

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DIRETORIA DE GRADUAÇÃO E EDUCAÇÃO PROFISSIONAL
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

ALESSANDRO MINIKOWSKI
ALEXSSANDER JULIANO TAVARES

**VERMICOMPOSTAGEM A PARTIR DE DEJETO BOVINO COM
RESÍDUOS DE SILAGEM DE MILHO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

MEDIANEIRA

2015

ALESSANDRO MINIKOWSKI
ALEXSSANDER JULIANO TAVARES

**VERMICOMPOSTAGEM A PARTIR DE DEJETO BOVINO COM
RESÍDUOS DE SILAGEM DE MILHO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental, do Curso de Engenharia Ambiental, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Me. Thiago Edwiges
Co-orientador: Me. Higor Lorin

MEDIANEIRA

2015



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Medianeira

Diretoria de Graduação e Educação Profissional
Coordenação do Curso de Engenharia Ambiental
Engenharia Ambiental



TERMO DE APROVAÇÃO

**VERMICOMPOSTAGEM A PARTIR DE DEJETO BOVINO COM RESÍDUO DE
SILAGEM DE MILHO**

por

**ALESSANDRO MINIKOWSKI
ALEXSSANDER JULIANO TAVARES**

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado às 16:30h do dia 19 de junho de 2015 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental. Os candidatos foram arguidos pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Me. Thiago Edwiges
Orientador

Me. Higor Lorin
Co-orientador

Prof.^a Dr.^a Carla Daniela Camara
Membro titular

Prof.^a Dr.^a Larissa De B. C. Sabbi
Membro titular

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

Dedicamos este trabalho às nossas famílias e amigos, pelo incentivo para concluir esse desafio e também pelos momentos de ausência.

AGRADECIMENTOS

À Deus pela sua infinita bondade de proporcionar-me condições para trilhar essa caminhada, iluminando meus passos e me dando sabedoria para enfrentar os desafios impostos.

Às nossas famílias pelo amor, carinho, incentivo, suporte e motivação em todos os momentos das nossas vidas.

Ao Prof. Me. Thiago Edwiges pela orientação, incentivo, apoio, ensinamentos e amizade.

Ao Me. Higor Lorin pela co-orientação, ensinamentos, apoio e sugestões para a melhoria e enriquecimento deste trabalho.

À professora Mônica Sarolli Silva de Mendonça Costa e ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, *campus* de Cascavel, pela ajuda concedida durante a realização do experimento.

Aos professores do curso de graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *campus* de Medianeira, pelo conhecimento transmitido e apoio ao longo do curso.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná, em especial à coordenação do curso, pelo apoio e oportunidade.

Aos colegas de graduação pelo apoio, amizade, conhecimento compartilhado e excelentes momentos de descontração.

À Paula Gabriela Ripp, Ana Paula Gusmão, Mourize Borella, Guilherme Engel, Daniela Zanoni, Felipe Rossine, Luan Michel Pereira, Marlene Bortolluzzi Tavares e Bruna Mayer pela contribuição direta na realização da pesquisa.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

“Sem luta não tem vitória, é preciso muita
garra pra subir os degraus da glória.”
(Tião Carreiro)

RESUMO

MINIKOWSKI, Alessandro; TAVARES, Alexssander J. **Vermicompostagem a partir de dejetos bovinos com resíduo de silagem de milho**. 2015. 78 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2015.

O crescimento do setor agropecuário e a consequente geração de resíduos agrossilvopastoris apontam para a necessidade de tecnologias e alternativas que tratem de forma apropriada essa problemática. Com o objetivo de avaliar o processo de vermicompostagem de dejetos bovinos com resíduo de silagem de milho, foram testadas as seguintes proporções: 90:10; 70:30; 50:50; 30:70 e 10:90; a fim de verificar o comportamento da relação C/N e o desenvolvimento das minhocas da espécie *Eisenia andrei*. O processo foi conduzido em 20 vermicomposteiras ao longo de 45 dias e monitorado quanto aos parâmetros químicos e físico-químicos (temperatura, pH, condutividade elétrica, densidade, umidade, sólidos totais, sólidos fixos, sólidos voláteis, carbono orgânico total, nitrogênio total kjeldahl e relação C/N). Os valores de temperatura, condutividade elétrica e umidade mantiveram-se dentro dos limites recomendados. Em alguns momentos os valores de pH ficaram ligeiramente acima dos valores recomendados. A granulometria indicou redução no tamanho das partículas em todos os tratamentos. Os valores de sólidos voláteis, carbono orgânico total e relação C/N diminuíram, indicando a estabilização dos compostos. O teor de nitrogênio total kjeldahl aumentou em todos os tratamentos testados. Houve multiplicação das minhocas em todas as vermicomposteiras. A mistura de dejetos bovinos e resíduo de silagem de milho apresentou resultados positivos para a vermicompostagem, além da viabilidade ambiental, uma vez que estes resíduos não serão dispostos de forma incorreta.

Palavras-chave: Compostagem. Minhocas. *Eisenia andrei*. Relação C/N. Resíduo sólido orgânico.

ABSTRACT

MINIKOWSKI, Alessandro; TAVARES, Alexssander J. **Vermicomposting from cattle manure with waste of corn silage**. 2015. 78 p. Course Conclusion work (Bachelor of Environmental Engineering) - Federal Technology University of Parana. Medianeira, 2015.

The growth of the agricultural sector and the consequent generation of waste agroforestry show to the need for technologies and alternatives that properly meet this problem. In order to evaluate the vermicomposting process of cattle manure with residue of corn silage, the following proportions were tested: 90:10; 70:30; 50:50; 30:70 e 10:90; in order to verify the behavior of the C/N ratio and the development of the worms of the species *Eisenia andrei*. The process was conducted in 20 vermicomposteiras over 45 days and monitored for the chemical and physico-chemical parameters (temperature, pH, electrical conductivity, density, moisture, total solids, fixed solids, volatile solids, total organic carbon, total kjeldahl nitrogen and C/N ratio). Temperature values, electrical conductivity and moisture remained within the recommended limits. At certain times the pH values were slightly above the recommended values. The grainsize indicated a reduction in particle size in all treatments. The volatile solids, total organic carbon, and C/N ratio values decreased, indicating stabilization of the compounds. The total kjeldahl nitrogen content increased in all treatments. There was multiplication of earthworms in all treatments. The mix of cattle manure and waste corn silage showed positive results for vermicomposting, as well as environmental viability, since these residues are not disposed of improperly.

Keywords: Composting. Earthworms. *Eisenia andrei*. C/N ratio. Organic solid waste.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Forragem de milho pronta para o processo de ensilagem.....	21
Figura 2 – Silo de alvenaria e armazenamento da silagem direto no solo	24
Figura 3 – <i>Eisenia andrei</i> e <i>Eudrilus eugeniae</i>	30
Figura 4 – Húmus de minhoca ou vermicomposto	34
Figura 5 – Localização do município de Medianeira e vista aérea da propriedade...	36
Figura 6 – Vermicomposteiras utilizadas e detalhe do revestimento no fundo	37
Figura 7 – Resíduos de silagem, dejetos bovinos e minhocas <i>Eisenia andrei</i> separadas para a vermicompostagem	39
Figura 8 – Termômetros de mercúrio utilizados e demonstrações da aferição de temperatura nas vermicomposteiras	41
Figura 9 – Amostra sendo agitada, aferição do pH e aferição da condutividade elétrica	41
Figura 10 - Amostras na estufa e amostras na mufla	42
Figura 11 – Etapas de digestão, destilação e titulação.....	43
Figura 12 – Agitador de peneiras para determinação da granulometria	44
Figura 13 – Tratamentos no início e no fim do processo da vermicompostagem	54

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Geração per capita e porcentagem de resíduos destinados a aterro sanitário no Brasil e no Paraná	19
Gráfico 2 – Temperatura média nas vermicomposteiras ao longo do tempo	47
Gráfico 3 - Valores médios do pH nos tratamentos ao longo do tempo	48
Gráfico 4 – Valores médios da condutividade elétrica ao longo do tempo	49
Gráfico 5 - Densidade média dos tratamentos ao longo do tempo	51
Gráfico 6 – Umidade média dos tratamentos ao longo do tempo	52
Gráfico 7 - Composição granulométrica média dos tratamentos	53
Gráfico 8 - Teor médio de SV inicial e final nos tratamentos	55
Gráfico 9 – Teor médio de SF inicial e final nos tratamentos.....	56
Gráfico 10 – Teor médio de COT inicial e final nos tratamentos.....	57
Gráfico 11 - Teor médio de NTK inicial e final nos tratamentos	58
Gráfico 12 – Relação C/N média inicial e final dos tratamentos	59

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Caracterização dos tratamentos.....	38
Quadro 2 – Frequência das análises realizadas.....	40
Quadro 3 - Caracterização dos substratos e tratamentos testados	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Redução média da relação C/N nos vermicompostos	60
Tabela 2 - Número de minhocas no final do experimento	60

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

C/N	Carbono/nitrogênio
CE	Condutividade elétrica
cm	Centímetro
COT	Carbono orgânico total
g	Gramma
ha	Hectare
hab	Habitante
kg	Quilograma
L	Litro
mL	Mililitro
mm	Milímetro
m ³	Metro cúbico
NTK	Nitrogênio total kjeldahl
pH	Potencial hidrogeniônico
PIB	Produto interno bruto
RSU	Resíduos sólidos urbanos
SF	Sólidos fixos
ST	Sólidos totais
SV	Sólidos voláteis
μS	Microsiemens
°C	Grau Celsius

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 OBJETIVOS	16
2.1 OBJETIVO GERAL	16
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
3.1 GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL	17
3.2 PRODUÇÃO DE MILHO NO BRASIL	20
3.2.1 Silagem.....	21
3.2.1.1 Geração de resíduos oriundos das perdas de silagem.....	22
3.3 BOVINOCULTURA NO BRASIL	24
3.3.1 Geração de Dejeito Bovino	25
3.4 TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS	25
3.4.1 Compostagem.....	27
3.4.2 Vermicompostagem	29
3.4.2.1 Minhocas.....	30
3.4.2.2 Características da vermicompostagem.....	31
4 MATERIAL E MÉTODOS	36
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E QUANTIFICAÇÃO DE RESÍDUOS	36
4.2 IMPLANTAÇÃO DA VERMICOMPOSTAGEM	37
4.3 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DOS TRATAMENTOS	44
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
5.1 CARACTERIZAÇÃO DOS SUBSTRATOS E TRATAMENTOS.....	45
5.2 TEMPERATURA.....	46
5.3 pH	47
5.4 CONDUTIVIDADE ELÉTRICA	49
5.5 DENSIDADE	50
5.6 UMIDADE	51
5.7 GRANULOMETRIA.....	52
5.8 SÓLIDOS FIXOS E VOLÁTEIS.....	54
5.9 CARBONO ORGÂNICO TOTAL, NITROGÊNIO TOTAL KJELDAHL E RELAÇÃO C/N	56
5.10 NÚMERO DE MINHOCAS	60
6 CONCLUSÃO	62
REFERÊNCIAS	63
APÊNDICE A – Temperatura nas repetições	70
APÊNDICE B – pH nas repetições	71
APÊNDICE C – CE nas repetições	72

APÊNDICE D – Densidade nas repetições	73
APÊNDICE E – Umidade nas repetições	74
APÊNDICE F – Granulometria nas repetições	75
APÊNDICE G – SF e SV nas repetições.....	76
APÊNDICE H – COT, NTK e relação C/N nas repetições	77
APÊNDICE I – Número de minhocas e ovos nas repetições.....	78

1 INTRODUÇÃO

A questão dos resíduos sólidos no Brasil ainda encontra problemas quanto à gestão e soluções que possam melhorar a viabilidade econômica e ambiental da destinação final destes resíduos. Inclusos nestes resíduos sólidos estão os resíduos agrossilvopastoris. O setor agropecuário brasileiro cresce anualmente de forma significativa. Segundo o Ministério da Agricultura, no período de 2000 a 2010, o crescimento do PIB do setor foi de 3,67%, 0,08% maior que o PIB geral do País no mesmo período.

Esse aumento é consequência do crescimento populacional urbano, uma vez que estes demandam produtos do setor agropecuário. Com isso, crescem também problemas ambientais como a geração de dejetos animais e o desperdício de silagens de forrageiras.

Neste contexto, fatores como o elevado custo dos fertilizantes químicos e danos ambientais ocasionados pelo mau gerenciamento de resíduos em propriedades rurais, tem conduzido uma parcela de produtores no País à procura por fertilizantes produzidos biologicamente e mais baratos. Incluem-se nestes fertilizantes o adubo orgânico advindo do processo de vermicompostagem. Neste processo os materiais são misturados, revolvidos e transformados em húmus, com auxílio de minhocas e organismos detritívoros, para então ser utilizado como adubo na agricultura.

A cada ano mais pesquisas vem surgindo na área da vermicompostagem, mas ainda assim, pouco se tem com relação a eficiência e qualidade deste processo. A intenção é a de aproximar a geração de resíduos do dia a dia com a obtenção de adubos orgânicos, através dessa prática.

Conhecendo-se a indispensabilidade do emprego de adubação na agricultura e a geração de resíduos agrossilvopastoris é que se têm aprimorado os estudos deste tipo de pesquisa. A vermicompostagem deve ser vista como uma atividade integrada às atividades agropecuárias, de tal maneira que os produtos e subprodutos sejam utilizados em sua totalidade.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar um processo de estabilização biológica de resíduos sólidos por meio de vermicompostagem utilizando resíduos de silagem e dejetos bovinos.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar um sistema piloto de vermicompostagem com o dejetos bovino e o resíduo de silagem para verificar a adaptação das minhocas da espécie *Eisenia andrei* ao meio;
- Caracterizar os dois substratos e os tratamentos testados quanto a pH, condutividade elétrica, densidade, umidade, sólidos totais, sólidos fixos, sólidos voláteis, carbono orgânico total, nitrogênio total kjeldahl e relação C/N;
- Monitorar a temperatura, pH, condutividade elétrica, densidade e umidade nas vermicomposteiras durante 45 dias;
- Comparar os valores iniciais e finais de granulometria, sólidos voláteis, sólidos fixos, carbono orgânico total, nitrogênio total kjeldahl e relação C/N para cada tratamento testado;
- Avaliar o desempenho do sistema de tratamento a partir da relação C/N e número de minhocas.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL

A gestão dos resíduos sólidos consolida-se como uma das questões ambientais que merecem atenção especial no mundo contemporâneo, e não é diferente no Brasil.

Conforme a NBR 10004, os resíduos sólidos são:

Resíduos nos estados sólido e semissólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível (ABNT, 2004).

Os resíduos podem ser classificados quanto a sua origem, degradabilidade e riscos potenciais de contaminação do meio ambiente. Quanto à degradabilidade os resíduos classificam-se em facilmente, moderadamente, dificilmente e não degradáveis (BIDONE; POVINELLI, 1999).

De acordo com Silva, Malheiros e Campos (2013), a origem é elemento fundamental para a caracterização dos resíduos sólidos. Segundo este critério, os resíduos são classificados em: doméstico ou residencial, comercial, público, domiciliar especial (entulho de obras, pilhas e baterias, lâmpadas fluorescentes e pneus) e de fontes especiais (industrial, radioativo, de portos, aeroportos e terminais rodoferroviários, agrossilvopastoris e de serviços de saúde).

Conforme a NBR 10004 os resíduos dividem-se em resíduos de classe I – perigosos e resíduos de classe II – não perigosos. Neste último ainda se separam em resíduos de classe II A – não inertes e os de classe II B – inertes (ABNT, 2004).

Os resíduos de classe I são aqueles que apresentam periculosidade e com isto apresentam características especiais, como inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.

Os resíduos não perigosos classe II A – não inerte são aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos classe I - perigosos ou de resíduos não

perigosos classe II B – inerte. Estes resíduos demonstram alguma das seguintes propriedades: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água (ABNT, 2004).

Já os resíduos inertes, conforme a NBR 10004 são:

Quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, segundo a ABNT NBR 10.007, e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou desionizada, à temperatura ambiente, conforme ABNT NBR 10.006, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor (ABNT, 2004).

Conforme Dias (2012), o Brasil encontra-se em uma realidade onde os resíduos sólidos apresentam crescimento, suportado pela expansão contínua da urbanização. A geração total de resíduos sólidos urbanos (RSU) no Brasil em 2013 foi de 76.387.200 toneladas, o que representa aumento de 4,1% em relação ao ano de 2012 (ABRELPE, 2013).

Este índice é superior à taxa de crescimento populacional no País no mesmo período, que foi de 3,7%. Isso indica um aumento na geração de RSU *per capita*, de 1,037 kg.hab⁻¹.dia⁻¹ subiu para 1,041 kg.hab⁻¹.dia⁻¹ em 2013. Em algumas grandes cidades brasileiras, como São Paulo e Rio de Janeiro, esse índice chega a ser superior a 1,2 kg.hab⁻¹.dia⁻¹ (ABRELPE, 2013).

De acordo com o Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil de 2013, elaborado pela ABRELPE, 58,26% dos resíduos gerados no País foram destinados adequadamente (aterros sanitários), enquanto 41,74% não seguiram o mesmo caminho, sendo destinados a lixões ou aterros controlados. Estes lixões ou aterros controlados são aterros que não possuem todas as especificações necessárias para segurança do meio ambiente e da população, diferenciando-se dos aterros sanitários.

Esse descarte inadequado é o responsável por consequências à saúde da população próxima ao local e ao meio ambiente. Além disso, associa-se às famílias que sobrevivem nesses locais, de onde retiram restos de alimentos e materiais recicláveis que comercializam (MMA, 2014).

O estado do Paraná apresenta índices melhores que o Brasil. A geração *per capita* em 2013 foi de 0,739 kg.hab⁻¹.dia⁻¹, ou seja, 29% a menos que a geração *per capita* do País. Quanto à disposição final, a porção enviada a aterros sanitários

chegou a 70%, índice superior aos 58,26% tratando-se de Brasil (ABRELPE, 2013). Os dados podem ser observados no Gráfico 1.

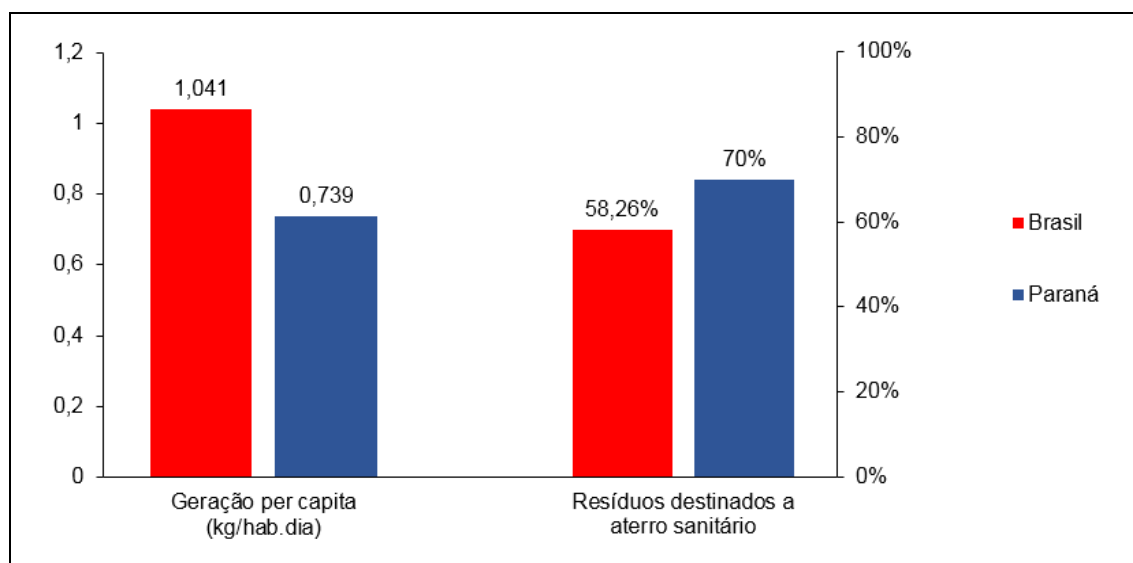


Gráfico 1 - Geração per capita e porcentagem de resíduos destinados a aterro sanitário no Brasil e no Paraná

Fonte: Adaptado de ABRELPE (2013).

Conforme o Plano de Gestão Integrada de Resíduos da Unidade da Ceasa de Maringá (2012), o Paraná é um estado que possui destaque no cenário agropecuário nacional. A atividade agropecuária é responsável pela geração dos chamados resíduos agrossilvopastoris.

De acordo com a Lei nº 12305 (2010), que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, os resíduos agrossilvopastoris são os resíduos “gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades”.

O constante crescimento do setor agropecuário no Brasil indica que a geração dos resíduos agrossilvopastoris também aumentará e o seu manejo, tratamento e disposição devem ser adequados, uma vez que estas atividades apresentam grande dependência de recursos naturais (MMA, 2012).

O Plano de Gestão Integrada de Resíduos da Unidade da Ceasa de Maringá (2012) informa que os resíduos agrossilvopastoris podem ser recicláveis, compostáveis ou indesejáveis. Os primeiros são os possíveis de reutilização; os

compostáveis podem transformar-se em adubo orgânico; e os indesejáveis são os que não apresentam nenhuma utilização.

3.2 PRODUÇÃO DE MILHO NO BRASIL

Segundo Peixoto (2014), o milho é o cereal mais produzido no mundo, com aproximadamente 960 milhões de toneladas. O Brasil é o terceiro maior produtor e o segundo maior exportador mundial de milho, atingindo em 2013 a produção de 82 milhões de toneladas, com uma área cultivada de 15,12 milhões de ha. Brasil, Estados Unidos, China e Argentina são responsáveis por 70% da produção mundial.

Na última safra de 2013, o Brasil alcançou uma produtividade média de milho de 5.400 kg.ha⁻¹; aumentou-se a área de plantio em 30% e a produção em mais de 200% em relação ao último ano. A adoção de tecnologia, como sementes melhoradas (híbridas), plantio direto e outras práticas de manejo, foi responsável pelo aumento da produtividade nestes últimos anos. Esse aumento da produtividade, consequentemente, contribui para a sustentabilidade, pois se a produtividade aumenta não há necessidade de aumentar a área de plantio para produzir-se mais (PEIXOTO, 2014).

O cultivo de milho no Brasil é realizado em duas épocas, a safra e a safrinha. Na safra o plantio ocorre entre setembro e novembro e a colheita acontece entre fevereiro e maio, enquanto que o plantio da safrinha se inicia logo após a colheita da safra, entre fevereiro e abril, e a colheita entre junho e agosto (CIB, 2006).

Segundo a SEAB (2013), o Paraná destaca-se como o segundo maior produtor de milho do País, correspondendo a 22% da produção total nacional de 2013, ficando atrás do Mato Grosso, responsável por 25%. A produção obtida no estado em 2013 foi de 17,45 milhões de toneladas, a maior até o momento.

O grão do milho pode ser transformado em óleo, farinha, amido, margarina, entre outros, mas o principal destino da safra são as indústrias de rações para animais. Mais de 60% da alimentação de bovinos, suínos e aves são provenientes desse cereal (CIB, 2006).

3.2.1 Silagem

Além da colheita do grão, o milho pode ser plantado para produção de silagem. A silagem é:

O produto resultante da fermentação, realizada por bactérias, de forragens em processo de anaerobiose, acondicionadas em silos. Este processo de produção de silagem denomina-se ensilagem e quando feito adequadamente, seu valor nutritivo é semelhante ao da forragem verde (MELDAU, 2014).

Na Figura 1 observa-se a forragem de milho recém preparada, pronta para o processo de ensilagem, onde ocorrerá a sua transformação em silagem.



Figura 1 - Forragem de milho pronta para o processo de ensilagem
Fonte: Meldau (2014).

Conforme Pereira (2013), dados apresentados pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento revelam que cerca de 15% da área total do cultivo de milho no Brasil destina-se à produção de silagem, um equivalente à aproximadamente 2,25 milhões de hectares.

Segundo Mello e Nörnberg (2004), a silagem é o principal alimento utilizado para bovinos confinados, de corte e de leite, assim como para a suplementação de pastagens quando estas não apresentam boas condições.

O milho é a planta mais utilizada para produção de silagem, pois apresenta ótimas características para tal, como “alto rendimento, boa qualidade, facilidade de fermentação no silo e boa adaptação a vários climas e regiões do Brasil” (LOPES, 2009).

De acordo com Cruz, Filho e Neto (2014), dos 498 cultivares de milho (incluindo transgênicos) disponíveis no mercado brasileiro, 104 são indicados para produção de silagem, cada qual com suas vantagens. Mas pode-se afirmar que essa característica se generalizou pela alta qualidade do milho como planta forrageira, até porque somente a não indicação para silagem não impede o uso da planta para tal.

A produção de silagem proporciona a alimentação de um maior número de animais por espaço, possibilita um grande armazenamento de alimento em pouco espaço, maximiza ou mantém a produção de carne ou leite (principalmente em épocas de estiagem) e permite manter animais bem nutridos em confinamento e ofertá-los assim que o preço estiver em alta (MELDAU, 2014).

3.2.1.1 Geração de resíduos oriundos das perdas de silagem

Há várias perdas nas etapas de produção e manuseio da silagem e boa parte delas podem ser reduzidas consideravelmente adotando-se boas práticas.

Segundo Filho (2011), uma primeira medida que pode ser tomada para reduzir perdas é saber a hora certa de produzir a silagem. Conforme o milho vai crescendo sua porcentagem de água vai diminuindo e sua matéria seca vai aumentando. O corte precoce do milho aumenta a quantidade de água que irá para o silo, o que pode alterar o processo fermentativo e causar apodrecimento. Já o corte tardio da planta aumenta o teor de matéria seca, prejudicando a compactação e, por consequência, favorecendo a entrada de ar. O corte precoce ou tardio pode também alterar a qualidade da silagem, fazendo com que os animais refuguem a mesma, causando perdas na etapa de alimentação dos animais.

A silagem deve ser composta por partículas pequenas para uma boa compactação no silo e para diminuir o desperdício de grandes partículas que os animais não conseguem ingerir. Desta forma, recomenda-se a manutenção frequente das máquinas de corte (FILHO, 2011).

Como dito, na produção da silagem há fermentação, como este é um processo anaeróbico, torna-se indesejável a presença de oxigênio, pois esse elemento causa perdas por apodrecimento.

O fechamento do silo deve ser realizado o mais rápido possível, pois assim diminui-se o tempo de contato com o ar, causando menos perda, além do material estabilizar-se mais rápido. Além de rápida, a vedação deve ser correta, buscando evitar-se qualquer entrada de ar e umidade, pois estas afetam o processo de ensilagem e podem alterar a qualidade da silagem. O material mais utilizado para este fim são lonas plásticas (MARI; NUSSIO, 2004).

A retirada de silagem do silo também pode influenciar nas perdas. Ao abrir-se o silo é impossível que a silagem não entre em contato com ar, interrompendo assim, o meio anaeróbico. Este é outro motivo para boa compactação, pois perdas podem ser reduzidas com uma menor infiltração de ar (LIMA; CUNHA, 2006).

Outros cuidados que devem ser tomados são o controle da alimentação dos animais para reduzir as sobras de silagem e a atenção no transporte do alimento, entre a lavoura e o silo e entre o silo e os coxos, para haver o mínimo possível de derramamento no percurso (FILHO, 2011).

Conforme Lima e Cunha (2006), as características do acondicionamento da silagem também podem influenciar nas perdas. Quando o material é disposto diretamente no solo, em valas ou superficialmente, não é possível coletar toda a fração deste, uma vez que certa quantidade se mistura com o solo. Isso não acontece quando se armazena a silagem em silos de alvenaria, onde é possível realizar a varrição do material.

Na Figura 2 compara-se um silo de alvenaria com a disposição do material em solo, sendo possível verificar a diferença nas perdas de silagem.



Figura 2 – Silo de alvenaria (a) e armazenamento da silagem direto no solo (b)
Fonte: Filho (2011); Mari; Nussio (2004).

A composição média dos resíduos de silagem de milho é de 60,40% de matéria orgânica; 33,54% de carbono e 1,29% de nitrogênio (KONZEN, 1997), resultando uma relação C/N próximo a 26. Porém, estes valores podem variar de acordo com a espécie e tempo de corte do milho.

3.3 BOVINOCULTURA NO BRASIL

Em 2012, o número de bovinos no Brasil foi de 211,279 milhões, ocupando a segunda posição no *ranking* mundial, perdendo apenas para a Índia. O rebanho bovino brasileiro proporciona o desenvolvimento de dois segmentos lucrativos: gado de corte e leiteiro (IBGE, 2013).

Na produção de carne bovina o Brasil ficou em segundo lugar em 2012, atrás apenas dos Estados Unidos (IBGE, 2013) e na exportação do produto é líder desde 2004, segundo o Ministério da Agricultura (2014).

Na produção de leite o Brasil também se destaca. Conforme aponta a Secretaria de Estado de Agricultura, Abastecimento e Pecuária de Minas Gerais (2013), a produção leiteira foi de 32,38 bilhões de litros no ano de 2012, atingindo o posto de quinto maior produtor mundial.

Segundo o IBGE (2013), o estado do Paraná foi responsável por 4,5% da bovinocultura brasileira, atingindo um efetivo de bovinos de aproximadamente 9,414

milhões de animais, levando o estado a ser o décimo maior criador de gado nacional.

3.3.1 Geração de Dejeto Bovino

O grande problema ambiental relacionado à criação de bovinos é a geração de dejetos. Segundo Paulleti (2004) *apud* Nogueira et al. (2013), a quantidade de dejetos produzidos por dia por bovinos, em média, é de 23,5 kg.

A composição média aproximada desse dejetos é de 54,81% de matéria orgânica; 30,45% de carbono e 2,03% de nitrogênio (KONZEN, 1997), apresentando uma relação C/N próximo a 15. Já Kiehl (1985) afirma que essa relação está em torno de 20. Essa variação ocorre porque o dejetos está relacionado com a quantidade e qualidade da alimentação do animal.

O problema dessa geração se agrava quando se trata de criação de bovinos em confinamento, visto que a geração de grandes volumes de dejetos se dá em uma pequena área, proporcionando um maior impacto pontual (ORRICO et al., 2012 *apud* LORIN, 2014).

Os dejetos apresentam nutrientes variados, dependentes da qualidade e quantidade do alimento ingerido pelos animais. Para Simas e Nussio (2001) *apud* Assenheimer (2007), esses nutrientes têm chamado muito a atenção do governo e da pesquisa, visando sua utilização como adubo orgânico, por dois principais motivos: custo elevado dos fertilizantes químicos, prejudicando economicamente alguns pequenos produtores, e a exigência de uma agricultura sustentável, auxiliando a redução da poluição ambiental e dos custos.

3.4 TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

De acordo com a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (2010), o tratamento é apenas a quinta ordem de prioridade na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, antecedido pela não geração, redução, reutilização e reciclagem,

nesta ordem. Após estas cinco prioridades resta apenas a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

Segundo Gomes (2003), o tratamento é “qualquer processo que altere as características, composição ou propriedades do resíduo, de maneira a tornar menos impactante sua disposição final no solo ou simplesmente sua destruição”.

As formas de tratamento podem ser separadas em três grupos: tratamento mecânico, térmico e bioquímico. O tratamento mecânico caracteriza-se pela ausência de reações químicas, os mesmos ocorrem com o objetivo de separar ou alterar o tamanho físico dos resíduos; é o caso da reciclagem. No tratamento térmico os resíduos recebem grande quantidade de energia em forma de calor; um exemplo é a incineração. O tratamento bioquímico ocorre através da ação de seres vivos que realizam a quebra das moléculas grandes dos resíduos transformando-as em uma mistura de substâncias e moléculas menores; a compostagem é um exemplo (PRS, 2013).

A escolha do melhor tratamento necessita de um conhecimento mais específico da composição e das características dos resíduos. Torna-se imprescindível a caracterização destes resíduos, da quantidade a ser manejada, do local utilizado para o processo e das peculiaridades ambientais onde o resíduo tratado será enviado ou disposto. É necessária atenção durante o tratamento, para evitar-se: a mistura de materiais e consequentes reações indesejadas, a liberação de materiais tóxicos ou gases inflamáveis e a possibilidade de incêndios ou explosões (GOMES, 2003).

Como já mencionado, a geração de resíduos agrossilvopastoris no Brasil é significativa e só tende a crescer, de acordo com o desenvolvimento agropecuário nacional. Quando estes resíduos são dispostos diretamente no solo, sem tratamento prévio, “constituem-se em fonte de contaminação e agressão ao meio ambiente, especialmente quando direcionados para os mananciais hídricos” (KONZEN, 1999).

Dentre os possíveis problemas que podem ocorrer com o solo, citam-se:

A contaminação com organismos patogênicos (fungos, bactérias, vírus e helmintos), a imobilização de N decorrente da elevada relação C/N de alguns materiais, as possíveis alterações no pH do solo decorrentes da elevada acidez ou alcalinidade dos resíduos (CASTILHOS et al., 2008).

Para Lazcano, Brandón e Domínguez (2008), compostagem e vermicompostagem são dois dos mais conhecidos processos para a estabilização

biológica de resíduos orgânicos sólidos e, conforme Guse et al. (2012), ambos se tornam boas alternativas para tratamento dos resíduos agrossilvopastoris, proporcionando vantagens ambientais e econômicas. Ao mesmo tempo em que reduz a quantidade de despejo no meio ambiente, o uso do composto como adubo orgânico substitui o uso de fertilizantes químicos, reduzindo custos para os produtores rurais.

3.4.1 Compostagem

Segundo Leal et al. (2013), “a compostagem de resíduos, subprodutos e outros materiais orgânicos, é um processo que pode atender plenamente a crescente demanda por fertilizantes orgânicos”.

A compostagem é um processo exotérmico aeróbico onde seres vivos (bactérias e fungos) transformam resíduos orgânicos em materiais relativamente estáveis (composto). Neste processo, há geração de gás carbônico, água (na forma de vapor) e energia; parte desta última é utilizada pelos seres vivos (crescimento e movimento) e a restante é liberada na forma de calor, por isso as pilhas de compostagem atingem altas temperaturas (KIEHL, 1985).

Diversos fatores interferem no processo de compostagem. Como o processo é aeróbico, a aeração é o fator mais importante a ser considerado, segundo Peixoto (1988) *apud* Valente et al. (2009), pois a ausência de oxigênio pode resultar em odores desagradáveis provenientes da degradação anaeróbia (gás sulfídrico). O reviramento do material é um procedimento comumente adotado para auxiliar na entrada de ar.

A relação C/N também deve ser verificada, pois os microrganismos necessitam de carbono, como fonte de energia, e de nitrogênio, para síntese de proteínas.

Teoricamente, a relação C/N inicial ótima do substrato deve se situar em torno de 30. Na realidade, constata-se que ela pode variar de 20 a 70 de acordo com a maior ou menor biodegradabilidade do substrato. Tanto a falta de nitrogênio quanto a falta de carbono limita a atividade microbiológica. Se a relação C/N for muito baixa pode ocorrer grande perda de nitrogênio pela volatilização da amônia. Se a relação C/N for muito elevada os microrganismos não encontrarão N suficiente para a síntese de proteínas e terão seu desenvolvimento limitado. Como resultado, o processo de

compostagem será mais lento. Independentemente da relação C/N inicial, no final da compostagem a relação C/N converge para um mesmo valor, entre 10 e 20, devido a perdas maiores de carbono que de nitrogênio, no desenvolvimento do processo (FERNANDES; SILVA, 2001).

Fernandes e Silva (2001) ainda afirmam que o pH está diretamente relacionado com a relação C/N; uma vez que esta estiver adequada o pH certamente não será um fator crítico da compostagem. De acordo com Rodrigues et al. (2006) apud Valente et al. (2009), a faixa ideal situa-se entre 5,5 e 8,5, pois os microrganismos desenvolvem-se bem, uma vez que a maior parte das enzimas se encontram ativas nessas condições.

A umidade é outro fator que deve ser levado em consideração, devendo estar entre 50% e 60%, pois índices menores podem impedir o desenvolvimento da atividade microbiológica e índices maiores podem ocasionar zonas de anaerobiose, pelo fato da água ocupar espaços que seriam preenchidos por oxigênio (SBIZZARO, 2013).

Outro parâmetro que deve ser acompanhado é a temperatura, que deve ficar entre 45 e 65 °C para não decair a atividade microbiológica (FERNANDES; SILVA, 2001). Muitos pesquisadores consideram a temperatura como principal parâmetro indicador da eficiência do processo porque está relacionada diretamente com a atividade metabólica dos microrganismos.

Segundo Cariello et al. (2007), a duração da compostagem é variável por causa dos diversos fatores já citados, mas gira em torno de 170 dias. Esse tempo também é influenciado pelo tamanho das partículas do substrato, pois quanto menor forem maior será a área superficial em contato com os microrganismos, acelerando, conseqüentemente, o processo.

Conforme Leal et al. (2013), “o processo de compostagem geralmente requer a mistura de material com elevada relação C/N, como palhadas diversas e serragem, com material rico em nitrogênio, caso de esterco”. Para obter-se adubos orgânicos e substratos vantajosos economicamente, a compostagem deve estar relacionada ao uso de matérias primas abundantes, de baixo custo e menores níveis de contaminação possíveis (LEAL et al., 2007 apud LEAL et al., 2013). Dessa forma, os resíduos de silagem e o esterco bovino apresentam grande potencial para matéria prima de compostagem.

O composto resultante do processo caracteriza-se como um excelente fertilizante orgânico para o solo devido à presença de húmus e minerais, livre de organismos patogênicos, e com odor estabilizado (SANCHUK et al., 2011).

3.4.2 Vermicompostagem

Conforme Veras e Povinelli (2004), a vermicompostagem é um processo aeróbio de decomposição, variante da tecnologia da compostagem. Neste processo, o diferencial é a utilização de minhocas para produção de composto orgânico, o qual é formado por matéria orgânica humificada e excrementos de minhoca (coprólitos).

As minhocas são responsáveis pelo revolvimento, aeração e trituração dos substratos utilizados, mas estes processos são puramente mecânicos. A etapa bioquímica do processo consiste na decomposição da matéria orgânica realizada pelos microrganismos presentes no intestino das minhocas (SILVA; LANDGRAF; REZENDE, 2011).

De acordo com estudos realizados, esta técnica demanda pouca energia e apresenta uma estabilização mais rápida do material orgânico quando comparado a técnica de compostagem, além de fornecer um produto com maior capacidade de troca iônica, com maior quantidade de substâncias húmicas e mais estabilizado, principalmente quanto a relação C/N e pH (TIBAU, 1984 *apud* CASTILHOS et al., 2008 e ALBANELL; PLAIXATS; CABRERO, 1988).

“A vermicompostagem é rápida e eficiente quanto à humificação de compostos orgânicos, devido ao procedimento de digestão da minhoca, resultando em um produto com alto grau de degradação e estabilização” (LANDGRAF; MESSIAS; REZENDE, 2005).

A atenção deve estar voltada para a conexão dos processos de compostagem e vermicompostagem objetivando-se a otimização do aproveitamento da matéria orgânica, pois os dois processos apresentam um baixo custo e ambos apresentam compostos ricos em nutrientes (LOUREIRO et al., 2007).

3.4.2.1 Minhocas

As minhocas possuem corpo cilíndrico e alongado, recoberto por anéis que auxiliam na locomoção, apresentam respiração cutânea e podem viver até cinco anos. Estes animais pertencem ao filo Annelida, classe Oligochaeta, ordem Haplotaxida e família Lumbricidae. Atualmente são conhecidas cerca de 4500 espécies, sendo que 300 podem ser encontradas no Brasil (ARAGUAIA, 2014).

Estes animais são hermafroditas, pois cada indivíduo possui órgão reprodutor masculino e feminino, mas para a reprodução é necessário a troca de gametas entre dois indivíduos, pois não há autofecundação. Após a troca de gametas as duas minhocas envolvidas são fecundadas (AQUINO; ALMEIDA; SILVA, 1992).

Segundo Macedo e Cruz (2010), as minhocas mais utilizadas na vermicompostagem são a *Eisenia fetida* e *Eisenia andrei*, popularmente chamadas Vermelha da Califórnia, e a *Eudrilus eugeniae*, mais conhecida como Gigante Africana ou Noturna Africana. Estas espécies são dependentes de uma alimentação rica em matéria orgânica, além de desenvolverem-se muito rápido e apresentarem acelerada proliferação.

A *Eisenia fetida* e a *Eisenia andrei* atingem cerca de 10 cm de comprimento e apresentam uma coloração vermelha escura e amarelada entre os segmentos. Já a *Eudrilus eugeniae*, que apresenta uma coloração vermelha mais amarronzada, pode passar dos 15 cm (AQUINO; DE-POLLI; ALMEIDA, 1994). Na Figura 3 observam-se as duas espécies mais utilizadas para a vermicompostagem



Figura 3 – *Eisenia andrei* (a) e *Eudrilus eugeniae* (b)
Fonte: Adaptado de Schiedeck (2010).

A reprodução das duas espécies também se diferencia, como informa Schiedeck (2010). No caso da *Eisenia fetida* e da *Eisenia andrei*, é colocado em média um casulo por minhoca adulta a cada dois ou três dias, que origina aproximadamente três indivíduos. A incubação dura entre 18 e 26 dias e a maturidade sexual é atingida de 28 a 30 dias após a eclosão. Já a *Eudrilus eugeniae* coloca em média um casulo a cada dois dias, originando cerca de dois indivíduos por casulo. Estes eclodem num período de 12 a 16 dias e, após o período de 40 a 49 dias da eclosão, os indivíduos atingem a maturidade sexual.

A maturidade sexual das minhocas é caracterizada pela existência do clitelo, uma espécie de cinta esbranquiçada, localizada em volta do seu corpo em 1/3 do seu comprimento (LOURENÇO; COELHO, 2010).

Conforme Aquino (2003), a preferência é pela *Eisenia fetida* ou *Eisenia andrei*, pois consome o equivalente ao seu peso em alimento por dia e adapta-se melhor em cativeiros, ao contrário da *Eudrilus eugeniae* que apresenta maior tendência a procurar novos ambientes. Além disso, essa preferência também se relaciona ao fato da grande distribuição da espécie pelo mundo, habitando naturalmente vários tipos de resíduos orgânicos (SCHIEDECK, 2010).

A *Eisenia fetida* e a *Eisenia andrei* acelera a decomposição porque contribui na aeração e homogeneização da matéria por proporcionar intenso revolvimento e também por causa dos processos químicos ocorrentes no seu trato digestivo (OLIVEIRA; COSTA; COSTA, 2008 *apud* SBIZZARO, 2013).

As duas espécies apresentam características distintas, mas de acordo com Aquino, De-Polli e Almeida (1994) “não há inconveniente na utilização dessas duas espécies no mesmo canteiro”.

3.4.2.2 Características da vermicompostagem

Para um bom desenvolvimento de processos envolvendo seres vivos, o meio deve estar adequado a sobrevivência e reprodução destes, o que requer um contínuo acompanhamento atencioso. As minhocas utilizadas para a vermicompostagem costumam fugir caso o ambiente não esteja adequado.

Assim como na compostagem, a relação C/N também é importante na vermicompostagem, pois o trabalho das minhocas e microrganismos depende dessa relação. As recomendações são as mesmas para o processo da compostagem.

Várias pesquisas já comprovaram que inúmeros materiais podem ser utilizados como substratos, mas o esterco bovino, segundo Antonioli, Steffen e Steffen (2009) é o principal material orgânico utilizado na vermicompostagem no Brasil, pois apresenta excelentes condições para a vermicompostagem. Aquino, Almeida e Silva (1992) recomendam, sempre que possível, utilizar o dejetos bovino como um dos substratos.

Outros materiais que já foram utilizados e apresentaram bons resultados são: esterco de cavalo, coelho e ovino, lixo domiciliar, lodo de lagoas de tratamento de efluentes industriais e de esgoto doméstico, papel, resíduos de atividades agrícolas, resíduos agroindustriais, como o bagaço de cana, entre outros.

A vermicompostagem beneficia o meio ambiente, pois apresenta uma adequada destinação dos resíduos utilizados, bem como a redução do volume do mesmo, já que o crescente descarte de resíduos vem sendo uma problemática no País. No entanto, a prática dessa atividade voltada para a problemática dos resíduos restringe-se a projetos de pesquisas em instituições de ensino (ANTONIOLLI; STEFFEN; STEFFEN, 2009).

Como as minhocas respiram através da pele deve-se ajustar o teor de umidade dos substratos, pois estes animais morrem caso sua pele fique seca. Ricci (1996) recomenda em seu manual da vermicompostagem uma faixa entre 50 e 70%, e ainda afirma que umidade em excesso diminui o nível de oxigênio no meio, prejudicando o processo que é aeróbio. O controle da umidade acelera a degradação dos compostos, reduz impactos ambientais relacionados ao processo e elimina organismos patogênicos (LELIS; FERREIRA, 1999 *apud* FORGERINI, 2012).

A temperatura deve ficar abaixo de 35 °C, pois temperaturas elevadas podem proporcionar a morte das minhocas rapidamente (EDWARDS, 1995 *apud* VERAS; POVINELLI, 2004). Os substratos não devem sofrer muita compactação, esse fenômeno pode prejudicar a atividade, pois causa resistência à aeração e, com isso, baixa oferta de oxigênio. Lorin (2014) afirma que, ao contrário da compostagem, no processo da vermicompostagem é necessário reduzir a altura das leiras para evitar a compactação (zonas anaeróbias), bem como altas temperaturas.

As minhocas toleram valores de pH entre 5 e 8, mas é preferível um pH razoavelmente ácido, de 5 a 6 (LOURENÇO, 2010). A Embrapa (2011) também recomenda um pH em torno de 7 para o meio.

O teor de salinidade, que pode ser prejudicial às minhocas, é avaliado por meio da condutividade elétrica. Lourenço (2010) recomenda que a condutividade deva estar abaixo de $2.500 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$.

A Embrapa (2011) afirma ser interessante, e por vezes necessário, o cobrimento da matéria orgânica durante o processo para preservar a umidade, evitar a incidência direta dos raios solares e impedir a fuga das minhocas. Essa cobertura pode ser realizada com restos de capina, folhas de bananeira, entre outros materiais. Deve-se evitar a proximidade dos predadores de minhoca, como aves diversas, sanguessugas e formigas.

De acordo com Aquino, Almeida e Silva (1992), para cada m^3 de material a ser vermicompostado recomenda-se o uso de 1.000 minhocas adultas. Seguindo esta recomendação, o vermicomposto estará estabilizado em aproximadamente 40 dias segundo os mesmos autores. Esse tempo pode variar, em função das características dos diversos materiais que podem ser vermicompostado.

Utilizando-se pequenos reatores, para fins de pesquisas, comumente aumenta-se o número de minhocas para acelerar o processo. Veras e Povinelli (2004) obtiveram bons resultados na vermicompostagem de lodo de lagos de tratamento de efluentes industriais com composto de lixo urbano utilizando uma proporção de aproximadamente 3.500 minhocas/ m^3 .

Jiménez e Garcia (1992) concluem que uma relação C/N menor que 12 é mais apropriada para garantir uma boa maturidade dos compostos, embora resultados abaixo de 20 já sejam comumente aceitáveis.

Outro meio, mais prático, de avaliar se o material está pronto é através da observação visual. A constatação de pequenas partículas formadas, como se o material estivesse peneirado, indica que ele foi totalmente trabalhado pelas minhocas (AQUINO; ALMEIDA; SILVA, 1992).

Muitos parâmetros já foram sugeridos e empregados como indicadores da estabilidade dos substratos por diversos autores, mas não é fácil descobrir essa estabilidade fazendo uso de apenas um parâmetro. Neste sentido, uma abordagem integrada é recomendada para uma determinação mais precisa (LAZCANO; BRANDÓN; DOMÍNGUEZ, 2008).

Para separar as minhocas do composto há três métodos, conforme indica a Embrapa (2011). O primeiro é a separação manual; método fácil, porém exaustivo. Outra maneira é a chamada separação com iscas, onde sacos de rafia com esterco fresco são colocados sobre o material já estabilizado com o intuito de atrair as minhocas. O terceiro método é o peneiramento, caracterizado pela grande eficiência, porém também exaustivo.

O produto final da vermicompostagem é chamado de vermicomposto ou húmus de minhoca. Conforme a Embrapa (2011), o vermicomposto deverá ser utilizado em até seis meses, após este prazo o produto vai perdendo nutrientes.

Fernandes e Silva (2001) afirmam que o composto não deve ser utilizado como um substituto do adubo mineral, mas sim como um condicionador de solos. De acordo com a Embrapa (2011), tal material, quando disposto no solo, proporciona melhorias físicas (melhor estruturação e formação de agregados), químicas (oferta, melhor retenção e ciclagem de nutrientes) e biológicas (aumento da diversidade de organismos benéficos ao solo).

Segundo Ricci (1996), o vermicomposto pode ser utilizado na floricultura e paisagismo, horticultura, fruticulturas, projetos de recuperação de áreas degradadas e projetos de reflorestamento. A Figura 4 ilustra a textura do produto final da vermicompostagem.



Figura 4 – Húmus de minhoca ou vermicomposto
Fonte: Ricci (1996).

A grande produção de biomassa de minhocas, devido à característica de elevada reprodução, também pode ser aproveitada. Este produto pode ser destinado à complementação de rações animais (devido ao alto valor proteico), pesca esportiva e venda de matrizes para início de novas atividades de vermicompostagem. Na China e no Japão a indústria farmacêutica também já explora este produto visando produção de medicamentos (EMBRAPA, 2011).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E QUANTIFICAÇÃO DE RESÍDUOS

Os dejetos bovinos e os resíduos de silagem, utilizados como substratos na vermicompostagem, foram coletados em uma propriedade rural localizada no município de Medianeira, Paraná, a $25^{\circ}13'26,2''$ sul e $54^{\circ}06'39,9''$ oeste. Na Figura 5 destaca-se a localização do município de Medianeira e a vista aérea da propriedade rural.

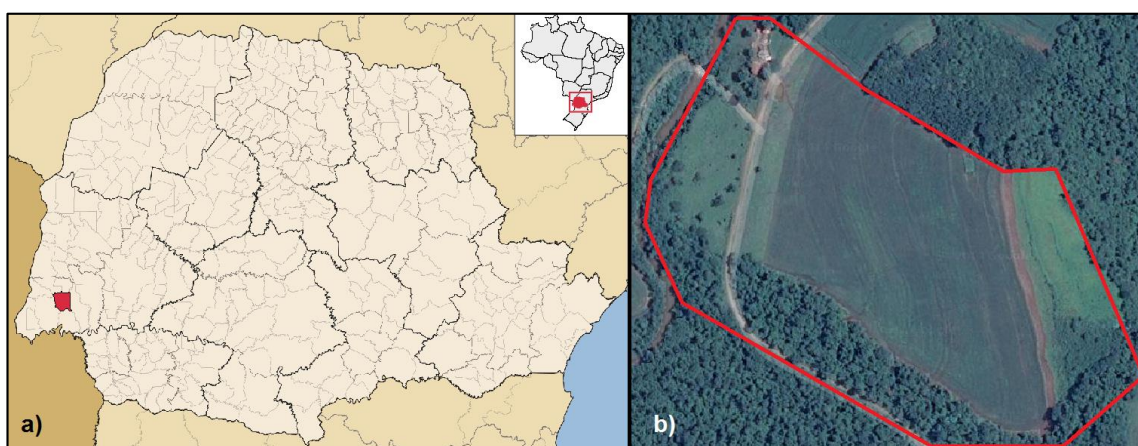


Figura 5 – Localização do município de Medianeira (a) e vista aérea da propriedade (b)
Fonte: Spring (2015); Adaptado de Google Maps (2015).

Na propriedade rural, que possui uma área total de 9,6 ha, cultivam-se duas safras de milho por ano (safra e safrinha), ambas destinadas a produção de silagem. Essa silagem é utilizada como suplemento alimentar do rebanho de gado da propriedade, criado em semiconfinamento.

O rebanho de gado, composto por 15 cabeças, é responsável por uma geração aproximada de 352,5 kg de dejetos por dia. Nem toda esta fração está disponível para coleta, pois os animais permanecem confinados somente 6 horas

por dia. O dejetos utilizado na vermicompostagem foi coletado na pastagem, portanto não se caracteriza como dejetos fresco.

Já a geração diária de resíduos de silagem gira em torno de 8,5 kg. Vale lembrar que esta quantidade se refere aos resíduos de silagem gerados somente após a abertura do silo, os quais foram utilizados na vermicompostagem.

4.2 IMPLANTAÇÃO DA VERMICOMPOSTAGEM

Para o experimento utilizou-se minhocas da espécie *Eisenia andrei*, provenientes de pesquisas desenvolvidas na Universidade Estadual do Oeste do Paraná, campus Cascavel, e vermicomposteiras de madeira construídas com 40 cm de comprimento, 30 cm de largura e 15 cm de altura (Figura 6), totalizando um volume de 18 L.

O fundo das vermicomposteiras foi revestido com tela de polietileno com abertura de 1 mm, com o objetivo de sustentar o material sem impedir a aeração.

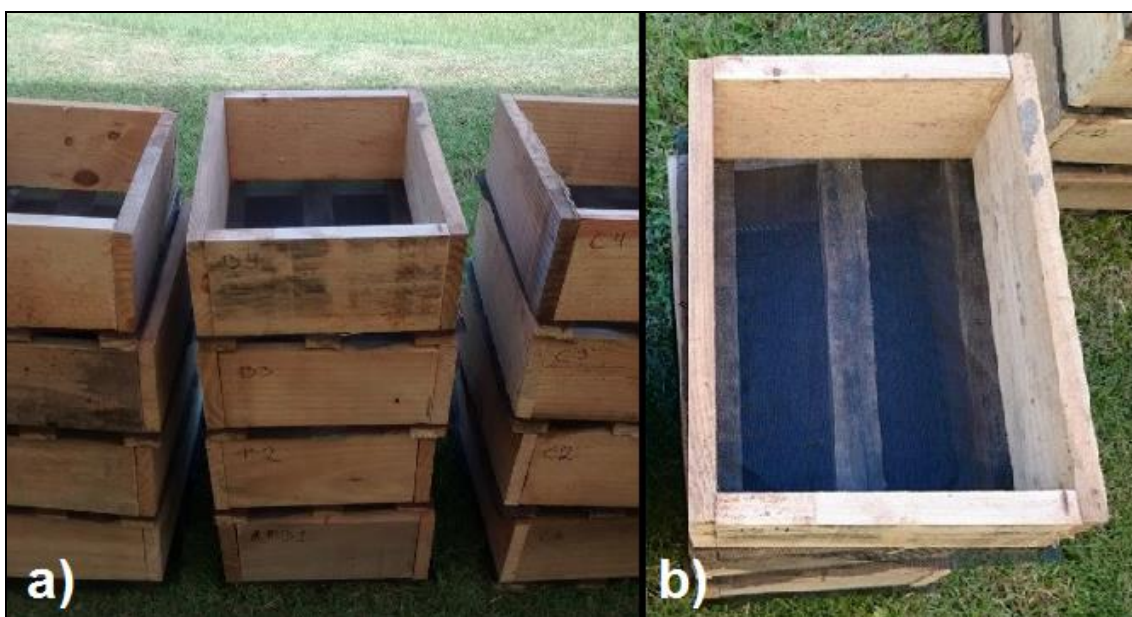


Figura 6 – Vermicomposteiras utilizadas (a) e detalhe do revestimento no fundo (b)

Com o objetivo de verificar a adequabilidade dos materiais para sobrevivência e reprodução das minhocas, primeiramente realizou-se um sistema piloto. Em uma vermicomposteira foram adicionados 8 L de substrato (50% de dejetos bovinos e 50% de resíduo de silagem), medidos com o auxílio de um béquer graduado, onde foram introduzidas 20 minhocas adultas (presença visível de clitelo).

Após 40 dias de teste foram encontradas 748 minhocas, entre jovens e adultas, e mais 156 casulos. Concluiu-se, portanto, que o material era adequado para sobrevivência e reprodução das minhocas e, com isso, deu-se continuidade ao experimento.

Os dois materiais utilizados foram caracterizados no início do processo quanto a pH, condutividade elétrica (CE), densidade, granulometria, umidade, sólidos totais (ST), sólidos fixos (SF), sólidos voláteis (SV), carbono orgânico total (COT), nitrogênio total kjedahl (NTK) e relação C/N. As metodologias utilizadas para estas caracterizações são descritas mais adiante.

Foram testados 5 tratamentos com 4 repetições cada, totalizando 20 unidades experimentais. Para todos os tratamentos foram utilizados 8 L de substrato em cada vermicomposteira, variando entre si a porcentagem de dejetos bovinos e resíduo de silagem. Essa relação é indicada no Quadro 1.

Tratamentos	Dejeto bovino (L)	Resíduo de silagem (L)	Relação dejetos/silagem (%)
A	7,2	0,8	90 / 10
B	5,6	2,4	70 / 30
C	4,0	4,0	50 / 50
D	2,4	5,6	30 / 70
E	0,8	7,2	10 / 90

Quadro 1 - Caracterização dos tratamentos

Na Figura 7 observam-se os dois materiais (dejetos bovinos e resíduos de silagem) prontos para preparação dos tratamentos e preenchimento das vermicomposteiras, além das minhocas adultas separadas para o processo.



Figura 7 – Resíduos de silagem (a), dejetos bovinos (b) e minhocas *Eusenia andrei* separadas para a vermicompostagem (c)

Após o preenchimento das vermicomposteiras foram introduzidas nas mesmas, assim como no teste, 20 minhocas adultas. Essa quantidade de indivíduos foi estabelecida de acordo com a média aproximada das indicações e pesquisas de Aquino, Almeida e Silva (1992) e Veras e Povinelli (2004), citadas na fundamentação, considerando-se o volume de substrato utilizado. A duração do processo também foi baseada nas informações da fundamentação, indicada por Aquino, Almeida e Silva (1992), sendo adotado um tempo de 45 dias.

As vermicomposteiras foram acondicionadas no Laboratório de Solos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *campus* Medianeira, visando sua proteção contra precipitações e incidência solar.

Assim como os dois substratos utilizados, o material de cada tratamento foi caracterizado no início do processo quanto aos mesmos parâmetros químicos e físico-químicos. As análises foram realizadas em triplicata e continuaram no decorrer dos dias de acordo com a frequência estabelecida no Quadro 2.

Parâmetros	Frequência
Temperatura	Diária (primeira semana)
	Semanal (após primeira semana)
pH	Semanal
CE	Semanal
Densidade	Semanal
Granulometria	Início/fim
Umidade	Semanal
ST	Início/fim
SF	Início/fim
SV	Início/fim
COT	Início/fim
NTK	Início/fim
C/N	Início/fim

Quadro 2 – Frequência das análises realizadas

A temperatura foi aferida com termômetros de mercúrio, da marca Incoterm, em três pontos distintos nas vermicomposteiras, seguindo-se um sentido diagonal, como indicado na Figura 8. Na primeira semana houve um controle diário para avaliar se haveria significativa variação. Como a mesma não foi evidenciada, a medição passou a ser realizada semanalmente.



Figura 8 – Termômetros de mercúrio utilizados (a) e demonstração da aferição de temperatura nas vermicomposteiras (b)

Para determinação do pH e CE seguiu-se a metodologia proposta por Tedesco et al. (1995). Preparou-se um extrato aquoso com 20 g de amostra e 180 mL de água destilada. Cada amostra foi agitada por 5 minutos e após 15 minutos de repouso retirou-se uma quantidade do sobrenadante para as leituras. Para o pH utilizou-se o pHmetro da marca Hanna e para a CE utilizou-se o condutivímetro de bancada da marca Ion. Na Figura 9 ilustra-se este processo.



Figura 9 – Amostra sendo agitada (a), aferição do pH (b) e aferição da condutividade elétrica (c)

A metodologia descrita por APHA (2005) foi seguida para determinação da umidade, ST, SF e SV. Utilizou-se para este procedimento 10 g de amostra (aproximadamente), os quais foram levados para estufa à 105 °C, para

determinação de umidade e ST. Por fim, as amostras foram encaminhadas à mufla (550 °C) para determinação dos SF e SV. Na Figura 10 são ilustradas estas etapas.



Figura 10 - Amostras na estufa (a) e amostras na mufla (b)

O teor de COT pode ser obtido indiretamente, através da porcentagem de SV, conforme Kiehl (1998). A relação é demonstrada na equação abaixo.

$$COT (\%) = \frac{SV(\%)}{1,8}$$

Para determinação de NTK utilizou-se a metodologia descrita por Malavolta et al. (1997). Colocou-se 0,2 g de cada amostra em tubos de ensaio juntamente com 3 mL de ácido sulfúrico (H_2SO_4) e 0,7 g de mistura digestora. Este procedimento compõe-se de 3 etapas: digestão, destilação e titulação.

Na etapa de digestão os tubos foram aquecidos a 350 °C em um bloco digestor da marca Brastec. Na destilação, utilizando-se um destilador de nitrogênio da marca Tecnal, adicionou-se em cada tubo 10 mL de hidróxido de sódio ($NaOH$ 10 mols L^{-1}); o material resultante da destilação foi recolhido em ácido bórico (H_3BO_3). Por fim, titulou-se as amostras com ácido sulfúrico (H_2SO_4 0,025 mol L^{-1}), com o auxílio de um titulador da marca Jencons. O teor de NTK é obtido através da seguinte equação.

$$NTK (\%) = \frac{(V_{tit} - V_{bra}) * 700 * \left(\frac{1}{P}\right)}{10.000}$$

Onde:

V_{tit} = Volume titulado para a amostra (mL)

V_{bra} = Volume titulado para o branco (mL)

P = peso da amostra (g)

Observa-se na Figura 11 as etapas do procedimento para determinação do teor de NTK das amostras.

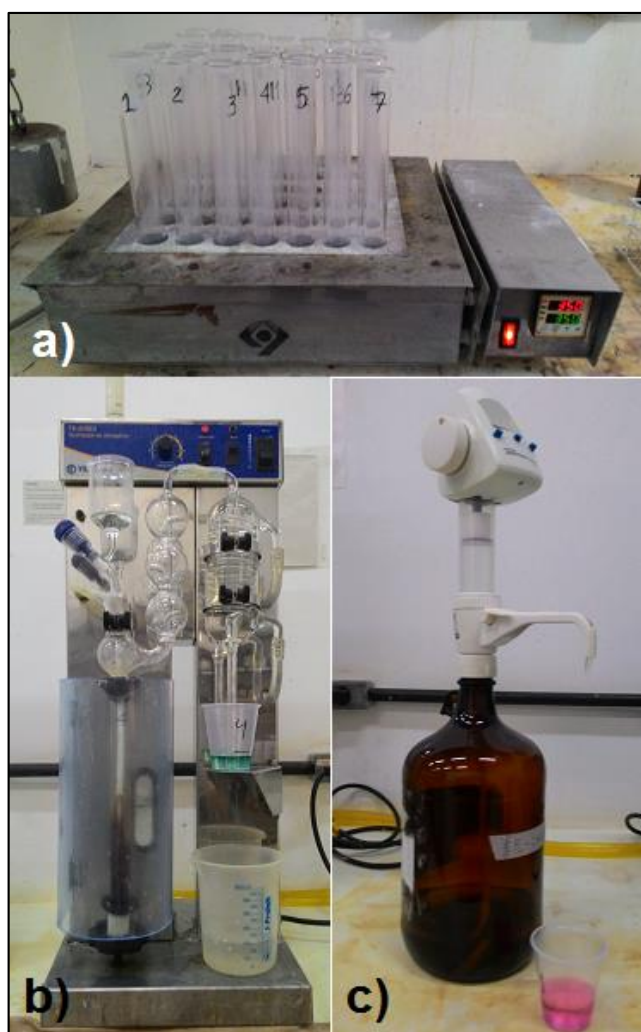


Figura 11 – Etapas de digestão (a), destilação (b) e titulação (c)

A análise da granulometria foi realizada com objetivo de comparar a composição granulométrica inicial e final do vermicomposto. Para tal, utilizou-se 20 g de amostra, um agitador de peneiras da marca Bertel e 6 peneiras com os respectivos números de Mesh: 12, 18, 20, 35, 60 e 140. Para cada amostra adotou-se uma intensidade de agitação nível 8, de acordo com o aparelho, por um tempo de 10 minutos. O material retido em cada peneira foi pesado e assim obteve-se a composição granulométrica. Na Figura 12 é ilustrado o equipamento utilizado para este procedimento.



Figura 12 – Agitador de peneiras para determinação da granulometria

4.3 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DOS TRATAMENTOS

Os tratamentos foram avaliados de acordo com a relação C/N e número de minhocas final, transcorridos os 45 dias. A contagem de minhocas realizou-se manualmente, após despejo do vermicomposto sobre uma superfície.

Os resultados foram comparados através do modelo estatístico de Fisher, ao nível de 5%, com o objetivo de analisar se houve diferença significativa entre os tratamentos, possibilitando, assim, a verificação da mistura mais vantajosa para a prática da vermicompostagem.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CARACTERIZAÇÃO DOS SUBSTRATOS E TRATAMENTOS

No Quadro 3 observa-se a caracterização química e físico-química do dejetos bovino, do resíduo de silagem e dos tratamentos no início do processo de vermicompostagem.

Parâmetro	Dejeto bovino	Resíduo de silagem	Tratamentos				
			A	B	C	D	E
pH	9,02	8,57	8,35	8,26	8,35	7,86	7,30
CE ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	499,00	1482,00	519,00	577,00	707,00	744,00	1074,00
Densidade ($\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	550,12	227,57	637,71	534,33	449,84	322,48	244,24
Umidade (%)	46,33	47,03	55,37	49,39	54,76	48,95	46,87
ST (%)	53,67	52,97	44,63	50,61	45,24	51,05	53,13
SF (%)	70,31	40,81	75,87	58,46	50,04	46,22	34,35
SV (%)	29,69	59,19	24,13	41,54	49,96	53,78	65,65
COT (%)	16,49	32,88	13,41	23,08	27,76	29,88	36,47
NTK (%)	0,85	1,73	0,86	1,22	1,17	1,49	1,52
C/N	19,39	19,05	15,68	18,98	23,72	20,00	23,92

Quadro 3 - Caracterização dos substratos e tratamentos testados

Considerando um pH ideal entre 5 e 8 para a adaptação das minhocas, indicado por Lourenço (2010), observa-se que todos os tratamentos ficaram dentro ou próximo a essa faixa. Os valores foram aumentando do tratamento E para o A, uma vez que o dejetos apresentou pH superior ao resíduo de silagem. O mesmo aconteceu para os valores de densidade.

Já a CE, que foi maior no resíduo de silagem do que no dejetos, conseqüentemente, aumentou do tratamento A para o E. Nota-se também que o limite ideal para o desenvolvimento das minhocas, de acordo com Lourenço (2010), não foi ultrapassado em nenhum dos tratamentos.

A umidade nos tratamentos B, D e E, inicialmente, não estavam apropriados para as minhocas, conforme o indicado por Ricci (1996), pois apresentaram resultados abaixo dos 50%, diferentemente dos demais. Todos os valores foram corrigidos, pois os materiais eram regados, e mantidos dentro da faixa ideal recomendada, no decorrer do experimento.

Os resultados para SV, COT e NTK, referentes ao dejetos bovino, ficaram abaixo dos valores obtidos por Konzen (1997). Presume-se que o material já estava em processo de degradação natural no momento em que foi coletado, já que este não era fresco. Este fato é reforçado pela baixa relação C/N, pois valores abaixo de 20 indicam a maturidade do material, conforme afirmam Fernandes e Silva (2001) e Jiménez e Garcia (1992).

Os valores obtidos de SV e COT para os resíduos de silagem foram semelhantes aos valores indicados por Konzen (1997). Porém a porcentagem de NTK foi relativamente superior, o que, conseqüentemente, fez a relação C/N diminuir. Conforme o mesmo autor, esses valores podem variar de acordo com a espécie da planta e tempo de corte.

O teor de SV inicial aumentou do tratamento A para o E, pois aumentou também a porção de resíduos de silagem, e estes apresentaram um teor de matéria orgânica maior do que o dejetos bovino. Análogo aos resultados para SV estão os valores para COT e NTK.

5.2 TEMPERATURA

Os valores médios obtidos durante a medição da temperatura nas vermicomposteiras são ilustrados no Gráfico 2.

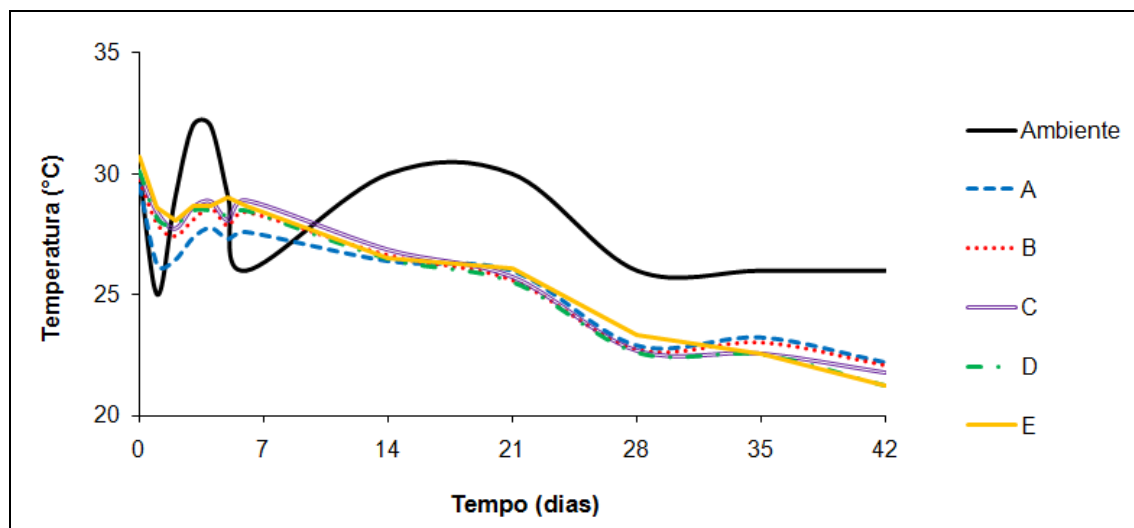


Gráfico 2 – Temperatura média nas vermicomposteiras ao longo do tempo

A temperatura média não ultrapassou 35 °C, limite este que seria prejudicial às minhocas segundo Edwards (1995) *apud* Veras e Povinelli (2004). O comportamento foi semelhante para todos os tratamentos e as variações podem ter ocorrido pela influência da temperatura ambiente.

Além de não causar a morte das minhocas, supostamente, a temperatura abaixo dos 35 °C não favoreceu a degradação pelo processo de compostagem, pois a mesma ocorre em temperaturas mais elevadas (FERNANDES; SILVA, 2001). Portanto, presume-se que todo o processo de degradação resultou do processo de vermicompostagem.

As temperaturas das repetições durante o experimento estão demonstradas no Apêndice A.

5.3 pH

No Gráfico 3 são indicados os valores médios obtidos nas análises semanais de pH durante o experimento.

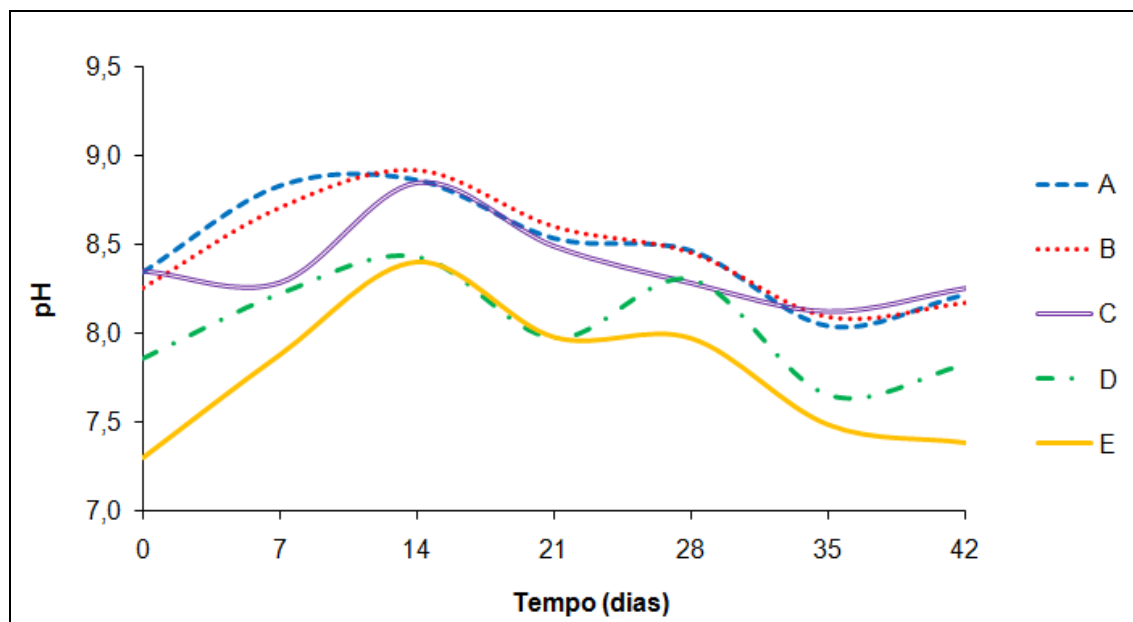


Gráfico 3 - Valores médios do pH nos tratamentos ao longo do tempo

O comportamento médio do pH mostrou-se semelhante para todos os tratamentos, sendo maior conforme aumento da fração de dejetos bovinos, já que este apresentou pH levemente superior ao resíduo de silagem.

Nota-se que nos Tratamentos A, B e C, assim como em alguns momentos nos Tratamentos D e E, os valores de pH ficaram ligeiramente fora da faixa entre 5 e 8, recomendada por Lourenço (2010). Este fato não influenciou no desenvolvimento das minhocas.

O aumento ocorrido nas primeiras duas semanas do processo pode ter ocorrido em função do metabolismo da minhoca. Segundo Bidone (1995), este animal possui glândulas calcíferas em seu esôfago que controlam o teor de cálcio absorvido na alimentação. Quando há excesso dessa substância, a mesma é eliminada juntamente com o gás carbônico produzido pela respiração, formando assim o carbonato de cálcio que, presente no composto, eleva o pH do mesmo.

Já a diminuição do pH, conforme explica Albanell, Plaixats e Cabrero (1988), está relacionada à produção de gás carbônico e de ácidos orgânicos característicos do processo.

Apesar das variações, o pH final foi semelhante ao inicial para todos os tratamentos. Comportamento este também observado por Veras e Povinelli (2004), na vermicompostagem de lodo industrial e lixo urbano.

Os valores de pH das repetições durante o experimento constam no Apêndice B.

5.4 CONDUTIVIDADE ELÉTRICA

Os valores médios obtidos nas medições de CE dos tratamentos são informados no Gráfico 4.

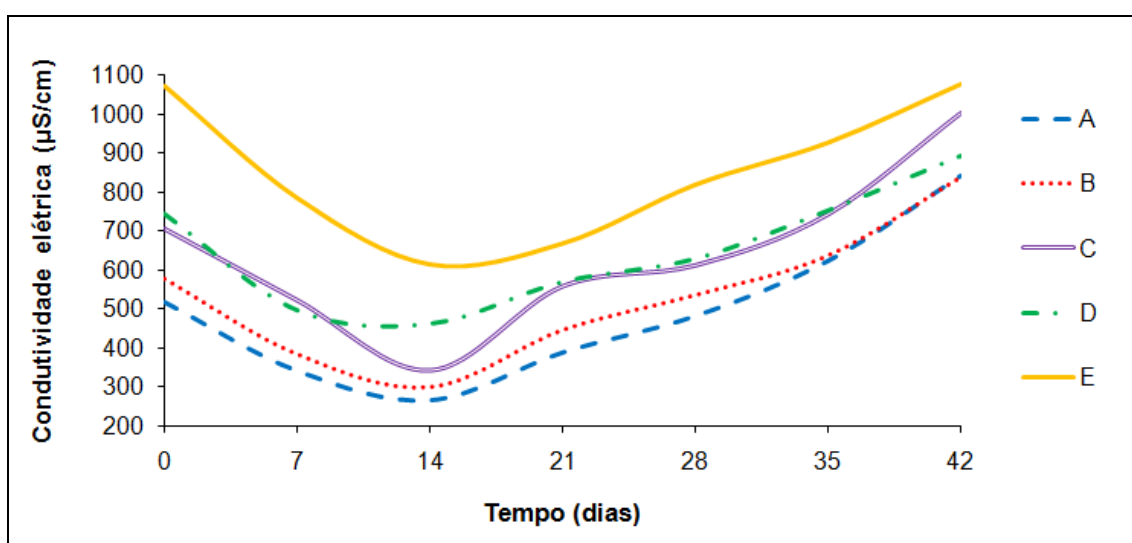


Gráfico 4 – Valores médios da condutividade elétrica ao longo do tempo

A CE, que é um indicativo da concentração de sais no material, em nenhum momento ultrapassou o limite máximo de $2.500 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, indicado por Lourenço (2010). Isso significa que o teor de salinidade esteve adequado ao desenvolvimento da minhoca durante todo o processo.

O comportamento da CE foi semelhante entre os tratamentos, mantendo-se maior naqueles com mais resíduos de silagem, pois estes apresentaram uma condutividade superior ao dejetado bovino.

As oscilações nos resultados da CE podem ter sido consequência do controle da umidade nas vermicomposteiras. Como o material era regado, a fim de

manter-se a umidade adequada, a tendência dos sais era ser arrastado com a água para o fundo das caixas, fazendo com que nessa região houvesse uma maior concentração dessas substâncias. A coleta de amostra nas duas primeiras semanas foi realizada superficialmente, região com menor concentração de sais, por isso a queda da CE. A partir de então, essa coleta passou a ser no fundo das vermicomposteiras constatando-se o aumento da CE.

Há outros motivos que também podem proporcionar o aumento dessa variável. Souza et al. (2008) *apud* Gonçalves (2014) afirmam que a redução do volume dos compostos, fato característico do processo, pode acarretar a concentração de sais e, conseqüentemente, o aumento da condutividade elétrica. Já Gonçalves (2014) afirma que o aumento da concentração de sais pode ser oriundo do próprio processo de mineralização da matéria orgânica, que se intensifica a medida que o número de minhocas aumenta.

Os resultados das análises de CE das repetições são demonstrados no Apêndice C.

5.5 DENSIDADE

O comportamento médio da densidade dos compostos ao longo dos dias de experimento é ilustrado no Gráfico 5.

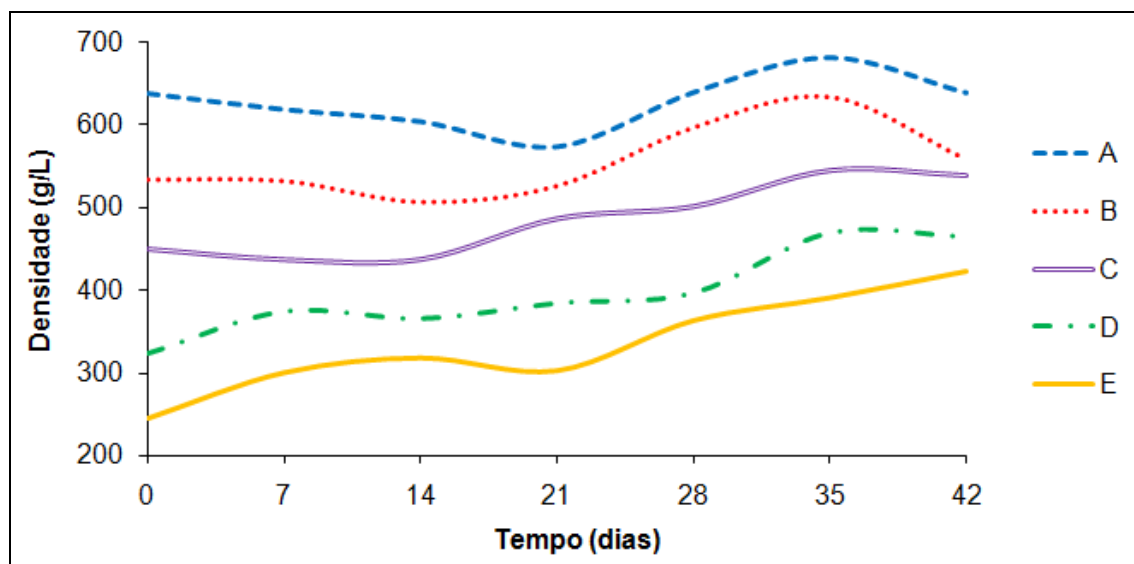


Gráfico 5 - Densidade média dos tratamentos ao longo do tempo

Quanto maior a porcentagem de dejetos bovinos maior foi a densidade nos tratamentos, pois este apresentou densidade mais elevada do que os resíduos de silagem.

Segundo Kiehl (1998), a densidade ideal para os compostos orgânicos situa-se entre 600 e 800 g/L. Considerando esta faixa, somente o tratamento A apresentou resultado satisfatório. Contudo, observa-se que as densidades dos demais compostos, que inicialmente eram relativamente baixas, apresentaram um notável crescimento e, supostamente, atingiriam a faixa ideal caso o tempo de vermicompostagem fosse maior.

As densidades apresentadas pelas misturas das repetições durante o experimento estão demonstradas no Apêndice D.

5.6 UMIDADE

No Gráfico 6 são ilustrados os valores médios de umidade medidos ao longo do tempo durante o experimento.

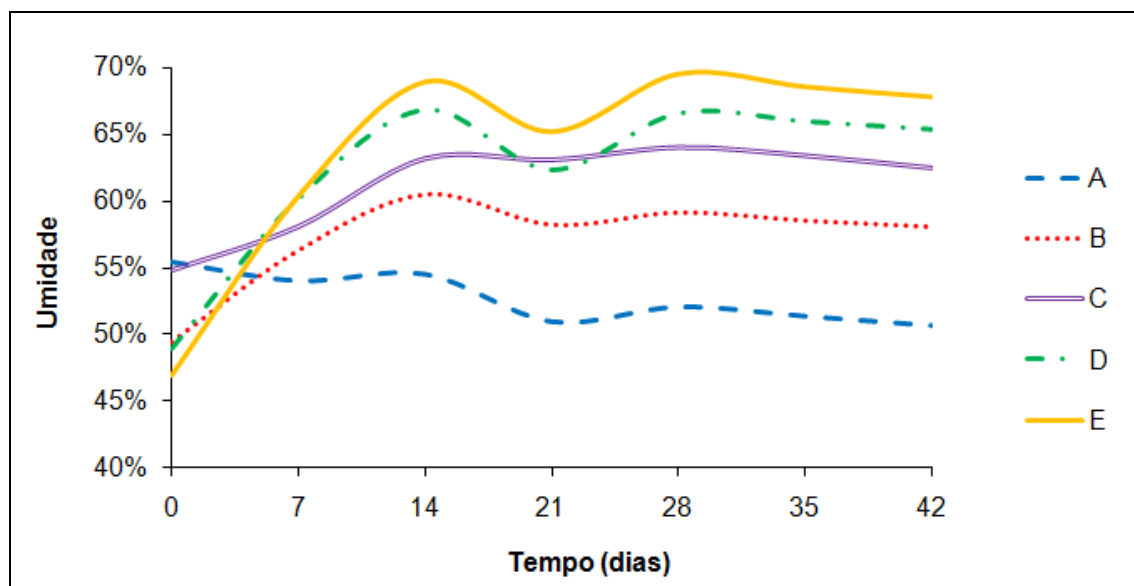


Gráfico 6 – Umidade média dos tratamentos ao longo do tempo

Quanto maior o teor de resíduos de silagem maior foi a umidade dos tratamentos durante o estudo. O fato da silagem ser um resíduo vegetal pode ter sido o motivo dessa maior retenção de água.

Apesar das divergências entre os tratamentos, os teores de umidade foram mantidos dentro da faixa ideal, entre 50 e 70%, indicada por Ricci (1996). Os resultados das análises de umidade das repetições durante o experimento são indicados no Apêndice E.

5.7 GRANULOMETRIA

No Gráfico 7 são ilustrados os valores médios referentes à análise da granulometria realizada com os tratamentos no início e no fim do experimento.

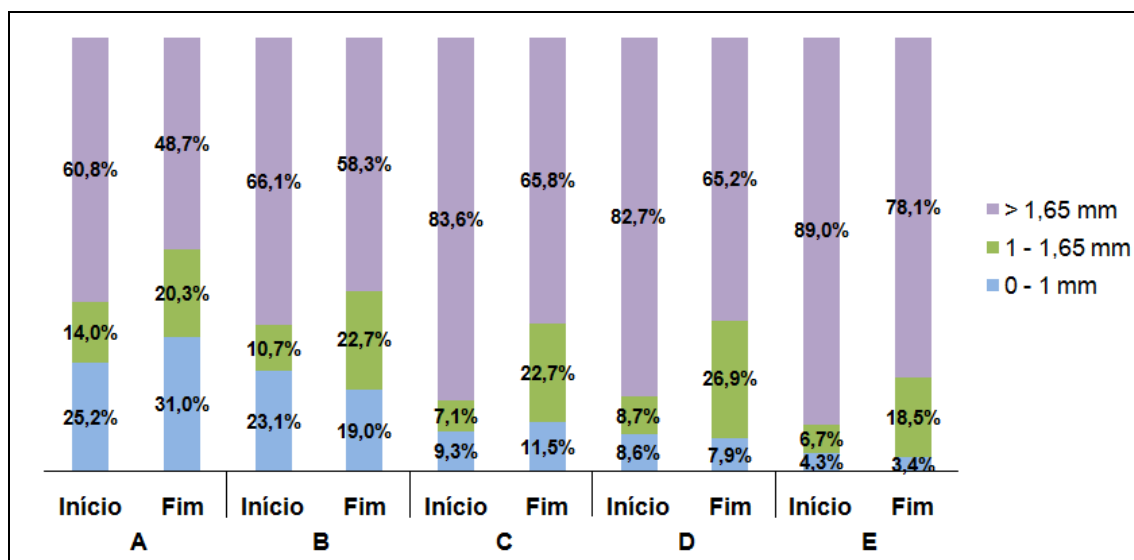


Gráfico 7 - Composição granulométrica média dos tratamentos

As partículas superiores a 1,65 mm referem-se ao material retido na primeira peneira (Mesh: 12). Já as partículas entre 1 e 1,65 mm referem-se ao material retido na segunda peneira (Mesh: 18). As partículas menores que 1 mm ficaram distribuídas nas demais peneiras. Como estas apresentaram porcentagens muito baixas, somou-se a quantidade das mesmas para uma melhor ilustração dos dados.

As partículas se apresentaram maiores para os tratamentos com mais resíduos de silagem, tanto no início quanto no fim do experimento. Isso se deve ao fato de que os resíduos de silagem eram formados por resquícios de palhas e espigas de milho, diferentemente do dejetos que se mostrou mais homogêneo.

Percebe-se que houve diminuição na porcentagem das partículas superiores a 1,65 mm, que representaram a maior parte da composição em todos os casos. Essa redução, característica do processo, demonstra a capacidade detritívora das minhocas, tornando o vermicomposto cada vez mais homogêneo. Provavelmente essa redução se tornaria ainda mais significativa com um tempo maior de experimento.

Na Figura 13 compara-se os tratamentos no início e no fim do processo de vermicompostagem.

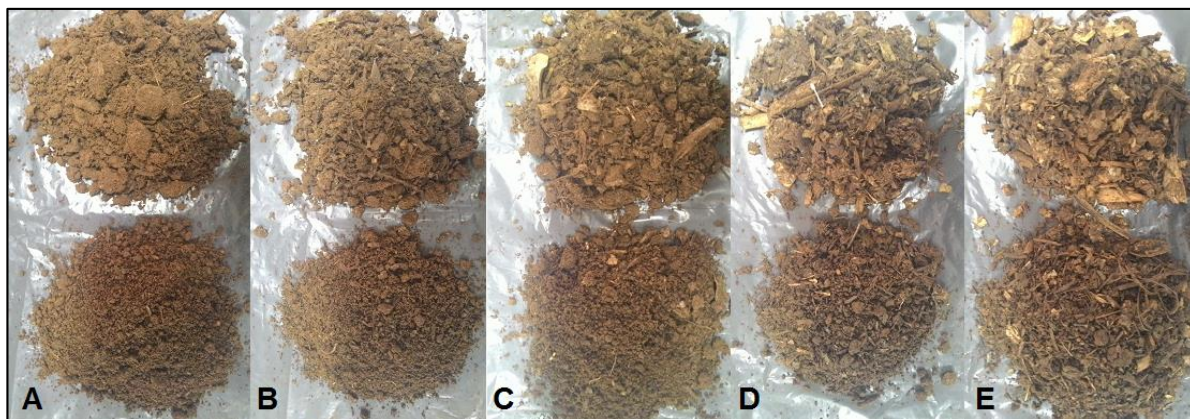


Figura 13 – Tratamentos no início e no fim do processo da vermicompostagem

A diminuição das partículas, visualmente, é notada com facilidade em todos os tratamentos. A textura dos vermicompostos foi melhor conforme o aumento da porcentagem de dejetos bovinos nas misturas.

Os valores da composição granulométrica inicial e final das repetições são demonstrados no Apêndice F.

5.8 SÓLIDOS FIXOS E VOLÁTEIS

O teor médio inicial e final de SV presente nos tratamentos é ilustrado no Gráfico 8.

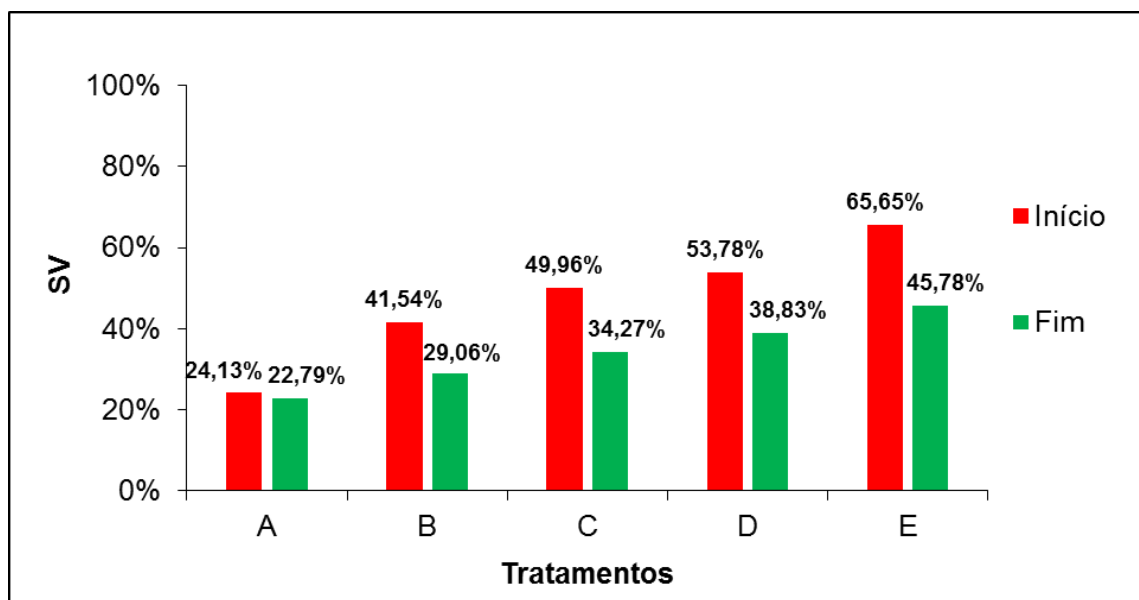


Gráfico 8 - Teor médio de SV inicial e final nos tratamentos

Nota-se que quanto maior a porcentagem de resíduos de silagem maior foi o teor médio de matéria orgânica, tanto no início quanto no final do processo. Esse resultado era esperado já que os resíduos de silagem apresentaram teor mais elevado que o dejetos bovino, no início do experimento, tratando-se de matéria orgânica.

Outro resultado esperado, facilmente notável no Gráfico 8, é a redução da matéria orgânica nas vermicomposteiras. Essa redução deve-se ao metabolismo das minhocas e microrganismos, que utilizam a matéria orgânica existente no material para seu desenvolvimento (SILVA; LANDGRAF; REZENDE, 2011).

No Gráfico 9 informa-se o teor médio de SF presente no início e no fim do experimento para cada tratamento.

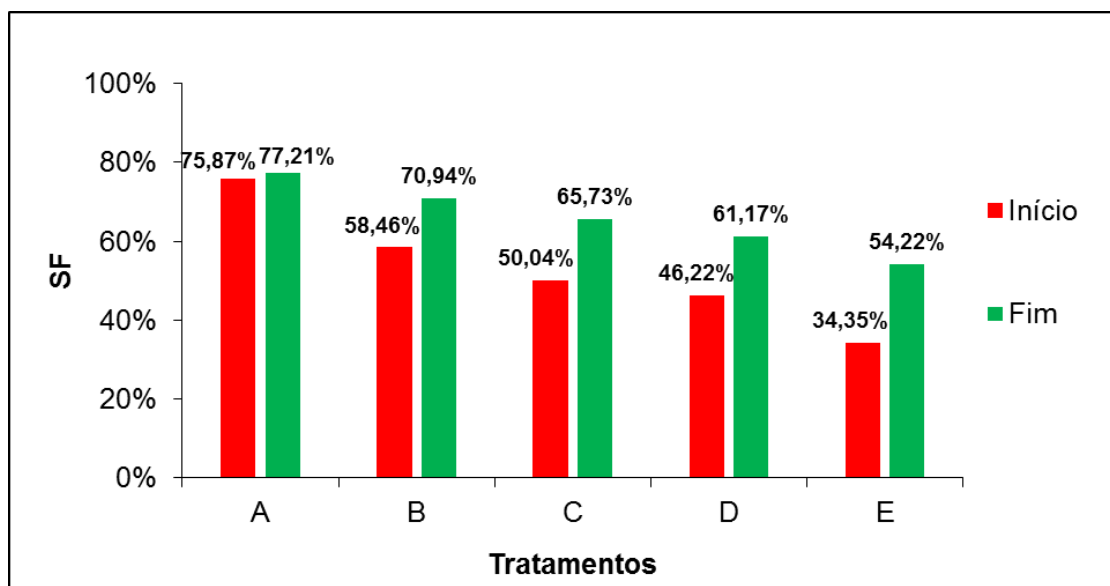


Gráfico 9 – Teor médio de SF inicial e final nos tratamentos

O comportamento do teor médio de SF nos tratamentos é inversamente proporcional ao comportamento dos SV, uma vez que a soma dos dois totaliza a quantia de sólidos nos materiais.

Portanto, observa-se que quanto menor a quantia de resíduos de silagem maior foi o teor médio de SF e que esse teor aumentou durante o experimento em todos os tratamentos testados.

Os resultados das determinações de SV e SF, inicial e final, das repetições são indicados no Apêndice G.

5.9 CARBONO ORGÂNICO TOTAL, NITROGÊNIO TOTAL KJELDAHL E RELAÇÃO C/N

Os resultados da análise de COT médio inicial e final de cada tratamento são ilustrados no Gráfico 10.

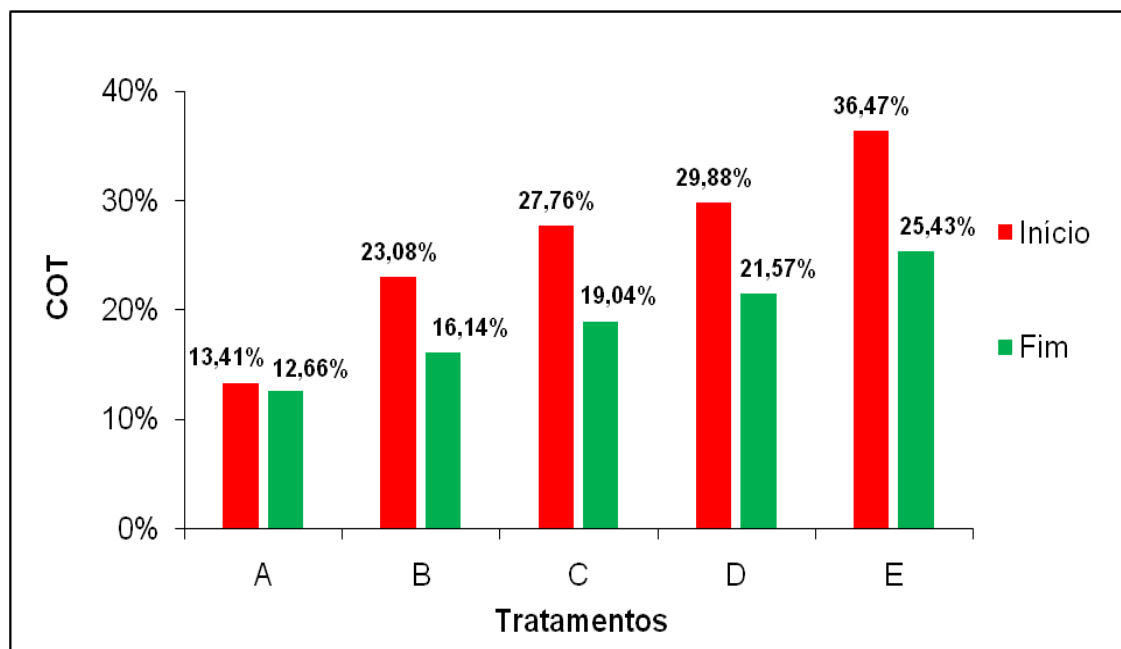


Gráfico 10 – Teor médio de COT inicial e final nos tratamentos

Os tratamentos que apresentaram maior teor médio de matéria orgânica, consequentemente, apresentaram também maior teor médio de COT, uma vez que estes estão diretamente relacionados.

O teor médio de COT nos tratamentos diminuiu com o decorrer dos dias devido à ação das minhocas, que utilizam o carbono presente na matéria orgânica como fonte de energia para seu crescimento, fixando o mesmo em sua biomassa, conforme afirmam Silva, Landgraf e Rezende (2011). Os autores ainda afirmam que parte do carbono é transformado em CO_2 e perdido para o meio externo, devido ao processo de mineralização dos compostos.

No Gráfico 11 é ilustrado o comportamento do teor médio de NTK inicial e final de cada tratamento.

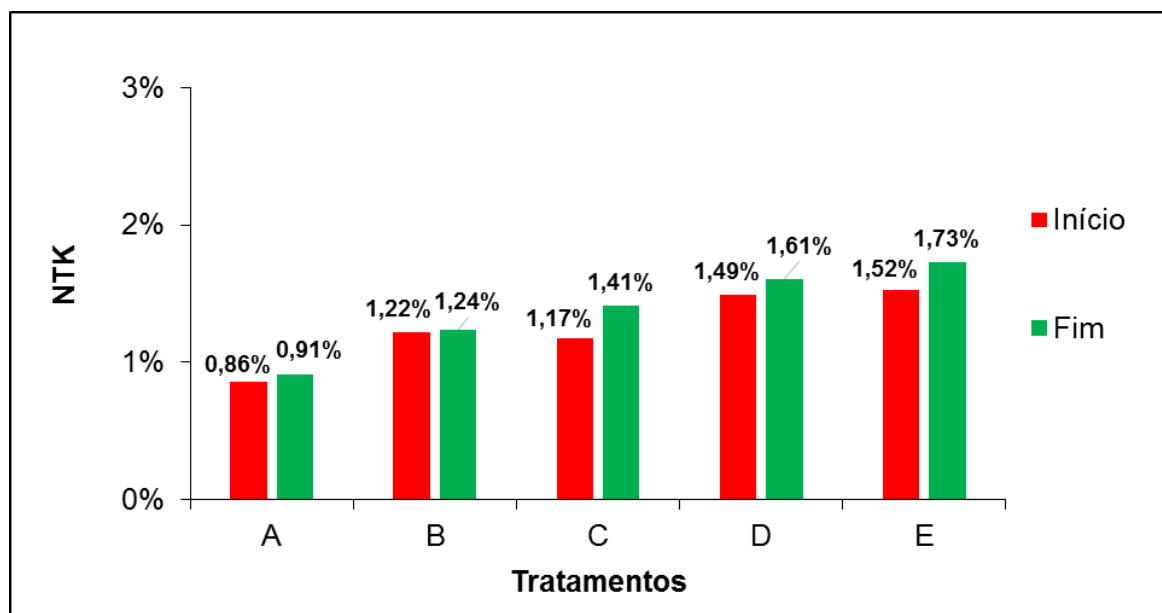


Gráfico 11 - Teor médio de NTK inicial e final nos tratamentos

O teor médio de NTK mostrou-se superior nos tratamentos com maior porcentagem de resíduos de silagem. Resultado esperado pelo fato do resíduo de silagem apresentar maior teor médio de NTK do que o dejetos bovino na caracterização inicial destes materiais.

Diferentemente do COT, os teores médios de NTK aumentaram levemente com o decorrer do experimento. Silva, Landgraf e Rezende (2011), que também notaram aumento de NTK na vermicompostagem de lodo de esgoto doméstico, afirmam que esse aumento se deve a concentração do nutriente devido à perda de matéria orgânica durante o processo. Essa concentração do nutriente valoriza o vermicomposto, utilizado como adubo orgânico, pois o nitrogênio é fundamental aos vegetais.

No Gráfico 12 observa-se os valores médios referentes a relação C/N inicial e final dos tratamentos.

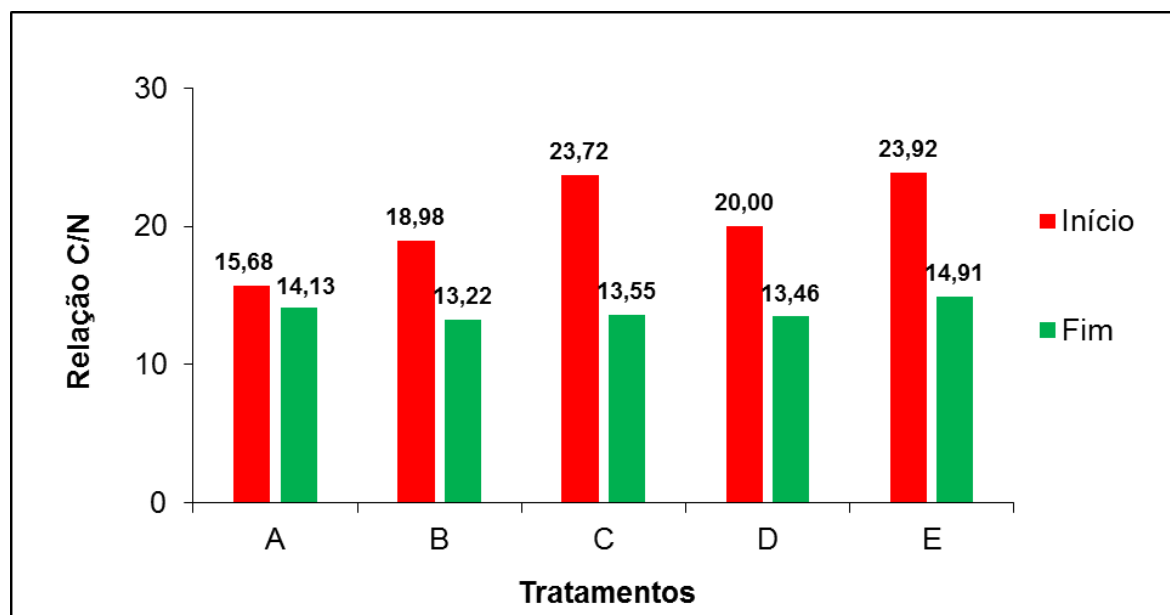


Gráfico 12 – Relação C/N média inicial e final dos tratamentos

A diminuição do teor médio de COT e o aumento do teor médio de NTK resultaram, conseqüentemente, na diminuição da relação C/N em todos os tratamentos.

De acordo com Jiménez e Garcia (1992), todos os tratamentos apresentaram uma relação aceitável para indicar a maturidade dos compostos, pois ficaram abaixo de 20.

Vale ressaltar que os tratamentos já apresentavam desde o início do experimento uma relação C/N próxima, ou até mesmo abaixo, de 20. Isso reforça a ideia de Lorin (2014) de que há dificuldade para estabelecerem-se parâmetros generalizados que indiquem a maturação dos compostos. Como já dito, para uma maior precisão é válida a realização de uma análise integrada, como informam Lazcano, Brandón e Domínguez (2008).

Os resultados das determinações de COT, NTK e relação C/N, inicial e final, das repetições são indicados no Apêndice H. Na Tabela 1 informa-se as porcentagens médias de redução da relação C/N para todas as repetições utilizadas no experimento.

Tabela 1 – Redução média da relação C/N nos vermicompostos

Tratamento	Redução média da relação C/N (%)	Teste Fisher (5%)
A	9,85	a
B	30,36	b
C	42,85	c
D	32,71	bc
E	37,67	bc

Nota: Letras iguais na terceira coluna implicam em equivalência estatística dos valores.

Nota-se que o tratamento C apresentou a maior redução da relação C/N durante os dias de experimento, mas não se diferenciou estatisticamente dos tratamentos D e E, ao nível de 5%, de acordo com o teste de Fisher. Estes três tratamentos apresentaram inicialmente as maiores médias para relações C/N, por isso a redução foi mais significativa.

O tratamento A apresentou uma redução média bem inferior aos demais. Isso pode estar associado com a baixa relação C/N inicial deste tratamento.

5.10 NÚMERO DE MINHOCAS

Na Tabela 2 indica-se o resultado da contagem de minhocas encontrados nos vermicompostos ao final do experimento.

Tabela 2 - Número de minhocas no final do experimento

Tratamento	Número médio de Minhocas	Teste Fisher (5%)
A	613	a
B	731	b
C	484	c
D	468	c
E	318	d

Nota: Letras iguais na terceira coluna implicam em equivalência estatística dos valores.

A mistura que apresentou as melhores condições para a reprodução das minhocas foi a do tratamento B. Porém, nota-se que os demais tratamentos também se apresentaram adequados para a multiplicação dos indivíduos. As misturas dos tratamentos C e D não apresentaram diferença entre si, ao nível de 5%, de acordo com o teste de Fisher.

O número de minhocas evidenciou a eficiência do dejetos bovino como substrato para vermicompostagem. Os tratamentos A e B, contendo as maiores porções desse material, resultaram num maior número de indivíduos, mesmo apresentando menor teor de matéria orgânica e menor relação C/N do que os demais tratamentos.

Os resultados da contagem de minhocas, e também dos ovos, das repetições são indicados no Apêndice I.

6 CONCLUSÃO

O processo de vermicompostagem demonstra-se como uma boa opção na gestão dos resíduos de silagem de milho e dejetos bovinos.

A proporção, em volume, de 70% de dejetos bovinos e 30% de resíduo de silagem de milho promove maior multiplicação de minhocas da espécie *Eisenia andrei*.

O vermicomposto apresenta maiores teores de nitrogênio quando comparado aos resíduos no início do processo, melhorando suas características de adubo orgânico.

A duração de 45 dias do experimento mostrou-se um fator limitante para obtenção de melhores resultados para a densidade e composição granulométrica final dos vermicompostos. O fato de não trituração dos resíduos de silagem também pode ter interferido de forma negativa nos resultados da granulometria.

Com base nisso, sugere-se para o desenvolvimento dos próximos experimentos um tempo maior de vermicompostagem além da trituração dos resíduos de silagem. Indica-se também o estudo do emprego dos vermicompostos como substratos no desenvolvimento de mudas.

REFERÊNCIAS

ALBANELL, E.; PLAIXATS, J.; CABRERO, T. Chemical changes during vermicomposting (*Eisenia foetida*) of sheep manure mixed cotton industrial wastes. **Biology and Fertility of Soils**. n. 6, p. 266-269, 1988.

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 fétida* Savigny (1826). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 3, p. 824-830, maio-jun. 2009.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA. **Standard methods for the examination of water and waste water**. 20th. Washington, DC: APHA, 2005.

AQUINO, A. M. de. **Aspectos práticos da vermicompostagem**. Agroecologia: Princípios e Técnicas para uma Agricultura Orgânica Sustentável. 2003. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/recursos/AgrobCap17ID-O05FQRCn3R.pdf>>. Acesso em: 13 nov. 2014.

_____; ALMEIDA, D. L.; SILVA, V. F. da. **Utilização de minhocas na estabilização de resíduos orgânicos: vermicompostagem**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) - Centro Nacional da Pesquisa de Agrobiologia (CNPAB). Comunicado Técnico. Rio de Janeiro, n. 08, p. 1-6, jun. 1992.

_____; _____. DE-POLLI, H. **Alternativas para substituição parcial do esterco na vermicompostagem**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) - Centro Nacional da Pesquisa de Agrobiologia (CNPAB). Comunicado Técnico. Rio de Janeiro, n. 11, p. 1-4, jun. 1994.

ARAGUAIA, M. **Minhoca (Ordem Haplotaxida)**. 2014. Disponível em: <<http://www.brasilecola.com/animais/minhoca.htm>>. Acesso em: 13 nov. 2014.

ASSENHEIMER, A. **Tratamento de dejetos bovinos em sistema intensivo de produção de leite com aeração mecânica**. 2007. 93 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Agronomia, Programa de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS - ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil - 2013**. São Paulo, 2013. 111 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 10004: Resíduos sólidos - Classificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 71 p.

BIDONE, F. R. A. **A vermicompostagem dos resíduos sólidos de curtume, brutos e previamente lixiviados, utilizando composto de lixo orgânico urbano como substrato**. 1995. 184 p. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1995.

_____; POVINELLI, J. **Conceitos básicos de resíduos sólidos**. São Paulo: EESC/USP, 1999, 109 p.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Congresso Nacional, Casa civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos.

_____. Ministério do meio ambiente - MMA. **Gestão de resíduos**. Brasília, 2014. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/a3p/eixos-tematicos/gestao-adequada-dos-residuos>>. Acesso em: 01 out. 2014.

_____. Ministério do meio ambiente - MMA. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS**. Brasília, 2012.

_____. Ministério da agricultura. **Bovinos e bubalinos**. Brasília, 2014. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/animal/especies/bovinos-e-bubalinos>>. Acesso em: 06 nov. 2014.

CARIELLO, M. E. et al. Inoculante de microorganismos endógenos para acelerar el proceso compostaje de residuos sólidos urbanos. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Temuco, Chile, v. 7, n. 3, p. 26-37, 2007.

CASTILHOS, R. M. V. et al. Distribuição e caracterização de substâncias húmicas em vermicompostos de origem animal e vegetal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n. 32, p. 2669-2675, 2008.

CONSELHO DE INFORMAÇÕES SOBRE BIOTECNOLOGIA – CIB. **Guia do milho: tecnologia do campo à mesa**. 2006. Disponível em: <http://www.cib.org.br/pdf/guia_do_milho_CIB.pdf>. Acesso em: 27 out. 2014.

CRUZ, J. C.; FILHO, I. A. P.; NETO, M. M. G. **Milho para silagem**. Ageitec, 2014. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONT000fy779fnk02wx5ok0pv04k3j537ooi.html>>. Acesso em: 28 out. 2014.

DIAS, D. M. et al. Modelo para estimativa da geração de resíduos sólidos domiciliares em centros urbanos a partir de variáveis socioeconômicas conjunturais. **Engenharia Sanitária Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 3, p. 325-332, 07 nov. 2012.

EMBRAPA AGROBIOLOGIA. **Minhocultura ou vermicompostagem: criação de minhocas para produzir fertilizante orgânico capaz de melhorar os atributos químicos, físicos e biológicos do solo**. 2011. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/documents/1355054/1527012/4b+-+folder+Minhocultura+ou+vermicompostagem.pdf/323fbedc-7b3c-4d89-bccd-70b490b8e88b>>. Acesso em: 13 nov. 2014.

FERNANDES, F.; SILVA, S. M. C. P. da. **Manual prático para a compostagem de biossólidos**. Programa de pesquisa em saneamento básico – PROSAB, Universidade Estadual de Londrina, 2001.

FILHO, O. F. da R. **Basta ao desperdício: controle as perdas na silagem**. 2011. Disponível em: <<http://www.edcentaurus.com.br/materias/ag.php?id=3854>>. Acesso em: 28 out. 2014.

FORGERINI, D. **Obtenção e caracterização de biofertilizantes a partir de técnicas de compostagem sólida**. 2012. 92 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

GOMES, A. C. P. **Características de resíduos sólidos das indústrias de cerâmicas artísticas de Porto Ferreira (SP)**. 2003. 99 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Química, Programa de Pós-graduação em Química, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2003.

GONÇALVES, F. **Tratamento de camas de equinos por compostagem e vermicompostagem**. 2014. 133 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso Superior de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2014.

GUSE, J. C. et al. Usina de compostagem: uma opção econômica e sustentável. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 7, n. 7, p. 1326-1334, mar-ago. 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Produção da Pecuária Municipal - 2012**. Rio de Janeiro, v. 40, p. 1-71, 2013.

JIMÉNEZ, Emeterio I.; GARCIA, Victor P. Determination of Maturity Indices for City Refuse Composts. **Agriculture Ecosystems and Environment**, v.38, p.331-343, 1992.

KIEHL, E. J. **Manual de Compostagem: Maturação e Qualidade do Composto**. Piracicaba: Kiehl, 1998, 173 p.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes Orgânicos**. 1 ed. Piracicaba: Agronômica Ceres Ltda, 1985, 492p.

KONZEN, E. A. **Estabilização de resíduos orgânicos em processo de compostagem e vermicompostagem**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) – Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo. Comunicado Técnico, n. 12, maio 1999.

_____. **Vermicompostagem: resíduos viáveis e impacto econômico na propriedade agrícola**. 2º Encontro Brasileiro sobre Substâncias Húmicas. São Carlos, 1997.

LANDGRAF, M. D.; MESSIAS, R. A.; REZENDE, M. O. O. **A importância Ambiental da Vermicompostagem: Vantagens e Aplicações**. São Paulo: RiMA, 2005. 106 p.

LAZCANO, C.; BRANDÓN, M. G.; DOMÍNGUEZ, J. Comparison of the effectiveness of composting and vermicomposting for the biological stabilization of cattle manure. **Chemosphere**, v. 72, n. 7, p. 1013–1019, jul. 2008.

LEAL, M. A. de A. et al. Compostagem de misturas de capim-elefante e torta de mamona com diferentes relações C:N. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 11, p.1195-1200, 2013.

LIMA, J. A. de; CUNHA, E. A. da. **Silagem: Capricho na retirada é fundamental para colocar no cocho silagem de boa qualidade**. 2006. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2006_3/Silo/index.htm>. Acesso em: 28 out. 2014.

LOPES, H. C. **Silagem de milho**. Leilo Leite, 2009. Disponível em: <<http://www.leiloleite.com.br/artigos/visualiza.asp?artigo=31>>. Acesso em: 28 out. 2014.

LORIN, H. E. F. **Processos biológicos de estabilização de dejetos de bovinos de corte confinados**. 2014. 63 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2014.

LOUREIRO, D. C. et al. Compostagem e vermicompostagem de resíduos domiciliares com esterco bovino para a produção de insumo orgânico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 7, p. 1043-1048, 2007.

LOURENÇO, N. M. G. **Características da minhoca Epígea *Eisenia Foetida* – benefícios, características e mais-valias ambientais decorrentes da sua utilização**. Lisboa-Portugal, 2010, 5 p.

_____; COELHO, S. I. D. **Vermicompostagem e qualidade ambiental**. São Bartolomeu de Messines (Portugal): Futuramb, 1. ed., 2010. 118 p.

MACEDO, A. B. R. de; CRUZ, E. P. **Análise comparativa da produção de vermicomposto com base na produção de esterco de três fontes animais: um estudo sob a ótica da metodologia MACBETH**. VII Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia (SEGeT). Rio de Janeiro, 2010.

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

MARI, L. J.; NUSSIO, L. G. **Perdas de superfície e o manejo de silos horizontais**. BeefPoint, 2004. Disponível em: <<http://www.beefpoint.com.br/radares-tecnicos/conservacao-de-forragens/perdas-de-superficie-e-o-manejo-de-silos-horizontais-21466/>>. Acesso em: 09 abr. 2015.

MELDAU, D. C. **Silagem**. 2014. Disponível em: <<http://www.infoescola.com/zootecnia/silagem/>>. Acesso em: 28 out. 2014.

MELLO, R.; NÖRNBERG, J. L. Fracionamento dos carboidratos e proteínas de silagens de milho, sorgo e girassol. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 5, p. 1537-1542, set-out. 2014.

NOGUEIRA, R. G. S. et al. **Caracterização qualitativa e potencial de produção de metano do biogás de dejetos de bovinos confinados em biodigestores**. III Simpósio de Sustentabilidade e Ciência Animal (SISCA). São Paulo, 2013.

PEIXOTO, C. de M. **O milho no Brasil, sua importância e evolução**. 2014. Disponível em: <<http://www.pioneersementes.com.br/Media-Center/Pages/Detaildo-Artigo.aspx?p=165>>. Acesso em: 27 out. 2014.

PEREIRA, J. R. A. **O mercado de silagem de milho no Brasil**. 2013. Disponível em: <http://www.milkpoint.com.br/mypoint/253066/p_o_mercado_de_silagem_de_milho_no_brasil_cadeia_produtiva_graos_milho_silagem_mercado_5217.aspx>. Acesso em: 28 out. 2014.

PORTAL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS – PRS. **Tratamento de resíduos sólidos**. 2013. Disponível em: <<http://www.portalresiduossolidos.com/tratamento-de-residuos-solidos/>>. Acesso em: 06 nov. 2014.

RICCI, M. dos S. F. **Manual da vermicompostagem**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) – Centro de Pesquisa Agroflorestal de Rondônia (CPAF-Rondônia). Porto Velho, 1996.

SANCHUK, C. E. et al. Evaluation of Poultry Litter Traditional Composting Process. **Brazilian Archives of Biology Technology**, v.54, n. 5, p. 1053-1058, sep-oct. 2011.

SBIZZARO, M. **Vermicompostagem a partir de dejetos de ovinos e bovinos com palha de cana-de-açúcar**. 2013. 134 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso Superior de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2013.

SCHIEDECK, G. **Espécies de minhocas para Minhocultura**. 2010. Artigo em Hipertexto. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2010_4/minhocultura/index.htm>. Acesso em: 02 abr. 2015.

SECRETARIA DE ESTADO DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO (PARANÁ) – SEAB. **Milho Paranaense - Safra 2013/14**. Departamento de Economia Rural - DERAL. 2013. Disponível em: <http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/Prognosticos/MILHO_ANALISE.pdf>. Acesso em: 28 out. 2014.

SECRETARIA DE ESTADO DE AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MINAS GERAIS). **Perfil do agronegócio mundial**. Subsecretaria do agronegócio. 2013. Disponível em: <http://www.agricultura.mg.gov.br/images/files/perfil/perfil_mundial_mar_2013.pdf>. Acesso em: 06 nov. 2014.

SILVA, N. C. da; MALHEIROS, R.; CAMPOS, A. C. **A reciclagem e o destino final dos resíduos sólidos de construção e demolição produzidos no município de Goiânia**. IV Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental (ConGeA), Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais (IBEAS). Salvador, 2013.

SILVA, P. R. D.; LANDGRAF, M. D.; REZENDE, M. O. O. Acompanhamento químico da vermicompostagem de lodo de esgoto doméstico. **Química Nova**, São Paulo, v. 34, n. 6, p. 956-961, 2011.

TEDESCO, M. J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed., Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto alegre, 1995. 174p.

VALENTE, B. S. et al. Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos. **Archivos de zootecnia**, Córdoba, v. 58, p. 59-85, 2009.

VERAS, L. R. V.; POVINELLI, J. A vermicompostagem do lodo de lagoas de tratamento de efluentes industriais consorciada com composto de lixo urbano. **Engenharia Sanitária Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 9, n. 3, p. 218-224, jul-set. de 2004.

VERÍSSIMO, J. L. B. **Plano de gestão integrada de resíduos da unidade da Ceasa de Maringá**. Universidade Estadual de Maringá (UEM). Maringá, 2012. 65 p.

APÊNDICE A – Temperatura nas repetições

Repetição	Temperatura (°C)											
	21/3	22/3	23/3	24/3	25/3	26/3	27/3	04/4	11/4	18/4	25/4	02/5
A1	29,2	27,2	26,7	27,0	28,0	28,3	27,0	26,7	25,8	23,0	22,8	22,3
A2	29,8	26,2	25,3	27,7	29,3	26,7	27,8	26,3	26,0	22,0	23,0	22,7
A3	29,7	25,5	26,0	28,0	26,7	26,8	27,5	27,0	26,0	23,0	24,0	22,0
A4	29,3	26,0	27,7	26,7	27,0	27,3	28,0	25,5	26,0	23,5	23,0	21,7
Média A	29,5	26,2	26,4	27,3	27,8	27,3	27,6	26,4	26,0	22,9	23,2	22,2
DP	0,3	0,7	1,0	0,6	1,2	0,7	0,4	0,6	0,1	0,6	0,5	0,4
B1	29,7	28,5	27,3	27,7	28,7	29,7	27,7	26,3	25,3	23,0	22,7	22,2
B2	29,8	29,0	27,0	29,0	30,7	27,0	28,5	27,3	25,3	22,0	23,2	22,3
B3	30,2	27,8	25,7	29,3	27,0	27,0	29,0	26,8	26,0	23,3	23,5	22,0
B4	29,3	26,3	29,7	26,3	28,0	27,7	28,5	26,0	25,7	22,5	22,7	21,7
Média B	29,8	27,9	27,4	28,1	28,6	27,8	28,4	26,6	25,6	22,7	23,0	22,0
DP	0,3	1,2	1,7	1,4	1,5	1,3	0,6	0,6	0,3	0,6	0,4	0,3
C1	30,5	30,0	28,8	28,7	30,0	29,3	27,7	27,5	25,5	23,2	22,3	21,7
C2	30,2	30,0	26,7	29,3	31,0	27,0	28,7	26,5	25,7	21,7	22,5	22,0
C3	29,7	27,3	26,7	30,0	26,7	27,0	29,7	27,5	25,5	23,0	23,0	21,7
C4	29,5	26,2	28,7	26,3	27,7	28,8	29,5	25,8	26,2	22,8	22,3	21,7
Média C	30,0	28,4	27,7	28,6	28,8	28,0	28,9	26,8	25,7	22,7	22,5	21,8
DP	0,5	1,9	1,2	1,6	2,0	1,2	0,9	0,8	0,3	0,7	0,3	0,2
D1	31,0	29,0	27,7	27,3	29,3	29,3	28,3	26,2	25,3	23,0	22,3	21,0
D2	30,0	27,5	28,0	29,7	29,3	27,3	27,7	26,8	25,8	22,0	22,5	21,3
D3	30,0	29,8	26,7	30,0	27,7	27,8	29,3	26,5	25,3	22,2	23,0	21,3
D4	29,5	26,3	29,3	27,0	27,7	28,7	28,7	26,5	25,7	23,3	22,3	21,3
Média D	30,1	28,2	27,9	28,5	28,5	28,3	28,5	26,5	25,5	22,6	22,5	21,3
DP	0,6	1,6	1,1	1,6	1,0	0,9	0,7	0,3	0,3	0,6	0,3	0,2
E1	31,3	30,0	29,0	28,0	29,3	29,7	28,2	26,7	25,5	23,7	22,3	21,0
E2	30,5	27,8	27,3	29,0	30,3	28,3	28,8	26,5	26,2	22,7	22,5	21,8
E3	30,7	30,0	27,7	30,0	27,7	28,8	28,2	26,8	25,7	23,0	23,0	21,5
E4	30,3	26,7	28,3	27,7	27,3	29,3	29,5	26,0	27,0	24,0	22,3	20,7
Média E	30,7	28,6	28,1	28,7	28,7	29,0	28,7	26,5	26,1	23,3	22,5	21,3
DP	0,4	1,7	0,7	1,1	1,4	0,6	0,6	0,4	0,7	0,6	0,3	0,5

APÊNDICE B – pH nas repetições

Repetição	pH						
	21/3	28/3	04/04	11/04	18/4	25/4	02/4
A1	8,35	8,84	8,93	8,64	8,60	8,09	8,24
A2	8,35	8,81	8,83	8,59	8,72	8,24	8,32
A3	8,35	8,73	8,76	8,47	8,27	7,97	8,19
A4	8,35	8,95	8,93	8,44	8,28	7,88	8,13
Média A	8,35	8,83	8,86	8,54	8,47	8,04	8,22
DP	0,00	0,09	0,08	0,09	0,23	0,16	0,08
B1	8,26	8,67	8,91	8,56	8,58	8,12	8,20
B2	8,26	8,86	8,95	8,57	8,64	8,10	8,17
B3	8,26	8,85	8,86	8,66	8,29	8,16	8,21
B4	8,26	8,46	8,97	8,62	8,31	8,00	8,12
Média B	8,26	8,71	8,92	8,60	8,46	8,10	8,18
DP	0,00	0,19	0,05	0,05	0,18	0,07	0,04
C1	8,35	8,20	8,89	8,48	8,52	8,01	8,20
C2	8,35	8,41	8,91	8,46	8,12	8,37	8,39
C3	8,35	8,32	8,73	8,68	8,36	7,98	8,18
C4	8,35	8,22	8,87	8,34	8,14	8,14	8,26
Média C	8,35	8,29	8,85	8,49	8,29	8,12	8,26
DP	0,00	0,09	0,08	0,14	0,19	0,18	0,09
D1	7,86	8,38	8,42	7,98	8,13	7,66	7,82
D2	7,86	8,25	8,43	7,93	8,40	7,77	7,90
D3	7,86	8,23	8,36	8,00	8,46	7,62	7,79
D4	7,86	8,03	8,51	7,99	8,22	7,58	7,79
Média D	7,86	8,22	8,43	7,97	8,30	7,66	7,83
DP	0,00	0,14	0,06	0,03	0,15	0,08	0,05
E1	7,30	8,01	8,20	7,85	7,72	7,38	7,33
E2	7,30	7,92	8,54	7,97	8,24	7,72	7,50
E3	7,30	7,82	8,52	8,13	7,97	7,63	7,45
E4	7,30	7,78	8,35	7,98	7,96	7,22	7,26
Média E	7,30	7,88	8,41	7,98	7,97	7,49	7,38
DP	0,00	0,10	0,16	0,11	0,22	0,23	0,11

APÊNDICE C – CE nas repetições

Repetição	Condutividade ($\mu\text{S/cm}$)						
	21/3	28/3	04/04	11/04	18/4	25/4	02/4
A1	518,7	305,0	264,0	363,0	411,0	546,3	703,3
A2	518,7	360,3	271,3	351,0	373,0	509,3	632,7
A3	518,7	388,7	270,7	426,3	580,0	680,0	933,7
A4	518,7	314,0	258,7	416,3	567,7	764,0	1105,3
Média A	518,7	342,0	266,2	389,2	482,9	624,9	843,8
DP	0,0	39,4	6,0	37,7	106,2	118,2	216,6
B1	577,0	390,7	290,3	461,3	498,0	672,7	899,3
B2	577,0	363,3	263,0	436,0	426,0	600,3	815,0
B3	577,0	367,0	289,0	420,7	694,7	632,7	850,0
B4	577,0	412,7	354,3	464,7	522,7	641,3	785,7
Média B	577,0	383,4	299,2	445,7	535,3	636,8	837,5
DP	0,0	23,0	38,9	21,0	113,9	29,7	48,9
C1	706,7	536,3	341,7	599,0	584,7	751,7	1002,3
C2	706,7	491,0	308,3	560,7	404,7	564,7	776,7
C3	706,7	540,0	361,3	456,0	669,0	751,3	968,3
C4	706,7	523,3	355,0	618,7	790,7	909,0	1270,7
Média C	706,7	522,7	341,6	558,6	612,3	744,2	1004,5
DP	0,0	22,3	23,6	72,5	162,2	140,8	203,4
D1	744,3	459,0	464,3	547,0	707,3	753,0	892,0
D2	744,3	474,3	456,0	542,7	591,7	653,0	747,0
D3	744,3	454,0	462,7	582,3	598,0	773,0	919,3
D4	744,3	594,3	458,7	603,0	617,0	834,0	1018,7
Média D	744,3	495,4	460,4	568,8	628,5	753,3	894,3
DP	0,0	66,5	3,8	28,9	53,6	75,2	112,2
E1	1073,7	815,0	769,3	777,0	886,3	1051,7	1175,7
E2	1073,7	664,3	540,3	534,7	772,7	780,3	915,0
E3	1073,7	823,0	561,0	623,3	812,0	896,0	1049,3
E4	1073,7	836,0	583,0	734,3	804,3	982,0	1172,7
Média E	1073,7	784,6	613,4	667,3	818,8	927,5	1078,2
DP	0,0	80,6	105,4	109,6	48,1	117,0	123,7

APÊNDICE D – Densidade nas repetições

Repetição	Densidade (g/L)						
	21/3	28/3	04/04	11/04	18/4	25/4	02/4
A1	637,71	640,76	606,74	554,44	632,20	636,72	621,63
A2	637,71	636,34	612,00	646,29	644,72	707,68	652,87
A3	637,71	595,68	609,77	537,41	649,82	709,91	621,59
A4	637,71	601,27	588,15	558,43	629,12	668,14	658,13
Média A	637,7	618,5	604,2	574,1	639,0	680,6	638,6
DP	0,0	23,3	10,9	49,0	9,9	35,0	19,7
B1	534,33	542,48	497,37	522,91	607,48	639,64	556,84
B2	534,33	537,25	503,79	523,81	594,56	659,35	565,49
B3	534,33	589,87	568,71	536,07	609,02	627,84	568,06
B4	534,33	461,32	459,78	524,34	576,55	607,57	544,03
Média B	534,3	532,7	507,4	526,8	596,9	633,6	558,6
DP	0,0	53,2	45,2	6,2	15,0	21,7	10,8
C1	449,84	452,21	427,77	519,81	474,26	593,35	533,56
C2	449,84	435,80	436,21	472,11	530,99	538,33	541,60
C3	449,84	441,13	420,17	462,05	518,82	505,33	543,01
C4	449,84	419,57	465,62	490,54	478,52	538,02	532,67
Média C	449,8	437,2	437,4	486,1	500,6	543,8	537,7
DP	0,0	13,6	19,9	25,4	28,5	36,5	5,3
D1	322,48	404,85	381,07	448,48	389,80	468,66	494,82
D2	322,48	343,26	371,50	380,19	436,26	473,56	476,54
D3	322,48	404,63	391,56	356,21	375,87	460,38	461,26
D4	322,48	340,77	314,67	348,40	380,84	471,54	422,45
Média D	322,5	373,4	364,7	383,3	395,7	468,5	463,8
DP	0,0	36,2	34,3	45,5	27,7	5,8	30,8
E1	244,24	309,59	334,99	307,44	360,84	369,55	413,81
E2	244,24	353,64	287,35	317,02	377,35	391,06	464,40
E3	244,24	262,52	358,11	321,16	377,01	408,91	413,10
E4	244,24	273,24	289,78	262,93	336,13	392,32	398,76
Média E	244,2	299,7	317,6	302,1	362,8	390,5	422,5
DP	0,0	41,2	34,8	26,8	19,4	16,1	28,8

APÊNDICE E – Umidade nas repetições

Repetição	Umidade (%)						
	21/3	28/3	04/04	11/04	18/4	25/4	02/4
A1	55,37	51,42	55,45	51,35	53,50	51,98	50,45
A2	55,37	57,73	55,35	53,58	50,54	50,41	50,28
A3	55,37	54,02	52,58	48,67	51,43	51,72	52,02
A4	55,37	52,66	54,43	50,07	52,59	51,20	49,75
Média A	55,37	53,96	54,45	50,92	52,02	51,33	50,62
DP	0,0	2,7	1,3	2,1	1,3	0,7	1,0
B1	49,39	59,96	61,44	54,39	58,08	58,07	58,60
B2	49,39	57,80	62,07	57,80	57,26	57,29	57,34
B3	49,39	52,53	61,72	59,95	59,36	59,13	58,92
B4	49,39	54,81	56,74	60,72	61,82	59,59	57,37
Média B	49,39	56,28	60,49	58,21	59,13	58,52	58,06
DP	0,0	3,3	2,5	2,8	2,0	1,0	0,8
C1	54,76	60,32	65,14	64,96	64,15	63,17	62,20
C2	54,76	59,26	63,10	61,08	66,68	65,42	63,86
C3	54,76	57,84	63,08	64,47	63,30	63,27	62,69
C4	54,76	54,83	61,48	61,95	62,07	61,84	61,25
Média C	54,76	58,06	63,20	63,11	64,05	63,43	62,50
DP	0,0	2,4	1,5	1,9	1,9	1,5	1,1
D1	48,95	59,28	67,28	63,55	66,72	66,22	65,74
D2	48,95	62,27	66,17	62,29	66,22	66,02	65,81
D3	48,95	57,48	67,53	61,26	66,36	66,09	65,83
D4	48,95	61,55	66,21	62,16	66,84	65,41	63,99
Média D	48,95	60,15	66,80	62,31	66,54	65,94	65,34
DP	0,0	2,2	0,7	0,9	0,3	0,4	0,9
E1	46,87	60,74	67,28	60,99	67,53	66,21	64,89
E2	46,87	62,24	70,64	67,08	69,62	68,64	68,03
E3	46,87	57,07	69,03	65,95	70,89	69,83	69,19
E4	46,87	61,28	68,77	66,74	70,07	69,58	69,09
Média E	46,87	60,33	68,93	65,19	69,53	68,56	67,80
DP	0,0	2,3	1,4	2,8	1,4	1,7	2,0

APÊNDICE F – Granulometria nas repetições

Repetição	Início (%)			Fim (%)		
	> 1,65 mm	1 - 1,65 mm	0 - 1 mm	> 1,65 mm	1 - 1,65 mm	0 - 1 mm
A1	60,80	14,00	25,20	47,96	20,07	31,97
A2	60,80	14,00	25,20	49,30	22,36	28,34
A3	60,80	14,00	25,20	53,37	17,98	28,65
A4	60,80	14,00	25,20	44,28	20,61	35,11
Média A	60,80	14,00	25,20	48,73	20,25	31,02
DP	0,00	0,00	0,00	3,75	1,80	3,18
B1	66,15	10,70	23,15	58,35	20,65	21,00
B2	66,15	10,70	23,15	64,60	21,29	14,11
B3	66,15	10,70	23,15	53,58	27,05	19,37
B4	66,15	10,70	23,15	56,53	21,92	21,54
Média B	66,15	10,70	23,15	58,27	22,73	19,01
DP	0,00	0,00	0,00	4,66	2,93	3,39
C1	83,58	7,14	9,28	65,68	26,34	7,98
C2	83,58	7,14	9,28	72,22	22,63	5,15
C3	83,58	7,14	9,28	70,06	20,37	9,57
C4	83,58	7,14	9,28	55,28	21,30	23,42
Média C	83,58	7,14	9,28	65,81	22,66	11,53
DP	0,00	0,00	0,00	7,53	2,62	8,13
D1	82,71	8,70	8,59	69,24	26,10	4,65
D2	82,71	8,70	8,59	63,68	25,92	10,39
D3	82,71	8,70	8,59	66,16	28,67	5,17
D4	82,71	8,70	8,59	61,58	26,99	11,42
Média D	82,71	8,70	8,59	65,17	26,92	7,91
DP	0,00	0,00	0,00	3,30	1,25	3,49
E1	88,98	6,70	4,33	73,16	22,31	4,53
E2	88,98	6,70	4,33	68,61	26,43	4,96
E3	88,98	6,70	4,33	87,90	11,41	0,70
E4	88,98	6,70	4,33	82,93	13,79	3,28
Média E	88,98	6,70	4,33	78,15	18,49	3,37
DP	0,00	0,00	0,00	8,83	7,07	1,92

APÊNDICE G – SF e SV nas repetições

Repetição	SF (%)		SV (%)	
	Início	Fim	Início	Fim
A1	75,87	77,51	24,13	22,49
A2	75,87	77,41	24,13	22,59
A3	75,87	76,95	24,13	23,05
A4	75,87	76,98	24,13	23,02
Média A	75,87	77,21	24,13	22,79
DP	0,00	0,29	0,00	0,29
B1	58,46	70,81	41,54	29,19
B2	58,46	71,36	41,54	28,64
B3	58,46	70,73	41,54	29,27
B4	58,46	70,86	41,54	29,14
Média B	58,46	70,94	41,54	29,06
DP	0,00	0,28	0,00	0,28
C1	50,04	67,04	49,96	32,96
C2	50,04	65,35	49,96	34,65
C3	50,04	66,21	49,96	33,79
C4	50,04	64,30	49,96	35,70
Média C	50,04	65,73	49,96	34,27
DP	0,00	1,17	0,00	1,17
D1	46,22	62,67	53,78	37,33
D2	46,22	63,29	53,78	36,71
D3	46,22	60,13	53,78	39,87
D4	46,22	58,59	53,78	41,41
Média D	46,22	61,17	53,78	38,83
DP	0,00	2,20	0,00	2,20
E1	34,35	54,94	65,65	45,06
E2	34,35	55,97	65,65	44,03
E3	34,35	53,32	65,65	46,68
E4	34,35	52,68	65,65	47,32
Média E	34,35	54,22	65,65	45,78
DP	0,00	1,50	0,00	1,50

APÊNDICE H – COT, NTK e relação C/N nas repetições

Repetição	COT (%)		NTK (%)		C/N	
	Início	Fim	Início	Fim	Início	Fim
A1	13,41	12,49	0,86	0,94	15,68	13,23
A2	13,41	12,55	0,86	0,81	15,68	15,51
A3	13,41	12,81	0,86	0,82	15,68	15,62
A4	13,41	12,79	0,86	1,05	15,68	12,18
Média A	13,41	12,66	0,86	0,91	15,68	14,13
DP	0,00	0,16	0,00	0,11	0,00	1,70
B1	23,08	16,22	1,22	1,21	18,98	13,37
B2	23,08	15,91	1,22	1,32	18,98	12,03
B3	23,08	16,26	1,22	1,04	18,98	15,67
B4	23,08	16,19	1,22	1,37	18,98	11,80
Média B	23,08	16,14	1,22	1,24	18,98	13,22
DP	0,00	0,16	0,00	0,15	0,00	1,78
C1	27,76	18,31	1,17	1,46	23,72	12,52
C2	27,76	19,25	1,17	1,51	23,72	12,73
C3	27,76	18,77	1,17	1,22	23,72	15,45
C4	27,76	19,83	1,17	1,47	23,72	13,52
Média C	27,76	19,04	1,17	1,41	23,72	13,55
DP	0,00	0,65	0,00	0,13	0,00	1,33
D1	29,88	20,74	1,49	1,57	20,00	13,18
D2	29,88	20,40	1,49	1,70	20,00	11,97
D3	29,88	22,15	1,49	1,53	20,00	14,48
D4	29,88	23,01	1,49	1,62	20,00	14,20
Média D	29,88	21,57	1,49	1,61	20,00	13,46
DP	0,00	1,22	0,00	0,07	0,00	1,14
E1	36,47	25,04	1,52	2,02	23,92	12,41
E2	36,47	24,46	1,52	1,41	23,92	17,35
E3	36,47	25,94	1,52	1,71	23,92	15,14
E4	36,47	26,29	1,52	1,78	23,92	14,74
Média E	36,47	25,43	1,52	1,73	23,92	14,91
DP	0,00	0,83	0,00	0,25	0,00	2,02

APÊNDICE I – Número de minhocas e ovos nas repetições

Repetição	Minhocas	Ovos
A1	688	92
A2	658	150
A3	582	148
A4	524	102
Média A	613	123
DP	74	30
B1	646	134
B2	853	173
B3	724	122
B4	701	110
Média B	731	135
DP	88	27
C1	588	175
C2	392	87
C3	505	102
C4	449	158
Média C	484	131
DP	84	43
D1	419	187
D2	601	186
D3	478	168
D4	373	177
Média D	468	180
DP	99	9
E1	220	149
E2	308	162
E3	318	99
E4	426	118
Média E	318	132
DP	84	29