	1,00
	Final	2,23	8,01	18,62	39,26	1,57	29,34	18,16	16,51	142,99	0,76
T ₀	Inicial	1,25	3,91	9,89	42,31	0,84	23,84	30,51	19,66	189,85	1,09
	Final	1,91	6,46	12,84	39,59	1,04	28,89	21,80	18,29	155,73	0,98

Cel: Celulose; Hemi: Hemicelulose; Vol: Volume.

T₁₀₀ - cama de ovinos: dejetos bovinos (0:100); T₇₅ - cama de ovinos: dejetos bovinos (25:75); T₅₀ - cama de ovinos: dejetos bovinos (50:50); T₂₅ - cama de ovinos: dejetos bovinos (75:25); T₀ - cama de ovinos: dejetos bovinos (100:0). ^a concentração em %; ^b concentração em g kg⁻¹; ^c expresso em m³.

As maiores proporções de cama de ovinos na mistura deram origem a um composto orgânico com conteúdo inferior de NTK, P e K (Tabela 2). A casca de arroz, da qual constitui-se a cama de ovinos, possui baixos teores de nutrientes, diluindo os nutrientes presentes nas dejeções dos ovinos quando são misturados à cama. Como o nitrogênio é um nutriente importante na adubação, seria necessária uma quantidade superior de cama de ovinos compostada para suprir as necessidades desse nutriente às culturas em comparação ao composto obtido por dejetos bovinos.

A relação AH/AF apresentou-se inferior conforme o decréscimo de dejetos bovinos na mistura. Essa relação é considerada um índice que expressa maturidade do composto, pois indica incremento na taxa de polimerização do material (IGLESIAS-JIMÉNEZ et al., 2007), assim, quanto maior a relação, maior a estabilidade do composto. Durante a fase inicial da compostagem ocorre aumento de compostos alifáticos, a partir da degradação da matéria orgânica prontamente disponível, tal como polissacarídeos. No decorrer do processo, esses compostos são reestruturados em ácidos húmicos. Isso indica perda de compostos alifáticos dando lugar a compostos aromáticos ao fim da compostagem (AMIR et al., 2010). Kulikowska e Klimiuk (2011) observaram que a temperatura foi o principal fator que afetou a polimerização dos ácidos fúlvicos a húmicos, uma vez que o grau de polimerização aumentou mais eficientemente quando ocorreu a condição termófila. No presente trabalho, a condição de maior fase termófila também proporcionou maior grau de polimerização (AH/AF) ao final da compostagem.

Por fim, vale a pena observar o volume necessário para a compostagem na ausência e em 100% de cama de ovinos. Ao final da compostagem, o volume ocupado pela leira confeccionada somente com a cama de ovinos (T_0) foi o dobro do volume requerido para a compostagem da leira somente com dejetos bovinos (T_{100}). Isso acarreta maior custo ao produtor com o sistema de tratamento.

Análise de Componentes Principais

Na Tabela 3, são apresentados os coeficientes de correlação linear entre as variáveis.

Tabela 3 Correlação linear entre as variáveis

	NTK	P	K	C	AH/AF	Cinzas	Cel.	Hemi.	Massa	Vol.
NTK	1									
P	0,14	1								
K	0,26	0,69	1							
C	-0,30	-0,76	-0,93	1						
AH/AF	0,33	0,71	0,95	-0,96	1					
Cinzas	0,30	0,75	0,93	-1,00	0,96	1				
Cel.	-0,26	-0,54	-0,65	0,74	-0,66	-0,75	1			
Hemi.	-0,35	-0,71	-0,94	0,98	-0,98	-0,98	0,71	1		
Massa	-0,22	-0,71	-0,90	0,90	-0,96	-0,90	0,71	0,90	1	
Vol.	-0,28	-0,89	-0,89	0,96	-0,93	-0,95	0,76	0,93	0,92	1

Cel: Celulose; Hemi: Hemicelulose; Vol: Volume.

Ao se considerar o elevado número de correlações de magnitude moderada a forte entre as variáveis, fica evidente a dependência entre as mesmas e a importância em utilizar uma análise estatística que contemple isso na sua interpretação, como a ACP (LATTIN et al. 2011). A partir da ACP, foram selecionados os dois primeiros CP's, suficientes para explicar 88,61% da variância dos dados (Tabela 4).

Tabela 4 Componentes principais (CP's), proporção de variância explicada pelos CP's e proporção de variância acumulada para os CP's calculados em função das dez variáveis pesquisadas

Componentes	Proporções de variância (%)	Proporções acumuladas (%)
CP1	79,22	79,22
CP2	9,39	88,61

Na Figura 3, estão ilustradas as associações entre os dois primeiros CP's com as variáveis e os tratamentos.

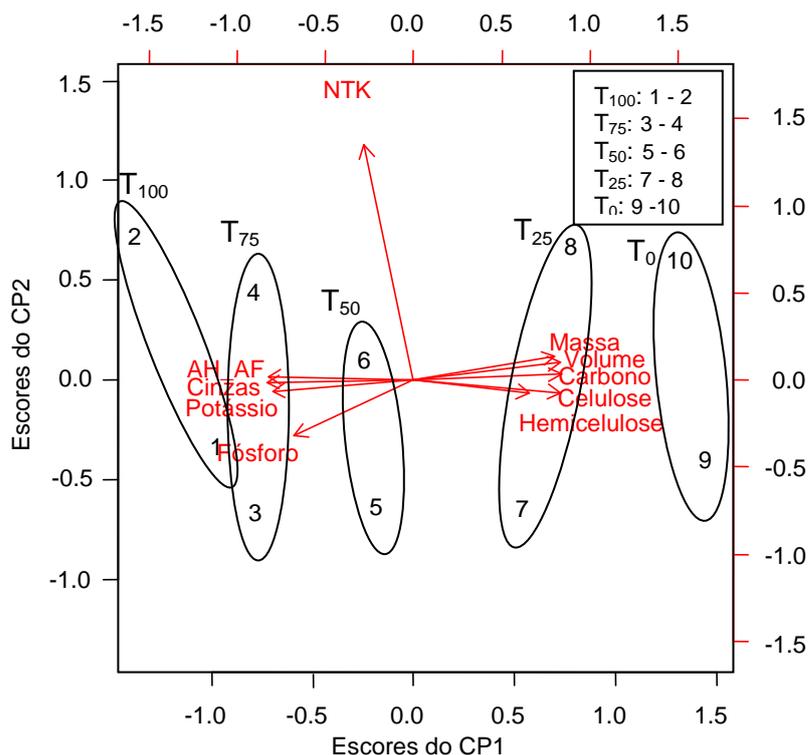


Figura 3 Gráfico Biplot a partir da ACP para a variação dos parâmetros durante a compostagem de cama de ovinos em mistura com dejetos bovinos. As setas indicam as variáveis e os números indicam os tratamentos. O agrupamento dos tratamentos indicado no gráfico está somente em função do CP1.

As variáveis mais significativas para os 79,22% da variabilidade explicada pelo primeiro componente foram: cinzas, AH/AF, K e P (correlacionadas negativamente), celulose, hemicelulose, carbono, massa e volume (correlacionadas positivamente). O CP1 caracteriza-se como índice de comparação entre as variáveis que aumentam em concentração e as variáveis que diminuem em concentração no processo de compostagem.

Esse índice pode ser nomeado de fração orgânica/mineral, uma vez que a maioria das variáveis que aumentam concentração (cinzas, P e K) são minerais, exceto a relação AH/AF, e as que diminuem a concentração (celulose, hemicelulose, carbono, massa e volume) estão relacionadas às perdas da fração orgânica nas suas diferentes formas. Assim, as variáveis do grupo fração orgânica variam juntas, por exemplo, à medida que a celulose fica mais negativa, indica perda da fração orgânica, logo, os valores das demais variáveis também ficam mais negativos. Da mesma forma, para o grupo das variáveis mineral, quando o elemento P fica mais positivo, indicando concentração do nutriente, as demais variáveis do grupo também ficam mais positivas.

Em contrapartida, enquanto os valores das variáveis do grupo fração orgânica ficam mais negativos, os valores das variáveis do grupo mineral ficam mais positivos. O consumo da fração orgânica ocorre devido ao requerimento principalmente de C para manutenção do

metabolismo microbiano, que é posteriormente liberado na forma de CO_2 , reduzindo a massa da pilha de compostagem. Brito *et al.* (2012) observaram comportamento semelhante em compostagem de dejetos bovinos, em que a concentração dos nutrientes apresentou alta correlação com o declínio de matéria orgânica.

Os indivíduos 9, 10, 8 e 7, correspondentes a T_0 e T_{25} , contribuíram de maneira positiva para CP1. Os indivíduos 1, 2, 3 e 4, correspondentes a T_{100} e T_{75} , contribuíram negativamente para o CP1. O tratamento T_{50} (indivíduos 5 e 6) apresentou comportamento semelhante a T_{100} e T_{75} . Os tratamentos T_{100} e T_{75} apresentaram os maiores pesos para o grupo mineral, pois foram os que obtiveram as maiores concentrações dessas variáveis, seguidos por T_{50} . Todavia, os tratamentos com maiores pesos para o grupo fração orgânica foram T_{25} e T_0 , os quais obtiveram as menores perdas da fração orgânica.

As menores transformações da fração orgânica a partir de quantidades decrescentes de dejetos bovinos na mistura e por consequência as menores concentrações de nutrientes e estabilização do processo, possivelmente estão mais relacionadas à presença de casca de arroz do que às características das dejeções dos ovinos.

A cama possui a vantagem de modificar a estrutura das cúbicas e assim facilita a sua degradação, mas, em contrapartida, a introdução da casca de arroz também torna a cama de ovinos um substrato de difícil decomposição. Dentre os constituintes da casca de arroz, a celulose e a lignina estão em alta concentração, com valores de 59 e 20,9%, respectivamente (LECONTE *et al.*, 2009), além da presença de sílica, equivalente a 65% do conteúdo das cinzas presentes na casca (MA *et al.*, 2012).

O processo de compostagem tem a capacidade de enfraquecer a casca de arroz devido às várias condições em que a mesma é submetida, como temperaturas termófilas, alta densidade de microrganismos e quebra mecânica do material devido à ação dos revolvimentos. Contudo, em proporções elevadas de cama de ovinos, há pouca fração orgânica disponível para os microrganismos, e quando essa termina, a decomposição tende a acontecer muito lentamente. Em contrapartida, as pesquisas que utilizam os dejetos de ovinos sem a presença de cama no processo de compostagem, misturados a outros resíduos, registram perdas elevadas de matéria orgânica (CANET *et al.*, 2008). Em compostagem com dejetos de cabras, Orrico *et al.* (2007) observaram bons resultados quanto à redução de massa das leiras e à redução de patógenos.

Devido às dificuldades em decompor a casca de arroz, alguns autores (KAOSOL *et al.*, 2012) testaram a compostagem dessa em mistura com outros resíduos, fontes de nitrogênio, além da incorporação de nitrogênio adicional na forma de ureia. Serramiá *et al.* (2010) observaram que a compostagem de resíduos lignocelulósicos com adição de nitrogênio na forma de ureia favorece a degradação principalmente da celulose, e

hemicelulose, diminuindo o tempo de compostagem, em comparação às misturas do material lignocelulósico somente com dejetos ovinos. Isso se deve à alta disponibilidade de nitrogênio inicial, o que produz atividade metabólica elevada.

Outras pesquisas visam à seleção e o estudo de microrganismos específicos que estão presentes na palha de arroz e que tenham melhor capacidade para degradar materiais com característica lignocelulósica (KAUSAR et al., 2011). Mesmo com custo adicional ao processo, é necessário o investimento neste tipo de pesquisa porque a palha de arroz é um resíduo abundante mundialmente, portanto, uma das fontes de carbono mais disponíveis a ser utilizada na compostagem.

O CP2 que explica a variância de 9,39% dos dados, apenas correlaciona-se com uma única variável, o NTK. Essa variável não apresenta correlação com outra variável estudada nem apresenta comportamento definido com os tratamentos. Todos os tratamentos se comportaram de maneira homogênea quanto à concentração de NTK no período da compostagem, que ocorre em função do decréscimo da concentração de carbono, também citado por Kaboré *et al.* (2010). Como na presença de cama de ovinos houve menor degradação da matéria orgânica, a tendência seria menor concentração desse nutriente, como ocorreu com o P e com o K. Porém, o NTK, diferente do P e do K, pode se desprender na forma de gás.

Assim, com a menor atividade microbiana, por consequência menor fase termófila, houve maior conservação do nitrogênio nos tratamentos com maior incremento de cama de ovinos. Em geral, as perdas ou concentrações de NTK na compostagem também estão relacionadas às características dos resíduos utilizados (CHEN et al., 2010; VELASCO-VELASCO et al., 2011), ocorrência dos revolvimentos, condição ambiental (PARKINSON et al., 2004) dentre outros. Como neste experimento, as leiras foram conduzidas nas mesmas condições, a composição inicial da mistura, em função da menor ou maior presença de cama, não influenciou a concentração do NTK.

Análise de Agrupamentos

A Análise de Agrupamentos entre os tratamentos (Figura 4) foi realizada para complementar a Análise de Componentes Principais.

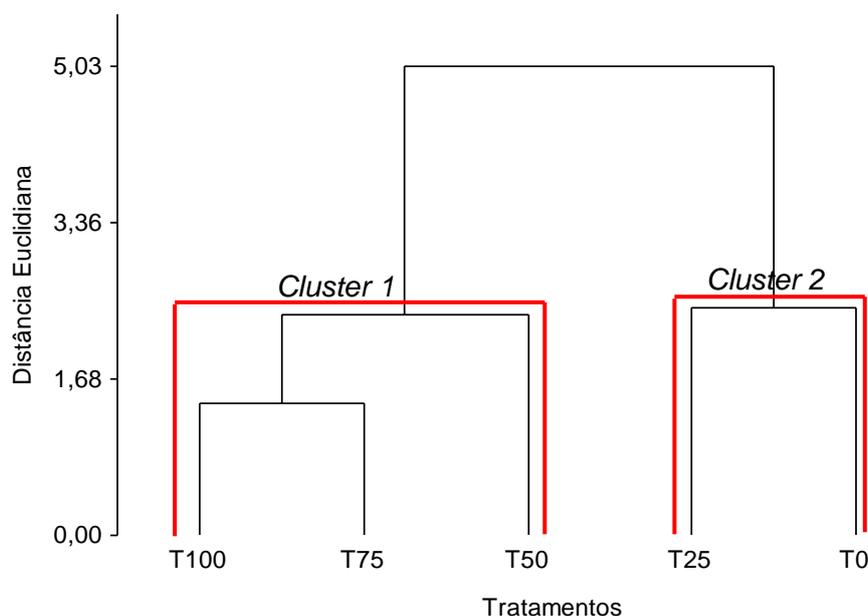


Figura 4 Dendrograma obtido pelo método da ligação média com base na distância euclidiana para as variáveis NTK, P, K, cinzas, relação AH/AF, massa, volume, carbono, celulose e hemicelulose.

Resultados semelhantes aos verificados na ACP foram obtidos por meio da Análise de Agrupamentos, em relação ao agrupamento dos tratamentos. Em uma primeira ordenação, os tratamentos T₁₀₀ e T₇₅ foram os mais semelhantes, com as menores distâncias euclidianas. Na sequência da ordenação, o T₅₀ torna-se parte do grupo que inclui T₁₀₀ e T₇₅. Em distância muito semelhante a essa, acontece ordenação entre T₂₅ e T₀. A partir disso, a estrutura do agrupamento fica estável em um intervalo amplo de distância. Assim, tem-se a formação de dois grupos: o primeiro formado por T₁₀₀, T₇₅ e T₅₀ e o segundo formado por T₂₅ e T₀. Portanto, de maneira geral, a inclusão de quantidade de dejetos bovinos $\geq 50\%$ na mistura proporcionou maior eficiência em compostagem, a qual diminuiu em proporções de dejetos bovinos inferiores a 25%.

CONCLUSÕES

A inclusão de quantidade de dejetos bovinos $\geq 50\%$ na mistura com cama de ovinos deu origem a um composto orgânico mais estabilizado quanto à relação AH/AF e com maior concentração de nutrientes.

A compostagem promoveu pouca transformação da casca de arroz presente na cama de ovinos.

AGRADECIMENTOS

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

REFERÊNCIAS

ALCARDE, J. C. **Manual de análise de fertilizantes**. Piracicaba:FEALQ, 2009. 259 p.

AMIR, S.; JOURAIPHY, A.; MEDDICH, A.; EL GHAROUS, M.; WINTERTON, P.; HAFIDI, M. Structural study of humic acids during composting of activated sludge-green waste: Elemental analysis, FTIR and ¹³C NMR, **Journal of Hazardous Materials**, v.177, n.1-3, p.524-529, 2010.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA; AWWA; WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22 ed., Washington:APHA, 2012. 1496 p.

BENITES, V. M.; MADARI, B.; MACHADO, P. L. O. de A. **Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado de baixo custo**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. 7 p. (Embrapa Solos. Comunicado Técnico, 16)

BRITO, L. M.; MOURÃO, I.; COUTINHO, J.; SMITH, S. R. Simple technologies for on-farm composting of cattle slurry solid fraction. **Waste Management**, v.32, n.7, p.1332-1340, 2012.

CAMPOS, F. P. de; NUSSIO, C. M. B.; NUSSIO, L. G. **Métodos de Análise de Alimentos**. Piracicaba: FEALQ, 2004. 135 p.

CANET, R.; POMARES, F.; CABOT, B.; CHAVES, C.; FERRER, E.; RIBÓ, M.; ALBIACH, M. R. Composting olive mill pomace and other residues from rural southeastern Spain. **Waste Management**, v.28, n.12, p.2585-2592, 2008.

CHEN, Y.; HUANG, X.; HAN, ZHI-Y.; HUANG, X.; HU, B.; SHI, D.; WU, W. Effects of bamboo charcoal and bamboo vinegar on nitrogen conservation and heavy metals immobility during pig manure composting. **Chemosphere**, v.78, n.9, p.1177-1181, 2010.

CUNHA-QUEDA, A.C.F., VALLINI, G., BRUNO DE SOUSA, R.F.X., ALMEIDA DUARTE, E. C. N. F. Estudo da evolução de actividades enzimáticas durante a compostagem de resíduos provenientes de mercados horto-frutícolas. **Anais do Instituto Superior de Agronomia**, p.193-208, 2003.

DAS, M.; UPPAL, H. S.; SINGH, R.; BERI, S.; MOHAN, K. S.; GUPTA, V. C.; ADHOLEYA, A. Co-composting of physic nut (*Jatropha curcas*) deoiled cake with rice straw and different animal dung. **Bioresource Technology**, v.102, n.11, p.6541-6546, 2011.

GONÇALVES, A. L.; LANA, R. de P.; VIEIRA, R. A. M., HENRIQUE, D. S.; MANCIO, A. B., PEREIRA, J. C. Avaliação de sistemas de produção de caprinos leiteiros na Região Sudeste do Brasil. **R. Bras. Zootec.**, v.37, n.2, p.366-376, 2008.

GUARDIA, A. de; MALLARD, P.; TEGLIA, C.; MARIN, A.; LE PAPE, C.; LAUNAY, M.; BENOIST, J.C.; PETIOT, C. Comparison of five organic wastes regarding their behaviour during composting: Part 1, biodegradability, stabilization kinetics and temperature rise. **Waste Management**, v.30, n.3, p.402-414, 2010.

IGLESIAS-JIMÉNEZ, E.; BARRAL-SILVA, M. T.; MARHUENDA-EGEA, F. C. Indicadores de la estabilidad y madurez Del compost. *In*: MORENO-CASCO, J.; MORAL-HERRERO, R. (Eds.) **Compostaje**. Madrid: Mundi-Prensa, 2007. cap. 11, p. 243–284.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. **Applied multivariate statistical analysis**. 6 ed. New Jersey: Prentice-Hall, 2007. 800p.

KABORÉ, T. W.; HOUOT, S.; HIEN, E.; ZOMBRÉ, P.; HIEN, V.; MASSE, D. Effect of the raw materials and mixing ratio of composted wastes on the dynamic of organic matter stabilization and nitrogen availability in composts of Sub-Saharan Africa. **Bioresource Technology**, v.101, n.3, p.1002-1013, 2010.

KAUSAR, H.; SARIAH, M.; MOHD SAUD, H.; ALAM, M. Z.; ISMAIL, M. R. Isolation and screening of potential actinobacteria for rapid composting of rice straw. **Biodegradation**, v.22, n.2, p.367-375, 2011.

KAOSOL, T.; KIEPUKDEE, S.; TOWATANA, P. Influence of Nitrogen Containing Wastes Addition on Natural Aerobic Composting of Rice Straw. **American Journal of Agricultural and Biological Sciences**, v.7, n.2, p.121-128, 2012.

KULIKOWSKA, D.; KLIMIUK, E. Organic matter transformations and kinetics during sewage sludge composting in a two-stage system. **Bioresource Technology**, v.102, n.23, p.10951-10958, 2011.

LATTIN, J. M.; CARROLL, J. D.; GREEN, P. E. **Análise de dados multivariados**. São Paulo: Cengage Learning, 2011. 455 p.

LECONTE, M. C.; MAZZARINO, M. J.; SATTI, P.; IGLESIAS, M. C.; LAOS, F. Co-composting rice hulls and/or sawdust with poultry manure in NE Argentina. **Waste Management**, v.29, n.9, p.2446-2453, 2009.

LIU, D.; ZHANG, R.; WU, H.; XU, D.; TANG, Z.; YU, G.; XU, Z.; SHEN, Q. Changes in biochemical and microbiological parameters during the period of rapid composting of dairy manure with rice chaff. **Bioresource Technology**, v.102, n.19, p.9040-9049, 2011.

MA, X.; ZHOU, B.; GAO, W.; QU, Y.; WANG, L.; WANG, Z.; ZHU, Y. A recyclable method for production of pure silica from rice hull ash. **Powder Technology**, v.217, n.0, p.497-501, 2012.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

MINGOTI, S. A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada**. Belo Horizonte: UFMG, 2005. 297 p.

ORRICO, A. C. A.; LUCAS JÚNIOR, J. de; ORRICO JÚNIOR, M. A. P. Alterações físicas e microbiológicas durante a compostagem dos dejetos de cabras. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.27, n.3, p.764-772, 2007.

ORRICO JUNIOR, M. A. P.; ORRICO, A. C. A.; LUCAS JUNIOR, J. de; SAMPAIO, A. A. M.; FERNANDES, A. R. M.; OLIVEIRA, E. A. de. Compostagem dos dejetos da bovinocultura de corte: influência do período, do genótipo e da dieta. **R. Bras. Zootec.**, v.41, n.5, p.1301-1307, 2012.

PARKINSON, R.; GIBBS, P.; BURCHETT, S.; MISSELBROOK, T. Effect of turning regime and seasonal weather conditions on nitrogen and phosphorus losses during aerobic composting of cattle manure. **Bioresource Technology**, v.91, n.2, p.171-178, 2004.

R Development Core Team (2012). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.

RASHAD, F. M.; SALEH, W. D.; MOSELHY, M. A. Bioconversion of rice straw and certain agro-industrial wastes to amendments for organic farming systems: 1. Composting, quality, stability and maturity indices. **Bioresource Technology**, v.101, n.15, p.5952-5960, 2010.

SERRAMIÁ, N.; SÁNCHEZ-MONEDERO, M. A.; FERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ, A.; GARCÍA-ORTIZ CIVANTOS, C.; ROIG, A. Contribution of the lignocellulosic fraction of two-phase olive-mill wastes to the degradation and humification of the organic matter during composting. **Waste Management**, v.30, n.10, p.1939–1947, 2010.

VELASCO-VELASCO, J.; PARKINSON, R.; KURI, V. Ammonia emissions during vermicomposting of sheep manure. **Bioresource Technology**, v.102, n.23, p.10959-10964, 2011.

CO-DIGESTÃO ANAERÓBIA DE CAMA DE OVINOS E DEJETOS BOVINOS: INFLUÊNCIA DAS PROPORÇÕES NA PRODUÇÃO DE BIOGÁS E NA QUALIDADE DO BIOFERTILIZANTE

RESUMO: As dejeções ovinas apresentam forma peculiar e constituem-se de pequenas 'cápsulas' pouco permeáveis, característica que dificulta a degradação das mesmas. A fragmentação dessas em uma massa homogênea torna-se importante para o aproveitamento pelos microrganismos. A modificação física das dejeções é observada em sistemas de criação sobre cama, porém, a presença do material lignocelulósico pode limitar a transformação dos resíduos. Deste modo, propôs-se a co-digestão da cama de ovinos com dejetos de bovinos confinados, fonte de nutrientes e carbono assimilável. Misturas dos resíduos nas proporções de 0 a 100% cada foram preparadas e depositadas em reatores de 6 L, conduzidos em sistema batelada. Os resultados demonstraram que, a partir do incremento de 50% de dejetos bovinos na mistura, foram evidenciados maiores potenciais de produções de biogás e qualidade do biofertilizante.

Palavras-chave: casca de arroz, resíduo lignocelulósico, matéria orgânica, análise multivariada, sistema batelada.

INTRODUÇÃO

As dejeções produzidas por ovinos e caprinos apresentam forma peculiar que dificulta a biodigestão anaeróbia, portanto, tal desagregação é importante para melhor fermentação do material (AMORIM et al., 2004). Mesmo com características químicas semelhantes aos resíduos de outros animais, essas dejeções necessitam de maior tempo de retenção hidráulica e apresentam menores produções de biogás, quando comparadas às dejeções de suínos, aves de postura, bovinos de corte e cama de frango, possivelmente devido à sua forma física (ORRICO JÚNIOR et al., 2011).

A utilização de cama nesse sistema de criação modifica as características das dejeções. As cíbalas são desfeitas pelo pisoteio dos animais e tornam-se uma massa homogênea misturada ao substrato da cama. Isso, teoricamente, favoreceria o rendimento na fermentação, tendo em vista a maior superfície de contato proporcionada. Porém, o incremento do material lignocelulósico da cama na mistura aumenta o conteúdo das frações de difícil fermentação, um contraponto ao benefício que esse proporciona ao desfazer as cíbalas. Materiais lignocelulósicos apresentam hidrólise dificultada, pois a celulose e a

hemicelulose encontram-se envolvidas pela lignina, uma fração resistente que não é fermentada (WYMAN et al., 2005). Al-Masri (2001) observou que o aumento de material lignocelulósico misturado ao resíduo de ovelhas e de cabras diminuiu as produções de biogás. Isso ocorreu devido à redução de sólidos voláteis, fibra em detergente neutro e energia bruta no substrato, ou seja, à escassez de matéria orgânica facilmente fermentável.

Assim, mesmo com a modificação das características das dejeções, ainda verificam-se propriedades desfavoráveis desse material à biodigestão anaeróbia. Por isso, a importância em utilizar-se outro resíduo na mistura, a fim de melhorar a eficiência do processo. Logo, os dejetos de bovinos confinados apresentam-se como uma boa opção. Em muitos sistemas de criação, como em bovinocultura de corte, os animais são confinados e recebem dietas com alta quantidade de concentrado, o que apresenta aspecto positivo no seu desempenho, como maior ganho de peso (SILVA et al., 2005; OLIVEIRA et al., 2009). As dejeções oriundas desse tipo de alimentação favorecem às produções de biogás, por apresentarem menores teores de constituintes fibrosos. A produção de biogás pode ser em média 13% superior quando se aumenta a proporção de concentrado de 40 para 60% na dieta (ORRICO JÚNIOR et al., 2010).

Portanto, a mistura da cama de ovinos com dejetos bovinos caracteriza a co-digestão e pode potencializar o processo. Benefícios tais como diluição de compostos tóxicos, balanço de nutrientes e efeito sinérgico de microrganismos podem ser obtidos com as misturas (KHALID et al., 2011). Tendo em vista que a característica do resíduo é particular de cada atividade geradora, e que dentro da mesma atividade geradora esse pode apresentar propriedades diferentes (presença de substâncias tóxicas ou teor de nutrientes), devido ao manejo adotado (material da cama, alimentação), torna-se importante avaliar o processo de fermentação nas peculiaridades de cada manejo. Portanto, este estudo propôs avaliar a co-digestão anaeróbia da cama de ovinos em mistura com dejetos bovinos a fim de identificar as misturas mais eficientes na produção de biogás e qualidade do biofertilizante.

MATERIAL E MÉTODOS

Origem dos resíduos: cama de ovinos e dejetos bovinos

A cama de ovinos com aproximadamente um mês e 15 dias de uso foi proveniente de um sistema de confinamento localizado na cidade de Cascavel/PR. Nessa criação, os ovinos eram alimentados com uma dieta constituída de volumoso e concentrado na proporção de 70:30, respectivamente. A cama é caracterizada pela presença de casca de arroz em mistura com os dejetos e a urina dos animais. Os dejetos bovinos foram obtidos a

partir de um sistema de criação em confinamento localizado na cidade de Santa Tereza do Oeste/PR. A dieta animal era constituída por volumoso e concentrado na proporção de 60:40, respectivamente. A caracterização da cama de ovinos e dos dejetos bovinos está apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 Caracterização da cama de ovinos e dos dejetos bovinos utilizados como substrato para a co-digestão anaeróbia

Parâmetros	Cama de ovinos	Dejetos bovinos
pH	8,81	8,97
CE (mS cm ⁻¹)	7,44	5,67
Carbono (%)	41,24	43,36
NTK (%)	1,73	2,77
Fósforo (g kg ⁻¹)	4,55	6,54
Potássio (g kg ⁻¹)	13,62	38,25
Cinzas (%)	25,76	21,95
Celulose (%)	23,52	18,32
Hemicelulose (%)	22,38	19,84
AH/AF	0,95	1,34
C/N	24	15

CE: Condutividade elétrica; NTK: Nitrogênio Total Kjeldahl; AH/AF: Ácidos Húmicos/Ácidos Fúlvicos; C/N: Carbono/Nitrogênio

Instalação e condução do experimento

O experimento foi conduzido no Laboratório de Análises de Resíduos Agroindustriais - LARA, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), *campus* de Cascavel. Foram utilizados biodigestores de PVC de bancada com volume útil de 6 L, constituídos de três cilindros de 0,45 m de altura e diâmetros de 150, 200 e 250 mm, em que o menor e o maior cilindro foram assentados sobre uma placa de PVC expandido (Figura 1).

O espaço entre os dois cilindros comportou um volume de água onde foi emborcado o cilindro médio (cilindro de 200 mm vedado com um *cap*, no qual foi acoplado um registro), para armazenar o gás produzido. Os biodigestores foram dispostos sobre bancadas, em condições de temperatura ambiente.

O período experimental compreendeu de maio a outubro de 2012. Cinco proporções de cama de ovinos e dejetos bovinos foram preparadas: 0:100, 25:75, 50:50, 75:25, 100:0, as quais foram representadas pelos tratamentos T₁₀₀, T₇₅, T₅₀, T₂₅ e T₀, respectivamente. No abastecimento, os resíduos foram pesados individualmente (com base na matéria seca) para cada biodigestor. Depois de depositados na câmara de fermentação (cilindro menor), foi adicionada água para obter-se teor de sólidos totais de 5%. Os substratos foram em seguida homogeneizados manualmente.

A co-digestão anaeróbia foi realizada em sistema batelada e acompanhada até o decréscimo da curva de produção de biogás. O tempo de detenção hidráulica (TRH) consistiu nos dias em que o resíduo permaneceu dentro do biodigestor.

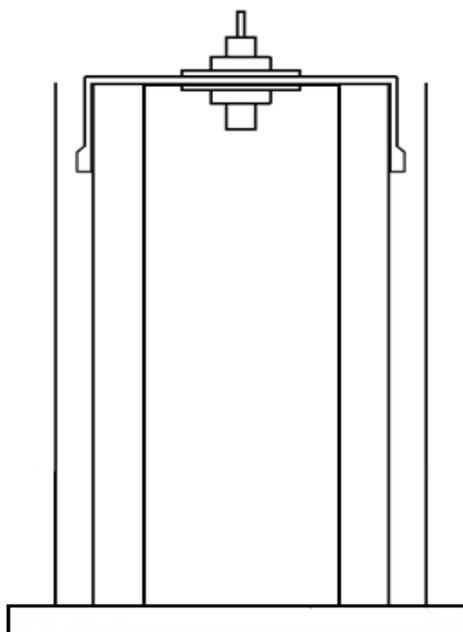


Figura 1 Representação em corte do biodigestor em PVC de bancada.
Fonte: Rozatti (2012)

Métodos Analíticos

Amostras de cada biodigestor foram coletadas e analisadas no abastecimento e desabastecimento do sistema. Parte do conteúdo das amostras foi acondicionado em garrafas e refrigerado a $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$, a fim de que fossem mantidas as características originais. Outra parte foi pré-seca a $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ em estufa de circulação forçada de ar, até peso constante, e moída em almofariz para as determinações da série de fibras e fracionamento químico da matéria orgânica. Todos os resultados das análises realizadas em amostras secas a $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ foram corrigidos para a base seca de $105\text{ }^{\circ}\text{C}$.

A condutividade elétrica (CE) e o pH foram determinados na mesma solução. Para leitura do pH, foi utilizado potenciômetro de bancada da marca TECNAL, modelo TEC-3MP e para condutividade elétrica condutivímetro de bancada da marca MS Tecnopon Equipamentos Especiais, modelo mCA 150. Os teores de sólidos totais (ST), sólidos voláteis (SV), cinzas e demanda química de oxigênio (DQO) foram determinados de acordo com APHA (2012). A DQO foi determinada no sobrenadante da amostra, após centrifugação a 4000 rpm durante dez minutos, denominada DQO dissolvida.

O carbono (C) foi determinado por ignição em forno mufla a 550 °C por 12 horas, conforme Cunha Queda *et al.* (2003). O valor da matéria orgânica obtido após a queima da amostra foi dividido pela constante 1,8 para obtenção do teor de carbono. O fracionamento químico da matéria orgânica bem como a quantificação do carbono das frações ácidos fúlvicos (AF) e ácidos húmicos (AH), para a obtenção da relação AH/AF, foi realizado de acordo com Benites *et al.* (2003).

O nitrogênio total Kjeldahl (NTK) foi estimado por meio do destilador de Kjeldahl, segundo Malavolta *et al.* (1997). A relação C/N foi calculada a partir das estimativas de C e NTK na amostra. A celulose e a hemicelulose foram obtidas por determinação de fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) pelo método sequencial descrito por Campos *et al.* (2004), em aparelho de digestão de fibras da marca Marconi modelo MA-444/CI. Foi utilizada extração via seca para os minerais fósforo (P) e potássio (K), conforme Alcarde (2009). A leitura do fósforo (P) foi realizada em espectrofotômetro da marca Femto, modelo 700 Plus, segundo Malavolta *et al.* (1997) e o potássio (K) foi determinado por fotometria de chama, em fotômetro da marca Digimed, modelo DM-62.

A produção do biogás foi monitorada ao medir-se o deslocamento vertical dos gasômetros com base na leitura das réguas dispostas nos mesmos. Após cada leitura, os gasômetros foram esvaziados utilizando-se o registro de descarga do biogás, inserido no *cap*. A cada leitura procedeu-se a medida da pressão exercida pelos gasômetros sobre o gás, com um manômetro de coluna em 'U' bem como foi verificada a temperatura ambiente com um termômetro digital portátil.

Os volumes de biogás foram então recalculados para as Condições Normais de Temperatura e Pressão (1 atm; 20 °C). Os potenciais de produção de biogás das misturas foram calculados utilizando-se os dados de produção total de biogás e as quantidades de sólidos totais adicionados, sólidos voláteis adicionados e reduzidos, resíduo adicionado (*in natura*) e litros de substrato (volume da mistura inicial).

Delineamento Experimental e Análises Estatísticas

O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado, com cinco tratamentos e quatro repetições, totalizando vinte (20) unidades experimentais. Os dados foram submetidos à estatística multivariada, por meio da Análise de Componentes Principais - ACP e da Análise de Agrupamentos e a estatística univariada, pela Análise de Variância - ANOVA.

Foi realizada a ACP para interpretação das relações entre as variáveis monitoradas e dessas com os indivíduos pesquisados (tratamentos). Os Componentes Principais (CP's)

foram extraídos a partir da matriz de correlação das variáveis originais, a fim de evitar interferências das unidades de medida das variáveis estudadas. Foram selecionados os CP's suficientes para explicar acima de 70% da variância dos dados (FERREIRA, 2011). Os dados utilizados para realização da ACP foram as variações dos parâmetros na co-digestão anaeróbia, obtidas pela subtração entre o valor do biofertilizante final e o valor da mistura inicial, sem transformá-lo em porcentagem.

Com a Análise de Agrupamentos (*Cluster*), objetivou-se agrupar os indivíduos (tratamentos). Para isso, a matriz das distâncias euclidianas foi calculada e a partir dela utilizou-se o método de agrupamento hierárquico aglomerativo da ligação média com a finalidade de formar os *clusters*. Foi realizada a padronização das observações com média zero e variância igual a um. As duas técnicas multivariadas foram aplicadas a todas as variáveis observadas, exceto o pH.

A ANOVA foi realizada para os dados referentes aos potenciais de produção de biogás. Inicialmente, as pressuposições do modelo foram verificadas, posteriormente, em havendo influência de algum tratamento na variável resposta, utilizou-se o teste de Tukey ($p < 0,05$) para comparação das médias. Os dados foram analisados utilizando o *software* estatístico R (*R DEVELOPMENT CORE TEAM*, 2012).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Características do biofertilizante

O TRH observado para todos os tratamentos foi de 159 dias. As características da mistura inicial e do biofertilizante final para os parâmetros avaliados na co-digestão anaeróbia são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 Características da mistura inicial e do biofertilizante final dos parâmetros avaliados na co-digestão anaeróbia de cama de ovinos em mistura com dejetos de bovinos, operada em sistema batelada com TRH de 159 dias

Tratamentos		Parâmetros								
		pH	CE ^c	NTK ^a	P ^b	K ^b	DQO _{dissolvida} ^b	AH/AF	Cel. ^a	Hemi. ^a
T ₁₀₀	Inicial	9,22	6,36	0,14	0,43	2,29	10,55	1,42	16,26	15,73
	Final	7,61	11,23	0,18	0,55	2,71	8,21	3,02	10,30	12,32
T ₇₅	Inicial	9,22	7,02	0,13	0,43	2,00	10,31	1,38	19,98	15,70
	Final	7,65	11,13	0,16	0,56	2,13	7,71	2,55	12,39	13,18
T ₅₀	Inicial	9,13	7,77	0,12	0,38	1,62	8,11	1,19	21,62	16,65
	Final	7,53	12,03	0,14	0,48	1,83	6,62	2,34	13,99	14,04
T ₂₅	Inicial	9,02	8,21	0,10	0,33	1,27	7,46	1,04	21,95	18,08
	Final	7,39	11,68	0,11	0,39	1,38	6,33	1,47	16,06	15,75
T ₀	Inicial	8,99	9,26	0,08	0,30	0,92	6,16	1,00	23,19	18,16
	Final	7,26	12,01	0,09	0,34	0,97	5,16	1,21	17,64	16,05

Cel: Celulose; Hemi: Hemicelulose.

T₁₀₀ - cama de ovinos: dejetos bovinos (0:100); T₇₅ - cama de ovinos: dejetos bovinos (25:75); T₅₀ - cama de ovinos: dejetos bovinos (50:50); T₂₅ - cama de ovinos: dejetos bovinos (75:25); T₀ - cama de ovinos: dejetos bovinos (100:0).

^a concentração em %

^b concentração em g L⁻¹

^c concentração em mS cm⁻¹

Em relação às características nutricionais, as maiores proporções de cama de ovinos na mistura deram origem a um biofertilizante com menores concentrações de NTK, P, K (Tabela 2). Dois fatores fundamentais contribuíram para a composição química do biofertilizante: primeiro, as características do resíduo e segundo, a eficiência de conversão da fração orgânica em biogás, a qual culminou com a concentração dos nutrientes no meio. No que se refere às características dos resíduos, a dieta empregada apresenta-se como um dos interferentes.

Orrico *et al.* (2007) verificaram que os incrementos de concentrado em relação ao volumoso proporcionaram fezes mais ricas em nutrientes e com carbono mais assimilável, o que permitiu também substratos com maior degradabilidade. Portanto, a menor presença de concentrado nas dejeções dos ovinos (30%), comparada aos dejetos bovinos (40%) pode ter contribuído, em parte, para os menores conteúdos de nutrientes verificados no biofertilizante. Além disso, a presença da casca de arroz foi outro fator que contribuiu, caracterizada pela elevada relação C/N (109) e baixo conteúdo de nutrientes (LECONTE *et al.*, 2009), que diluiu o NTK, P e K dos dejetos ovinos.

O conteúdo de minerais na casca de arroz é representado principalmente pela sílica, que corresponde a aproximadamente 65% das cinzas, enquanto outros nutrientes como o potássio (K), por exemplo, representam menos de 1% desse conteúdo (MA et al., 2012).

Quanto aos índices de estabilidade do biofertilizante, pouco se aborda a esse respeito. Não são comumente utilizados índices, porém são realizadas pesquisas que avaliam as transformações na fração orgânica do substrato inicial para o substrato digerido (TAMBONE et al., 2009; CUETOS et al., 2010).

De maneira geral, o biofertilizante é mais empregado como fornecedor de nutrientes do que como condicionador das propriedades físicas do solo. Apesar disso, é importante a avaliação da estabilidade do biofertilizante a fim de garantir que esse, quando aplicado ao solo, não apresente o mesmo comportamento verificado para um resíduo *in natura*. Materiais não estabilizados sofrem intensas transformações pela decomposição da matéria orgânica, como processos de nitrificação e produção de ácidos orgânicos (MELLO; VITTI, 2002), e podem acarretar prejuízos ao solo e às plantas.

Em relação à transformação dos resíduos, Marcato *et al.* (2009) citam que na biodigestão anaeróbia a matéria orgânica é estabilizada pela fermentação das frações mais lábeis (estruturas alifáticas, lipídeos, amidas e polissacarídeos) levando ao aumento relativo de compostos mais estáveis. Quanto à compostagem, Amir *et al.* (2010) citam que, inicialmente, ocorre aumento de compostos alifáticos, a partir da degradação da matéria orgânica prontamente disponível, tal como polissacarídeos. Porém, no decorrer do processo, os compostos são reestruturados em ácidos húmicos. Isso indica perda de compostos alifáticos dando lugar a compostos aromáticos.

De acordo com os relatos, pode-se concluir que o aumento da relação AH/AF também apresenta potencial de indicar as transformações do carbono durante a co-digestão anaeróbia. Transformações estas que não se referem propriamente à polimerização do material, como no processo da compostagem (IGLESIAS-JIMÉNEZ et al., 2007), mas a sua modificação em relação ao substrato original, uma vez que a relação AH/AF não foi encontrada na literatura para caracterizar o biofertilizante e necessitam-se mais estudos sobre o assunto.

Assim, as maiores relações AH/AF observadas com o incremento de dejetos bovinos na mistura permitem inferir que este resíduo possibilitou as maiores transformações do carbono durante o processo, fato que proporciona aumento na estabilidade do biofertilizante.

Potenciais de produção de biogás

A seguir, na Tabela 3, os potenciais de produção de biogás são apresentados para a co-digestão anaeróbia de cama de ovinos com dejetos bovinos.

Tabela 3 Potenciais médios de produção de biogás a partir da co-digestão anaeróbia de cama de ovinos com dejetos de bovinos, operada em sistema batelada com TRH de 159 dias

Produção de biogás (L biogás kg ⁻¹)	CV (%)	p-valor	Tratamentos				
			T ₁₀₀	T ₇₅	T ₅₀	T ₂₅	T ₀
ST adicionados	6,51	0,014	176,8 a	183,3 a	170,6 ab	165,7 ab	152,5 b
SV adicionados	6,52	0,043	228,0 ab	237,1 a	224,7 ab	220,7 ab	202,0 b
SV reduzidos	6,78	0,069	245,4	252,2	239,5	232,6	217,5
Resíduo	6,51	<0,001	69,1 a	69,3 a	64,1 ab	56,4 b	39,1 c
Substrato	6,64	0,006	8,6 ab	9,0 a	8,6 ab	7,8 ab	7,46 b

T₁₀₀ - cama de ovinos: dejetos bovinos (0: 100); T₇₅ - cama de ovinos: dejetos bovinos (25: 75); T₅₀ - cama de ovinos: dejetos bovinos (50: 50); T₂₅ - cama de ovinos: dejetos bovinos (75: 25); T₀ - cama de ovinos: dejetos bovinos (100:0)

CV=coeficiente de variação. Valores médios seguidos por letras diferentes na mesma linha diferem entre si (ANOVA; Teste de Tukey $p<0,05$).

Os dados apresentaram normalidade conforme o Teste de Shapiro-Wilk ($p<0,05$) e homogeneidade das variâncias conforme o Teste de Bartlett ($p<0,05$).

A partir da Tabela 3, verifica-se que os potenciais de produção de biogás por ST adicionados, SV adicionados, resíduo e substrato foram diferentes entre os tratamentos. Para os potenciais por ST adicionados, SV adicionados e substrato, os tratamentos com quantidade igual ou superior a 25% de dejetos bovinos (T₁₀₀, T₇₅, T₅₀ e T₂₅) apresentaram produções de biogás significativamente maiores ($p<0,05$) quando comparados ao tratamento sem adição de dejetos bovinos na mistura. Para o potencial por resíduo adicionado, os tratamentos com quantidade igual ou superior a 50% de dejetos bovinos apresentaram produções significativamente ($p<0,05$) maiores de biogás não diferenciando entre si.

As boas produções verificadas mesmo em elevadas proporções de cama de ovinos no sistema se justificam pelos benefícios da co-digestão anaeróbia. Em geral, a co-digestão proporciona produção de biogás e potencial de metano superior, comparada à biodigestão de cada um dos substratos observados separadamente. A mistura dos substratos pode evitar a inibição por excesso de ácidos graxos voláteis, além de proporcionar maior variabilidade de nutrientes e fornecer nutrientes que poderiam estar limitados nos substratos puros (ASHEKUZZAMAN; POULSEN, 2011).

As menores produções de biogás provenientes das misturas com maior proporção de cama de ovinos devem-se, principalmente, ao maior conteúdo de fibras nas dejeções dos ovinos e à presença de casca de arroz na cama.

A presença de lignina em resíduos lignocelulósicos forma uma barreira à biomassa microbiana e oferece resistência a degradação química e biológica, impedindo o ataque de fungos, bactérias e enzimas. Para que ocorra a hidrólise da celulose e hemicelulose, é necessária a quebra da camada impermeável de lignina. Essa quebra geralmente é realizada com um pré-tratamento antes da inoculação do resíduo no reator, por meios físicos, químicos ou biológicos (CHANDRA *et al.*, 2012). Como não foi realizado qualquer pré-tratamento no material, possivelmente, não houve utilização dos açúcares presentes na biomassa da casca de arroz. Corroborando com isso, TRIOLO *et al.* (2011) verificaram que o potencial bioquímico de metano (digestibilidade anaeróbica do substrato) foi muito mais afetado negativamente para culturas energéticas do que para dejetos animais, devido à presença de lignina. Isso porque a parede das células é revestida por uma matriz de lignina intacta nas culturas, enquanto nas dejeções animais, essa matriz é em parte quebrada durante o processo de digestão animal.

A comparação dos potenciais de produção de biogás deste trabalho com os valores observados na literatura torna-se complexa uma vez que os experimentos são operados em diferentes condições, tais como: características das dejeções, idades dos animais, inóculo, temperatura, estação do ano, TRH, dentre outros. Assim, entende-se que, apesar das produções apresentarem resultados inferiores aos dados observados por autores como Orrico Júnior *et al.* (2010) com valores de 370 a 420 e 430 a 500 L biogás por kg de ST e SV adicionados, respectivamente, isso não pode ser tomado como indicativo de baixas produções.

Por conseguinte, observou-se um retardo no início das produções e algumas interrupções das mesmas, que culminaram com o aumento do TRH. Além da ausência de inóculo, outros fatores, como a temperatura, contribuíram para esse comportamento. Valores de produção de biogás diários podem apresentar-se 50% inferiores quando se trabalha em temperaturas de 18 °C em detrimento às temperaturas de 25 °C (ALVAREZ; LIDÉN, 2008). Além disso, as bactérias metanogênicas são sensíveis às rápidas variações de temperatura: fato que pode causar diminuições substanciais na produção de gás, da ordem de 30% (DEUBLEIN; STEINHAUSER, 2008).

Ao se considerar que a temperatura entre os meses de inverno (maio, junho e julho) apresentou valor médio de 16,3 °C, e mínimo de 3,43 °C, enquanto nos meses de verão (janeiro, fevereiro e março), a média foi de 23,8 °C e a mínima foi de 13,6 °C, pode-se considerar que esta influenciou as produções negativamente. Ainda a respeito da temperatura, Mussoline *et al.* (2012) verificaram que a co-digestão de palha de arroz em mistura com água residuária foi altamente afetada por esse parâmetro. Os autores observaram que, em temperaturas controladas na fase mesófila (30-40 °C), a produção de

biogás foi muito superior quando comparada à co-digestão em temperatura ambiente, a qual limitou o processo. Neste trabalho, os autores relatam que os valores de 457 e 28 L biogás kg⁻¹ ST adicionados foram observados em temperatura mesófila e temperatura ambiente, respectivamente, com TRH de 189 dias. Considerando que as temperaturas ambientes no experimento relatado não se apresentaram abaixo de 20 °C, reforça-se a ideia de que as condições experimentais do presente trabalho não possibilitaram a conversão da casca de arroz presente na cama de ovinos em biogás, somente houve conversão dos dejetos.

Além da falta de inóculo e das baixas temperaturas, os processos inibitórios também podem ter suprimido a produção de biogás no primeiro mês de experimento. Segundo Hansen *et al.* (1998), a atividade metanogênica começa a ser inibida em concentrações de amônia livre (NH₃) de 1,1 g L⁻¹. Tais concentrações podem ter sido ocasionadas devido aos altos valores de pH, evidenciados no abastecimento dos biodigestores (8,9-9,22) bem como a degradação de proteínas e aminoácidos, liberando mais nitrogênio no meio (DEUBLEIN; STEINHAUSER, 2008). O pH adequou-se com o tempo de co-digestão anaeróbia, possivelmente devido à formação de ácidos orgânicos.

Análise de Componentes Principais

Na Tabela 4 são apresentados os coeficientes de correlação linear entre as variáveis.

Tabela 4 Correlação linear entre as variáveis

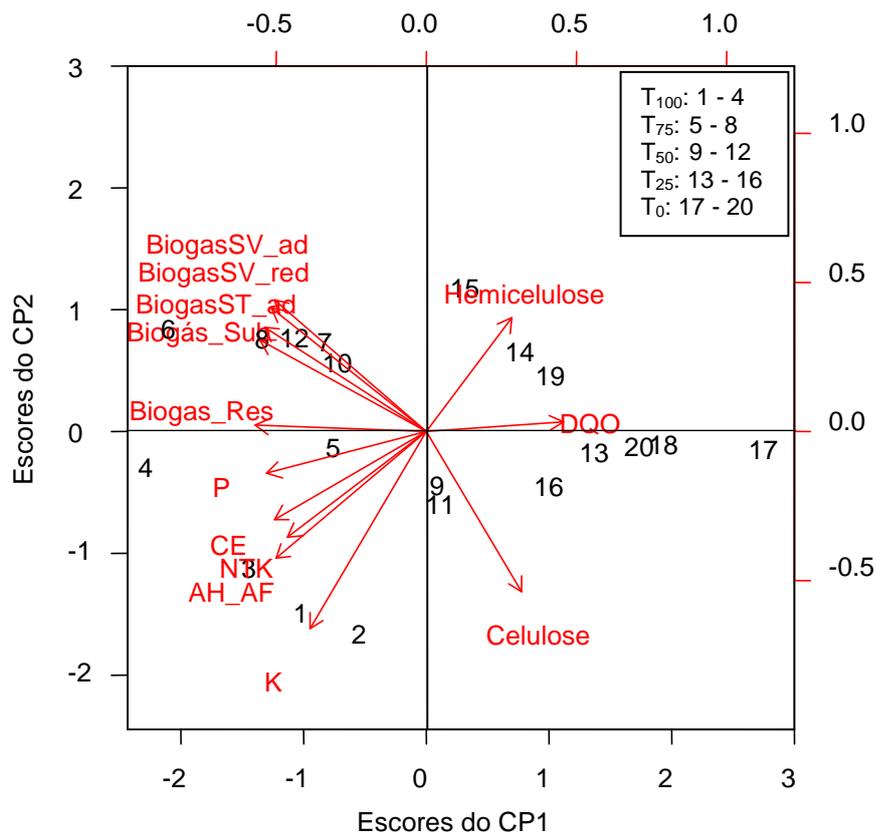
	CE	NTK	P	K	DQO	AH/AF	Cel.	Hemi.	ST_ad ^a	SV_ad ^a	SV_red ^a	Res. ^a	Sub. ^a
CE	1												
NTK	0,68	1											
P	0,80	0,83	1										
K	0,80	0,61	0,61	1									
DQO	-0,59	-0,60	-0,66	-0,39	1								
AH/AF	0,87	0,77	0,86	0,81	-0,72	1							
Cel.	-0,50	-0,29	-0,54	0,01	0,38	-0,37	1						
Hemi.	-0,36	-0,45	-0,31	-0,48	0,35	-0,36	-0,23	1					
ST_ad ^a	0,62	0,57	0,71	0,41	-0,65	0,56	-0,50	-0,41	1				
SV_ad ^a	0,56	0,48	0,63	0,34	-0,57	0,47	-0,51	-0,39	0,99	1			
SV_red ^a	0,58	0,48	0,64	0,37	-0,60	0,50	-0,50	-0,41	0,99	0,99	1		
Res. ^a	0,84	0,68	0,84	0,63	-0,71	0,82	-0,52	-0,40	0,87	0,83	0,82	1	
Sub. ^a	0,66	0,62	0,77	0,44	-0,66	0,64	-0,58	-0,42	0,97	0,95	0,96	0,87	1

^a Potenciais de produção de biogás

ST_ad: Potencial de produção de biogás por ST adicionados; SV_ad: Potencial de produção de biogás por SV adicionados; SV_red: Potencial de produção de biogás por SV reduzidos; Res: Potencial de produção de biogás por Resíduo; Sub: Potencial de produção de biogás por Substrato.

Ao se considerar o elevado número de correlações de magnitude moderada a forte entre as variáveis, a dependência entre as mesmas fica evidente assim como a importância em utilizar uma análise estatística que contemple isso na sua interpretação, como a ACP (LATTIN et al. 2011).

A partir da ACP, os dois primeiros CP's foram selecionados, os quais foram suficientes para explicar 78,30% da variância dos dados. Na Figura 2, estão ilustradas as associações entre os dois primeiros CP's com as variáveis e os tratamentos



Nota: BiogásST_ad; BiogásSV_ad; BiogásSV_red; Biogás_Res; Biogás_Sub correspondem aos potenciais de produção de biogás por ST adicionados, SV adicionados, SV reduzidos, Resíduo e Substrato, respectivamente.

Figura 2 Gráfico Biplot a partir da ACP para a variação dos parâmetros durante a co-digestão anaeróbia de cama de ovinos em mistura com dejetos bovinos. As setas indicam as variáveis e os números indicam os tratamentos.

Em CP1, as variáveis mais relevantes para os 64,96% da variabilidade explicada foram: P, CE, AH/AF, NTK, K, potenciais de produção de biogás (correlacionadas negativamente), DQO, celulose e hemicelulose (correlacionadas positivamente). O CP1 caracteriza-se como uma relação entre o consumo da fração orgânica (representada pelas variáveis com correlação positiva) e os comportamentos que tal consumo desencadeia (variáveis com correlação negativa), como produção de biogás, concentração de nutrientes e estabilidade do material.

Assim, pode-se denominar o CP1 de fração orgânica/produktividade, pois quanto maior é o consumo da fração orgânica, maior é a produtividade do biodigestor. Todas as variáveis que expressam produtividade do biodigestor apresentaram-se fortemente correlacionadas com o CP1, enquanto somente a DQO demonstrou forte correlação com o componente em relação às variáveis que indicaram consumo da fração orgânica (DQO, celulose e hemicelulose). Portanto, a DQO explicou melhor a produtividade do biodigestor (pois apresentou altas correlações com as variáveis do grupo produtividade), enquanto os teores de celulose e a hemicelulose explicaram somente parte da produtividade, uma vez que as correlações foram de magnitude moderada e apenas para algumas variáveis.

Os tratamentos T₁₀₀, T₇₅ e T₅₀ apresentaram os maiores pesos para as variáveis do grupo produtividade (indivíduos 1 a 12), enquanto os tratamentos T₂₅ e T₀ apresentaram os maiores pesos para as variáveis do grupo fração orgânica (indivíduos 13 à 20). Esses dois grupos demonstram as variáveis que os tratamentos com maior ($\geq 50\%$) ou menor proporção de dejetos bovinos ($\leq 25\%$) mais influenciaram.

A influência dos tratamentos sobre as variáveis é expressa em relação à ação do tratamento proporcionando menores perdas ou maiores concentrações das mesmas. Portanto, a quantidade de dejetos bovinos $\geq 50\%$ em mistura com cama de ovinos apresentou maior consumo da fração orgânica, maior produção de biogás, maior concentração de nutrientes e maior estabilidade do biofertilizante, em detrimento aos tratamentos com incremento de dejetos bovinos $\leq 25\%$.

Em CP2, as variáveis mais relevantes para os 13,34% da variabilidade explicada foram K, celulose (correlacionadas negativamente), potenciais de produções de biogás por SV adicionados, SV reduzidos, ST adicionados, substrato e hemicelulose (correlacionadas positivamente). Nesse componente, a celulose correlacionou-se negativamente com os potenciais de produção de biogás. Isso indica que tal consumo proporcionou maior influência na produção de biogás, enquanto a hemicelulose correlacionou-se negativamente com a concentração de potássio (K). Provavelmente, o consumo da celulose tenha exercido maior influência nas produções de biogás porque foi mais consumida em detrimento à hemicelulose e proporcionou correlações negativas mais acentuadas.

As diferenças de consumo das frações de celulose e hemicelulose são causadas, principalmente, pela composição dos substratos (YUE et al., 2013). O maior consumo de celulose nos dejetos bovinos e na cama de ovinos pode estar relacionado ao consumo da hemicelulose, mais facilmente degradável, ter ocorrido durante a digestão dos animais, permanecendo nos resíduos as porções mais resistentes da hemicelulose. Além disso, a quebra de parte da matriz lignificada pela digestão dos animais também facilita o acesso à celulose nas dejeções (TRIOLO et al., 2011). Quando não há impedimento da lignina, as

celulases podem facilmente atacar as fibras de celulose e a hidrólise torna-se um processo rápido (GALLERT; WINTER, 2005).

Análise de Agrupamentos

Na Figura 3 apresenta-se o dendrograma obtido por meio da Análise de Agrupamentos entre os tratamentos.

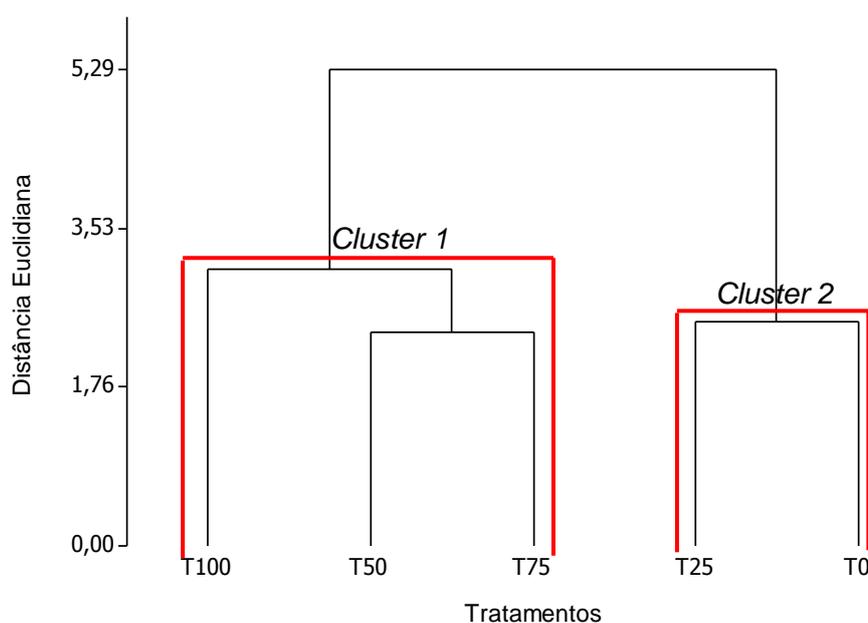


Figura 3 Dendrograma obtido pelo método da ligação média com base na distância euclidiana para as variáveis produções de biogás, P, CE, NTK, relação AH/AF, K, hemicelulose, celulose e DQO.

De acordo com a Análise de Agrupamento, obteve-se a formação de dois grupos diferentes: o primeiro formado por T₁₀₀, T₇₅ e T₅₀ e o segundo formado por T₂₅ e T₀. Ao se considerar que os tratamentos com menor distância entre si são mais semelhantes, em uma primeira ordenação, T₇₅ e T₅₀ apresentaram-se mais semelhantes.

Em distância muito próxima, houve formação de um novo grupo entre T₂₅ e T₀. Na sequência da ordenação, o T₁₀₀ torna-se parte do grupo que inclui T₇₅ e T₅₀. A partir disso, a estrutura do agrupamento fica estável em um intervalo amplo de distância. Portanto, de maneira geral, a co-digestão anaeróbia com inclusão de quantidade de dejetos bovinos $\geq 50\%$ na mistura proporcionou um comportamento mais eficiente do processo, o qual diminuiu sua eficiência em proporções de dejetos bovinos inferiores a 25%.

CONCLUSÕES

O incremento de dejetos bovinos em proporção igual ou superior a 50% em mistura com a cama de ovinos possibilitou maiores produções de biogás, concentração de nutrientes e estabilidade do biofertilizante.

A co-digestão anaeróbia promoveu pouca transformação da casca de arroz presente na cama de ovinos.

AGRADECIMENTOS

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

REFERÊNCIAS

ALCARDE, J. C. **Manual de análise de fertilizantes**. Piracicaba: FEALQ, 2009. 259 p.

AL-MASRI, M. R. Changes in biogas production due to different ratios of some animal and agricultural wastes. **Bioresource Technology**, v.77, n.1, p.97-100, 2001.

ALVAREZ, R.; LIDÉN, G. The effect of temperature variation on biomethanation at high altitude. **Bioresource Technology**, v.99, n.15, p.7278-7284, 2008.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA; AWWA; WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22 ed., Washington: APHA, 2012. 1496 p.

AMIR, S.; JOURAIPHY, A.; MEDDICH, A.; EL GHAROUS, M.; WINTERTON, P.; HAFIDI, M. Structural study of humic acids during composting of activated sludge-green waste: Elemental analysis, FTIR and ¹³C NMR. **Journal of Hazardous Materials**, v.177, n.1-3, p.524-529, 2010.

AMORIM, A. C.; LUCAS JÚNIOR, J. de; RESENDE, K. T. Biodigestão anaeróbia de dejetos de caprinos obtidos nas diferentes estações do ano. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.24, n.1, p.16-24, 2004.

ASHEKUZZAMAN, S. M.; POULSEN, T. G., Optimizing feed composition for improved methane yield during anaerobic digestion of cow manure based waste mixtures. **Bioresource Technology**, v.102, n.3, p.2213-2218, 2011.

BENITES, V. M.; MADARI, B.; MACHADO, P. L. O. de A. **Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo**: um procedimento simplificado de baixo custo. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. 7 p. (Embrapa Solos. Comunicado Técnico, 16)

CAMPOS, F. P. de; NUSSIO, C. M. B.; NUSSIO, L. G. **Métodos de Análise de Alimentos**. Piracicaba: FEALQ, 2004. 135 p.

CHANDRA, R.; TAKEUCHI, H.; HASEGAWA, T. Methane production from lignocellulosic agricultural crop wastes: A review in context to second generation of biofuel production. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.16, n.3, p.1462-1476, 2012.

CUETOS, M. J.; GÓMEZ, X.; OTERO, M.; MORÁN, A. Anaerobic digestion of solid slaughterhouse waste: study of biological stabilization by Fourier Transform infrared spectroscopy and thermogravimetry combined with mass spectrometry. **Biodegradation**, v.21, n.4, p.543-556, 2010.

CUNHA-QUEDA, A.C.F., VALLINI, G., BRUNO DE SOUSA, R.F.X., ALMEIDA DUARTE, E. C. N. F. Estudo da evolução de actividades enzimáticas durante a compostagem de resíduos provenientes de mercados horto-frutícolas. **Anais do Instituto Superior de Agronomia**, p.193-208, 2003.

DEUBLEIN D.; STEINHAUSER, A. **Biogas from Waste and Renewable Resources: An Introduction**, Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2008. 443 p.

FERREIRA, D. F. **Estatística multivariada**. 2.ed. Lavras: UFLA, 2011. 676 p.

GALLERT, C.; WINTER, J. Bacterial metabolism in wastewater treatment systems. *In*: JÖRDENING; H.-J.; WINTER, J. (Eds). **Environmental Biotechnology: concepts and applications**. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2005. cap. 1, p. 1-48.

IGLESIAS-JIMÉNEZ, E.; BARRAL-SILVA, M. T.; MARHUENDA-EGEA, F. C. Indicadores de la estabilidad y madurez del compost. *In*: MORENO-CASCO, J.; MORAL-HERRERO, R. (Eds.) **Compostaje**. Madrid: Mundi-Prensa, 2007. cap. 11, p. 243–284.

HANSEN, K.H.; ANGELIDAKI, I.; AHRING, B. K. Anaerobic digestion of swine manure: inhibition by ammonia. **Water Research**, v.32, n.1, p.5-12, 1998.

KHALID, A.; ARSHAD, M.; ANJUM, M.; MAHMOOD, T.; DAWSON, L. The anaerobic digestion of solid organic waste. **Waste Management**, v.31, n.8, p.1737-1744, 2011.

LATTIN, J. M.; CARROLL, J. D.; GREEN, P. E. **Análise de dados multivariados**. São Paulo: Cengage Learning, 2011. 455 p.

LECONTE, M. C.; MAZZARINO, M. J.; SATTI, P.; IGLESIAS, M. C.; LAOS, F. Co-composting rice hulls and/or sawdust with poultry manure in NE Argentina. **Waste Management**, v.29, n.9, p.2446-2453, 2009.

MA, X.; ZHOU, B.; GAO, W.; QU, Y.; WANG, L.; WANG, Z.; ZHU, Y. A recyclable method for production of pure silica from rice hull ash. **Powder Technology**, v.217, n.0, p.497-501, 2012.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

MARCATO, C.; MOHTAR, R.; REVEL, J.; POUECH, P.; HAFIDI, M.; GUIRESSE, M. Impact of anaerobic digestion on organic matter quality in pig slurry. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v.63, n.3, p.260-266, 2009.

MELLO, S. C.; VITTI, G. C. Desenvolvimento do tomateiro e modificações nas propriedades químicas do solo em função da aplicação de resíduos orgânicos, sob cultivo protegido. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.20, n.2, p.200-206, 2002.

MUSSOLINE, W.; ESPOSITO, G.; LENS, P.; GARUTI, G.; GIORDANO, A.; Design considerations for a farm-scale biogas plant based on pilot-scale anaerobic digesters loaded with rice straw and piggery wastewater. **Biomass and Bioenergy**, v.46, n.0, p.469-478, 2012.

OLIVEIRA, R. P de; PEREZ, J. R. O.; MUNIZ, J. A.; EVANGELISTA, A. R.; SOUZA, J. C. de; BARCELOS, A. F. Effect of concentrate: voluminous ratio on the performance of Santa Inês lambs. **Ciênc. agrotec.**, v.33, n.6, p.1637-1642, 2009.

ORRICO, A. C. A.; LUCAS JÚNIOR, J. de. ORRICO JÚNIOR, M. A. Caracterização e biodigestão anaeróbia dos dejetos de caprinos. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.27, n.3, p.639-647, 2007.

ORRICO JÚNIOR, M. A. P.; ORRICO, ANA C. A.; LUCAS JÚNIOR, J. de. Influência da relação volumoso:concentrado e do tempo de retenção hidráulica sob a biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.30, n.3, p.386-394, 2010.

ORRICO JÚNIOR, M. A. P.; ORRICO, A. C. A.; LUCAS JÚNIOR, J. de. Produção animal e o meio ambiente: uma comparação entre potencial de emissão de metano dos dejetos e a quantidade de alimento produzido. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.31, n.2, p.399-410, 2011.

R Development Core Team (2012). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.

ROZATTI, M. A. T. **Co-digestão anaeróbia de resíduos da ovinocultura com e sem separação da fração sólida**. 2012. 36 f. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2012. 36 p.

SILVA, B. C. da; PEREIRA; O. G.; PEREIRA, D. H.; GARCIA, R.; FILHO, S. de C. V.; CHIZZOTTI, F. H. M. Consumo e digestibilidade aparente total dos nutrientes e ganho de peso de bovinos de corte alimentados com silagem de *Brachiaria brizantha* e concentrado em diferentes proporções. **R. Bras. Zootec.**, v.34, n.3, p.1060-1069, 2005.

TAMBONE, F.; GENEVINI, P.; D'IMPORZANO, G.; ADANI, F. Assessing amendment properties of digestate by studying the organic matter composition and the degree of biological stability during the anaerobic digestion of the organic fraction of MSW. **Bioresource Technology**, v.100, n.12, p.3140-3142, 2009.

TRIOLO, J. M.; SOMMER, S. G.; MØLLER, H. B.; WEISBJERG, M. R.; JIANG, X. Y. A new algorithm to characterize biodegradability of biomass during anaerobic digestion: Influence of lignin concentration on methane production potential. **Bioresource Technology**, v.102, n.20, p.9395-9402, 2011.

WYMAN, C. E.; DECKER, S. R.; HIMMEL, M.L E.; BRADY, J. W.; SKOPEC, C. E.; VIKARI, L. Hydrolysis of Cellulose and Hemicellulose. *In*: DUMITRIU, S. (Ed). **Polysaccharides: Structural diversity and functional versatility**. 2 ed. New York: Marcel Dekker Inc, 2005. cap. 43, p. 995-1034.

YUE, Z.; CHEN, R.; YANG, FA.; MACLELLAN, J.; MARSH, T.; LIU, Y.; LIAO, W. Effects of dairy manure and corn stover co-digestion on anaerobic microbes and corresponding digestion performance. **Bioresource Technology**, v.128, n.0, p.65-71, 2013.