



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE ENGENHARIA AGRONÔMICA

ALINE TORQUATO LOIOLA

**LIBERAÇÃO DE NUTRIENTES E METAIS PESADOS EM COMPOSTAGEM
DE RESÍDUOS ORGÂNICOS DOMICILIARES**

MOSSORÓ

2017

ALINE TORQUATO LOIOLA

**LIBERAÇÃO DE NUTRIENTES E METAIS PESADOS EM COMPOSTAGEM DE
RESÍDUOS ORGÂNICOS DOMICILIARES**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), como exigência final para obtenção do título de bacharelado em Engenharia Agrônômica.

Orientadora: Prof^a Dr^a Eulene Francisco da Silva – UFERSA.

Co-orientador: Prof^o Dr. Nildo da Silva Dias – UFERSA.

MOSSORÓ

2017

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

L8341 Loiola, Aline Torquato.
Liberação de nutrientes e metais pesados em
compostagem de resíduos orgânicos domiciliares /
Aline Torquato Loiola. - 2017.
41 f. : il.

Orientadora: Eulene Francisco da Silva.
Coorientador: Nildo da Silva Dias.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Agronomia, 2017.

1. Reaproveitamento. 2. Mineralização. 3.
Macronutrientes. I. Silva, Eulene Francisco da ,
orient. II. Dias, Nildo da Silva , co-orient.
III. Título.

ALINE TORQUATO LOIOLA

**LIBERAÇÃO DE NUTRIENTES E METAIS PESADOS EM COMPOSTAGEM
DE RESÍDUOS ORGÂNICOS DOMICILIARES**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), como exigência final para obtenção do título de bacharelado em Engenharia Agrônômica.

Data da defesa: 02/05/2017

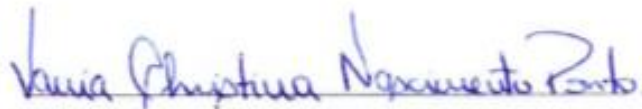
BANCA EXAMINADORA



Eulene Francisco da Silva, Profª. Drª.(UFERSA)
Presidenta



Nildo da Silva Dias, Profª. Drª.(UFERSA)
Examinador



Vânia Christina Nascimento Porto, Profª. Drª.
(UFERSA)
Examinadora



Maria Valdete Da Costa, Msc. (UFERSA)
Examinadora

Este trabalho é dedicado às famílias camponesas que sempre sonharam em ver suas filhas e filhos diplomados, e a minha família que luta incansavelmente pelo bem comum, em especial Ademar Oliveira Loiola e Francisca Torquato de Amorim.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus por sua infinita bondade, pelo dom da vida e por me abençoar a cada dia.

Agradeço a minha família por sempre acreditarem no melhor que posso ser, pelo incentivo, pela educação, pelo amor e por serem o real motivo dessa conquista. Minha mãe Francisca Torquato de Amorim, meu pai Ademar Oliveira Loiola, minhas irmãs: Arlene, Aiaza, Ângela, Abele e meu irmão Ademar.

Ao meu querido amigo e companheiro, Celimari Campos, que durante esses anos dividiu comigo cada momento da vida universitária, foi meu apoio nas mais diversas situações, todo meu carinho e gratidão.

Agradeço aos meus tios e tias e em especial minha avó Maria Loiola Leite, que foi minha primeira professora e me ensinou a delícia que era aprender. Agradeço também com muito carinho ao meu Padrinho Damião Loiola e sua esposa Eroine Oliveira por toda gentileza em sempre me receber na sua casa durante toda a minha caminhada de estudos.

Agradeço a Prof.^a Eulene por ter orientado com muito gosto, atenção e dedicação nesse trabalho, que para mim é tão importante por encerrar uma das fases mais sonhadas e batalhadas por mim e toda minha família. Agradeço ao professor Nildo da Silva Dias e a professora Vania Christina Nascimento Porto pela confiança nos trabalhos e pelos ensinamentos, por serem pessoas muito especiais para mim, e por construírem uma Universidade mais popular. Agradeço também a Ana Kaline Ferreira e a Daianni Ariane por toda a ajuda na construção desse trabalho e a toda a turma 2012.1 em especial aos graduandos Ana Carla, Nicolas, Diorge, Roberto e Pedro pela parceria nos estudos. Desejo a todos, sucesso na vida profissional.

Agradeço a Escola Família Agrícola Dom Fragoso por ter contribuído de maneira tão forte e positiva na minha vida. Me orientando como profissional e pessoa humana sempre na luta por justiça e pela agroecologia.

Agradeço a Luiz Inácio Lula da Silva e Dilma Vana Rousseff por darem início ao um governo popular que tirou milhões de brasileiros da extrema pobreza, por terem sido referência mundial em políticas sociais que deram condições para meu ingresso e permanência numa universidade pública, gratuita e de qualidade.

Agradeço à Universidade Federal Rural do Semi-Árido pela oportunidade de concluir o curso que eu almejava, por ser uma Universidade popular voltada para a realidade do semiárido.

E aprendi que se depende sempre, de tanta, muita, diferente gente. Toda pessoa sempre é as marcas das lições diárias de outras tantas pessoas. E é tão bonito quando a gente entende que a gente é tanta gente onde quer que a gente vá. E é tão bonito quando a gente sente que nunca está sozinho por mais que pense estar.

Luiz Gonzaga Júnior

RESUMO

Um dos grandes desafios da sociedade atual é o estabelecimento de um sistema amplo e eficaz de gerenciamento de resíduos sólidos, principalmente devido ao processo de expansão e urbanização das cidades. Uma das alternativas seria o uso desses resíduos na agricultura, por meio da compostagem, associando resíduos alimentares sólidos, restos vegetais e esterco. Todavia, o potencial de uso desse composto orgânico formado depende da sua capacidade em disponibilizar nutrientes e metais pesados para as plantas. Assim, objetivou-se com esse trabalho avaliar a dinâmica da liberação de nutriente e metais pesados durante o processo de compostagem com diferentes misturas de resíduos orgânicos, preparados com restos de vegetais e diferentes proporções de esterco bovino e resíduos alimentares domésticos. A pesquisa foi desenvolvida na Associação Comunitária Reciclando para a Vida – ACREVI, no município de Mossoró-RN. A compostagem foi realizada em três subetapas compreendidas em coleta do material orgânico, montagens e caracterização das pilhas. Os materiais orgânicos utilizados foram restos vegetais (podas de árvores), esterco bovino e resíduos alimentares. As proporções entre estercos (E) e resíduos alimentares (RA) foram: **Pilha 1 - 0:3** (0% de E e 30% RA); **Pilha 2 - 1:2** (10% E e 20% RA); **Pilha 3 - 1:1** (15% E e 15% RA); **Pilha 4 - 2:1** (20% E e 10% de RA); **Pilha 5 - 3:0** (30% E e 0% RA) (pilha considerada testemunha), o restante de 70 % foram preenchidos com restos vegetais. Foram analisados carbono orgânico total, macro e micronutrientes e metais pesados. Com os resultados das liberações de nutrientes no período de 90 dias, determinou-se a constante de liberação de nutriente (k), tempo de meia vida ($t_{1/2}$) e tempo para que 95% fosse liberado ($t_{(0,95)}$), pelo modelo o exponencial de caída. O incremento na proporção de esterco bovino nas pilhas de compostagem que continham resíduos alimentares, ocasionou aumento na mineralização do C do composto, todavia na pilha somente com resíduos de árvores provenientes da limpeza urbana associados com esterco proporcionou diminuição no tempo de mineralização do C com $T_{(1/2)}$ de 96 dias. Houve imobilização de N somente na pilha com 15% E e 15% RA, nas demais o N foi mineralizado. A pilha formada somente por resíduos vegetais e restos alimentares teve menor liberação de Ca e Mg com o $t_{(1/2)}$ de 122 e 120 dias, respectivamente, seguindo de posterior aumento na liberação desses nutrientes nas demais pilhas de compostagem. Ao contrário do que aconteceu com K, no qual a diminuição proporcional do RA e o aumento do esterco bovino, promoveu liberação mais lenta desse nutriente. Para os micronutrientes, cobre e zinco houve redução em relação aos teores iniciais nas pilhas de compostagem, enquanto para o ferro observou-se um aumento. Todos os teores de metais pesados foram reduzidos no produto final no processo de compostagem, independente das pilhas, sendo que praticamente todo o chumbo foi liberado durante os 90 dias de compostagem.

Palavras-chave: Reaproveitamento. Mineralização. Macronutrientes.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Teores iniciais dos nutrientes nas diferentes pilhas de compostagem.....	26
Tabela 2	– Parâmetro do modelo de regressão ajustados ($X = X_0 e^{-kt}$) aos valores liberação de C e N, tempo de meia-vida ($t_{1/2}$), tempo necessário para que 95% C seja liberado ($t_{0,95}$) e coeficiente de determinação (R^2) para diferentes pilhas de compostagem, no período de 90 dias de compostagem.....	28
Tabela 3	– Parâmetro do modelo de regressão ajustados ($X = X_0 e^{-kt}$) aos valores liberação de P, K, Ca e Mg, tempo de meia-vida ($t_{1/2}$), tempo necessário para que 95% C seja liberado ($t_{0,95}$) e coeficiente de determinação (R^2) para diferentes pilhas de compostagem, no período de 90 dias de compostagem.....	31
Tabela 4	– Teores iniciais e finais de sódio, micronutrientes e metais pesados nas diferentes proporções estudada, no período de 90 dias de compostagem.....	33

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	–	Coleta e moagem do material vegetal oriundo da poda das árvores.....	23
Figura 2	–	Resíduos alimentares utilizados no experimento.....	24
Figura 3	–	Dimensões das pilhas de compostagem construídas, 1,60 m de altura e 2,00m de largura.....	25
Figura 4	–	Modelo de construção das pilhas de compostagem.....	25

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	12
2.1	Compostagem de Resíduos Sólidos.....	12
2.2	Fatores que interferem no processo de compostagem.....	15
2.2.1	Oxigenação.....	16
2.2.2	Temperatura.....	16
2.2.3	Umidade.....	17
2.2.4	Tamanho das Partículas.....	18
2.2.5	pH.....	18
2.2.6	Relação Carbono/Nitrogênio.....	19
2.2.7	Organismos.....	19
2.3	Liberação de nutrientes em resíduos orgânicos.....	20
3	OBJETIVOS	22
3.1	Geral.....	22
3.2	Específicos.....	22
4	MATERIAL E MÉTODOS	23
4.1	Localização.....	23
4.2	Aquisição dos resíduos sólidos utilizado na compostagem.....	23
4.3	Construção das pilhas de compostagem.....	24
4.4	Coleta de materiais e análises realizadas.....	27
4.5	Análise estatística e interpretação dos resultados.....	27
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	35
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	37

1 INTRODUÇÃO

Um dos mais sérios problemas ambientais de responsabilidade do poder público é a crescente geração de resíduos sólidos, que vem provocando sérios impactos ambientais devido sua taxa de geração ser bem maior do que a de degradação. Assim, quanto maior o consumo, mais recursos são empregados e, portanto, mais resíduos de diferentes origens são produzidos (FIORI et al., 2008).

Entre esses resíduos sólidos há uma grande quantidade de resíduos orgânicos que juntamente com os demais resíduos são destinados aos aterros sanitários. Associam-se a eles algumas desvantagens como a produção de compostos com liberação de gases (CO_2 e CH_4) relacionados ao efeito estufa e produção de odores. Agravando ainda mais os problemas ambientais, os resíduos orgânicos quando mau manejados formam um subproduto líquido oriundo da degradação do material, conhecido como chorume podendo contaminar o solo e os corpos hídricos.

Além disso, quando se utiliza esses resíduos na agricultura de forma aleatória e sem estudos prévios, pode provocar a degradação do ambiente pela liberação de grande quantidade metais pesados e outros poluentes. Com isso, um dos grandes desafios da sociedade atual é o estabelecimento de um sistema amplo e eficaz de gerenciamento de resíduos sólidos, principalmente devido ao processo de expansão e urbanização das cidades que, desencadeia crescimento populacional, trazendo produção elevada, consumo exagerado e problemas em massa.

Como alternativa promissora para resolução parcial deste problema, tem-se a utilização da compostagem, que consiste num processo controlado de transformação biológica, na presença de oxigênio, por meio da qual se consegue a humificação desses resíduos, tendo como produto final um composto orgânico que apresenta características agronômicas desejáveis, sendo classificado pela legislação brasileira como fertilizante orgânico (KIEHL, 2004).

O composto orgânico oriundo de resíduos vegetais como folhagens, palhada, cascas de frutas, podas e aparas, sobras de alimentos, entre outros, misturados ao esterco originário das fezes animais, forma materiais humificados ricos em carbono, e ao mesmo tempo rico em nitrogênio, sendo que a aplicação desse material compostado é uma alternativa importante para o gerenciamento e transformação desses resíduos orgânicos. Dessa forma, além de auxiliar na substituição parcial ou total de fertilizantes minerais, a compostagem pode

favorecer o cultivo de hortas, projetos paisagísticos, reflorestamento e recuperação de solos degradados (ANDERSEN et al., 2010).

Todavia, o potencial de utilização desses resíduos sólidos na adubação das culturas depende da sua capacidade em disponibilizar nutrientes para as plantas, e o quanto de nutriente é liberado ao longo do processo de compostagem. Isso implica na necessidade de se conhecer a dinâmica da liberação dos nutrientes neles contidos ao longo do tempo.

Tendo em vista a necessidade de pesquisas aprofundadas sobre a melhoria da eficiência do processo de compostagem e a liberação de nutrientes em misturas de resíduos orgânicos domésticos, restos vegetais e esterco realizou-se esse trabalho como proposta para uma melhor gestão de resíduos e melhor qualidade quanto ao fornecimento de nutrientes às plantas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Compostagem de Resíduos Sólidos

A preocupação com os resíduos urbanos é mundial e segundo o panorama de resíduos sólidos no Brasil em 2014 foram gerados 78.583.405 toneladas de resíduos sólidos urbanos, com aumento de 2,90% quando comparado ao ano anterior, sendo que de 90% desses resíduos que foram coletados, apenas 58% foram destinados corretamente (ABRELPE, 2014).

Definido pela NBR 10.004 de 2004, os Resíduos Sólidos são todos aqueles resíduos nos estados sólidos e semi-sólidos que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, de serviços, de varrição ou a agrícola. Segundo a Fundação Nacional de Saúde (2007) os Resíduos Sólidos caracterizam-se por materiais heterogêneos (inertes, minerais e orgânicos) resultantes das atividades humanas e da natureza, os quais podem ser parcialmente utilizados, gerando, entre outros aspectos, proteção à saúde pública e economia de recursos naturais.

E que de maneira geral os resíduos sólidos são constituídos de materiais:

- Facilmente degradáveis: restos de comida, sobras de cozinha, folhas, capim, cascas de frutas, animais mortos e excrementos;
- Moderadamente degradáveis: papel, papelão e outros produtos celulósicos;
- Dificilmente degradáveis: trapo, couro, pano, madeira, borracha, cabelo, pena de galinha, osso e plástico;

- Não degradáveis: metal não ferroso, vidro, pedras, cinzas, terra, areia e cerâmica.

Com a implantação de leis ambientais mais severas, que valorizam o gerenciamento ambiental, tem havido uma conscientização gradual dos efeitos nocivos provocados pelo despejo contínuo de resíduos sólidos e líquidos no meio ambiente. Desta forma, os sistemas agroindustriais vêm sendo incentivados a reciclar os seus resíduos no sentido de obter maiores rendimentos de seus processos produtivos e, conseqüentemente gerar menos resíduos a serem tratados, minimizando custos com a sua disposição final (VALENTE et al., 2009).

Nota-se que a quantidade e composição dos resíduos domiciliares de uma região caracterizam a sua população, sua cultura e seu perfil de consumo, variando de comunidade para comunidade, de acordo com os hábitos e costumes da população, número de habitantes do local, poder aquisitivo, variações sazonais, clima, desenvolvimento, nível educacional, variando ainda para a mesma comunidade com as estações do ano (FUNASA, 2007).

De acordo com Peixoto e Fernandes (2016), cerca de 50% dos resíduos sólidos urbanos gerados no Brasil correspondem a matéria orgânica que poderiam ser reutilizados através da incineração, biodigestão e compostagem. Na incineração os resíduos orgânicos são queimados para a produção de energia elétrica ou térmica. A incineração no entanto, torna-se outro agravante, por ser da mesma forma considerada poluidora, nociva à saúde humana e ao meio ambiente.

Atualmente há outras formas de reciclagem de matéria orgânica como a biodigestão e a compostagem. A biodigestão é um processo de decomposição anaeróbica da matéria orgânica que gera adubo e gases como CO₂ e metano que também pode ser captado para a produção de energia térmica ou elétrica. Já a compostagem é um processo de decomposição da matéria orgânica podendo ser aeróbico ou anaeróbico que se transforma em adubo para ser utilizado como fertilizante de solo das plantações (PEIXOTO e FERNANDES, 2016).

Na busca de meios que possam minimizar os problemas causados pela disposição inadequada de resíduos orgânicos, vários métodos de tratamento e disposição vêm sendo estudados localmente e no mundo. Sendo que o processo de compostagem se destaca como medida para o tratamento adequado desses resíduos.

A compostagem é geralmente aplicada a resíduos não fluidos, ou seja, resíduos sólidos provenientes de diversas fontes, como resíduos urbanos, agroindustriais e agropecuários (AMINE-KHODJA et al., 2006). Segundo Oliveira et al. (2004) o composto orgânico é o material obtido da compostagem o qual possui cor escura, rico em húmus e, contém de 50% a 70% de matéria orgânica. É classificado como adubo orgânico, pois é preparado a partir de

esterco de animais e/ou restos de vegetais que, em estado natural, não têm valor agrícola. A composição do composto orgânico depende da natureza da matéria-prima utilizada.

O tratamento e a reciclagem de resíduos orgânicos não representam, necessariamente, uma solução final para os problemas de escassez de alimentos ou do saneamento ambiental, mas podem contribuir significativamente para reduzir os danos causados pela sua disposição desordenada no meio ambiente, além de propiciar a recuperação de solos agrícolas exauridos pela ação de fertilizantes químicos aplicados indevidamente (LIMA, 2002).

De maneira geral, todos os restos orgânicos vegetais ou animais encontrados poluindo o meio ambiente nas propriedades agrícolas podem ser utilizados na fabricação dos compostos. Atualmente, os materiais mais utilizados são: restolho de culturas; palhas e cascas (espiga de milho, arroz, palhada do feijão, vagem, bagaço de cana, palha de carnaúba, palha de café, serragem, sobra de coqueiras e camas de animais) (OLIVEIRA et al., 2004). Segundo Teixeira (2002) essas associações deverão, se possível, ser utilizadas na proporção de 70% de material rico em hidratos de carbono (restos vegetais) e 30% pobre em carbono (esterco de animais), mas rico em nitrogênio. Os materiais ricos em nitrogênio são de fácil decomposição e se prestam como fonte de nutrientes para o composto. O esterco, além de fornecer nitrogênio, é considerado material inoculante de bactérias e fungos.

A compostagem por vários motivos demonstra ser o melhor processo de destinação para os resíduos orgânicos, principalmente por ser um processo simples que leva em consideração a sustentabilidade ambiental, social e econômica. De acordo com Spinelli e Cali (2009), em São Paulo, um restaurante desperdiça semanalmente cerca de 1.226 kg de resíduos de alimentos, que são encaminhados aos aterros sem nenhum tratamento prévio. Neste caso, acredita-se que o tratamento ideal seria realizar a compostagem no próprio local, evitando gastos desnecessários, desperdício de nutrientes e preservando o meio ambiente.

As vantagens do uso de composto orgânico na agricultura, segundo Oliveira et al. (2004) são:

- Fornece elementos nutritivos ao solo;
- Melhora o nível de aproveitamento dos adubos minerais. A matéria orgânica ajuda na retenção de nutrientes fornecidos quimicamente, dando tempo ao aproveitamento dos mesmos pelas plantas, amenizando os efeitos de sua infiltração rápida para as camadas mais profundas do solo;
- Promove a solubilização de nutrientes em solos minerais. Essa ação ocorre devido à ação dos ácidos orgânicos húmicos contidos nos húmus (vegetais ou animais decompostos);

- Melhora a estrutura (granulação) do solo. Confere ao solo maior capacidade de absorção e armazenamento de água, possibilitando, ainda, uma boa aeração, um melhor desenvolvimento do sistema radicular e maior facilidade dos cultivos;
- Favorece uma maior atividade microbiana no solo. Resultam disso, novas e acentuadas melhorias para o solo, pois a matéria orgânica serve de alimento para a população microbiana do solo;
- Promove a elevação da capacidade de troca de cátions do solo;
- Melhoria da capacidade tampão do solo. O uso de matéria orgânica permite uma rápida correção da acidez do solo, tendendo a estabilizar o pH próximo à neutralidade;
- Redução da toxidez por pesticidas e de outras substâncias tóxicas.

2.2 Fatores que interferem no processo de compostagem

A compostagem é o termo usado para definir a decomposição microbiológica da matéria orgânica por diferentes microrganismos e em meio aeróbico, onde os resíduos orgânicos são tratados e estabilizados para produzir o composto orgânico, esse produto humificado pode ser facilmente utilizado em áreas agrícolas (DUTRA et al., 2013). O processo da compostagem requer não apenas planejamento (seleção de matérias-primas e misturas), mas também um adequado monitoramento dos parâmetros de controle (SILVA, 2016).

Os principais parâmetros são: temperatura, pH, umidade, concentração de oxigênio e porosidade (SILVA, 2016). Durante a compostagem, o material aquece como resultado da atividade de degradação dos microrganismos. Como se trata de um processo basicamente termofílico e mesofílico são necessários alguns cuidados; manter a temperatura entre os padrões máximos e mínimos para que não afetem os microrganismos decompositores. Além disso, manter a umidade dentro dos limites adequados é essencial para eficiência dos microrganismos. Umidades muito elevadas ou baixas reduzem a produtividade da compostagem. O monitoramento correto da umidade e temperatura do processo é um fator determinante para o produto final, assim como a qualidade da matéria-prima usada no início do processo (LÓPEZ et al., 2014).

Conforme Penteado (2000), são três os métodos de compostagem:

a) Compostagem aeróbia: É a compostagem comumente utilizada, caracterizando-se pela presença de ar no interior da pilha, altas temperaturas decorrentes da liberação de gás carbônico, vapor de água e rápida decomposição da matéria orgânica. Neste processo ocorre a eliminação de organismos e sementes indesejáveis, mau odor e moscas;

b) Compostagem anaeróbia: Processo mais lento em comparação ao aeróbio ocorrendo sob menores temperaturas e ausência de oxigênio devido à fermentação. Neste processo ocorre desprendimento de gases como o metano e sulfídrico, que exalam mau cheiro, não há isenção de microrganismos e sementes indesejadas;

c) Compostagem mista: A compostagem é submetida a uma fase aeróbia e outra anaeróbia.

2.2.1 Oxigenação

Apesar do processo ser aeróbio por definição, isto não ocorre na totalidade da massa (SILVA, 2016). É normal a criação de microsítios e até zonas internas anaeróbias (<10% de O_2) por causa do alto consumo de O_2 pelo metabolismo microbiano (INÁCIO e MILLER, 2009). Nas zonas anaeróbicas ocorre o processo de fermentação onde a presença do ar na massa em decomposição é indispensável, portanto o material empilhado não deverá sofrer compactação excessiva e, periodicamente, deve ser revolvido. Caso ocorra fermentação na ausência do ar, haverá perda de nitrogênio, odores desagradáveis e problema de proliferação de moscas (OLIVEIRA et al., 2004).

Podem-se utilizar dois métodos diferenciados para fazer a oxigenação das pilhas: os artificiais denominados mecânicos, no qual se utilizam máquinas como o trator ou simplesmente através do reviramento manual, geralmente com o auxílio de pás, para suprir a necessidade de oxigênio durante a atividade microbiológica, como fator de controle da temperatura (PEREIRA NETO, 2010).

2.2.2 Temperatura

Este é um dos principais parâmetros de qualidade do processo de compostagem, pois indica o bom funcionamento ou não do processo, devendo ser em média de 55° C. Temperaturas maiores que 65° C não são aconselhadas, pois podem resultar na morte dos microrganismos, responsáveis pela degradação dos resíduos orgânicos (PEREIRA NETO, 2010).

Após certo estágio de decomposição, a temperatura declina para fase mesófila, indicando o início da estabilização do composto, mantendo-se pelo período de degradação subsequente, até atingir a temperatura ambiente, quando o composto se encontra em estágios de maturação mais avançados (KIEHL, 2004). Segundo Inácio e Miller (2009), os microrganismos mesófilos possuem atividade ideal a aproximadamente 45° C e os termófilos agem na faixa de 45 até 75° C.

O trabalho dos microrganismos para promover a decomposição da matéria orgânica resulta na liberação de calor, portanto aquecendo o meio. A melhor faixa de temperatura é de 60% a 70% o que, inclusive, contribui para a esterilização do material, provocando a morte de organismos que causam doenças às plantas e destruindo materiais propagativos de ervas daninhas (sementes, pedaços de caules, entre outros) (GOMES e PACHECO, 1988). A constatação prática da temperatura desejável é feita mediante apalpamento, com as costas das mãos, em uma barra de ferro ou vara que se deixa fincada no material empilhado, a uma profundidade mínima de 50 cm. Deve-se senti-la quente, a 40 cm sem, entretanto, ter necessidade de retirar a mão para não queimar (OLIVEIRA et al., 2004).

2.2.3 Umidade

O teor de umidade afeta a atividade microbiológica, assim como a estrutura física no processo de compostagem. Por um lado, baixos teores limitam a taxa de biodegradação, enquanto altos teores afetam a agregação de partículas, e a porosidade da estrutura e a permeabilidade dos gases na massa em degradação, podendo limitar a quantidade de oxigênio disponível para o crescimento microbiano aeróbio (RICHARD et al., 2002).

Dessa maneira, o material em decomposição deverá estar sempre úmido, entre os limites de 30 e 70% de umidade. Valores menores que 30% impedem a fermentação e maiores que 70% expulsam o ar do ambiente. A melhor faixa de umidade está entre 40% e 60%. O material deve mostrar-se úmido, sem, entretanto, deixar escorrer água quando prensado (OLIVEIRA et al., 2004).

Apesar da faixa ótima indicada ser em torno de 40 a 60%, os valores de umidade são variados na compostagem, não existindo um teor universal, pois cada material tem características particulares, e isso afeta a relação entre teor de umidade e os fatores correlacionados, como disponibilidade de água, tamanho de partícula, porosidade e permeabilidade (MAKAN et al., 2013).

2.2.4 Tamanho das Partículas

Para Pereira Neto (2007) o tamanho da partícula interfere diretamente em vários aspectos: homogeneização da matéria; compactação; porosidade; capacidade de aeração; área superficial e tempo de compostagem.

Do ponto de vista microbiológico, quanto menor o tamanho das partículas a serem compostadas, melhor será o desempenho dos microrganismos, por prover maior superfície de ação do substrato. Durante a montagem da leira ou pilha de compostagem o material precisa manter a porosidade de 3 a 7 cm em função da aeração, que resultará em compostagem mais rápida. Entretanto a trituração não é recomendável para resíduos alimentícios, por serem materiais de alta decomposição e tenderem a desprender muita água durante o processo (INÁCIO e MILLER, 2009).

2.2.5 pH

O pH (potencial hidrogeniônico) pode ser um fator determinante para indicar a bioestabilização do composto durante o processo. No início da compostagem, o pH pode ser elevado, devido às altas temperaturas presentes no meio e à liberação dos ácidos orgânicos (SILVA, 2016).

Geralmente no início do processo de compostagem, com a decomposição dos resíduos ocorre formação de ácidos orgânicos derivados de materiais carbonáceos, que promovem uma redução no valor do pH (KIEHL, 2005). Com o desenvolvimento de microrganismos capazes de utilizar tais ácidos como substrato, são liberados compostos básicos, gerando reações alcalinas, o que favorece a elevação do pH acima de 8 no final do processo, sendo característica de um composto maturado (KIEHL, 2004).

Segundo Pereira Neto (2007), a compostagem pode ser desenvolvida numa faixa bem ampla de pH, entre 4,5 e 9,5, sendo valores extremos naturalmente regulados pelos microrganismos. No produto final geralmente encontra-se o pH na faixa de 6,5 a 9,6 dependendo do material que for compostado, porém, é importante ressaltar que as misturas devem levar ao pH médio entre 5,0 e 7,0 (EMBRAPA, 2009).

2.2.6 Relação Carbono:Nitrogênio

A relação C:N depende dos microrganismos e do seu crescimento. Durante o processo 2/3 do carbono são liberados para atmosfera em forma de CO₂ e 1/3 combina-se com o nitrogênio durante as reações celulares. A relação C:N possui influência direta sobre o tempo de maturação do composto (EMBRAPA, 2009).

Segundo Pereira Neto (2010), o carbono destaca-se por ser a fonte básica de energia para as atividades vitais dos microrganismos. Já o nitrogênio é essencial na reprodução protoplasmática dos microrganismos. O carbono é utilizado como fonte de energia e na formação de estrutura das células microbiana. Já o nitrogênio é importante para a formação de proteínas, DNA e RNA microbiano. As proporções de nitrogênio e carbono devem ser balanceadas, pois o aumento ou diminuição de um dos nutrientes pode ser decisivo para a qualidade do composto e dependendo das proporções do desequilíbrio o processo pode até nem acontecer.

É inerente ao funcionamento dos microrganismos retirar da matéria orgânica sempre na relação de trinta partes de carbono (C) para uma parte de nitrogênio (N), sendo uma faixa ótima entre 25:1 a 35:1 mais utilizada para início do processo de compostagem (KUMAR et al., 2010). Na compostagem de resíduos ricos em N, os materiais estruturantes misturados podem fornecer, além de estrutura, também celulose e lignina suficiente para elevar essas relações e suprimir possíveis perdas de N ao longo do processo (AMLINGER et al., 2008).

Após as fontes de carbono mais imediatas serem exauridas, inicia-se a segunda fase, denominada de bioestabilização, quando é comum o ataque microbiano nas frações mais resistentes, como a hemicelulose e lignina (CORRÊA et al., 2012). Na última fase do processo, ocorre a humificação, onde a fração lignina, os produtos mineralizados e a biomassa morta dos microrganismos, resultam na formação de húmus, o que fornece um composto com coloração escura, cheiro de terra e grande capacidade de retenção de água e nutrientes (PEREIRA NETO, 2007).

2.2.7 Organismos

Os organismos decompositores que atuam na compostagem são na sua maioria bactérias, fungos e actinomicetos, sendo temperatura, pH, nutrientes e oxigênio alguns dos fatores relevantes na taxa de crescimento das populações nas diferentes etapas do processo (CORRÊA et al., 2012). Os materiais inoculantes, como esterco, camas de animais, resíduos

de frigoríficos, tortas oleaginosas, são ricos nesses microrganismos (GOMES e PACHECO, 1988). Daí a necessidade de um destes materiais estar presente no processo de compostagem (OLIVEIRA et al., 2004).

Inácio e Miller (2009) ressaltam a importância de outros fatores relativos ao preparo dos resíduos utilizados, como a proporção da mistura, posição de camadas de diferentes materiais e as características químicas e físicas, que são determinantes no fluxo de ar, vapor d'água e retenção de calor na massa em decomposição. O controle desses fatores resulta em condições propícias para o desenvolvimento dos microrganismos responsáveis pela transformação desses resíduos em adubo ideal para o suprimento nutricional das plantas.

2.3 Liberação de nutrientes em resíduos orgânicos

A avaliação da decomposição dos resíduos vegetais e liberação de nutrientes adicionados ao solo pelos resíduos orgânicos permite melhor compreensão do fornecimento de nutrientes para as culturas de interesse comercial. Além disso, após a maturação da pilha de compostagem, pode-se estimar a perda de nutriente pela demora no uso do composto orgânico. Diversos fatores são relacionados com a decomposição de resíduos vegetais adicionados ao solo, tais como: a atuação de macro e microrganismos decompositores, as características do material orgânico que determinam sua degradabilidade e as condições edafoclimáticas da região (CORREIA e ANDRADE, 1999).

Sob as mesmas condições climáticas e de solo, a qualidade do resíduo (teores e relações entre C, N, P, S, lignina, celulose e polifenóis) é o fator mais importante na decomposição e liberação de nutriente, todavia é inexistente informações referentes a liberação de nutriente durante o processo de compostagem, nesse caso, nesta parte da revisão será dado ênfase na liberação de nutriente em resíduos orgânicos ou serapilheira de uma forma geral.

Espindola et al. (2006) observaram que a partir dos valores de k (constante de decomposição), tornou-se possível estabelecer a seguinte ordem de liberação de nutriente em diversos materiais orgânicos: $K > Mg > P > N > Ca$, sendo as leguminosas apresentaram rápida liberação de N, enquanto o capim-colonião causou imobilização desse nutriente. Dentre as leguminosas avaliadas, pode-se recomendar o amendoim forrageiro para situações onde haja necessidade de uma liberação mais rápida de N, enquanto cudzu tropical e siratro mostraram-se mais adequados em cultivos onde se esperava liberação mais lenta desse nutriente. Oliveira et al. (1999) observaram que a porcentagem de liberação dos nutrientes K,

Ca, Mg e N, em relação ao total contido na palhada de cana-de-açúcar foi de 85, 44, 39, 18%, respectivamente.

Analizando gramíneas, milho em consórcio com braquiária, Santos et al. (2014) observaram que a matéria seca total inicial foi de aproximadamente $6,6 \text{ Mg ha}^{-1}$, com meia-vida de 115 dias, sendo que a liberação de nutrientes desse volume de palhada (kg ha^{-1}), com o respectivo percentual em relação à quantidade total de nutrientes acumulada na planta, até o final das avaliações foi de 29,3 (62%) de N; 7,8 (80%) de P; 42,2 (94%) de K; 48,6 (74%) de Ca; 17,0 (81%) de Mg; e 7,7 (79%) de S, seguindo a ordem de liberação $\text{K} > \text{Mg} > \text{P} > \text{S} > \text{N} > \text{Ca}$. Pode-se verificar que em ambos trabalhos uma rápida liberação do K, isso se explica pelo fato do K não ser elemento estrutural na planta e, assim, possuir fácil liberação (TAIZ e ZEIGER, 2009).

O potencial de uso de resíduos orgânicos de origem animal na adubação depende da capacidade deles em disponibilizar nutrientes no momento adequado. Isso implica na necessidade de se conhecer a dinâmica de decomposição e liberação dos nutrientes neles contidos. Silva et al. (2014) verificando a decomposição de esterco bovino (EB) e cama de frango (CF) isolados ou misturados (EM) na região de Tabuleiros Costeiros do Estado da Paraíba, observaram quanto aos valores de meia-vida, que esses foram elevados no EB (693 dias), seguido pelo EM (347 dias) e CF (231 dias). Segundo os autores o EB estava em estágio de humificação mais avançado, o que dificultou a decomposição microbiana. Após 270 dias da aplicação do EB, CF e EM houve liberação, em média, em relação aos teores iniciais de 5,0; 15,0; e 28,0% de N; 80,0; 68,0; e 47,0% de P; 20,0; 53,0; e 32,0% de K, respectivamente.

Costa et al. (2014) constataram que na fitomassa do consórcio crotalária + milheto, a máxima liberação diária de N, P, K, Ca, Mg, S e C ocorre no primeiro período de avaliação (0 a 18 dias após o manejo-DAM), e na última avaliação (91 DAM) pelo menos 80% de todos os macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) já estavam liberados ao solo. No caso do K, aos 91 DAM, restava-se em média, apenas 1,5% da quantidade total acumulada na palhada.

Com relação à compostagem, Orrico Júnior et al. (2009) em substrato da fração sólida da água residuária de suinocultura em Jaboticabal-SP, verificaram que os teores de C e N reduziram de 16,7 para 7,2% e 3,36 para 2,7%, respectivamente, com relação C:N final de 2,6. Já Gorgati (2001) encontrou no composto obtido de lixo urbano uma relação C: N de 6,6 em leiras cobertas, essas diferenças na relação C:N, provavelmente, possam ser atribuídas à qualidade dos substratos e, conseqüentemente, à facilidade de degradação. Orrico Júnior et al. (2009) também observaram correspondência entre as reduções de massa seca obtidas com a

compostagem e a concentração de nutrientes, havendo aumento de 50,9; 47,2; 45,7; 28,9 e 33,5% para P, K, Ca, Mg e Na, respectivamente. Segundo os autores essa concentração ocorreu pois evitaram a exposição das leiras às chuvas ou que ficassem excessivamente úmidas e assim favorecesse a formação de chorume, e assim diminuiu o escoamento superficial e/ou lixiviação de nutrientes.

Esse comportamento não foi observado por Amorim et al. (2004) quando conduziram leiras de compostagem a partir dos dejetos de caprinos também em Jaboticabal-SP, notando, inclusive, redução nos teores de nutrientes do composto em relação ao material inicial. As maiores reduções encontradas foram nas concentrações de P, Ca e Na (59,3; 54,6 e 57,8%, respectivamente) em leiras conduzidas durante o verão, com relação às demais estações. Os autores associaram esse comportamento com a formação de chorume no período inicial de compostagem.

Com esterco de bovino enleirado por 45 dias, Eghball (1997) verificou que ao final deste período, o material apresentou perdas de 42,5; 0,8; 15,8; 15,5; 1,6 e 1,9% para N, P, K, Na, Ca e Mg, respectivamente, e redução de massa de 20,4%.

3 OBJETIVOS

3.1 Geral

Avaliar a dinâmica da liberação de nutriente e metais pesados durante o processo de compostagem de resíduos domiciliares.

3.2 Específicos

- Identificar a pilha com maior mineralização de carbono e se há imobilização de nitrogênio durante o processo de compostagem;
- Identificar a pilha de compostagem com maiores taxas de liberação de nutrientes e o quanto do nutriente é liberado por dia;
- Classificar o adubo produzido de acordo com o limite de metais pesados estabelecido pela legislação.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização

A pesquisa foi desenvolvida na Associação Comunitária Reciclando para a Vida – ACREVI, no município de Mossoró – RN (5° 14' 18.8'' de latitude sul e 37° 18' 40.1'' de longitude oeste, com altitude de 18 m de altitude). O clima da região é caracterizado segundo Köppen como BSw_h, seco e muito quente, apresentando precipitação pluviométrica bastante irregular, com média anual de 673,9 mm, com uma estação seca, que geralmente compreende o período de junho a janeiro e uma estação chuvosa, entre os meses de fevereiro e maio, sendo a temperatura média é de 27 °C e umidade relativa do ar média de 68,9% (CARMO FILHO e OLIVEIRA, 1995).

4.2 Aquisição dos resíduos sólidos

Foram realizadas três subetapas compreendidas em coleta do material orgânico, montagens e caracterização das pilhas em estudo e, por fim monitoramento de parâmetros nas pilhas de compostagem.

Os materiais orgânicos utilizados para compostagem foram restos vegetais (podas de árvores), esterco bovino e resíduos alimentares. A coleta dos resíduos vegetais (podas das árvores) (Figura 1) foi realizada pelo serviço de limpeza urbana do município de Mossoró, acondicionados em caminhões e levados para a associação comunitária reciclando para a vida, onde foram triturados em um equipamento marca TRAPP (Vermeer BC1000XL-85hp).



Figura 1- Coleta e moagem do material vegetal oriundo da poda das árvores.

Fonte: Ferreira (2016).

O esterco de bovino foi proveniente do setor de bovinocultura da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA). Os resíduos alimentares (arroz, feijão, cascas de frutas, legumes, restos de carnes, entre outros) (Figura 2) foram adquiridos no Restaurante Popular e, no centro comercial de Mossoró. As coletas desses materiais ocorreram diariamente sempre no período matutino, durante dois meses, sendo estes armazenados em sacos plásticos e em seguida transferidos para freezer no laboratório de Análises de Solo, Água e planta (LASAP), para a conservação das propriedades físicas, químicas e biológicas.



Figura 2 - Resíduos alimentares utilizados no experimento.

Fonte: Ferreira (2016).

Foram coletadas aproximadamente 7 toneladas de poda vegetal, 1500 kg de esterco bovino e 1500 kg de resíduos alimentares. Posteriormente foram produzidos cinco compostos, totalizando cinco pilhas, a partir da coleta dos materiais, e os compostos produzidos de acordo com o método windrow (PEREIRA NETO, 2007).

4.3 Construção das pilhas de compostagem

A compostagem foi realizada em uma área de aproximadamente 100 m² em local plano, de fácil acesso para carga e descarga do material, e próximo a uma fonte de água para irrigações periódicas para o controle da umidade. As cinco pilhas foram construídas em formato cônico com dimensões aproximadas de 1,60 m de altura e 2,00 m de largura (Figura

3), e dispostas de forma espaçadas e paralelas umas às outras, com o intuito de facilitar o revolvimento, a passagem dos materiais e a locomoção das pessoas.



Figura 3 – Dimensões das pilhas de compostagem construídas, 1,60 m de altura e 2,00 m de largura. Fonte: Ferreira (2016).

Todas as pilhas foram construídas com 70% de material vegetal oriundo das podas de árvores, e o restante 30%, de esterco (E) e resíduos alimentares (RA), conforme recomendado por Pereira Neto (2007), ocorrendo variações nas proporções de E e RA.

Em todas as pilhas foram depositados uma camada de resíduo vegetal seco de aproximadamente 30 cm com podas de árvores trituradas, em seguida, foi regado com água de maneira uniforme por toda a pilha. Posteriormente, uma segunda camada foi instalada colocando aproximadamente 5 cm, ocorrendo variações entre as proporções de resíduos alimentares triturados e esterco. Essa sequência foi seguida até a pilha atingir 1,60 m de altura (Figura 4).



Figura 4 – Modelo de construção das pilhas de compostagem.

Fonte: Fonte: Ferreira (2016).

As proporções entre esterco (E) e resíduos alimentares (RA) foram:

Pilha 1 - **0:3** (0% de E e 30% RA);

Pilha 2 - **1:2** (10% E e 20% RA);

Pilha 3 - **1:1** (15% E e 15% RA);

Pilha 4 - **2:1** (20% E e 10% de RA);

Pilha 5 - **3:0** (30% E e 0% RA) (pilha considerada testemunha).

Para preenchimento do restante dos 70% nas pilhas de 5cm foram utilizados restos vegetais de poda de árvores. Durante o processo foram monitorados parâmetros de temperatura, umidade, pH para bom procedimento da compostagem. Os teores iniciais nutrientes estão presentes na Tabela 1.

Tabela 1 – Teores iniciais dos nutrientes nas diferentes pilhas de compostagem

NUTRIENTE	PILHA 1	PILHA 2	PILHA 3	PILHA 4	PILHA 5
COT (dag. Kg ⁻¹)	19	18,5	23,7	24,1	18
N (%)	0,74	0,83	0,84	0,87	0,92
C/N (%)	27,1	22,2	31,9	28,9	19,6
P (g Kg ⁻¹)	1,63	0,91	1,5	1,28	1,24
K (g Kg ⁻¹)	5,15	8,53	5,25	4,47	6,48
Ca (g Kg ⁻¹)	20,33	14,11	19,71	5,7	14,85
Mg (g Kg ⁻¹)	2,48	2,52	2,4	2,04	3,31
Na (g Kg ⁻¹)	0,69	1,29	1,09	0,59	2,3
Fe (mg Kg ⁻¹)	957	1431	1345	1191	1177
Cu (mg Kg ⁻¹)	10,35	7,4	5,7	9,35	10,75
Mn (mg Kg ⁻¹)	28	52,35	31,45	79,95	132,8
Zn (mg Kg ⁻¹)	60,01	30,04	26,35	41,64	51,54
Ni (mg Kg ⁻¹)	27,95	4,7	2,8	73,03	5,83
Cd (mg Kg ⁻¹)	0,73	0,6	0,5	0,55	0,75
Pb (mg Kg ⁻¹)	13,5	18,05	9,5	19,05	20,05

Pilha 1 - **0:3** (0% de E e 30% RA); Pilha 2 - **1:2** (10% E e 20% RA); Pilha 3 - **1:1** (15% E e 15% RA); Pilha 4 - **2:1** (20% E e 10% de RA); Pilha 5 - **3:0** (30% E e 0% RA).

4.4 Coleta de materiais e análises realizadas

Em todas as pilhas estudadas o material foi homogeneizado. As coletas do material em compostagem foram realizadas no início do experimento e a cada dez dias até os 90 dias de compostagem, totalizando 10 coletas. Todas as coletas foram realizadas com quatro repetições utilizando-se do método do quarteamento, procedimento - NBR 10.007 de 2004, e cada repetição analisada em triplicata no laboratório de análises de água, solo e planta da UFRSA.

Após secagem, as amostras dos compostos foram submetidas as análises de potencial hidrogeniônico (pH) em água, condutividade elétrica (CE) em água, teor de cálcio trocável (Ca^{2+}) e magnésio trocável (Mg^{2+}) com extrator cloreto de potássio, acidez potencial (H^+Al) com utilização de acetato de cálcio, análise do fósforo (P), sódio (Na^+) e potássio (K^+) com extrator Mehlich 1, todas de acordo com EMBRAPA, (1997).

4.5 Análise estatística e interpretação dos resultados

Com os resultados das liberações de nutrientes nos respectivos dias, determinou-se a constante de liberação de nutriente (K) e o tempo de meia vida ($t_{1/2}$), sendo que o modelo escolhido foi o exponencial de primeira ordem: $M_t = M_i e^{-kt}$.

Em que M_t é a quantidade de nutriente liberado após um período de tempo t , em dias; M_i é a quantidade de nutriente inicial, sendo M_i é 100 % quando t é igual a zero (GAMARODRIGUES et al., 2007). Reorganizando os termos dessa equação, foi possível calcular a constante de liberação, ou valor k : $k = \ln (M_t / M_i) / t$. O cálculo do tempo de meia vida ($t_{1/2}$) portanto, foi obtido pela seguinte equação: $t_{1/2} = \ln (2) / k$, e o tempo equivalente a liberação de 95 % do resíduo $t_{(95)}$ foi estimado por $t_{(95)} = 3 / k$. As equações matemáticas que melhor representaram a liberação de nutriente e decomposição de carbono e o gráfico foram obtidas por meio do software Sigma Plot 11. Nas pilhas que não ajustaram esse modelo ou valores de R^2 foram baixos, foram aplicadas o teste F entre o teor inicial de nutriente e o final. As reduções foram calculadas pela diferença entre teor inicial de nutriente e o final dividido pelo teor inicial e expresso em porcentagem.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O padrão de liberação foi diferenciado entre as pilhas de compostagem com diferentes proporções de resíduos alimentares e esterco de bovino. Em relação à mineralização do C observou-se que o aumento na proporção de esterco bovino (E) nas pilhas que continham resíduos alimentares (RA) (Pilha 1, 2, 3 e 4), ocasionou aumento na mineralização do C do composto. Assim, na pilha 1 formada somente com podas de árvores e resíduos alimentares, o tempo necessário para que 50 % desse resíduo fosse decomposto $T_{(1/2)}$ foi de 69 dias, estimando-se um tempo de 298 dias para que 95 % desse resíduo fosse decomposto $T_{(0,95)}$, e a pilha 4 composta com 20 % de E e 10 % de RA, o $T_{(1/2)}$ foi de 56 dias, estimando-se um tempo de 241 dias para $T_{(0,95)}$. Todavia, resíduos de árvores provenientes da limpeza urbana associados somente com esterco proporcionou diminuição no tempo de mineralização do C e aumento do $T_{(1/2)}$ para 96 dias e $T_{(0,95)}$ para 417 dias (Tabela 2).

Tabela 2 – Parâmetro do modelo de regressão ajustados ($X = X_0 e^{-kt}$) aos valores liberação de C e N, tempo de meia-vida ($t_{1/2}$), tempo necessário para que 95% C seja liberado ($t_{0,95}$) e coeficiente de determinação (R^2) para diferentes pilhas de compostagem, no período de 90 dias de compostagem.

Parâmetros da equação					
	$X_0 \text{ dag kg}^{-1}$	$K \text{ g g}^{-1}$	$T_{(1/2)} \text{ dia}^{-1}$	$T_{(0,95)} \text{ dia}^{-1}$	R^2
CARBONO					
PILHA 1	19,0	0,01008	69	298	0,92
PILHA 2	18,5	0,01058	66	284	0,98
PILHA 3	23,7	0,01101	63	272	0,94
PILHA 4	24,1	0,01243	56	241	0,98
PILHA 5	18	0,00719	96	417	0,99
NITROGÊNIO					
PILHA 1	0,74	0,00239	290	1256	0,76
PILHA 2	0,83	0,00733	95	410	0,97
PILHA 3	0,84	-	-	-	-
PILHA 4	0,87	0,00299	232	1004	0,89
PILHA 5	0,92	0,00361	192	832	0,96

X0 = Teores de C e N iniciais Pilha 1 - **0:3** (0% de E e 30% RA); Pilha 2 - **1:2** (10% E e 20% RA); Pilha 3 - **1:1** (15% E e 15% RA); Pilha 4 - **2:1** (20% E e 10% de RA); Pilha 5 - **3:0** (30% E e 0% RA).

Em trabalho realizado com compostagem de diferentes materiais vegetais misturados com esterco bovino no *Campus* UNESP-Botucatu-SP, maior parte do C foi mineralizada nos primeiros 30 dias do processo de compostagem, devido o carbono orgânico servir de fonte de energia para os microrganismos, resultando na liberação de CO₂, vapor de água e calor (SILVA et al., 2009).

A diversificação de resíduos no processo de compostagem, está diretamente relacionada a intensidade da atividade microbiana, quanto maior a diversidade dos resíduos orgânicos que compõe a massa da pilha mais variados serão os nutrientes e a população microbiológica, consequentemente, resultando em maior eficiência, isto provavelmente contribuiu para maior mineralização de C nas pilhas 2, 3, e 4 com maior diversidade de resíduo (PEREIRA NETO, 2010). Silva (2016) avaliou o processo de compostagem com diferentes proporções de resíduos de limpeza urbana e restos de alimentos em Recife e observou aumento da mineralização do C à medida que aumentou a porcentagem de resíduos alimentares de 0 para 50%.

A cama de frango (CF) e o esterco misto (EM) obteve uma fase de decomposição inicial mais rápida nos primeiros 30 dias, seguida de uma mais lenta nos períodos seguintes e para o esterco bovino (EB), houve decomposição mais lenta nos primeiros 30 dias após a aplicação, e estabilização nos períodos subsequentes (SILVA et al., 2014). Os mesmos autores explicam que a decomposição mais rápida da CF em relação ao EB pode ser explicada pelos maiores teores de C, N e K, menores teores de lignina, celulose e hemicelulose e menores valores das relações C:N e lignina:N.

A redução na mineralização de C oriundo dos resíduos de árvores associados somente com esterco, provavelmente está ligado a formação de frações mais recalcitrantes da matéria orgânica do solo, como as substâncias húmicas, as quais são menos responsivas às alterações no ambiente, e o nitrogênio liberado pelo esterco, o que possibilitaria maior estocagem de C no ecossistema. Evidências sugerem que o N tem importante papel na humificação e formação de compostos orgânicos estáveis (DIJKSTRA et al., 2004). Incrementos de N no ambiente podem reduzir a produção de enzimas (lignolíticas) que atuam no processo de decomposição microbiana e aumentar a estabilização estrutural das substâncias húmicas em virtude da reação do N (amônio e nitrato) com resíduos de lignina e compostos fenólicos,

seguido pela formação de compostos recalcitrantes como, por exemplo, um complexo tanino-proteína (CARREIRO et al., 2000).

Com relação a liberação de N observou-se que para a pilha 3 (70% restos vegetais, 15% de RA e 15% de E) houve imobilização de N, não ajustando ao modelo exponencial de decaída. Silva (2006) observou aumento nos teores de nitrogênio ao final do processo em relação aos teores iniciais sendo que os maiores teores foram nas proporções de 30 e 50% de RA. Com relação as demais pilhas de compostagem, a pilha formada somente por resíduo vegetais e RA teve menor liberação de N ($k = 0,00239$), com o tempo necessário para que 50% de nitrogênio fosse liberado de 290 dias, seguindo de posterior aumento na liberação de N nas demais pilhas. Na pilha 5 formada por restos vegetais e esterco, a liberação de N favoreceu o processo de humificação e diminuição da decomposição de C, sendo $T_{(1/2)}$ de 192 dias. Segundo Pereira Neto (2007) o tempo necessário para que se processe a decomposição e a mineralização é, em grande parte, determinado pela concentração de N da matéria orgânica.

Houve liberação maior e mais rápida de N pela cama de frango em relação ao esterco de bovino e imobilização de N no esterco de bovino na fase inicial (SILVA et al, 2014). Magalhães et al. (2015) verificaram que os valores finais semelhantes de relação C:N na Faculdade de Educação/UFGM indicando que independentemente da presença de alimento e da frequência de reviramento, o processo de compostagem ocorreu no sentido de equilíbrio entre as proporções desses macronutrientes, reduzindo drasticamente a relação C/N (leiras I e III) ou, até mesmo, elevando-a suavemente (leira II).

Somente algumas pilhas ajustaram-se a liberação do fósforo, cálcio e magnésio. Para o fósforo as pilhas 1 e 2 com maiores RA 30 e 20%, não ajustaram ao modelo exponencial, resultado semelhante ocorreu na pilha 5 com 30% de E. Provavelmente, isto ocorreu porque com a decomposição do material houve enriquecimento de P no resíduo da compostagem. Este fato também foi observado por Silva (2016) no qual constatou aumento nas concentrações de fósforo em todos os tratamentos, quando comparados aos teores iniciais, sendo que os autores atribuíram esse fato a mineralização do fósforo durante o processo de compostagem. Para as pilhas 3 e 4 o $T_{(1/2)}$ foi em torno de 58 e 63 dias, e o $T_{(0,95)}$ 249 e 272 dias, respectivamente (Tabela 3).

Tabela 3 – Parâmetro do modelo de regressão ajustados ($X = X_0 e^{-kt}$) aos valores liberação de P, K, Ca e Mg, tempo de meia-vida ($t_{1/2}$), tempo necessário para que 95% do nutriente seja liberado ($t_{0,95}$) e coeficiente de determinação (R^2)

	X0 g kg ⁻¹	K g g ⁻¹	T _(1/2) dia ⁻¹	T _(0,95) dia ⁻¹	R ²
FÓSFORO					
PILHA 1	-	-	-	-	-
PILHA 2	-	-	-	-	-
PILHA 3	1,5	0,01205	58	249	0,69
PILHA 4	1,28	0,01103	63	272	0,67
PILHA 5	-	-	-	-	-
POTÁSSIO					
PILHA 1	5,15	0,02081	33	144	0,70
PILHA 2	8,53	0,01963	35	152	0,85
PILHA 3	5,25	0,01179	58	254	0,71
PILHA 4	4,47	0,01128	61	266	0,17
PILHA 5	6,48	0,00817	82	358	0,72
CÁLCIO					
PILHA 1	20,33	0,00569	122	527	0,71
PILHA 2	-	-	-	-	-
PILHA 3	19,71	0,00996	70	301	0,65
PILHA 4	-	-	-	-	-
PILHA 5	14,85	0,00664	104	452	0,63
MAGNÉSIO					
PILHA 1	2,48	0,00578	120	519	0,61
PILHA 2	-	-	-	-	-
PILHA 3	2,4	0,00917	76	327	0,81
PILHA 4	-	-	-	-	-
PILHA 5	3,31	0,00647	107	463	0,66

X0 = Teor inicial dos nutrientes Pilha 1 - 0:3 (0% de E e 30% RA); Pilha 2 - 1:2 (10% E e 20% RA); Pilha 3 - 1:1 (15% E e 15% RA); Pilha 4 - 2:1 (20% E e 10% de RA); Pilha 5 - 3:0 (30% E e 0% RA).

O fósforo está sujeito à imobilização e a mineralização no solo, dependendo da relação C:P do resíduo em decomposição; a mineralização do P no solo ocorre simultaneamente com a do C e acompanha a mineralização do N. Mas, como o requerimento relativo de P da

microbiota é menor que o de N a imobilização líquida de P no solo só ocorre com relação P muito elevada, superior a 300, ou em resíduo contendo menos de 0,2% de P (STEVENSON, 1986).

O cálcio e o magnésio tiveram dinâmica de liberação semelhante, não ajustando ao modelo exponencial de decaída nas pilhas 2 e 4. Similar ao N, a pilha formada somente por resíduos vegetais (70%) e RA (30%) teve menor liberação de Ca e Mg ($k = 0,00569$ e $0,00578$, respectivamente), com o tempo necessário para que 50 % de Ca e Mg fosse liberado de 122 e 120 dias (Tabela 3), seguindo de posterior aumento na liberação desses nutrientes nas demais pilhas de compostagem.

O potássio foi o nutriente liberado mais rapidamente, representado por uma fase de liberação inicial mais rápida, seguida de uma de liberação mais gradual. Essa maior liberação do K deve-se ao fato desse elemento não ser constituinte de nenhum composto existente na planta, e estar presente na forma iônica, o que facilita a sua saída da célula após o rompimento da membrana plasmática (MALAVOLTA et al., 1989).

Ao contrário dos demais nutrientes, em ambas as fases, houve liberação mais rápida de K na pilha 1 com maior proporção de RA (30 %) com $T_{(1/2)}$ e $T_{(0,95)}$ em torno de 35 e 144 dias, respectivamente (Tabela 3), indicando que os restos alimentares apresentaram maior quantidade de frações de K potencialmente mineralizáveis. Nas demais pilhas houve um aumento do tempo de meia vida à medida que o esterco foi sendo adicionado no ambiente, e quando se utilizou somente esterco e restos vegetais o $T_{(1/2)}$ e $T_{(0,95)}$ de 82 aumentou para 82 e 358 dias, respectivamente. Segundo Zeviani et al. (2012), o padrão de liberação de K pelos resíduos orgânicos de origem animal ainda é variável, o que limita o aproveitamento dessas, como fonte de nutrientes.

Resultados similares foram encontrados por Giacomini et al. (2003) onde verificaram que o K foi rapidamente liberado dos resíduos culturais, com taxa média de liberação 4,5 vezes maior do que a observada em relação ao P. Os autores constataram que a rápida liberação do K do tecido vegetal resultou num tempo de meia-vida ($t_{1/2}$) de 13 dias na aveia e de apenas quatro dias na ervilhaca, a qual não diferiu do nabo.

Os teores de sódio, ferro, cobre manganês e zinco e os metais pesados níquel, cádmio e chumbo no substrato inicial das pilhas de compostagem e no produto final após 90 dias estão apresentados na tabela abaixo, os quais foram apresentados dessa forma por não ajustarem ao modelo de exponencial de decaída ou por terem o coeficiente de determinação (R^2) que é a medida de ajustamento do modelo estatístico em relação aos valores observado, muito baixo ($R^2 \leq 50$) para todas as pilhas.

Tabela 4 – Teores iniciais e finais de sódio, micronutrientes e metais pesados nas diferentes proporções estudadas, no período de 90 dias de compostagem

	PILHA 1	PILHA 2	PILHA 3	PILHA 4	PILHA 5
SÓDIO (g kg^{-1})					
Teor inicial	0,69	1,29	1,09	0,59	2,3
Teor final	0,49	0,49	0,89	0,58	0,59
Teste F	Ns	*	Ns	Ns	*
FERRO (mg kg^{-1})					
Teor inicial	957	1431	1345	1191	1177
Teor final	1021,5	1438	1826	2483	1387
Teste F	Ns	Ns	**	**	Ns
COBRE (mg Kg^{-1})					
Teor inicial	10,35	7,4	5,7	9,35	10,75
Teor final	1,4	7,95	4,8	3,3	2,55
Teste F	**	Ns	Ns	**	**
MANGANÊS (mg Kg^{-1})					
Teor inicial	28	52,35	31,45	79,95	132,8
Teor final	31,3	55,20	54,60	57,10	73,15
Teste F	Ns	Ns	*	*	*
ZINCO (mg Kg^{-1})					
Teor inicial	60,01	30,04	26,35	41,64	51,54
Teor final	26,77	20,70	41,90	36,12	33,50
Teste F	*	Ns	*	Ns	*
NÍQUEL (mg Kg^{-1})					
Teor inicial	27,95	4,7	2,8	73,05	5,85
Teor final	4,95	3,85	1,00	4,25	4,00
Teste F	**	**	**	**	*
CÁDMIO (mg Kg^{-1})					
Teor inicial	0,73	0,60	0,50	0,55	0,75
Teor final	0,15	0,30	0,49	0,35	0,30
Teste F	**	*	Ns	*	*
CHUMBO (mg Kg^{-1})					

Teor inicial	13,5	18,05	9,5	19,05	20,05
Teor final	1,50	3,0	0,50	10,0	0,50
Teste F	**	**	**	**	**

Pilha 1 - **0:3** (0% de E e 30% RA); Pilha 2 - **1:2** (10% E e 20% RA); Pilha 3 - **1:1** (15% E e 15% RA); Pilha 4 - **2:1** (20% E e 10% de RA); Pilha 5 - **3:0** (30% E e 0% RA).

Em todas as pilhas analisadas observou-se uma diminuição da quantidade de sódio no produto final, porém esse efeito foi significativo na pilha 2 e 5 na qual houve redução em relação ao teor inicial de 62 e 74%. AMORIM et al. (2004) quando conduziram leiras de compostagem a partir dos dejetos de caprinos, notaram redução nos teores de nutrientes do composto em relação ao material inicial. As maiores reduções encontradas foram nas concentrações de P, Ca e Na (59,3; 54,6 e 57,8%, respectivamente) em leiras conduzidas durante o verão, com relação às demais estações. Os autores associaram esse comportamento com a formação de chorume no período inicial de compostagem. Ao contrário desse trabalho, na fração sólida da água residuária de suinocultura durante o processo de compostagem, Orrico Júnior et al. (2009) observaram aumento no teor de sódio de 0,22 para 0,36% em sólidos totais.

Observou-se que para o Ferro o aumento significativo foi 36 e 108% nas pilhas 3 e 4, respectivamente, provavelmente devido ao chorume liberado durante a decomposição. Para Orrico Júnior et al. (2009) utilizando água residuária e compostagem, esse aumento foi de 45,8%.

Para o cobre e zinco houve redução dos teores iniciais nas pilhas de compostagem. A redução significativa em relação ao valor inicial foi de 87, 65 e 76 % para as pilhas 1, 4 e 5, respectivamente para Cu, e 55 e 35 % para as pilhas 1 e 5, respectivamente para Zn. Ainda para o Zn, somente na pilha 3 houve um aumento 59% no teor final desse elemento. O manganês teve comportamento variável de acordo com as diferentes proporções de E e RA. Nas pilhas com até 15% de RA houve aumento no teor final de Mn, todavia o aumento de 74% foi significativo somente na pilha 3. Nas pilhas 4 e 5 a redução nesse elemento foi de 29 e 45 %, respectivamente. Orrico Júnior et al. (2009) observaram aumento nos teores Cu, Zn e Mn de 40,1; 24,5 e 47,5 %, respectivamente, ao final de 10 semanas.

Todos os teores de metais pesados foram reduzidos no produto final no processo de compostagem, independente das pilhas, o que variaram foram as porcentagens dessa redução em relação ao elemento e as proporções de RA e E. A redução do níquel foi de 82, 18, 64, 94 e 31% nas pilhas 1, 2, 3, 4 e 5, respectivamente. Para o cádmio a redução foi de 79, 50, 2, 36 e

60% nas pilhas 1, 2, 3, 4 e 5, respectivamente. Para o chumbo a redução foi maior que os demais elementos, cerca de 89%, 83, 95, 48 e 98 % nas pilhas 1, 2, 3, 4 e 5, respectivamente, com exceção da pilha 4, praticamente todo o chumbo foi liberado durante os 90 dias de compostagem.

Pela instrução normativa SDA N° 27 de 05 de junho de 2006, os limites máximos de contaminantes admitidos em fertilizantes orgânicos e condicionadores de solo são de 70,00 mg kg⁻¹ para o Níquel, 3,00 mg kg⁻¹ para o Cádmio, 150,00 mg kg⁻¹ para o Chumbo. Com base nisso, averigua-se que em todas as pilhas as concentrações foram inferiores ao limite máximo estabelecido pela IN. Valores semelhantes foram encontrados por Magalhães et al. 2015, que obtiveram nas leiras III e IV para Pb 19 mg kg⁻¹ e 23,9 mg kg⁻¹, respectivamente, ao estudarem a interferência da incorporação de resíduos alimentares e de diferentes ciclos de reviramento sobre as características físico-químicas e sanitárias da compostagem. Massukado e Schalch (2010) também obtiveram resultados que indicaram que o composto atende aos limites estabelecidos pela legislação brasileira com relação à concentração de metais pesados (Cd < 0,5, Pb = 1,3, Cr = 17,4, As < 0,5, Hg < 0,5, Se < 0,5 e Ni = 0,8, em mg kg⁻¹).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O aumento na proporção de esterco de bovino nas pilhas de compostagem que continham resíduos alimentares, ocasionou aumento na mineralização do C do composto, todavia na pilha somente com resíduos de árvores associados com esterco proporcionou diminuição no tempo de mineralização do C e aumento do T_(1/2) que ficou em 96 dias.

Houve imobilização de N somente na Pilha com 15% de Esterco e 15% de resíduos alimentares.

A pilha formada somente por resíduos vegetais e restos alimentares teve menor taxa liberação de Ca e Mg.

Os restos alimentares apresentaram maior quantidade de frações de potássio potencialmente mineralizáveis, favorecendo uma liberação mais rápida de K na pilhas, no entanto houve um aumento do tempo de meia vida à medida que o esterco foi sendo adicionado às pilhas.

Não houve redução dos teores iniciais de cobre e ferro nas pilhas de compostagem, enquanto que para o ferro houve aumento.

Os teores de metais pesados foram reduzidos no produto final no processo de compostagem, independentemente da fonte de carbono utilizada, não apresentando nenhum risco de contaminação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRELPE. **Panorama dos Resíduos sólidos no Brasil**, p. 28. 2014.
- AMINE-KHODJA, A.; TRUBETSKAYA, O.; TRUBETESKOY, O.; CAVANI, L.; CIAVATTA, C.; GUYOT, G. Humic-like substances extracted from composts can promote the photodegradation of irgarol 1051 in solar light. **Chemosphere**, v. 62, p. 1021-1027. 2006.
- AMLINGER, F.; PEYR, S.; CUHLS, C. Greenhouse gas emissions from composting and mechanical biological treatment. **Waste Management & Research**, v. 26, p. 47–60, 2008.
- AMORIM, A.C.; LUCAS JÚNIOR, J.; RESENDE, K.T. Biodigestão anaeróbia de dejetos de caprinos obtidos nas diferentes estações do ano. **Revista de Engenharia Agrícola**, v.24, n.1, p.16-24, 2004.
- ANDERSEN, J.K.; BOLDRIN, A.; CHRISTENSEN, T.H.; SCHEUTZ, C. Greenhouse gas emissions from home composting of organic household waste. **Waste Management**, v. 30, p. 2475–2482, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR10004**: resíduos sólidos – classificação. Rio de Janeiro, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10007: **Amostragem de resíduos sólidos**. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 21 p.
- CARMO FILHO, F.; OLIVEIRA, O.F. **Mossoró: um município do semi-árido nordestino, caracterização climática e aspecto florístico**. Mossoró: ESAM, (Coleção Mossoroense, Série B) 62p. 1995.
- CARREIRO, M. M.; Sinsabaugh, R. L.; Repert, D. A.; Parkhurst, D. F. Microbial enzyme shifts explain litter decay responses to simulated nitrogen deposition. **Ecology**, v. 81, n. 9, p. 2359-2365, 2000.
- CORRÊA, É.K.; COREZZOLLA, J.L.; M.N. CORRÊA; BIANCHI, I.; GILTURNES, C.; LUCIA, T. JR. Chemical characteristics of beddings for swine: Effects of bedding depths and of addition of inoculums in a pilot-scale. **Bioresource Technology**, v. 123, p.62-65, 2012.
- CORREIA, M.E.F. & ANDRADE, A.G. **Formação de serapilheira**. In: SANTOS, G.A. & CAMARGO, F.A.O., eds. Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre, Genesis, 1999. p.197-225.
- COSTA, C.H.M.; CRUSCIOL, C.A.C.; SORATTO, R.P.; FERRARI NETO, J. Persistência e liberação de elementos da fitomassa do consórcio crotalária com milho sob fragmentação. **Revista Ciências Agrônômica**, v. 45, n. 1, p. 197-208, 2014.
- DIJKSTRA, F. A.; HOBBIE, S. E.; KNOPS, J. M. H.; REICH, P. B. Nitrogen deposition and plant species interact to influence soil carbon stabilization. **Ecology Letters**, v. 7, n. 12, p. 1192-1198, 2004.

DUTRA, D.E, MENEZES, C.S.R, PRIMO, C.D. Adições de nutrientes na compostagem de podas de árvores na região semiárida do NE do Brasil, **Revista Scientia Plena**, v.11 n.7, p.110. 2013.

EGHBALL, B. Nutrient, Carbon and mass loss during composting of beef cattle feedlot manure. **Journal Environmental Quality**, v.26, n.1, p.189-193, 1997.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes**. Brasília, 2009. 627 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPq. 1997. (EMBRAPA-CNPq. Documentos 1). 212p.

ESPINDOLA, J.A.A.; GUERRA, J.G.M.; ALMEIDA, D.L.; TEIXEIRA, M.T.; URQUIAGA, S. Decomposição e liberação de nutrientes acumulados em leguminosas herbáceas perenes consorciadas com bananeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 321-328, 2006.

FERREIRA, A. K. C. **Compostagem de resíduos orgânicos e seus efeitos no cultivo do tomate cereja**. 2016. 164 f. Tese (Doutorado) - Doutorado em Manejo de Solo e Água, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2016.

FIORI, M.G.S.; SCHOENHALS, M.; FOLLADOR, F.A.C. Análise da evolução tempo-eficiência de duas composições de resíduos agroindustriais no processo de compostagem aeróbia. **Revista de Engenharia Ambiental**, v. 5, n. 3, p.178-191, 2008.

FUNASA. **Manual de Saneamento: Orientações Técnicas**. Ministério da Saúde-Fundação Nacional de Saúde. Brasília: Assessoria de Comunicação e Educação em Saúde, 2007.

GAMA-RODRIGUES, A.C.; GAMA-RODRIGUES, E.F.; BRITO, E.C. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos culturais de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho-Amarelo na região Noroeste Fluminense (RJ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1421-1428, 2007.

GIACOMINI, S.J.; AITA, C.; HÜBNER, A.P.; LUNKES, A.; GUIDINI, E.; AMARAL, E.B. Liberação de fósforo e potássio durante a decomposição de resíduos culturais em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 9, p. 1097-1104, 2003.

GOMES, W.R. da; PACHECO, E. **Composto orgânico**. Lavras: Escola Superior de Agricultura de Lavras, 1988. 11p. (Boletim Técnico, 11).

GORGATI, C.Q. **Resíduos sólidos urbanos em área de proteção aos mananciais - município de São Lourenço da Serra - SP: compostagem e impacto ambiental**. 2001. 74 f. Tese. (Doutorado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

INÁCIO, T.C.; MILLER, M.R.P.; **Compostagem: ciência e prática para a gestão de resíduos orgânicos**. Embrapa Solos, Universidade Federal de Santa Catarina. Rio de Janeiro. 156 p. 2009.

INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 27 de 05 de jun. de 2006. SDA - Secretaria de Defesa Agropecuária. Disponível em: < <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-sda-27-de-05-06-2006-alterada-pela-in-sda-07-de-12-4-16-republicada-em-2-5-16.pdf>> Acesso em 20 de abr. de 2017.

KIEHL, E. J. **Adubação orgânica: 500 perguntas e respostas**. Piracicaba: E. J. Kiehl, 2005. 243p.

KIEHL, Edmar José. **Manual de Compostagem: Maturação e Qualidade do Composto**. Piracicaba: USP, 2004. 173 p.

KUMAR, M.; OU, Y.; LIN, J. Co-composting of green waste and food waste at low C/N ratio. **Waste Management**, v. 30, p. 602–609, 2010.

LIMA, M.A. **Agropecuária brasileira e as mudanças climáticas globais: caracterização do problema, oportunidades e desafios**. Caderno de Ciência Tecnologia, v. 19, p. 451-472, 2002.

LÓPEZ, M.; MARTINEZ-FARRE, X.; CASAS, O.; QUILEZ, M.; POLO, J.; LOPEZ, O.; HORNERO, G.; PINILLA, M.R.; ROVIRA, C.; RAMOS, P.M.; BORGES, B.; MARQUES, H.; SILVA GIRÃO, P. Intelligent composting assisted by a wireless sensing network waste management. **Waste Management**, v. 34, p. 738-746, 2014.

MAGALHÃES, R. A.; RIBEIRO, M. G.; LEMOS, B. R. S.; & DOS SANTOS, V. L. Interferência da incorporação de resíduos alimentares e de diferentes ciclos de reviramento sobre as características físico-químicas e sanitárias da compostagem realizada na UFMG-campus Pampulha. 2015, Porto Alegre. In: VI CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL. Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre, 2015.

MAKAN, A.; ASSOBBEI, O.; & MOUNTADAR, M. Effect of initial moisture content on the in-vessel composting under air pressure of organic fraction of municipal solid waste in Morocco. **Iranian Journal of Environmental Health Science & Engineering**, v.10, n. 1, p.1-9, 2013.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1989. 201p.

MASSUKADO, L.M & SCHALCH, V. Avaliação da qualidade do composto proveniente da compostagem da fração orgânica dos resíduos sólidos domiciliares. **Revista da Repartição de Águas e Esgotos**. 2010.

OLIVEIRA, F.N.S.; LIMA, H.J.M.; CAJAZEIRA, J.P. **Uso da compostagem em sistemas agrícolas orgânicos**. Fortaleza. 2004. Embrapa Agroindústria Tropical, Documentos, 89. 17 p.

OLIVEIRA, M.W.; TRIVELIN, P.C.O.; PENATTI, C.P.; PICCOLO, M.C. Decomposição e liberação de nutrientes da palhada de cana-de-açúcar em campo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, n.12, p.2359-2362, 1999.

ORRICO JÚNIOR, M.A.P.; ORRICO, A.C.A.; LUCAS JÚNIOR, J. Compostagem da fração sólida da água residuária de suinocultura. **Engenharia Agrícola**, v.29, n.3, p.483-491, 2009.

PEIXOTO, A.A.; FERNANDES, J.G. Utilização da Técnica de Compostagem: uma proposta para destinação final dos resíduos orgânicos gerados em um restaurante universitário. 2016. **XIII SEGeT – Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia**. Disponível em: <http://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos16/8524288.pdf>. Acesso em: 02/03/2017.

PENTEADO, S.R. **Introdução à agricultura orgânica – Normas e técnicas de cultivo**. Campinas, SP. Ed. Grafimagem, 2000. 110p.

PEREIRA NETO, J. T. **Manual de compostagem: processo de baixo custo**. Viçosa, UFV, 2007, 81 p.

PEREIRA NETO, T.J. **Manual de compostagem, processo de baixo custo**. Editora UFV, Universidade Federal de Viçosa (UFV), Minas Gerais. 2ª Ed., 2010. 81 p.

RICHARD, T. L.; HAMELERS, H. V. M.; VEEKEN, A.; SILVA. Moisture relationships in composting processes. **Compost Science e Utilization**, v. 10, p. 286-302, 2002.

SANTOS, F.C.; ALBUQUERQUE FILHO, M.R.; VILELA, L.; FERREIRA, G.B.; CARVALHO, M.C.S.; VIANA, J.H.M. Decomposição e liberação de macronutrientes da palhada de milho e braquiária, sob integração lavoura-pecuária no cerrado baiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 1855-1861, 2014.

SILVA, A.S.F. **Avaliação do processo de compostagem com diferentes proporções de resíduos de limpeza urbana e restos de alimentos**. Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE, 2016. 48p. (Dissertação Mestrado Tecnologias Energéticas e Nucleares).

SILVA, F.A.M.; GUERRERO LOPEZ, F.; VILLAS BOAS, R.L.; SILVA, R.B. Transformação da matéria orgânica em substâncias húmicas durante a compostagem de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 4, n. 1, p. 59-66, 2009.

SILVA, V.B.; SILVA, A.P.; DIAS, B.O.; ARAUJO, J.L.; SANTOS, D.; FRANCO, R.P. Decomposição e liberação de N, P e K de esterco bovino e de cama de frango isolados ou misturados. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 38, p. 1537-1546, 2014.

SPINELLI, M.G.N; CALI, L.R. Avaliação de resíduos sólidos em uma unidade de alimentação e nutrição. **Revista Simbio-Logias**, v.2, n.1, p. 21-30, 2009.

STEVENSON, F. J. **Cycles of soil-carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrientes**. New York: John Willey e Sons, 1986. 380 p.

TAIZ, L. & ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4.ed. Porto Alegre, Artmed, 2009. 849p.

TEIXEIRA, R. F. F. Compostagem. In: HAMMES, V.S. (Org.) **Educação ambiental para o desenvolvimento sustentável**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2002, v.5, p.120-123.

VALENTE, B.S.; XAVIER, E.G.; MORSELLI, T.B.G.A.; JAHNKE, D.S.; BRUM JR, B.S.; CABRERA, B.R.; MORAES, P.O. Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos. **Revista Archivos de Zootecnia**, v. 58, p. 59-85. 2009.

ZEVIANI, W.M.; SILVA, C.A.; CARNEIRO, W.J.O.; MUNIZ, J.A. Modelos não lineares para a liberação de K de esterco animal em Latossolos. **Ciência Rural**, v. 42, p. 1897-1796, 2012.