

COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS DE CASCA DE OVO, ESTERCO BOVINO E LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTE DE GRAXARIA: UMA ABORDAGEM EXPERIMENTAL EM PEQUENA ESCALA

EGGSHELL, MANURE AND SLUDGE OF WASTEWATER TREATMENT OF RENDERING PLANT COMPOSTING: A SMALL-SCALE EXPERIMENTAL APPROACH

Raquel Sotille Gaspodini¹; Pedro Domingos Marques Prietto²; Luciane Maria Colla³; Ana Cláudia Freitas Margarites⁴

¹ Licenciada em Química; Mestre em Engenharia PPGEng-UPF, E-mail: ambipluss@gmail.com

² Doutor em Engenharia Civil; Docente PPGEng-UPF, E-mail: pdmp@upf.br

³ Doutora em Engenharia de Alimentos; Docente PPGEng-UPF, E-mail: lmcolla@upf.br

⁴ Doutora em Engenharia de Alimentos; Bolsista de Pós-doutorado PPGEng-UPF, E-mail: anacmargarites@yahoo.com.br

RESUMO

Neste trabalho avaliou-se o potencial de três resíduos agroindustriais (casca de ovo, esterco bovino e lodo de estação de tratamento de efluente de graxaria) para serem tratados pelo processo de compostagem. Utilizaram-se quatorze reatores de dimensões reduzidas alimentados com 105 kg de misturas variáveis dos três resíduos sólidos, definidas através de um delineamento experimental do tipo simplex centróide. O processo foi monitorado através da medição periódica da temperatura, umidade, pH e relação C/N. A fase termofílica durou aproximadamente 35 dias. Após 32 dias, a massa em degradação atingiu a temperatura ambiente, sendo então, deixada para maturar por mais 35 dias. Os resultados mostraram que mesmo em pequena escala, foi possível compostar estes materiais e gerar um composto orgânico de qualidade para uso posterior na agricultura.

Palavras-chave: Compostagem; resíduo orgânico; mistura; composto.

ABSTRACT

This study evaluated the potential of three agro-industrial wastes (eggshell, manure and sludge of wastewater treatment of rendering plant) to be treated by means of a composting process. Fourteen small-scale reactors were used, each of them fed with 105 kg of variable mixtures of the three industrial residues, defined through a simplex-centroid experimental design. The composting process was monitored by measuring the evolution with time of temperature, humidity, pH, and C/N ratio. The thermophilic phase lasted approximately 35 days. After 32 days, the mass under degradation reached the ambient temperature, being then allowed to mature for another 35 days. Results have shown that even though this process was carried out on a small scale, it was possible to compost these materials and generate a good quality compost for later use in agriculture.

Keywords: Composting; organic waste; mixture; compound.

1. INTRODUÇÃO

O aumento da população mundial e a concentração dessas populações nas cidades vêm dificultando a capacidade do Planeta em absorver os resíduos produzidos. Este fato pode se agravar ainda mais, pois prevê-se que a população mundial aumente em mais de um bilhão de pessoas nos próximos 15 anos, chegando a 8,5 bilhões em 2030, 9,7 bilhões em 2050 e 11,2 bilhões até 2100 (UN,

2015). O atual modelo de desenvolvimento explora excessivamente os recursos naturais e gera resíduos em grandes quantidades, tanto domiciliares como industriais, sendo estes, em grande parte, dispostos inadequadamente (SANTOS, 2009)

A disposição em aterros sanitários é uma opção, porém os altos custos envolvidos forçam as empresas a buscar alternativas de tratamento e disposição final. A compostagem surge como uma alternativa ecologicamente correta para o tratamento de resíduos orgânicos de processo, permitindo a redução do volume de resíduos gerados e a valorização agrônômica do composto produzido.

A compostagem é um método antigo de tratamento de resíduos orgânicos, no qual a matéria orgânica é transformada em um composto orgânico humificado para uso como insumo agrícola (SHEN *et al.*, 2012; SCOTON *et al.*, 2016), considerada uma alternativa sustentável (BARRENA *et al.*, 2011) e agregando valor comercial a um produto antes considerado desperdício ou passivo ambiental.

Do ponto de vista conceitual, a compostagem é um processo aeróbio e termofílico de degradação da matéria orgânica, que resulta em um produto mais estável, química e biologicamente, envolvendo transformações complexas de natureza bioquímica promovidas por diversos microrganismos que têm na matéria orgânica *in natura* sua fonte de energia, nutrientes minerais e carbono (SILVA, 2000).

Assim, os resíduos orgânicos corretamente compostados passam a ser esteticamente aceitáveis, livres de agentes patogênicos e fáceis de manusear. Podem deste modo, ser utilizado para melhorar a estrutura de um solo, aumentar a sua retenção de água e fornecer nutrientes para o crescimento das plantas (GODLEWSKA *et al.*, 2017).

Neste contexto, o presente trabalho apresenta um estudo experimental visando à compostagem de uma mistura de resíduos sólidos, como alternativa de tratamento e destinação final de resíduos orgânicos agroindustriais.

2. METODOLOGIA

O processo de compostagem foi realizado em uma área coberta de 30 m², localizada no Campo Experimental de Geotecnia da Universidade de Passo Fundo. Foram utilizados 14 reatores cilíndricos abertos, de plástico reforçado (Figura 1), dispostos sobre uma estrutura metálica com leve caimento. Cada reator possui dimensões aproximadas de 90 cm x 60 cm (altura x largura) e capacidade para receber até 200 kg de resíduo. Os resíduos sólidos avaliados foram casca de ovo, lodo de graxaria e esterco bovino, além da serragem como meio estruturante, o que caracteriza a compostagem realizada como um processo em pequena escala. A escolha dos resíduos se deve pelo fato destes serem gerados em elevadas quantidades na região norte do estado do Rio Grande do Sul, local de estudo deste trabalho, por se tratar de uma região de produção avícola e de elevada incidência de abatedouros e para que fossem obtidas relações C/N iniciais suficientes para a melhor condução do processo. Cada reator possui uma válvula para retirada de percolado, adaptada na sua parte inferior. A aeração dos reatores é realizada por revolvimento manual por meio de pá e helicóide.

As misturas foram compostas por proporções variáveis de três resíduos de origem agroindustrial: casca de ovo (CO), lodo de graxaria (L) e esterco bovino (E), além de uma quantidade fixa de serragem (meio estruturante).

Para definição das proporções a serem testadas foi empregado um delineamento do tipo simplex centroide, com a adição de pontos axiais, apropriado ao estudo experimental de misturas (e.g. CORNELL, 2002).

A representação geométrica do espaço experimental, denominado espaço simplex, é apresentada na Figura 2. Nesta Figura, os pontos correspondentes aos vértices da região triangular (pontos identificados como “1”) correspondem às misturas unitárias, os pontos médios dos lados do

triângulo (pontos identificados como “2”) correspondem às misturas binárias, e os demais pontos às misturas ternárias. Cabe observar que as repetições foram realizadas somente no ponto central (ponto “0”). Os pontos identificados como “-1” são os denominados pontos axiais.

O delineamento experimental resultou em 10 diferentes proporções a serem testadas, que, com 5 repetições no ponto central, totalizaram 14 ensaios. As proporções de cada uma das 14 misturas estão apresentadas na Tabela 1.

A massa total de resíduos utilizada em cada reator foi de 105 Kg, estabelecida a partir das massas específicas dos materiais componentes de cada mistura e de forma a permitir uma aeração eficiente. A quantidade de substrato (serragem - S) foi de 35 kg (proporção resíduo/substrato de 2:1) para todas as misturas. Esta quantidade foi definida a partir da simulação teórica de diversas proporções resíduo/substrato estruturante.

O experimento foi realizado no período de 09 de agosto a 02 de dezembro de 2014 e, de maneira geral, o tempo de compostagem foi fixado em aproximadamente quatro meses (KIEHL, 2012; BRITO, 2006; MARÍN *et. al.*, 2005; HAUG, 1993).

A aeração por revolvimento manual foi realizada três vezes por semana durante todo o tempo de duração do experimento.



Figura 1 - Vista geral do local do experimento com os 14 reatores

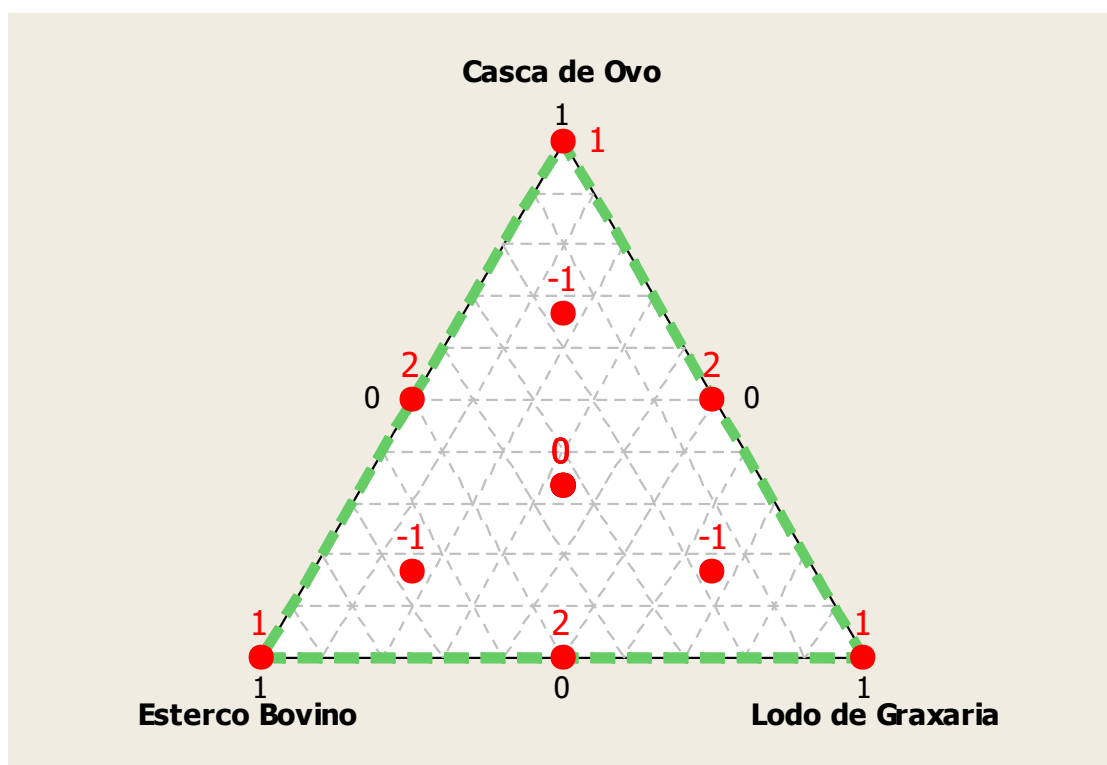


Figura 2 - Delineamento experimental simplex centróide

Tabela 1 - Proporções resultantes do delineamento simplex centroide

Mistura	Casca de Ovo	Esterco Bovino	Lodo de Graxaria
1	0,000	1,000	0,000
2	0,500	0,000	0,500
3	0,333	0,333	0,333
4	0,667	0,167	0,167
5	0,167	0,667	0,167
6	0,500	0,500	0,000
7	0,333	0,333	0,333
8	0,000	0,500	0,500
9	0,333	0,333	0,333
10	0,000	0,000	1,000
11	0,333	0,333	0,333
12	1,000	0,000	0,000
13	0,333	0,333	0,333
14	0,167	0,167	0,667

O processo de compostagem foi monitorado semanalmente através da medição da temperatura, umidade, pH e relação C/N (mensalmente).

A medição da temperatura ocorreu por meio de termômetro digital, em vários pontos da massa de compostagem (topo, centro e base), considerando-se sempre a temperatura mais alta.

O teor de umidade foi verificado em amostras compostas de cada um dos reatores. Para a determinação da umidade foi utilizado o método descrito por Lanarv (1988), a qual prevê secagem em estufa a 65 °C até a estabilização da massa da amostra.

O pH foi monitorado através da retirada de amostras de aproximadamente 10 g de composto em diferentes pontos dos reatores para aplicação da metodologia proposta por EMBRAPA (1999).

A relação C/N foi monitorada mensalmente a partir de análise química elementar realizada no Laboratório de Solos da Universidade de Passo Fundo.

Após o término do experimento, com o objetivo de avaliar de forma mais completa a qualidade final do composto produzido, foram analisados os seguintes parâmetros: umidade, pH, teor de matéria orgânica, nitrogênio, carbono, teor de nutrientes (P_2O_5 , K, Ca e Mg), *Salmonella* sp e Coliformes Termotolerantes. Os resultados obtidos foram comparados com os parâmetros estabelecidos para fertilizantes orgânicos, conforme a IN n° 27/2006 e IN n° 25/2009 do MAPA (BRASIL, 2006; 2009).

3. RESULTADOS

3.1. Monitoramento da Temperatura

As variações das temperaturas dos 14 reatores, conforme mostra a Figura 3, apresentaram comportamentos distintos devido às diferentes proporções de materiais componentes de cada mistura (KHAN *et al.*, 2014; RAJ; ANTIL, 2011), principalmente na fase inicial do processo de compostagem. Segundo Marín *et al.* (2005), a duração de cada estágio da compostagem tem relação, além de outros fatores, com a natureza da matéria orgânica a ser degradada.

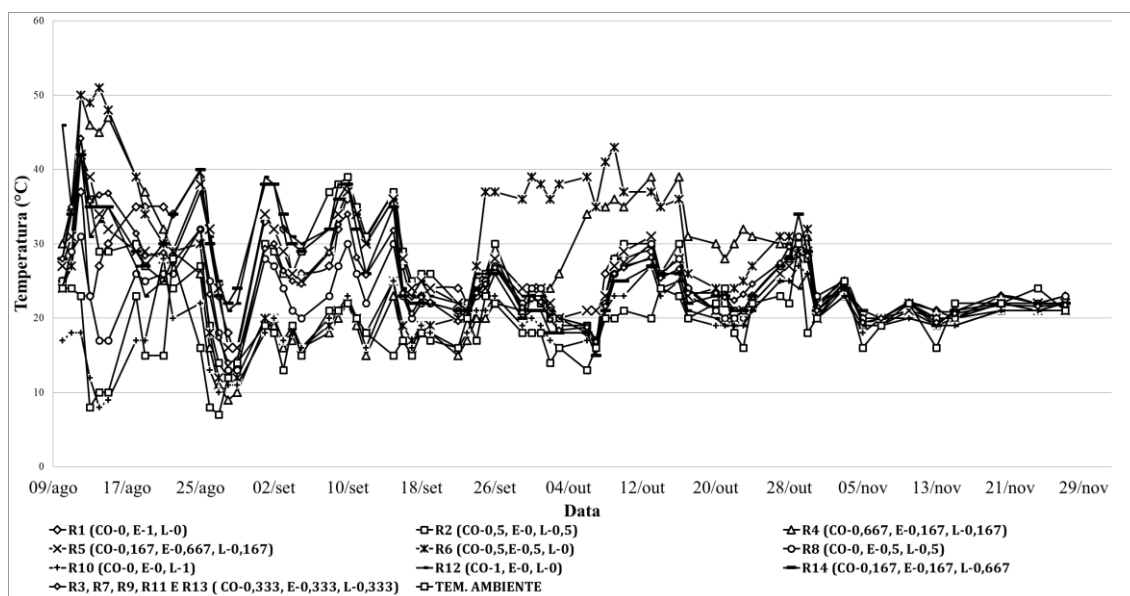


Figura 3: Variação da temperatura durante todo o processo de compostagem

No entanto, a marcha das temperaturas verificadas neste estudo difere das consideradas ótimas. Segundo o APWA Institute for Solid Wastes (1970 apud Kiehl, 2012), a fase mesofílica considerada ótima está entre 25 °C e 40 °C e a termofílica entre 50 °C e 55 °C. Porém o autor considera também as temperaturas mínimas para estas fases que são 15 °C a 25 °C e 25 °C a 45 °C, respectivamente.

No presente experimento, a fase inicial do processo ou fase ativa, correspondente à fase termofílica com as temperaturas mínimas sugeridas por Kiehl (2012), durou de maneira geral 35 dias (até aproximadamente 15/set no gráfico da Figura 3).

Ao mesmo tempo, a fase termofílica pôde ser verificada já nas primeiras horas de compostagem na maioria das misturas. A explicação para este comportamento é a de que os resíduos, durante o período de coleta e transporte, já iniciaram o processo de degradação fazendo com que no momento da montagem dos reatores já existisse uma quantidade considerável de microorganismos

degradadores de matéria orgânica. Isso fez com que praticamente não ocorresse a distinção das fases comumente observadas nos processos de compostagem.

Os picos de temperatura variaram entre os reatores e atingiram até 52 °C, sendo que Marín *et al.* (2005), Pereira Neto (1989) e Kiehl (1985) apontam temperaturas ideais máximas de 70 °C. Possivelmente, em razão das dimensões reduzidas dos reatores, houve maior perda de calor e maior influência da temperatura externa sobre a massa compostada (USDA, 2010).

As variações de temperatura também foram supostamente influenciadas pelos revolvimentos realizados três vezes por semana, o que ocasionaria uma perda maior de calor (KIEHL, 2012), intensificada pela baixa altura da massa compostada.

Na Figura 4, é possível verificar a influência da temperatura externa sobre a temperatura das misturas. Observa-se que durante os quase quatro meses de realização do experimento a temperatura ambiente variou entre 8 °C e 30 °C. Neste gráfico, temperatura interna dos reatores corresponde à média para as cinco repetições do ponto central (misturas 3, 7, 9, 11 e 13).

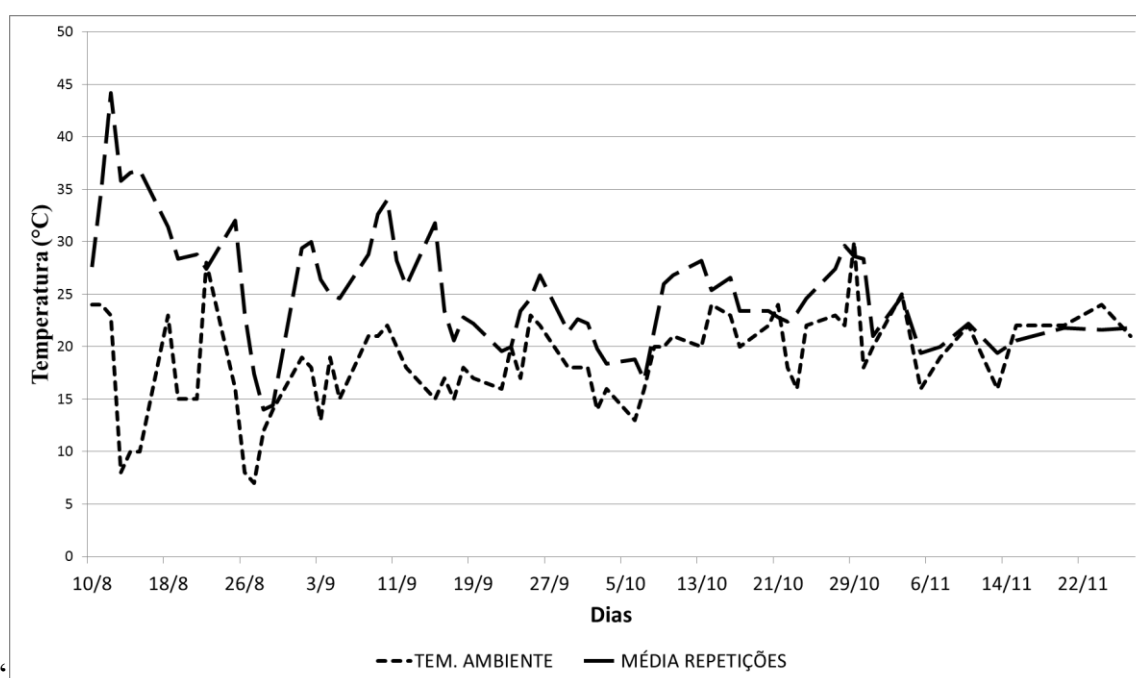


Figura 4 - Média das temperaturas obtidas nas repetições comparadas à temperatura ambiente

Entretanto, observa-se que mesmo com temperaturas reduzidas foi possível eliminar os organismos patogênicos presentes nos resíduos, como pode ser verificado na análise do composto final apresentada em item subsequente.

3.2. Monitoramento da Umidade

O parâmetro teor de umidade não apresentou variações importantes entre os reatores, uma vez que o local de realização do experimento era coberto, evitando assim a incidência direta das chuvas. O gráfico da Figura 5 apresenta o teor de umidade para cada uma das misturas e a média das repetições do ponto central em relação ao tempo de compostagem.

Pode-se observar que na fase inicial do processo os valores de teor de umidade estão dentro da faixa adequada sugerida por Bernal *et al.* (2009), entre 50% e 60%. Com exceção das misturas 1, 5 e 8, as demais misturas atendem ao estabelecido na IN nº 25 do MAPA. O excesso de umidade inicial encontrado nessas misturas, assim como na mistura 10, impediu uma maior atividade biológica e a elevação da temperatura, por consequência não ocorreu a remoção da água por evaporação (INÁCIO; MILLER, 2009). Destas, no final do processo, apenas a mistura 10 atingiu umidade ideal estabelecida pela legislação.

O teor de umidade mantido entre 50% e 60% na maioria das misturas garantiu a atividade biológica na fase ativa do processo de compostagem (INÁCIO; MILLER, 2009). Segundo Li *et al.* (2015) e Theeba *et al.* (2012), durante o processo de compostagem, umidade muito alta inibe o fluxo de oxigênio dentro do material compostado e umidade muito baixa provoca uma diminuição da atividade microbiana.

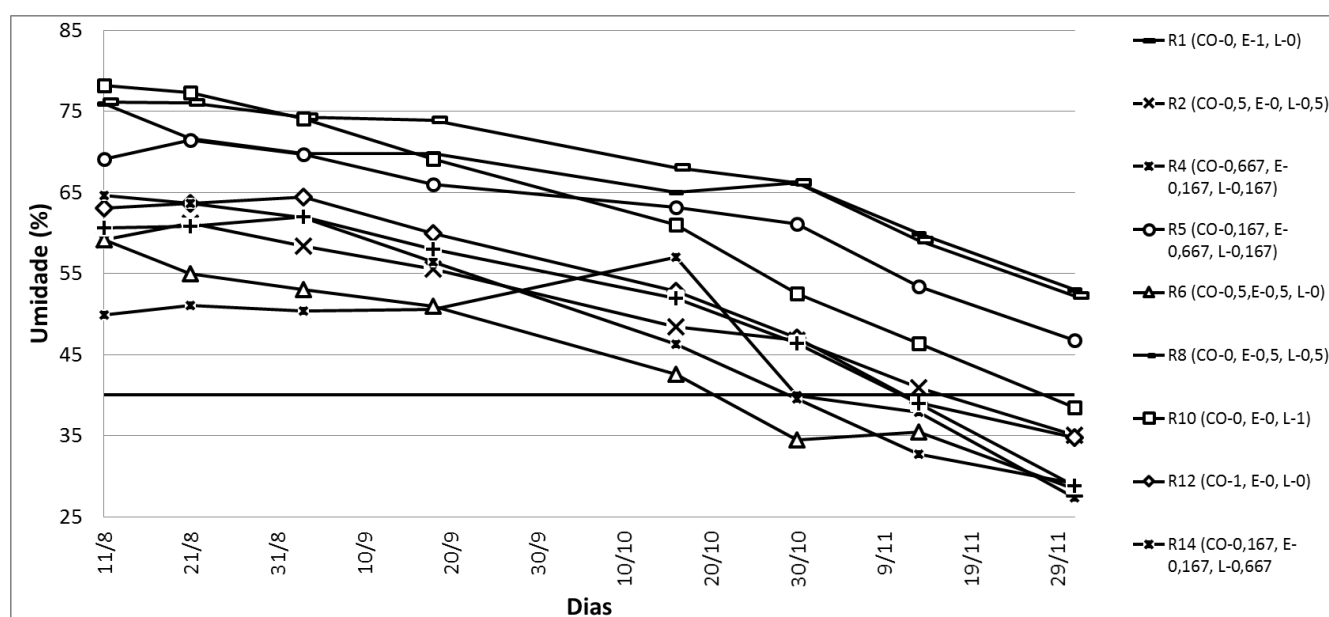


Figura 5 - Variação da umidade ao longo do processo de compostagem

3.3. Monitoramento do pH

De maneira geral o comportamento do pH no início do processo foi semelhante para todos os reatores. A reação da matéria orgânica, segundo Kiehl (2012), quer vegetal, quer animal, é geralmente ácida, o que não ocorreu no experimento. Inácio e Miller (2009) escrevem que diferentes espécies de microorganismos se adaptam e tem atividade ótima em diferentes faixas de pH. Alguns autores indicam a faixa entre 6,5 a 9,5 como a mais satisfatória para um processo termofílico (EPSTEIN, 1997).

Logo na fase inicial observa-se a redução do pH devido a formação de ácidos orgânicos (INÁCIO; MILLER, 2009), oscilando até a análise realizada no dia 20/09, estabilizando-se em seguida e permanecendo na maioria das misturas entre 6 e 7,5, até o final do processo (Figura 6). Segundo Haug (1993), a compostagem tem a habilidade de neutralizar altos e baixos valores de pH durante o processo, o que pode ser observado já nos primeiros dias do processo.

A linha horizontal em destaque na Figura 6 determina o pH mínimo admitido pela IN 25/2009 que é de 6. Os valores finais de pH estão compatíveis com os relatados por Zhang et al. (2016) e de acordo com o estabelecido pela legislação.

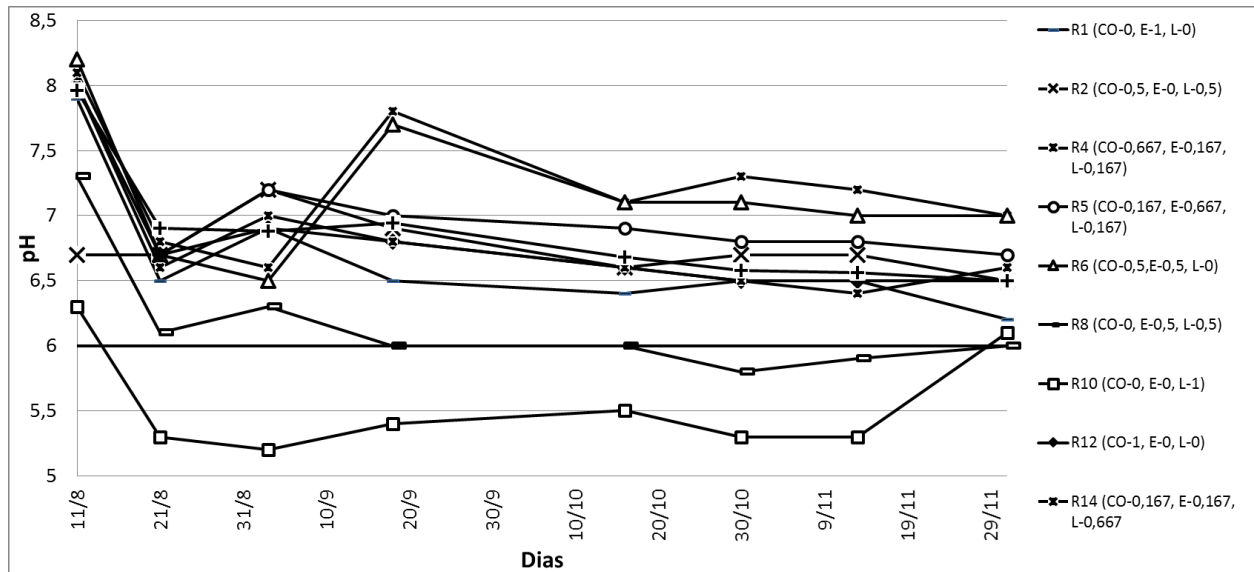


Figura 6: Valores de pH das misturas, ao longo dos dias de compostagem.

3.4. Relação C/N

Estão apresentados na Figura 7 os valores da relação C/N verificadas no presente trabalho.

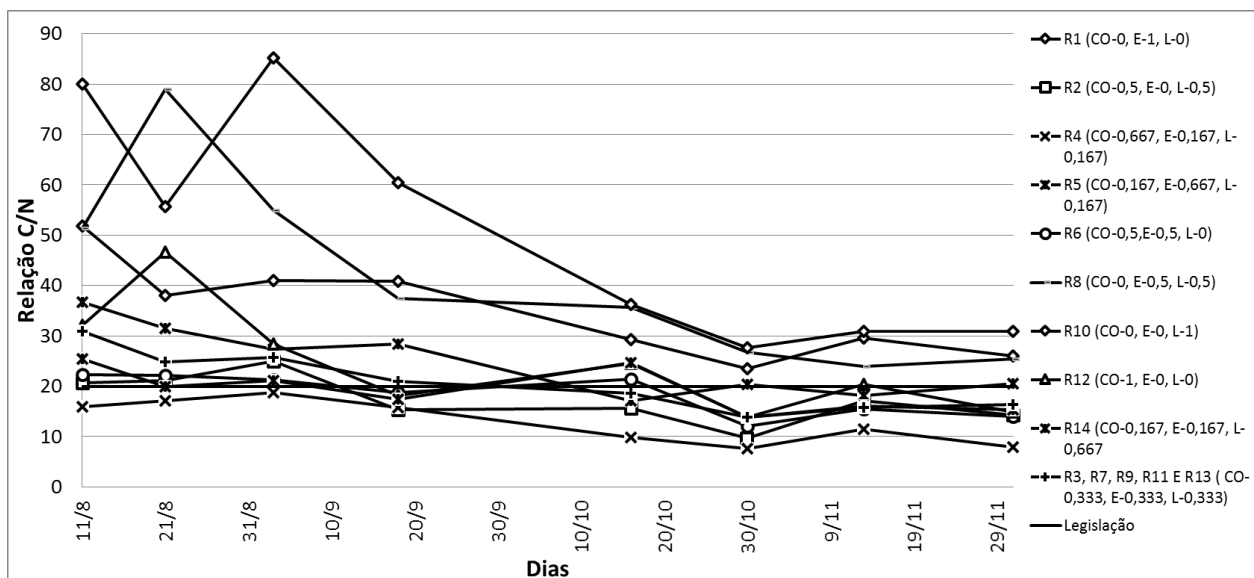


Figura 7 - Evolução da degradação da matéria orgânica medida através da determinação da relação C/N.

Em geral, os valores iniciais da relação C/N mostraram-se dentro da faixa adequada sugerida por Rynk (1992), compreendida entre 20:1 e 40:1. Relações C/N iniciais acima de 50, como as encontradas para as misturas 1, 8, e 10 podem ser consideradas altas (INACIO; MILLER, 2009). Pode-se observar na Figura 7 que ao final do mês de outubro, ocorreu uma estabilização dos valores para todas as misturas, de forma independente da relação C/N inicial. Ainda, as misturas com alta relação C/N inicial resultaram ao final do experimento em uma relação C/N acima do desejado (misturas 1, 8 e 10).

A relação C/N é importante para vários aspectos da compostagem, mas é particularmente crucial para o desenvolvimento de microrganismos durante o processo, pois fornece as fontes de carbono e nitrogênio necessários para o seu crescimento. Limitar o conteúdo de nitrogênio é indesejável porque gera uma redução na taxa de consumo de carbono, enquanto um excesso em nitrogênio pode gerar a liberação de gás NH_3 (ZHANG *et al.*, 2016). A relação C/N inicial recomendada no início do processo de compostagem varia de 25:1 a 30:1. No entanto, muitos outros autores usaram diferentes razões C/N, entre 20:1 e 40:1 (MAULINI-DURAN *et al.*, 2014; YANG *et al.*, 2015), e obtiveram resultados satisfatórios.

Durante o processo de compostagem verifica-se uma redução da relação C/N, em decorrência da oxidação da matéria orgânica pelos microrganismos, que liberam CO_2 através da sua respiração (WANG *et al.*, 2016). Após o processo de compostagem, o composto é considerado humificado, além de outros fatores, quando a relação C/N estiver em torno de 10:1 (KIEHL, 2012). Atendeu a este critério apenas a mistura 4, porém esta mistura já apresentava baixa relação C/N no início do processo (em torno de 18:1), por se tratar do ensaio no qual foi utilizada apenas casca de ovo, que apresenta baixa relação C/N. Kiehl (2012) considera que o composto atingiu a semicura ou a bioestabilização quando a relação C/N encontra-se próxima de 18:1. Desta forma, apenas as misturas 1, 8 e 10 não apresentam semicura ou bioestabilização, sendo que todas as demais atenderam a este critério.

3.5. Presença de Agentes Patogênicos

Amostras compostas de cada uma das misturas foram encaminhadas para Laboratório do Centro de Pesquisa em Alimentação (CEPA) da Universidade de Passo Fundo, para a análise da presença de agentes patogênicos. As amostras foram coletadas ao final do experimento no dia 02/12/2014 e os resultados foram comparados com a Instrução Normativa nº 27, de 05 de junho de 2006 (BRASIL, 2006), que prevê limites para o número de microrganismos indicadores enteropatogênicos ao ser humano em compostos orgânicos.

O fator tempo de exposição e temperatura mostraram-se adequados à eliminação da *Salmonella* sp., embora a temperatura ideal para a eliminação deste patogênico, citadas por diversos autores como Escosteguy *et al.* (1993), Kiehl (2012) e Haug (1980), sejam superiores às obtidas neste experimento.

Os resultados apresentados na Tabela 3 mostram a ausência de *Salmonella* sp., nas misturas submetidas ao processo de compostagem, atendendo as condições exigidas pelo MAPA.

Em relação aos coliformes termotolerantes, constata-se que as misturas 4, 6, 10, 13 e 14 (Tabela 3) atenderam ao padrão do MAPA, estabelecido pela IN 27/2006, que especifica que estes microrganismos não podem ultrapassar 1.000 NMP/g de MS.

O sucesso na eliminação de microorganismos patogênicos durante o processo de compostagem depende, dentre outros fatores, de serem atingidas elevadas temperaturas durante o processo, do tempo de exposição do material a essas temperaturas e da uniformidade da temperatura no material de compostagem (ARTHURSON, 2008). A mistura 13 foi a única do grupo que atingiu temperatura de 60 °C, sendo que, as misturas 4, 6, 10 e 14 atingiram temperaturas inferiores (50 °C, 51 °C, 25 °C e 42 °C, respectivamente), comprovando que, além da temperatura elevada, outros fatores, como pH e umidade do composto, influenciam na eliminação de microrganismos patogênicos.

Rodrigues et al. (2006) afirma que uma leira de compostagem deve ter um tamanho suficiente para impedir a rápida dissipação de calor e umidade e, ao mesmo tempo, permitir uma boa circulação de ar. Portanto, acredita-se que os resultados obtidos no presente trabalho são um claro indicativo de que em leiras de compostagem em escala real, temperaturas mais elevadas, que contribuem para eliminação de microrganismos patogênicos, serão facilmente atingidas.

Tabela 3 - Análise de patogênicos nas misturas após o encerramento do experimento

Mistura	<i>Salmonella</i> sp.		Coliformes termotolerantes	
	nº em 4g ST	Legislação IN 27/2006	NMP/g de MS	Legislação IN 27/2006 NMP/g de MS
1	Ausência	Ausência em 10g de matéria seca	1700	<1000
2	Ausência		1400	
3	Ausência		1700	
4	Ausência		<180	
5	Ausência		1700	
6	Ausência		<180	
7	Ausência		3300	
8	Ausência		7900	
9	Ausência		7000	
10	Ausência		<180	
11	Ausência		33000	
12	Ausência		2300	
13	Ausência		<180	
14	Ausência		680	

3.6. Qualidade Final do Composto

Ao final do experimento foram coletadas amostras de cada uma das 14 misturas submetidas ao processo de compostagem para determinação dos parâmetros de qualidade do composto final, com o objetivo de compará-los com a Instrução Normativa Nº 25/2009, para fertilizantes orgânicos.

O produto final obtido foi classificado, para fins de comparação com a Instrução Normativa 25/2009, no grupo dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos e organominerais - Classe “A”.

No que diz respeito ao teor de umidade (Tabela 4), apenas 3 misturas não atenderam ao estabelecido na legislação (misturas 1, 5 e 8). As demais misturas apresentaram umidade inferior aos 40% estabelecidos como limite máximo. O composto deve conter abaixo de 40% de umidade para que haja a diminuição da atividade microbiana após finalizado o processo de compostagem (SEDYYAMA *et al.*, 2008).

Para os parâmetros Nitrogênio, pH e Cálcio, em 100% das misturas compostadas (Tabela 4), o valor obtido encontra-se dentro das especificações exigidas pela IN 25/2009 para fertilizante orgânico composto classe “A”.

Os parâmetros P₂O₅ (pentóxido de fósforo) e potássio (Tabela 4) deverão estar de acordo com o declarado, e portanto não há limites estabelecidos pela legislação considerada.

Os parâmetros de caracterização do fertilizante obtidos são importantes para que se possa avaliar a sua utilização como adubo. As plantas precisam de diferentes elementos químicos para suas funções vitais. Nitrogênio, fósforo e potássio são essenciais para o seu desenvolvimento. Cálcio e

magnésio são necessários em doses relativamente elevadas e também atuam como corretivos de solos (CHAVES, 2010).

Quanto aos parâmetros carbono orgânico (matéria orgânica) (Tabela 4), as misturas 2, 4 e 6 não atenderam ao mínimo exigido. A mistura 6 está muito próxima do valor ideal, enquanto as demais misturas satisfizeram o estabelecido na Legislação.

A relação C/N é um parâmetro muito importante para determinar a qualidade do composto final. A Instrução Normativa 25/2009 estabelece que para um fertilizante orgânico misto ou composto, o valor da relação C/N não deve ser superior a 20. Nas misturas submetidas ao processo de compostagem apenas as composteiras 1, 5, 8, e 10 apresentaram resultado acima do valor permitido pela legislação. A mistura 5 obteve valor muito próximo ao permitido e as demais composteiras atendem ao limite estabelecido. Em um estudo também em pequena escala, Fiori *et al.*, (2008) realizaram a compostagem de uma variedade de materiais, como resíduos agroindustriais de linha verde, resíduos de cereais, cama de aviário, maravalha e resíduos de incubatório de ovos e o composto obtido apresentou baixa relação C/N final, sendo que esta relação já era baixa no início do processo (entre 8:1 e 12:1). Iniciar o processo de compostagem com baixas relações C/N e obter, por consequência, um composto com esta relação baixa não é considerado ideal, pois grande parte do nitrogênio é perdido por volatilização.

A caracterização química do composto final obtido após o processo de compostagem é, segundo Irshad *et al.* (2013) e Larney *et al.* (2008) dependente do tipo de material que é compostado. Portanto, as diferenças entre os parâmetros finais dos compostos obtidos (Tabela 4) se deve à diferença entre as proporções dos três resíduos utilizados. Quanto a relação C/N, por exemplo, o esterco bovino apresenta maior relação, seguido de lodo de graxaria e por último, a casca de ovo. Como estas relações iniciais são diferentes, houve diferença nas relações C/N finais. Da mesma forma, observa-se que devido as concentrações iniciais dos resíduos serem diferentes nos ensaios, os teores finais de matéria orgânica foram diferentes.

Analisando-se todos os parâmetros estabelecidos pela Instrução Normativa 25/2009 do MAPA, os melhores resultados foram obtidos para as misturas ternárias com iguais proporções de resíduos (33,3% de casca de ovo, 33,3% de esterco bovino e 33,3% de lodo de graxaria), para a mistura unitária com 100% de casca de ovo e para a mistura contendo 16,7% de casca de ovo, esterco 16,7% e 66,7% de lodo, nas quais, dentre os parâmetros estabelecidos, apenas o magnésio não se enquadrou na faixa exigida. Quanto ao aspecto visual, os compostos bioestabilizados apresentaram cor e odor característicos de fertilizante orgânico.

O processo de adubação orgânica, além de utilizar resíduos cujo descarte causaria impactos ambientais, se desenvolve durante um longo tempo, isso porque a absorção dos nutrientes orgânicos envolve decomposição e mineralização, tornando a adubação orgânica uma fonte de nutrientes lenta e duradoura, capaz de melhorar, consideravelmente, as características físicas e biológicas do solo, podendo proporcionar ainda: redução do processo erosivo, maior disponibilidade de nutrientes às plantas, maior agregação de partículas do solo, aumento na retenção de água e na taxa de infiltração, menor diferença de temperatura do solo durante o dia e a noite e estimulação da atividade biológica (SANTIAGO e ROSSETTO, 2016). Neste estudo, foi possível verificar que compostos obtidos a partir do processo de compostagem apresentam características desejáveis à fertilizantes orgânicos, mesmo quando o processo é realizado em pequena escala.

Tabela 4 - Resultados das análises para determinação da qualidade do composto ao final do experimento.

MISTURA	UMIDADE (%)	NTROGÊNIO (%)	P ₂ O ₅ (%)	CARBONO ORGÂNICO (%)	MATÉRIA ORGÂNICA (%)	pH	RELAÇÃO C/N	CÁLCIO (%)	POTASSIO (%)	MAGNESIO (%)
1	53,06	0,77	0,39	20,07	34,52	6,2	26,06	34,52	0,18	0,04
2	35,02	0,93	0,42	13,34	22,94	6,5	14,34	22,94	0,17	0,18
3	38,28	1,02	0,49	16,52	28,41	6,5	16,2	28,41	0,22	0,09
4	27,4	1,17	0,73	9,26	15,92	7	7,91	15,92	0,23	0,22
5	46,78	0,86	0,51	17,71	30,46	6,7	20,59	30,46	0,25	0,06
6	28,44	1,04	0,51	14,6	25,11	7	14,04	25,11	0,26	0,07
7	27,43	1,06	0,67	18,65	32,08	6,6	17,59	32,08	0,24	0,12
8	52,2	0,71	0,42	18,09	31,11	6	25,48	31,11	0,17	0,01
9	21,45	1,38	0,56	20,75	35,65	6,4	15,03	35,65	0,28	0,27
10	38,45	0,84	0,57	25,98	44,68	5,6	30,93	44,68	0,094	0,04
11	36,67	0,92	0,61	20,51	35,28	6,2	22,29	35,28	0,17	0,15
12	34,74	1,23	0,31	18,23	31,35	6,5	14,82	31,35	0,23	0,16
13	20,36	1,08	0,48	15,5	20,19	6,8	10,87	20,19	0,22	0,24
14	29,12	1,08	0,62	16,55	28,47	6,6	15,32	28,47	0,23	0,13
LEGISLAÇÃO	≤40%	≥0,5	Conforme Declarado	≥15	-	≥6	≤20	≥1%	Conforme Declarado	≥1%

4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos no presente trabalho mostrarem ser possível obter um composto de qualidade a partir da mistura dos resíduos casca de ovo, esterco bovino e lodo de ETE de graxaria, utilizando serragem como substrato.

A fase mesofílica não foi observada no início do processo e a fase de degradação ativa durou 35 dias. A fase de maturação do composto durou 75 dias, totalizando 120 dias de processo.

O composto formado não pode ser considerado totalmente maturado, exceto as misturas 4 e 13 em que a relação C/N está próxima de 10. A mistura 10 está acima do padrão estabelecido pela legislação. As misturas 1, 9, 11 também estão acima do estabelecido, porém muito próximas do que determina a legislação. As demais misturas atendem a IN 2005/2006 para o parâmetro relação C/N e podem ser consideradas bioestabilizadas com características para aplicação no solo.

De acordo com o exposto e após a análise dos limites e parâmetros indicados na Instrução Normativa 25/2009 para fertilizantes orgânicos destinados à agricultura, foi possível concluir que as misturas ternárias de igual proporção entre os três resíduos, presente nos reatores 3, 7, 9, 11 e 13 (Casca Ovo-0,333, Esterco-0,333, Lodo-0,333), como também a mistura do reator 12 (Casca Ovo-1, Esterco-0, Lodo-0) e 14 (Casca Ovo-0,167, Esterco-0,167, Lodo-0,667), foram as que apresentaram melhores resultados para uso como fertilizante agrícola, logo as mais adequadas para realização do processo de compostagem envolvendo os resíduos avaliados.

Os resultados obtidos comprovam que, mesmo em pequena escala, foi possível compostar misturas dos resíduos agroindustriais e gerar um composto orgânico de qualidade aceitável para uso posterior na agricultura. A compostagem é uma ótima alternativa de tratamento para resíduos agroindustriais e, se planejada de forma integrada e com cuidados ambientais pertinentes, pode gerar resultados amplos e atingir todo o potencial de benefícios que podem ser explorados.

5. REFERÊNCIAS

ARTHURSON, V. Proper sanitization of sewage sludge: A critical issue for a sustainable society. *Applied and Environmental Microbiology*, v.74, p. 5267-5275, 2008.

BARRENA, R.; TURET, J.; BUSQUETS, A.; FARRES, M.; FONTE, X.; SANCHEZ, A. Respirometric screening of several types of manure and mixtures intended for composting. *Bioresource Technology*. v.102, n.2, p. 1367-1377, 2011.

BERNAL, M.P.; ALBURQUERQUE, J.A.; MORAL, R. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. *Bioresource Technology*. n.100, p. 5444-5453, 2009.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 27, de 5 de julho de 2006. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*. Brasília, DF, 09 de julho de 2006.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 25, de 23 de julho de 2009. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 28 de julho de 2009. Seção 1, p. 20

BRITO, M. Manual de Compostagem. Escola Superior Agrária de Ponte Lima (ESAPL), Portugal, 2006.

CHAVES, A. P. Rotas tecnológicas convencionais e alternativas para a obtenção de fertilizantes. In: FERNANDES, F. R. C.; DA LUZ, A. B.; CASTILHOS, Z. C. Agrominerais para o Brasil. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010. 380 p.

CORNELL, J.A. Experiments with Mixtures: Designs, Models, and the Analysis of Mixture Data. 3rd. Edition: Wiley, 2002.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos Rio de Janeiro, Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, SPI, 1999.

ESCOSTEGUY, P.A.V.; PARCHEN, C.A.P.; SELBACH, P.A. Bactérias enteropatogênicas em compostos de lixo domiciliar, solo e planta. Revista Brasileira de Ciência do Solo. Campinas-SP. no 17 pag. 365 a 369. 1993.

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. Engenharia Ambiental, v. 5, n. 3, p. 178-191, 2008.

GODLEWSKA, P.; SCHMIDT, H.P.; OK, Y.S.; OLESZCZUK, P. Biochar for composting improvement and contaminants reduction. Bioresource Technology, n. 246, p. 193–202, 2017.

HAUG, R.T. The Practical Handbook of Compost Engineering. Lewis Publishers, 1993.

HAUG, R.T. Composting engineering: principles and practice. Michigan: Ann Arbor Science, 1980, 665p.

INÁCIO, C.T. E MILLER, P.R.M. Compostagem: ciência e prática para gestão de resíduos orgânicos – Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009.

IRSHAD, M.; ENEJI, A.E.; HUSSAIN, Z.; ASHRAF, M. Chemical characterization of fresh and composted livestock manures. Journal of Soil Science and Plant Nutrition. n.13, p. 115-121, 2013.

KHAN, N.; CLARK, I.; SÁNCHEZ-MONEDERO, M.A.; SHEA, S.; MEIER, S.; BOLAN, N. Maturity indices in co-composting of chicken manure and sawdust with biochar. Bioresource Technology. n.168, p. 245-251, 2014.

KIEHL, E. J. Manual de Compostagem: maturação e qualidade do composto. 6ª. ed. Piracicaba, 2012.

KIEHL, E. J. Fertilizantes orgânicos. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1985.

MARÍN, I.; SANZ, J. L.; AMILS, R. Biotecnología y medioambiente. Ed. Ephemera, Madri, 2005.

LARNEY, F.J.; OLSON, A.F.; Demaree, P.R.; HANDEREK, B.P.; TOVELL, B.C. Nutrient and trace element changes during manure composting at four southern Alberta feedlots. Canadian Journal of Soil Science, n. 88, p. 45-59, 2008.

LANARV, Laboratório Nacional de Referência Vegetal. Análise de Corretivos, fertilizantes e Inoculantes. Métodos Oficiais. 103p. 1988.

LI, R.; WANG, Q.; ZHANG, Z.; ZHANG, G.; LI, Z.; WANG, L.; ZHENG, J. Nutrient transformation during aerobic composting of pig manure with biochar prepared at different temperatures. *Environmental Technology*. N.36, p. 815-826, 2015.

MAULINI-DURAN, C.; ARTOLA, A.; FONT, X.; SANCHEZ, A. Gaseous emissions in municipal wastes composting: effect of the bulking agent. *Bioresource Technology*, n. 172, p. 260-268, 2014.

PEREIRA NETO, J. T. Conceitos Modernos de Compostagem. *Engenharia Sanitária*, v.28, n.3, p 104-109. 1989

PEREIRA NETO, J. T.; MESQUITA, M. M. F. Compostagem de Resíduos Sólidos Urbanos: aspectos teóricos, operacionais e epidemiológicos, Lisboa, 1992.

RAJ, D.; ANTIL, R.S. Evaluation of maturity and stability parameters of composts prepared from agro-industrial wastes. *Bioresource Technology*. n.102, p. 2868-2873, 2011.

RYNK, R. On-farm composting handbook. Ithaca, NY: NRAES, 1992, 186 p.

RODRIGUES, M.S.; DA SILVA, F.C.; BARREIRA, L.P.; KOVACS, A. Compostagem: reciclagem de resíduos sólidos orgânicos. In: SPADOTTO, C.A.; RIBEIRO, W. Gestão de Resíduos na agricultura e agroindústria. FEPAF. Botucatu, 2006. p. 63-94.

SANTIAGO, A. D.; ROSSETTO, R. Adubação orgânica. AGEITEC- Agência Embrapa de Informação Tecnológica.
Disponível em: < http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_37_711200516717.html, Acesso em: 25 jan 2018.

SANTOS, J. V. A gestão de resíduos sólidos urbanos: um desafio. 2009, 271 f. Tese (Doutorado em Direito do Estado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

SEDIYAMA, M. A. N; VIDIGAL, S. M.; PEDROSA, M. W.; PINTO, C. L. O.; SALGADO, L. T. Fermentação de esterco de suínos para uso como adubo orgânico. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.12, n.6, p.638-644, 2008.

SCOTON, E.J.; BATTISTELLE, R.A.G.; BEZERRA, B.S., AKUTSU, J. A sewage sludge co-composting process using respirometric monitoring method in hermetic rotary reactor. *Journal of Cleaner Production*. n.121, p. 169-175, 2016.

SHEN, Y.; CHEN, T.; GAO, D.; ZHENG, G.; LIU, H.; YANG, Q. Online monitoring of volatile organic compound production. *Bioresource Technology*. n. 123, p. 463-470, 2012.

SILVA, M. E. C. Compostagem de Lixo em Pequenas Unidades de Tratamento. Viçosa, CPT, 2000.

THEEBA, M.; BACHMANN, R.T.; ILLANI, Z.I.; ZULKEFLI, M.; HUSNI, M.H.A.; SAMSURI, A.W.; SAMSURI, W. Characterization of local mill rice husk charcoal and its effect on compost properties. *Malaysian Journal Society Science*. n. 16, p. 89-102, 2012.

UN – United Nations. World urbanization prospects: The 2015 revision. New York: United Nations, 2015.

United States Environmental Protection Agency, United States Department of Agriculture (USDA), and Natural Resources Conservation Service (NRCS) (2010), *Chapter 2 Composting*, in *National Engineering Handbook - Part 637 Environmental Engineering* Washington, DC: US Dept. of Agriculture.

VANDERGHEYNST, J. S., GOSSETT, J. M., WALKER L. P. High-solid aerobic decomposition: pilot-scale reactor development and experimentation. *Process Biochemistry*, p. 361-375. 1997.

WANG, X.; WEN, W.; PAN, S.; LIN, X.; CHEN, S. Influence of conditioner proportion on aerobic composting of food waste and microbial characteristics. *Chinese Journal of Environmental Engineering*. v.10, n. 6, p. 3215-3222, 2016.

YANG, F.; LI, G.; SHI, H.; Wang, Y. Effects of phosphogypsum and superphosphate on compost maturity and gaseous emissions during kitchen waste composting. *Waste Management*. n. 36, p. 70-76, 2015.

ZHANG, J.; CHEN, G.; SUN, H.; ZHOU, S.; ZOU, G. Straw biochar hastens organic matter degradation and produces nutrient-rich compost. *Bioresource Technology*. n. 200, p. 876-883, 2016.