

Diferentes relações C/N inicial para tratamento de lodo de curtume via compostagem

Giovanni Terra Peixoto¹, Ana Beatriz de Melo Sagatelli², Addressa Ferreira Pimenta³, Luís Fernando Vanzella Mazzarin⁴, Marcos Candido da Silva⁵, Ramily Micheleti de Azevedo Oliveira Meneses^{6*}, Roger Nabeyama Michels⁷, Tatiane Cristina Dal Bosco⁸.

¹Engenheiro Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Londrina, Brasil.

²Graduanda em Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Londrina, Brasil.

³Mestre em Bioenergia, Universidade Estadual de Londrina, Brasil.

⁴Engenheiro Agrônomo, Universidade Estadual de Londrina, Brasil.

⁵Engenheiro Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Londrina, Brasil.

⁶Graduanda em Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil. (*Autor correspondente: ramilymeneses@gmail.com)

⁷Prof. Dr. do Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Londrina, Brasil.

⁸Prof. Dra. do Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Londrina, Brasil.

Histórico do Artigo: Submetido em: 17/11/2021 – Revisado em: 24/05/2022 – Aceito em: 01/06/2022

RESUMO

O lodo da ribeira é um dos resíduos sólidos gerados nos curtumes e possui elevada carga orgânica, podendo causar impactos ao ambiente se disposto incorretamente. A compostagem pode ser utilizada para o tratamento deste resíduo. Recomenda-se, na literatura, que a relação C/N inicial do processo seja de 30:1. No entanto, esta relação pode ser inviável, visto que os resíduos considerados como fonte de nitrogênio são os maiores desafios das indústrias e gerados em maior quantidade. Objetivou-se avaliar a eficiência de duas relações C/N iniciais na compostagem do lodo de ribeira com poda de árvores e maravalha, na presença e na ausência da cinza de caldeira. Montou-se 16 leiras, com relação C/N inicial calculada de 16:1 e 12:1. Ao longo de 60 dias monitorou-se: pH, temperatura, condutividade elétrica, relação C/N, aspecto do material e redução de massa e volume. O pH de todos os compostos se apresentou alcalino. Apenas o T5 (lodo e poda, C/N 16:1) atingiu temperatura superior a 55°C. Os tratamentos com poda de árvores foram mais eficientes quanto à redução da relação C/N, destacando-se T5 e T6 (lodo, poda e cinza, C/N 16:1) com 41,52% e 42,02% de redução, respectivamente. Todos os tratamentos sofreram redução de volume e massa, com destaque para T5 e T6. Houve maior descaracterização dos resíduos com poda de árvore em sua composição. Portanto, os compostos T5 e T6 se destacaram, evidenciando que a melhor relação C/N para iniciar o processo é 16:1, e a fonte de carbono é a poda de árvore.

Palavras-Chaves: Lodo da ribeira, Maravalha, Poda de árvores, Resíduos Sólidos.

Different initial C/N ratios for treatment of tannery sludge via composting

ABSTRACT

The river sludge is one of the solid waste generated in tanneries and has a high organic load, which can cause impacts to the environment if disposed of incorrectly. Composting can be used to treat this waste. It is recommended, in the literature, that the initial C/N ratio of the process be 30:1. However, this relationship may be unfeasible, since residues considered as a source of nitrogen are the biggest challenges for industries and are generated in greater quantities. The aim of this study was to evaluate the efficiency of two initial C/N ratios in the composting of river sludge with tree pruning and wood shavings, in the presence and absence of boiler ash. Sixteen windrows were set up, with an initial calculated C/N ratio of 16:1 and 12:1. Over 60 days, the following were monitored: pH, temperature, electrical conductivity, C/N ratio, material appearance and reduction in mass and volume. The pH of all compounds was alkaline. Only T5 (sludge and pruning, C/N 16:1) reached a temperature above 55°C. Tree pruning treatments were more efficient in reducing the C/N ratio, with T5 and T6 (sludge, pruning and ash, C/N 16:1) standing out with 41.52% and 42.02% reduction, respectively. All treatments suffered a reduction in volume and mass, especially for T5 and T6. There was greater mischaracterization of the waste with tree pruning in its composition. Therefore, the compounds T5 and T6 stood out, showing that the best C/N ratio to start the process is 16:1, and the carbon source is tree pruning.

Keywords: Sludge from tannery, Wood shavings, Tree pruning, Solid waste.

Peixoto, G., Segatelli, A., Pimenta, A., Mazzarin, L., Da Silva, M., Meneses, R., Michels, R., Dal Bosco, T. (2022). Diferentes relações C/N inicial para tratamento de lodo de curtume via compostagem. *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, v.10, n.3, p.80-99.



1. Introdução

As indústrias, principalmente as de processamento de produtos oriundos da agricultura e da pecuária, geram uma quantidade significativa de resíduos ricos em matéria orgânica (Amorim et al., 2011; Singh, Singh e Imam, 2014). Os curtumes, em especial, geram, em seus processos, resíduos sólidos com potencial fertilizante e corretivos de acidez do solo (Possato et al., 2014). Por outro lado, esses resíduos, dependendo da parte do processo produtivo em que são gerados, apresentam potencial poluidor, pois concentram elevada carga orgânica e inorgânica, como fenóis, sulfetos, sódio e cromo (Martines; Andrade e Cardoso, 2006).

A grande preocupação relacionada ao gerenciamento de lodo de curtumes está associada à presença de cromo, utilizado no processo de curtimento. A utilização do lodo de curtume como fertilizante na agricultura, considerando esta preocupação, foi objeto de estudo de diversos pesquisadores (Passianoto e Rodrigues, 2001; Teixeira et al., 2005; Gonçalves et al., 2014; Possato et al., 2014). Porém, pouco se investiga sobre o tratamento do lodo de ribeira e seu posterior potencial uso como fertilizante. Este lodo é caracterizado por apresentar baixa ou nula concentração de cromo, tendo em vista que nesta etapa, anterior do processo de curtimento, a pele ainda não teve contato com o cromo (Pacheco, 2005). Deste modo, quando o curtume possui linhas segregadas de coleta dos efluentes nas diferentes etapas, é possível fazer o seu aproveitamento como fertilizante orgânico.

A ribeira é a etapa do processo produtivo que consiste na retirada da gordura, carne e pelos, além de outros materiais aderidos ao tecido subcutâneo e adiposo, o que facilita a penetração dos produtos químicos aplicados em etapas posteriores, além da hidratação da pele (Martines, 2005; Moura et al., 2014).

Considerando que o lodo de ribeira apresenta, dentre outras características, alta concentração de matéria orgânica e altos teores de nitrogênio e sódio (Aquino Neto e Camargo, 2000; Martines, 2005), uma técnica para tratamento deste resíduo é a compostagem, que consiste num processo aeróbio onde os microrganismos realizam a decomposição da matéria orgânica e resulta num produto final mais estável, sendo, muitas vezes, utilizado como fertilizante orgânico no cultivo de determinadas culturas (Kiehl, 1985).

No processo de compostagem, dois ou mais resíduos são misturados visando promover o equilíbrio da relação C/N, importante para garantir condições de desenvolvimento dos microrganismos, sendo o carbono importante como fonte de energia e o nitrogênio para síntese de proteínas (Kiehl, 2004). De acordo com Kiehl (2004) a relação C/N de uma mistura de resíduos no início do processo de compostagem deve estar entre 25/1 e 35/1. No entanto, muitas vezes, esta proporção não viabiliza o processo, tendo em vista a indisponibilidade de resíduos fonte de carbono na indústria.

Neste sentido, o objetivo deste trabalho é avaliar a eficiência de diferentes relações C/N iniciais no tratamento do lodo de ribeira, via compostagem, a partir da mistura com poda de árvores, maravalha e cinza de caldeira.

2. Material e Métodos

2.1 Obtenção dos resíduos e montagem, composição e dimensionamento das leiras.

O experimento foi conduzido na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Londrina, em ambiente coberto e com piso impermeável. Os resíduos compostados foram: lodo da ribeira, poda de árvore triturada, maravalha e cinza de caldeira. Os resíduos foram analisados em laboratório, com a finalidade de obter os valores de nitrogênio, carbono, umidade e densidade (Tabela 1).

Tabela 1 - Caracterização inicial dos resíduos.

| Resíduos | Carbono (%) | Nitrogênio (%) | Umidade (%) | Densidade (Kg L ⁻¹) |
|-----------|-------------|----------------|-------------|---------------------------------|
| Maravalha | 50,19 | 0,08 | 5,43 | 0,04 |

| | | | | |
|----------------|-------|------|-------|------|
| Cinzas | 0,02 | 0,06 | 0,20 | 0,59 |
| Lodo ribeira | 10,53 | 1,76 | 11,63 | 1,01 |
| Poda de árvore | 30,52 | 1,02 | 10,40 | 0,13 |

Fonte: Autoria própria.

Com os valores da Tabela 1 foram realizados os cálculos que fornecem o volume de cada resíduo utilizado na montagem das leiras. O primeiro passo foi aplicar os valores de C e N dos resíduos na equação 1, proposta por Kiehl (2008):

$$\frac{(30 \cdot N_m) - (C_m)}{(C_c) - (30 \cdot N_c)} \quad (1)$$

Onde: Nm: % de N do resíduo rico em N; Cm: % de C do resíduo rico em N; Cc: % de C do resíduo rico em C; Nc: % de N do resíduo rico em C.

A equação 1 tem como princípio indicar a quantidade, em massa, do resíduo fonte de carbono para cada kg de material nitrogenado, para relação C/N inicial igual a 30. Porém, aplicando os valores apresentados na Tabela 1 na equação 1, chegou-se a uma proporção, em volume, muito alta de material fonte de carbono para pouco material nitrogenado. Portanto, foi calculado novamente para relações C/N inicial mais baixas, visando aumentar a quantidade do material nitrogenado (lodo) na composição, resíduo com maior potencial poluidor.

Após algumas tentativas, chegou-se aos valores de relação C/N inicial ideal: 12/1 e 16/1, pois resultam em relação de volume de aproximadamente 3 partes de material com maior porcentagem carbono para 1 com nitrogênio, e 6 partes de material rico em carbono para 1 nitrogenado, respectivamente, que são proporções possíveis de serem executadas em larga escala.

Foi realizada a correção da umidade, para se obter a quantidade de cada resíduo em massa úmida, e para finalizar os cálculos, encontrou-se o volume de cada resíduo para montagem das leiras. Foram testados 8 tratamentos, conforme a composição apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 - Composição volumétrica das leiras, em litros.

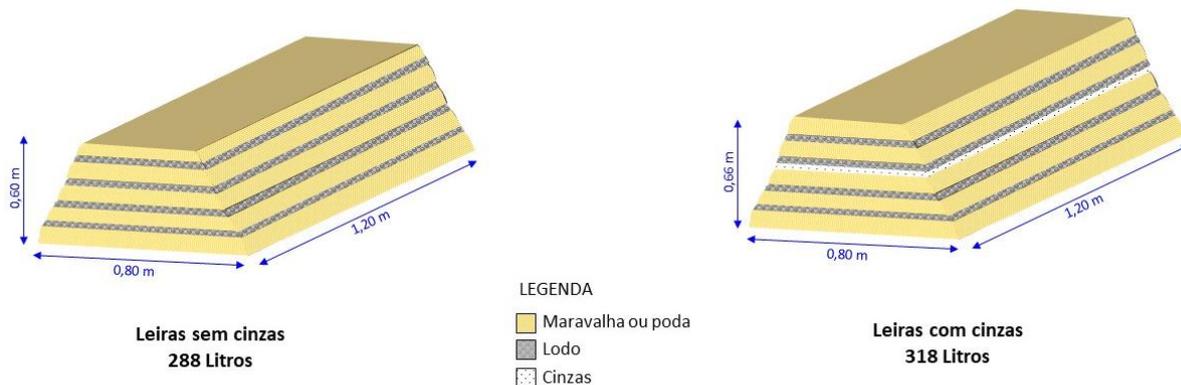
| Tratamento | C/N Inicial | Composição (L) | | | | Volume total |
|------------|-------------|----------------|------|-----------|-------|--------------|
| | | Lodo | Poda | Maravalha | Cinza | |
| T1 | 12/1 | 76 | 212 | - | - | 288 |
| T2 | 12/1 | 76 | 212 | - | 30 | 318 |
| T3 | 12/1 | 70 | - | 218 | - | 288 |
| T4 | 12/1 | 70 | - | 218 | 30 | 318 |
| T5 | 16/1 | 40 | 248 | - | - | 288 |
| T6 | 16/1 | 40 | 248 | - | 30 | 318 |
| T7 | 16/1 | 46 | - | 242 | - | 288 |
| T8 | 16/1 | 46 | - | 242 | 30 | 318 |

Fonte: Autoria própria.

Ressalta-se que a cinza foi apenas acrescida intercalando-se com as camadas de resíduos, aos tratamentos T2, T4, T6 e T8, num total de 30 litros por tratamento.

As leiras foram montadas em duplicata, totalizando 16 leiras, conforme as dimensões propostas e ilustradas na Figura 1.

Figura 1 – Dimensões das leiras de compostagem.



Fonte: Autoria própria.

2.2 Monitoramento do processo: Análises físico-químicas.

De acordo com Souza et al. (2020), dentre os parâmetros que podem ser avaliados no processo de compostagem, os que possuem maior influência no desempenho são: temperatura, umidade, pH, relação C/N, aeração, granulometria, dimensão das leiras e os microrganismos envolvidos. O monitoramento do processo foi realizado considerando-se a maioria destes, os quais são apresentados no Quadro 1, com suas respectivas frequências. Para as análises quinzenais, a amostragem do composto foi realizada em três pontos de cada leira.

Quadro 1 – Frequência das análises e monitoramento.

| Análise | Frequência |
|------------------------------|---------------|
| Temperatura | 10 minutos |
| Aeração e Umidificação | A cada 3 dias |
| pH | Quinzenal |
| Condutividade Elétrica (C.E) | Quinzenal |
| Umidade | Quinzenal |
| Carbono Orgânico Total | Quinzenal |
| Nitrogênio Total | Quinzenal |
| Redução de massa | Final |
| Redução de volume | Final |
| Aspecto e descaracterização | Final |

Fonte: Autoria própria.

As temperaturas das leiras foram medidas e registradas a cada 10 minutos, por meio de dois sensores por leira de modelo DS18B20, ligados a um sistema (*datalogger*) na plataforma Arduino. Neste sistema, os dados foram armazenados em cartão SD. Houve acompanhamento diário da temperatura para verificação da necessidade de controle da mesma com o revolvimento, além da identificação da maturação do composto. Determinou-se também a temperatura ambiente com quatro sensores que foram deixados expostos no local em que o experimento foi desenvolvido.

O monitoramento do pH e da C.E. foi realizado de acordo com o procedimento descrito por Tedesco et

al. (1995). Foi necessário realizar análise de série de sólidos, precisamente sólidos voláteis, a fim de obter o carbono total e orgânico. A análise de umidade e série de sólidos foi realizada seguindo o procedimento descrito pela American Public Health Association – APHA (2012), e o teor de carbono orgânico e total foi obtido adaptando-se a metodologia proposta por Carmo e Silva (2012). Para o cálculo da umidade (2), do carbono total (3) e do carbono orgânico (4) (Carmo e Silva, 2012) foram utilizadas seguintes equações:

$$U (\%) = \frac{[(P1-P0)-(P2-P0)]}{(P1-P0)} \times 100 \quad (2)$$

$$CT (\%) = (0,463 \times SV) - 0,550 \quad (3)$$

$$CO (\%) = (0,425 \times SV) - 2,064 \quad (4)$$

Onde: U (%): umidade, em porcentagem; CT (%): carbono total, em porcentagem; CO (%): carbono orgânico, em porcentagem; SV: sólidos voláteis; P0: massa do cadinho calcinado, em gramas; P1: massa úmida da amostra + massa do cadinho, em gramas; P2: massa seca da amostra + massa do cadinho, em gramas.

O nitrogênio total foi obtido conforme a metodologia proposta por Malavolta et al. (1997), e foi realizada também a análise do composto final para os macronutrientes fósforo total e potássio solúvel, em laboratório especializado, seguindo as metodologias propostas por MAPA (2017).

A redução de massa e volume foi obtida no final do processo e o monitoramento da descaracterização do material foi realizado visualmente ao longo do processo.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com duas repetições. Cada parcela experimental foi constituída de uma leira. Ao final do processo de compostagem foram realizadas análises estatísticas para comparar os resultados obtidos e verificar a diferença ou semelhança estatística entre eles. O SISVAR foi utilizado para a realização da análise de variância (ANOVA) e o Teste de Scott-Knott (5% de significância) para comparação de médias.

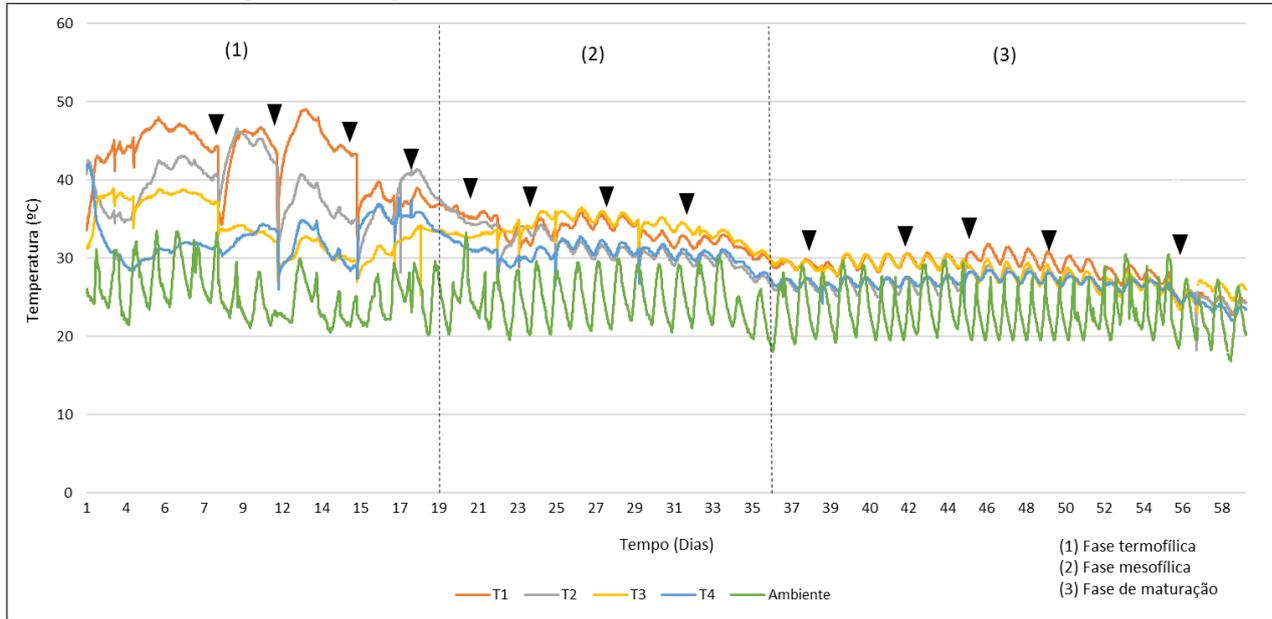
3. Resultados e Discussão

3.1 Análise do parâmetro temperatura

A temperatura é um indicador da degradação dos resíduos na compostagem. Na Figura 2 são apresentados os perfis de temperatura médios dos tratamentos T1, T2, T3, T4 e ambiente. As fases da compostagem estão representadas pelas linhas verticais feitas no gráfico e as setas indicam os dias de revolvimento das leiras e controle da umidade.

O período médio de duração da fase termofílica foi de 19 dias (Figura 2), semelhante ao encontrado por Shukla, Rai e Dubey (2009) em estudo sobre interação de comunidades microbianas na transformação e estabilização do cromo durante a compostagem de lodo de curtume, cuja duração desta fase foi de 21 dias. Nota-se, também, que a fase mesofílica teve duração média de aproximadamente 17 dias. Após esse período o composto já se encontrava em maturação.

Figura 2 – Temperaturas médias das leiras com relação C/N inicial de 12:1.

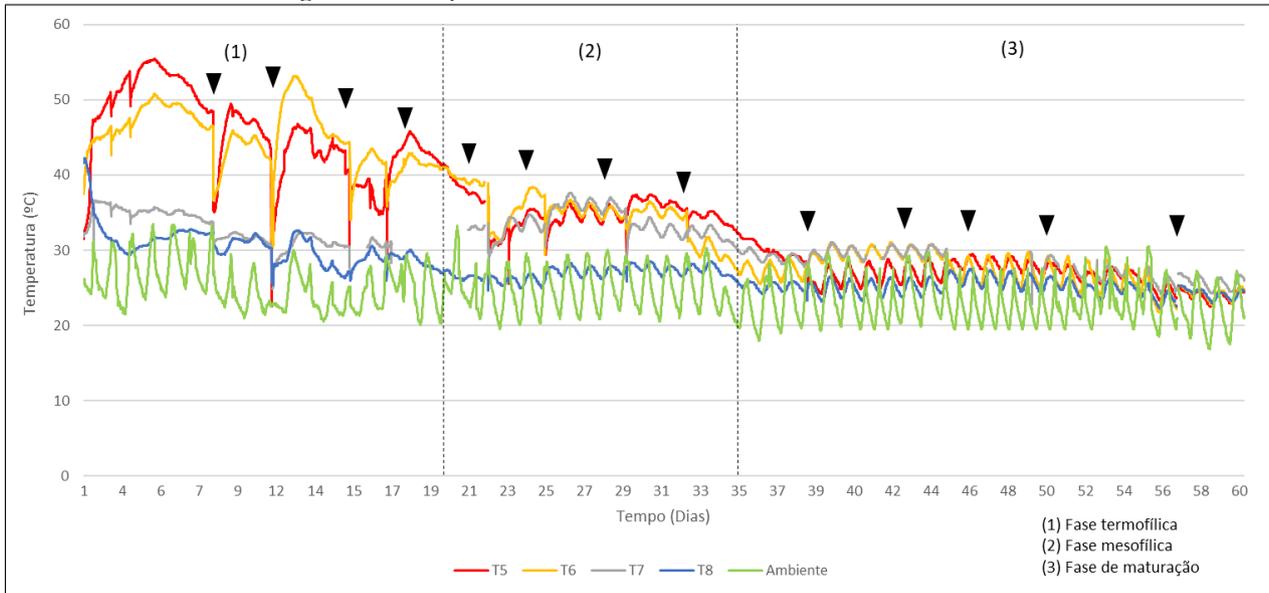


Fonte: Autoria própria.

Nota: T1: lodo + poda (C/N 12), T2: lodo + poda + cinza (C/N 12), T3: lodo + maravalha (C/N 12), T4: lodo + maravalha + cinza (C/N 12). ▼ indicam os revolvimentos realizados.

De acordo com o gráfico representado na Figura 3 é possível observar os perfis médios de temperatura para os tratamentos com C/N inicial 16/1.

Figura 3 – Temperaturas médias das leiras com C/N inicial de 16:1



Fonte: Autoria própria.

Nota: T5: lodo + poda (C/N 16), T6: lodo + poda + cinza (C/N 16), T7: lodo + maravalha (C/N 16), T8: lodo + maravalha + cinza (C/N 16). ▼ indicam os revolvimentos realizados.

A duração das fases da compostagem para as leiras com relação C/N inicial 16:1 foi semelhante às leiras com relação C/N inicial 12:1, considerando as temperaturas médias. Pode-se observar que os tratamentos T4 e T8 tiveram comportamento semelhante, havendo um decaimento no início e permanecendo em temperaturas entre 30 e 35 °C o resto do período de compostagem. Ambos possuíam a mesma composição (lodo + maravalha + cinza), apenas em proporções diferentes.

O perfil de temperatura dos tratamentos T1, T2, T5 e T6 - todos com poda de árvore como fonte de carbono - também foi semelhante, com as fases da compostagem bem definidas. O revolvimento e a umidificação favorecem, respectivamente, a introdução de oxigênio e o controle da umidade das leiras, proporcionando um ambiente com melhores condições para o desenvolvimento dos microrganismos, ocorrendo um aumento na atividade microbiana e, conseqüentemente, o aumento da temperatura. Observa-se que, em alguns casos, no dia após o revolvimento, como é o caso do dia 9 nas Figuras 2 e 3, a temperatura é significativamente elevada, assim como encontrado por Presumido et al. (2017).

O aumento da temperatura durante o processo de compostagem é consequência do metabolismo de decomposição microbiana. Segundo Fernandes e Silva (1999) a população termófila é muito ativa, provocando intensa e rápida degradação da matéria orgânica e maior elevação da temperatura, o que elimina os microrganismos patogênicos. Apenas os tratamentos T1 e T2 (leiras com C/N inicial 12) chegaram à fase termofílica ainda na primeira semana. Considerando as temperaturas máximas, para estes tratamentos, a fase termofílica teve duração de aproximadamente 25 dias. Já para os tratamentos que receberam maravalha, a fase termofílica foi menos intensa e teve duração menor.

Nos tratamentos com C/N inicial 16/1, considerando as temperaturas máximas, a fase termofílica teve duração de aproximadamente 32 dias para T5 e T6, com medidas acima de 53°C. Segundo a Resolução CONAMA 481/2017 (CONAMA, 2017), durante o processo de compostagem deve ser garantido o período termofílico mínimo necessário para redução de agentes patogênicos de >55° por 14 dias ou >65° por 3 dias. Nota-se na Tabela 3 que o máximo período de permanência foi aproximadamente 21 horas, para T5, em temperatura de 56,2° C. Por outro lado, Hassen et al. (2001) afirmam que quando há necessidade de eliminação de patógenos na compostagem, a presença de temperaturas elevadas é fundamental, e para máxima sanitização são necessárias temperaturas acima de 55°C, como ocorreu com o tratamento T5 (Tabela 3).

Tabela 3 – Temperaturas máximas atingidas e seus respectivos dias para cada tratamento.

| Tratamentos | Temperatura Máxima (°C) | Dia de máxima temperatura | Tempo de permanência na temperatura máxima (horas) |
|-------------|-------------------------|---------------------------|--|
| T1 | 52,2 | 11 | 6,5 |
| T2 | 49,5 | 18 | 3,83 |
| T3 | 40,5 | 3 | 3,17 |
| T4 | 44,7 | 16 | 0,67 |
| T5 | 56,2 | 5 | 21,7 |
| T6 | 53,0 | 12 | 3,83 |
| T7 | 38,5 | 23 | 6,67 |
| T8 | 45,2 | 1 | 0,30 |

Fonte: Autoria própria.

Nota 1: T1: lodo + poda (C/N 12), T2: lodo + poda + cinza (C/N 12), T3: lodo + maravalha (C/N 12), T4: lodo + maravalha + cinza (C/N 12), T5: lodo + poda (C/N 16), T6: lodo + poda + cinza (C/N 16), T7: lodo + maravalha (C/N 16), T8: lodo + maravalha + cinza (C/N 16).

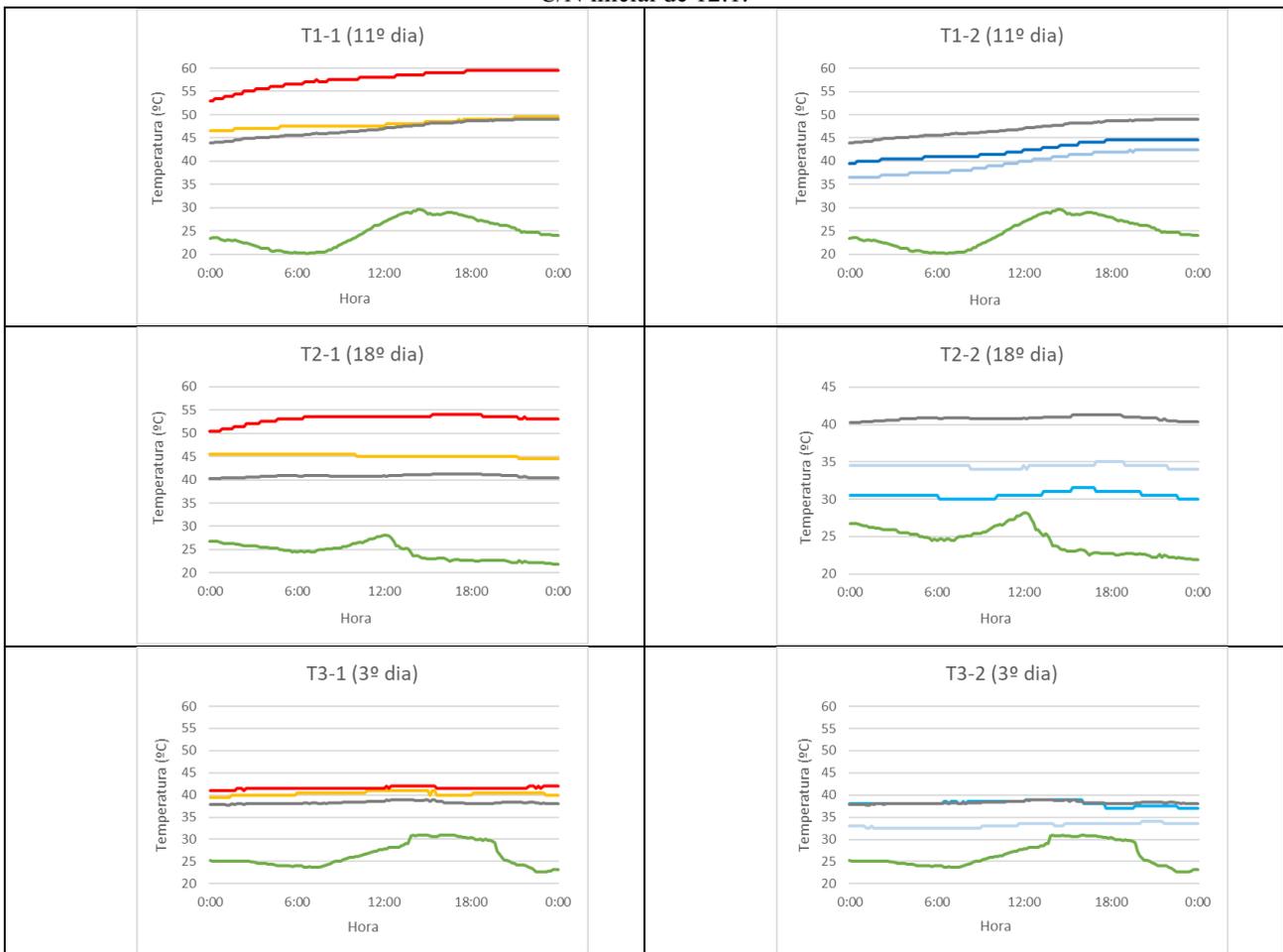
A partir do 36º dia, a temperatura mínima de todos os tratamentos se aproxima da temperatura ambiente, sendo esse, o período de maturação. Nessa fase, a atividade microbiana é reduzida e, conseqüentemente, a taxa

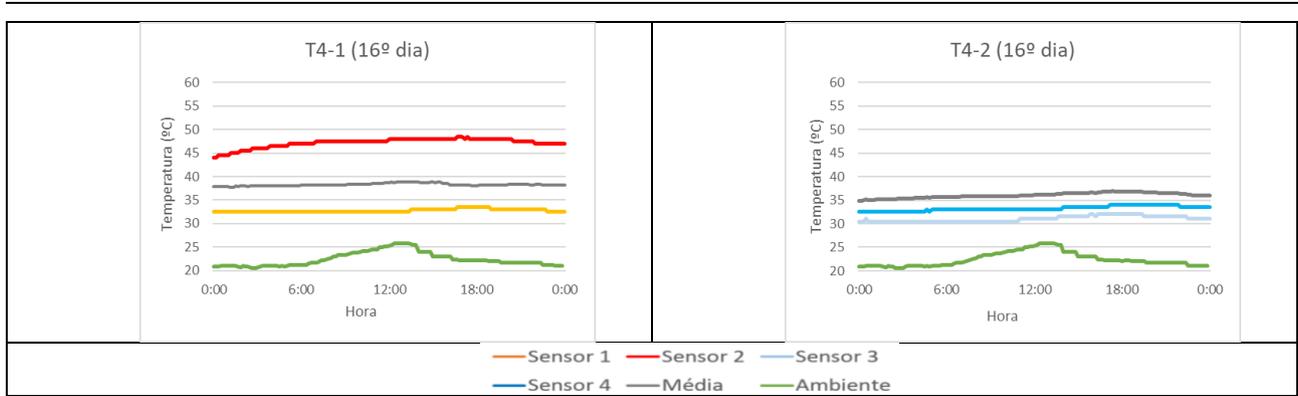
de degradação se torna muito baixa (Trautmann e Olynciw., 2005). Ao aproximar a temperatura do composto com a temperatura ambiente, acredita-se que o composto está curado. Porém, não pode ser utilizada como único parâmetro na verificação de maturidade do composto, devendo ser associados outros parâmetros (Valente et al., 2009).

O monitoramento diário da temperatura é importante, devido à necessidade de tomar decisões como realizar o revolvimento e a umidificação. Geralmente, a coleta de dados de temperatura, em pesquisas sobre compostagem, é realizada manualmente, por meio de termômetros digitais ou de mercúrio (Pedrosa et al., 2013), realizada com pouca frequência, em muitos casos, apenas uma vez ao dia, como no caso do trabalho Zhang e Sun (2016).

A partir das Figuras 4 e 5 observa-se a temperatura de cada sensor no dia de maior temperatura para cada leira, com intervalo de coleta de dados reduzida, com maior detalhe do comportamento diário deste parâmetro.

Figura 4 – Temperatura ao longo do dia, em cada leira, no dia de maior temperatura, para os tratamentos com relação C/N inicial de 12:1.

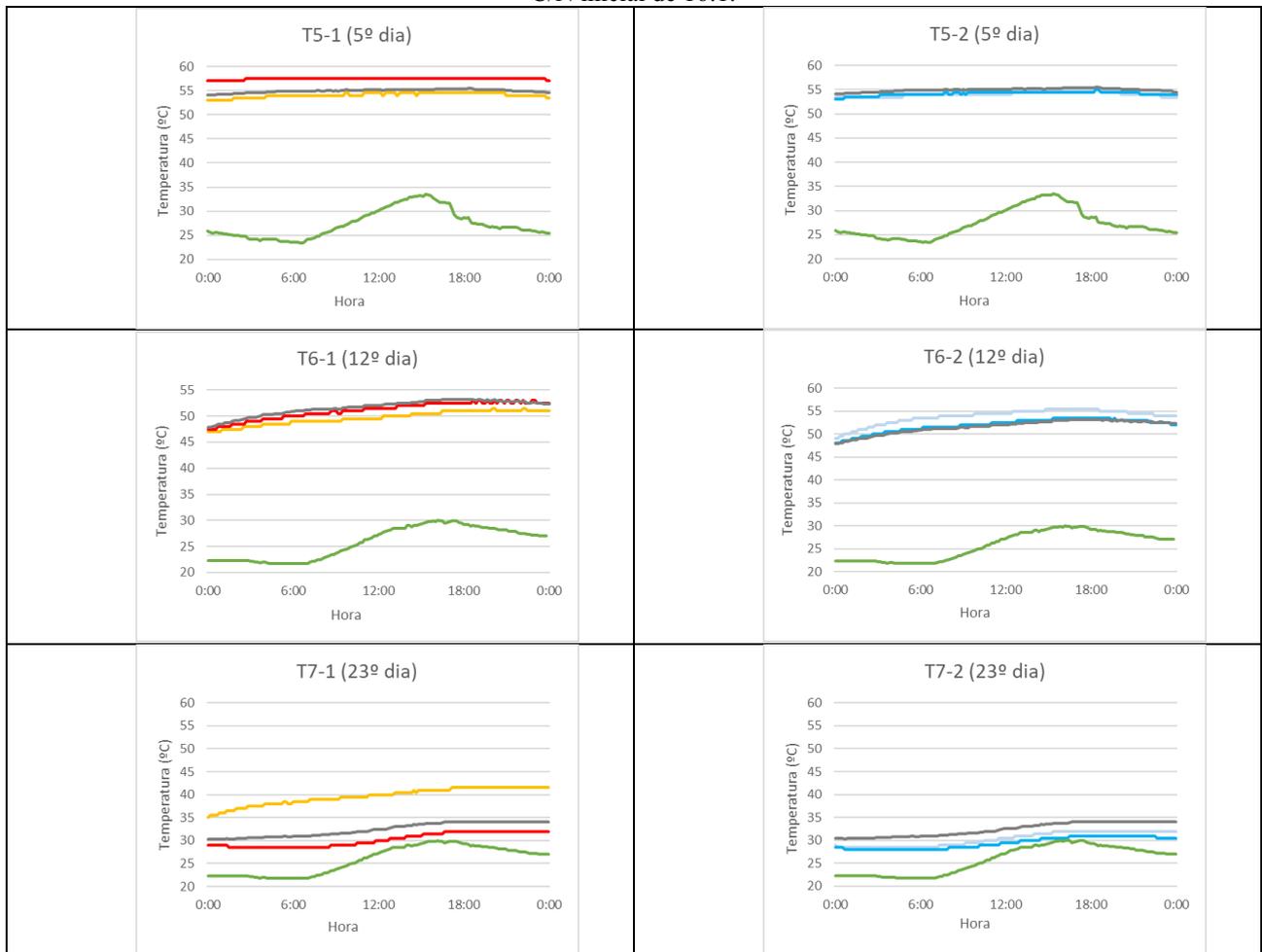


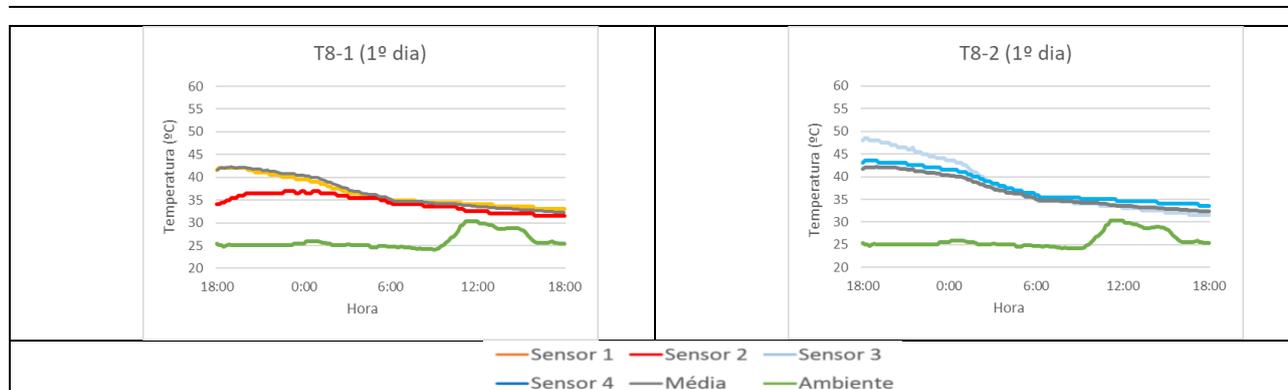


Fonte: autoria própria.

Nota 1: T1: lodo + poda (C/N 12), T2: lodo + poda + cinza (C/N 12), T3: lodo + maravalha (C/N 12), T4: lodo + maravalha + cinza (C/N 12), T5: lodo + poda (C/N 16).

Figura 5 – Temperatura ao longo do dia, em cada leira, no dia de maior temperatura, para os tratamentos com relação C/N inicial de 16:1.





Fonte: autoria própria.

Nota 1: T5: lodo + poda (C/N 16), T6: lodo + poda + cinza (C/N 16), T7: lodo + maravalha (C/N 16), T8: lodo + maravalha + cinza (C/N 16).

Quanto à variabilidade da temperatura, tomando-se como exemplo o Sensor 1 do tratamento T7 (Figura 5), a temperatura no início do dia (00 h) era 35°C e, em determinados horários, estava acima de 40°C. Portanto, observa-se, que a variação da temperatura pode ser superior a 5°C, dentro das 24 h do dia, para o mesmo ponto da leira. Abdurahiman et al. (2020) obtiveram uma variação de 3 horas e 20 minutos da máxima temperatura do processo de compostagem com a máxima ambiente. Em alguns momentos, na fase termofílica, chegou a variar até 10 horas (Abdurahiman et al., 2020). Isso evidencia a necessidade da coleta de dados automatizada, para obtenção de dados de temperatura com menor intervalo de tempo e maior representatividade (Michels et al., 2017), auxiliando na tomada de decisões.

Neste sentido, Dal Bosco et al. (2018) afirmam, em trabalho sobre a frequência ideal da coleta de dados de temperatura em compostagem de resíduos orgânicos, que devido ao excesso de dados que podem ser obtidos quando utilizada uma frequência muito alta de coleta de dados, o pesquisador deve determinar o erro máximo permissível para cada caso, pois esse erro está diretamente ligado ao intervalo de coleta e ao tamanho da amostra. Nota-se também que existe diferença de temperatura entre os sensores, fato que ocorre, pois, os sensores estão localizados em diferentes pontos nas leiras. Portanto, é recomendável que a coleta de dados seja feita em mais de um ponto, para uma maior representatividade da temperatura da leira.

3.2 Análise dos parâmetros: carbono, nitrogênio e relação C/N.

Perto da montagem das leiras, a porcentagem de carbono orgânico total presente no composto estava próxima de 20% e ao decorrer do processo, houve uma diminuição em alguns tratamentos, como apresentado na Tabela 4. A redução do carbono pode ser resultado do consumo da matéria orgânica pelos microrganismos (Vig, Singh e Dhaliwal, 2011).

Para os teores de nitrogênio, não houve diferença estatística ao longo do tempo, exceto para o tratamento T4, em que se observou um aumento a partir de 30 dias após a montagem da leira (DAM). O aumento está relacionado com a mineralização do nitrogênio, segundo Kiehl (1985), o que agrega ao composto final valor nutricional para aplicação no solo. Já a diminuição está ligada à possibilidade de ocorrer a volatilização da amônia (Massukado, 2008).

Houve diferença estatística nos teores de nitrogênio aos 15, 30 e 45 DAM, quando comparados os tratamentos dentro de cada análise, com destaque para os tratamentos T1 e T4, com valores maiores. Já os tratamentos T4 e T8, ambos com maravalha como fonte de carbono e com cinzas, apresentaram valores menores. Aos 60 DAM, não houve diferença estatística entre os tratamentos, para tal parâmetro (Tabela 4).

Tabela 4- Porcentagem de Nitrogênio Total (NT) e Carbono Orgânico Total (COT) de cada tratamento aos 15, 30, 45 e 60 DAM (dias após montagem das leiras).

| Tratamento | 15 DAM | | 30 DAM | | 45 DAM | | 60 DAM | |
|------------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|
| | NT | COT | NT | COT | NT | COT | NT | COT |
| T1 | 1,97 Ac | 19,0 a | 1,98 Ac | 16,5 a | 1,71 Ab | 13,3 a | 1,56 Aa | 14,4 a |
| T2 | 1,29 Ab | 19,5 a | 1,30 Ab | 16,3 a | 1,47 Ab | 11,8 a | 1,19 Aa | 10,9 a |
| T3 | 1,22 Ab | 20,9 a | 1,24 Ab | 18,4 a | 1,40 Ab | 16,7 b | 1,36 Aa | 16,3 b |
| T4 | 0,73 Aa | 15,9 a | 0,93 Ba | 14,9 a | 0,89 Ba | 15,6 b | 0,94 Ba | 11,4 a |
| T5 | 2,22 Ac | 28,2 a | 2,24 Ac | 30,2 b | 1,75 Ab | 27,5 d | 1,98 Aa | 21,5 b |
| T6 | 1,47 Ab | 20,9 a | 1,47 Ab | 23,1 b | 1,37 Ab | 15,2 b | 1,48 Aa | 14,9 a |
| T7 | 1,18 Ab | 26,2 a | 1,34 Ab | 23,7 b | 1,31 Ab | 21,8 c | 1,35 Aa | 20,8 b |
| T8 | 0,89 Aa | 15,8 a | 0,97 Aa | 17,1 a | 0,61 Aa | 12,9 a | 0,67 Aa | 11,5 a |

Fonte: autoria própria.

Nota 1: letras minúsculas comparam os tratamentos em cada análise (vertical);

Nota 2: letras maiúsculas comparam o tempo de compostagem para cada tratamento (horizontal)

Nota 3: T1: lodo + poda (C/N 12), T2: lodo + poda + cinza (C/N 12), T3: lodo + maravalha (C/N 12), T4: lodo + maravalha + cinza (C/N 12), T5: lodo + poda (C/N 16), T6: lodo + poda + cinza (C/N 16), T7: lodo + maravalha (C/N 16), T8: lodo + maravalha + cinza (C/N 16).

A relação C/N é um parâmetro de fundamental importância para a avaliação da maturação do composto. Para Kiehl (2004) o composto estabilizado deve apresentar C/N entre os valores 8/1 e 12/1. A relação C/N do composto final variou de 9,2 a 17,1. Os tratamentos que tinham poda de árvore em sua composição apresentaram os valores adequados para esse parâmetro, de acordo com os limites sugeridos por Kiehl (2004).

Há uma tendência de diminuição da relação C/N comparando-se o início e o final do processo. Os tratamentos com maior redução da relação C/N foram T5 e T6, com redução de 42,02% e 41,52%, respectivamente. Tal redução é semelhante a encontrada por Karak et al. (2017), em estudo da compostagem de lodo de curtume com dejetos bovinos e cabelo humano, que teve C/N inicial variando de 21,9 a 25,19 e final entre 13,6 e 18,6, com maior redução equivalente a 42,74%.

3.3 Análise dos parâmetros: pH e Condutividade elétrica.

Os valores de pH variaram de 6,54 a 13, evidenciando a possibilidade da compostagem se iniciar em pH alcalino. Outra característica importante a se observar é a C.E da cinza, que é equivalente a 26380 $\mu\text{S cm}^{-1}$, sendo considerada alta, fato relacionado à presença de sais e micronutrientes (Gonçalves e Moro, 1995).

Na Tabela 5 é possível observar os valores de pH e CE ao longo do período de compostagem, bem como resultado da análise estatística desses dados.

Tabela 5 – pH e Condutividade Elétrica de cada tratamento aos 15, 30, 45 e 60 DAM (dias após montagem das leiras).

| Tratamento | 15 DAM | | 30 DAM | | 45 DAM | | 60 DAM | |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | pH | CE | pH | CE | pH | CE | pH | CE |
| T1 | 7,71 a | 1271 a | 6,74 a | 1885 a | 7,94 a | 1928 a | 8,34 a | 1534 b |
| T2 | 7,97 a | 1833 b | 7,44 a | 2062 a | 7,95 a | 1103 a | 8,21 a | 1768 c |
| T3 | 7,41 a | 1017 a | 6,66 a | 1386 a | 7,59 a | 1532 a | 8,20 a | 1169 a |
| T4 | 8,12 a | 2234 c | 8,10 a | 2358 a | 8,33 a | 2830 a | 8,69 a | 2002 c |
| T5 | 7,80 a | 992 a | 6,92 a | 1348 a | 7,96 a | 1435 a | 8,47 a | 1065 a |
| T6 | 8,18 a | 1369 a | 7,55 a | 2248 a | 8,49 a | 1835 a | 9,06 a | 1745 c |
| T7 | 7,34 a | 1133 a | 7,15 a | 1280 a | 7,83 a | 1473 a | 8,21 a | 1109 a |
| T8 | 8,50 a | 2412 c | 8,32 a | 3190 a | 8,21 a | 2643 a | 9,49 a | 2645 c |

Fonte: autoria própria.

Nota 1: letras minúsculas comparam os tratamentos em cada análise (vertical);

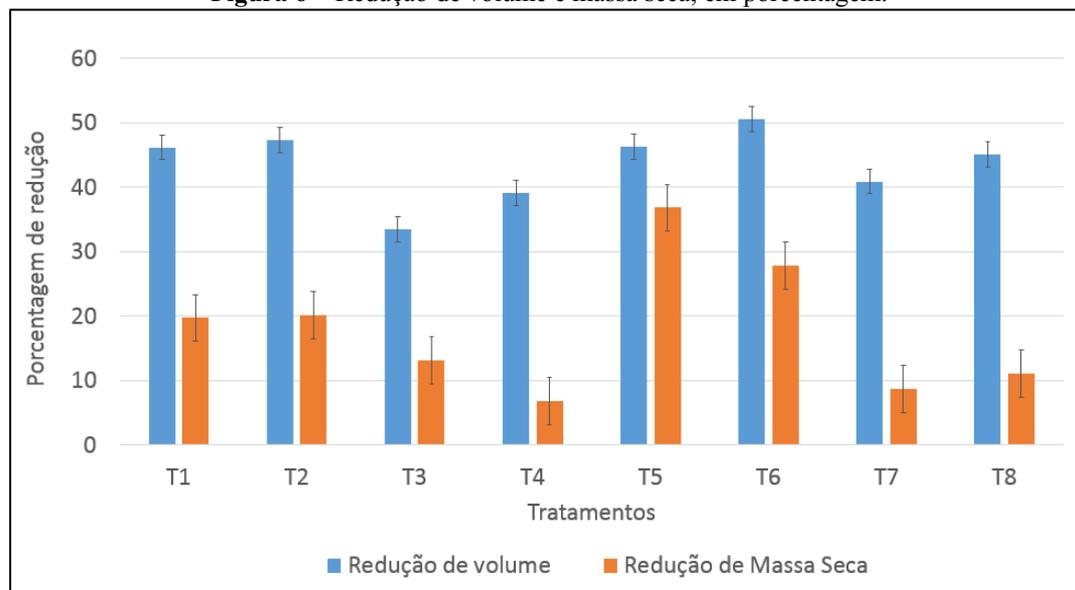
Nota 2: T1: lodo + poda (C/N 12), T2: lodo + poda + cinza (C/N 12), T3: lodo + maravalha (C/N 12), T4: lodo + maravalha + cinza (C/N 12), T5: lodo + poda (C/N 16), T6: lodo + poda + cinza (C/N 16), T7: lodo + maravalha (C/N 16), T8: lodo + maravalha + cinza (C/N 16).

Ao analisar, ao longo do tempo de compostagem, todos os tratamentos percebe-se uma queda no pH aos 30 DAM e, posteriormente, ocorreu a elevação dos valores deste parâmetro (Tabela 5). O pH final de todos os compostos apresentou valores acima de 8,20. Karak et al. (2017), ao trabalhar com a compostagem de lodo de curtume com dejetos bovinos e cabelo humano encontraram comportamento semelhante e valores na faixa de 6,71 e 7,25 após 70 dias de compostagem. A diminuição inicial no valor do pH, notada, numericamente em todos os tratamentos, ocorre devido à formação de ácidos orgânicos como relatado por Almeida e Vilhena (2000). No decorrer do processo de degradação são liberadas bases a partir da matéria orgânica, neutralizando e transformando o meio em alcalino (Kiehl, 1985).

Analisando cada período (15, 30, 45 e 60 DAM), observa-se que em 15 dias os tratamentos T4 (2234 $\mu\text{S cm}^{-1}$) e T8 (2412 $\mu\text{S cm}^{-1}$) se diferem estatisticamente dos demais, com valores de C.E maiores devido à presença de cinza em sua composição, assim como T2 (1833 $\mu\text{S cm}^{-1}$). Em 30 e 45 dias os tratamentos são semelhantes estatisticamente (Tabela 5). Já aos 60 dias todos os tratamentos com cinza em sua composição (T2, T4, T6 e T8) foram semelhantes com valores maiores que os demais. A C.E fornece uma estimativa da quantidade de sais que estão presentes no composto (Carneiro et al., 2011). O aumento de sua concentração pode estar relacionado à redução da massa e do volume. Ao final deste estudo obteve-se C.E na faixa de 1065 $\mu\text{S cm}^{-1}$ (T5) a 2645 $\mu\text{S cm}^{-1}$ (T8).

3.4 Redução de massa e volume.

A liberação de CO_2 que ocorre no processo de compostagem e a degradação da matéria orgânica implicam na redução de massa e volume das leiras (Silva, 2007; Petric et al., 2009). Os dados de redução de massa e volume podem ser observados na Figura 6.

Figura 6 – Redução de volume e massa seca, em porcentagem.

Fonte: Autoria própria.

Nota 1: T1: lodo + poda (C/N 12), T2: lodo + poda + cinza (C/N 12), T3: lodo + maravalha (C/N 12), T4: lodo + maravalha + cinza (C/N 12), T5: lodo + poda (C/N 16), T6: lodo + poda + cinza (C/N 16), T7: lodo + maravalha (C/N 16), T8: lodo + maravalha + cinza (C/N 16).

Conforme observado na Figura 6, ocorreu redução de volume em todos os tratamentos. Nota-se que houve maior redução de volume nos tratamentos que tinham a poda como fonte de carbono (T1, T2, T5 e T6), todos acima de 40%, nos quais também foram observadas as maiores temperaturas.

Para a redução de volume não houve diferença estatística a 5% de significância. Os valores de redução de volume variam de 33,5% a 50,62%, e são mais altos que os encontrados por Karak et al. (2017) em estudo sobre compostagem de lodo de curtume com dejetos bovinos e cabelo humano, com variação de 19,6% a 33,5%. Para a redução de massa, houve diferença estatística entre os dados, sendo os tratamentos T5 e T6 os que tiveram maior redução, ambos com poda em sua composição. Tratamentos estes que também tiveram maior redução da relação C/N e alcançaram maiores temperaturas.

3.5 Aspecto do material

Os tratamentos T1, T2, T5 e T6 (que tinham em sua composição a poda de árvore triturada como fonte de carbono) apresentaram coloração, textura e granulometria diferentes das características do material de origem, que é possível de ser observado no Quadro 2. Ainda era perceptível a presença de alguns pedaços de galhos de árvore de 4,5 a 5 cm de comprimento máximo, fato que é comum devido à lignina e à celulose presentes na poda, complexos de difícil degradação (Paradelo, Moldes e Barral, 2012). Taiatele Junior et al. (2017), em pesquisa sobre a compostabilidade de embalagens biodegradáveis no tratamento de resíduos orgânicos domiciliares com poda de árvore, também relataram este comportamento. Já os tratamentos que receberam maravalha como fonte de carbono (T3, T4, T7 e T8) foram menos eficientes na descaracterização do material, havendo semelhanças físicas dos compostos finais com a fonte de carbono (que compreendia maior parte do total).

Quadro 2 – Registro fotográfico para cada tratamento final.

| | |
|--|---|
| <p>Lodo + Poda (C/N inicial: 12)</p>  | <p>Lodo + Poda + Cinza (C/N inicial: 12)</p>  |
| <p>Lodo + Maravalha (C/N inicial: 12)</p>  | <p>Lodo + Maravalha + Cinza (C/N inicial: 12)</p>  |
| <p>Lodo + Poda (C/N inicial: 16)</p>  | <p>Lodo + Poda + Cinza (C/N inicial: 16)</p>  |
| <p>Lodo + Maravalha (C/N inicial: 16)</p> | <p>Lodo + Maravalha + Cinza (C/N inicial: 16)</p> |



Fonte: Autoria própria.

3.6 Legislação referente ao registro do composto.

Para registro do composto junto ao MAPA é necessário atender especificações que constam na Instrução Normativa SDA 61/2020 (MAPA, 2020), que aprova as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos destinados à agricultura. Para o caso do enquadramento como substratos para as plantas deve-se atender as especificações da Instrução Normativa SDA 5/2016.

De acordo MAPA (2020), a relação C/N máxima deve ser 20 para enquadramento como fertilizante orgânico misto ou composto, o carbono orgânico deve ser de 15% no mínimo, o nitrogênio total deve ser 0,5% no mínimo, a umidade máxima deve ser 50% e, por fim, o pH mínimo deve ser 6.

A umidade do composto final pode ser observada na Tabela 6. Apenas os tratamentos T3 e T8 não estão dentro do limite proposto pela legislação. Porém, isso pode ser facilmente corrigido a partir da intensificação de revolvimentos e exposição do composto ao sol, visto que o teor excedido não é muito expressivo (0,52% e 2,15%, respectivamente).

Tabela 6 – Quadro resumo dos resultados finais obtidos para cada tratamento.

| Tratamento | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | T7 | T8 |
|--------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Redução de Volume (%) | 46,18 | 47,33 | 33,50 | 39,08 | 46,28 | 50,62 | 40,88 | 45,14 |
| Redução de Massa Seca (%) | 19,73 | 20,13 | 13,12 | 6,83 | 36,83 | 27,88 | 8,67 | 11,11 |
| Umidade (%) | 48,18 | 39,50 | 50,52 | 43,33 | 49,9 | 48,21 | 49,12 | 52,15 |
| pH final | 8,34 | 8,21 | 8,20 | 8,69 | 8,47 | 9,06 | 8,21 | 9,49 |
| C.E. final | 1534,00 | 1768,00 | 1169,00 | 2002,00 | 1065,00 | 1745,00 | 1109,00 | 2645,00 |
| % final Carbono Orgânico Total | 14,40 | 10,90 | 19,30 | 11,40 | 21,50 | 14,90 | 20,80 | 11,50 |
| % final Nitrogênio Total | 1,56 | 1,19 | 1,36 | 0,94 | 1,98 | 1,48 | 1,35 | 0,67 |
| % final Fósforo Total | 0,56 | 1,50 | 0,27 | 1,03 | 0,40 | 1,13 | 0,28 | 0,43 |
| % final Potássio Solúvel | 0,49 | 1,27 | 0,32 | 0,72 | 0,67 | 0,96 | 0,43 | 1,04 |
| Relação C/N final | 9,40 | 9,20 | 14,20 | 12,20 | 10,90 | 10,00 | 15,40 | 17,10 |

Fonte: Autoria própria.

Nota 1: T1: lodo + poda (C/N 12), T2: lodo + poda + cinza (C/N 12), T3: lodo + maravalha (C/N 12), T4: lodo + maravalha

+ cinza (C/N 12), T5: lodo + poda (C/N 16), T6: lodo + poda + cinza (C/N 16), T7: lodo + maravalha (C/N 16), T8: lodo + maravalha + cinza (C/N 16).

Os teores de nitrogênio total dos compostos obtidos após 60 dias apresentaram valores compreendidos entre 0,67% e 1,98%, valores acima do mínimo requerido pelo MAPA (2020). Já para o carbono orgânico total, apenas os tratamentos T3, T5 e T7 estão de acordo com as especificações, possuindo 19,3, 21,5 e 20,8% no composto final, respectivamente. O pH dos compostos obtidos são todos alcalinos, sendo o menor 8,20. E para a relação C/N não houve casos de valores superiores a 20. Portanto, para estes parâmetros todos tratamentos apresentaram compostos adequados segundo MAPA (2020).

Nota-se, por fim, que apenas os tratamentos T5 e T7 atendem todos os critérios necessários para registro do composto segundo a Instrução Normativa SDA 61/2020, podendo ser classificados como “Fertilizante Orgânico Classe A”, que são fertilizantes orgânicos que utilizam matéria-prima oriunda da atividade industrial ou da agroindústria, incluindo aquelas de origem mineral, vegetal, animal e lodos industriais, como é o caso.

Para classificação do composto como substrato deve-se apresentar as garantias de condutividade elétrica, pH, umidade, densidade e capacidade de retenção de água, conforme a Instrução Normativa SDA 5/2016 (MAPA, 2016). Com os parâmetros obtidos neste estudo, pode-se afirmar que há a possibilidade do composto ser classificado como “Substrato para plantas Classe B”, havendo a necessidade de realizar as análises de densidade e capacidade de retenção de água para confirmação.

A Instrução Normativa SDA 7/2016 (MAPA, 2016) refere-se às concentrações máximas permitidas para agentes fitotóxicos, patógenos, metais pesados tóxicos, pragas e ervas daninha. No presente estudo não foi realizada nenhuma análise destes parâmetros. Portanto, para registro do composto como fertilizante orgânico ou substrato, faz-se necessário o atendimento desta norma.

Pode-se observar que a porcentagem de fósforo total, nos compostos ao final do processo, variou de 0,28% a 1,5%. Já para o potássio houve variação de 0,43% a 1,27%. Para o registro do composto não é exigido a presença de macronutrientes, mas o fornecimento destes para as plantas é desejado, agregando valor ao produto.

4. Conclusão

Analisando o conjunto de parâmetros monitorados no presente estudo, os tratamentos mais eficientes foram T5 e T6, sendo, então, 16/1 a relação C/N ideal para iniciar a compostagem do lodo de ribeira, e a melhor fonte de carbono é a poda de árvore. A presença da cinza de caldeira influenciou negativamente o processo de compostagem quanto aos parâmetros: temperatura e Carbono Orgânico Total. Já para os outros parâmetros avaliados a presença da cinza não apresentou diferença significativa.

O pH de todos os tratamentos foi alcalino ao final da compostagem e a Condutividade Elétrica não teve variações significativas ao longo do tempo. Apenas o tratamento T5 atingiu temperatura superior a 55°C, indicando uma possível sanitização dos resíduos. Todos os tratamentos sofreram redução de volume e massa, com destaque para T5 e T6. A descaracterização do material foi mais intensa nos tratamentos com poda de árvore (T1, T2, T5 e T6), da mesma forma que os tratamentos com poda foram mais eficientes na redução da relação C/N. De acordo com as exigências do MAPA, pode-se concluir que as garantias mínimas são atendidas por completo apenas nos tratamentos T5 e T7.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem à Universidade Tecnológica Federal do Paraná, a Fundação Araucária e a Vancouros pela concessão de bolsas que contribuíram para condução deste trabalho.

6. Referências

- Abdurahiman, B., Ota, D. M., Meneses, R. M. DE A. O., Dal Bosco, T. C. & Michels, R. N. (2020, setembro). Delay entre a máxima temperatura ambiente e a máxima temperatura em processo de compostagem de resíduos orgânicos. **Anais do Congresso Nacional do Meio Ambiente**, Poços de Caldas, MG, 17.
- Almeida, M. L.O. & Vilhena, A. (2000). **Lixo municipal: Manual de gerenciamento integrado** (2 ed.). São Paulo: IPT/CEMPRE, 370.
- Amorim, D. A; et al. (2011). **O Processo de Desenvolvimento nas Indústrias de laticínios**. Sistema de Ensino Presencial Conectado do Curso Gestão Ambiental, Universidade do Norte do Paraná, Espinosa.
- APHA. AWWA, WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater** (22 ed.). Washington: American Public Health Association.
- Aquino Neto, V. & Camargo, O. A. (2000). Crescimento e acúmulo de crômio em alface cultivada em dois Latossolos tratados com CrCl₃ e resíduo de curtume. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, 24(1), 225-235.
- Carmo, D. L. & Silva, C. A. (2012). Métodos de Quantificação de Carbono e Matéria Orgânica em Resíduos Orgânicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 36, 1211-1220. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v36n4/15.pdf>>. Acesso em: 20 jan. 2021.
- Carneiro, L. J., Dieter, J., Sampaio, S. C., Junior, N. S. & Santos-Koelln, F. T. (2011). Balanço de sais provenientes da aplicação de água residuária de suinocultura em quatro ciclos de cultura. **Revista Meio Ambiente e Agronegócio**, 4(3), 481-499.
- Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº481, de 03 de outubro de 2017**. Critérios e procedimentos para garantir o controle e a qualidade ambiental do processo de compostagem de resíduos orgânicos, e dá outras providências. 2017.
- Dal Bosco, T. C., Michels, R. N., Bertozzi, J., Taiatele Junior, I. & Hashimoto, E. M. (2018). The ideal frequency of temperature data collection in compostability experiments on domestic organic residues. **Environmental Technology**, 41(9), 1160-1166.
- Fernandes, F. & Silva, S. M. C. P. (1999). **Manual prático para a compostagem de biossólidos**. Rio de Janeiro: ABES.
- Gonçalves, I. C. R., Araujo, A. S. F., Nunes, L. A. P. L. & Melo, W. J de. (2014). Biomassa microbiana do solo após dois anos de aplicação consecutivas de lodo de curtume compostado. **Acta Scientiarum. Agronomy [online]**. 36(1), 35-41.
- Gonçalves, J. L. de M. & Moro, L. (1995). Uso da “cinza” de biomassa florestal como fonte de nutrientes em povoamentos puros de *Eucalyptus grandis*. **Revista IPEF**, 48/49, 28-37.
- Hassen, A., Belguith, K., Jedidi, N., Cherif, A., Cherif, M. & Boudabous, A. (2001). Microbial characterization during composting of municipal solid waste. **Bioresource Technology**, Barking, 80(3), 217-25.

Karak, T., Kutu, F. R., Paul, R. K., Bora, K., Das, D. K., Khare, P., Das, K., Dutta, A. K. & Boruah, R. K. (2017). Co-composting of cow dung, municipal solid waste, roadside pond sediment and tannery sludge: role of human hair. 2017. **Int. J. Environ. Sci. Technol**,14, 577-594.

Kiehl, E. J. (2008). **500 perguntas e respostas** (1a ed.). Piracicaba: Agronômica Ceres Ltda, 227.

Kiehl, E.J. (1985). **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Editora Agronômica Ceres Ltda, 492.

Kiehl, E.J. (2004). **Manual da Compostagem: Maturação e Qualidade do Composto** (4a ed.). Piracicaba. 173.

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). **Instrução Normativa nº5, de 10 de março de 2016, ficam estabelecidas as regras sobre definições, classificação, especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem, rotulagem e propaganda dos remineralizadores e substratos para plantas, destinados à agricultura**. Diário Oficial da União República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 10 mar. 2016.

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). **Instrução Normativa nº51, de 08 de julho de 2020. Aprova as normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura**. Diário Oficial da União República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 08 jul. 2020.

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). **Instrução Normativa nº7, de 12 de abril de 2016. Refere-se às concentrações máximas admitidas para agentes fitotóxicos, patogênicos ao homem, animais e plantas, metais pesados tóxicos, pragas e ervas daninhas**. Diário Oficial da União República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 2 maio. 2016.

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). **Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos**. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília-DF. 2017.

Martines, A. M., Andrade, C. A. & Cardoso, E. J. B. N. (2006). Mineralização do carbono orgânico em solos tratados com lodo de curtume. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 41(7), 1149-1155.

Martines, A. M. (2005). **Impacto do lodo de curtume nos atributos biológicos e químicos do solo**. Dissertação de Mestrado, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP, Brasil.

Massukado, L.M. (2008). **Desenvolvimento do processo de compostagem em unidade descentralizada e proposta de software livre para o gerenciamento municipal dos resíduos sólidos domiciliares**. Dissertação de Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, Brasil.

Michels, R. N., Bertozzi, J., Hashimoto, E. M., Junior, I. T. & Dal Bosco, T. C. (2017). Importância da automação e da estatística no processo de compostagem. In: Dal Bosco, T. C., *Compostagem e vermicompostagem de resíduos sólidos: resultados de pesquisas acadêmicas* (241 -254). **São Paulo: Blucher**.

Moura, A. R., Morence, D., Fontes, H., Alves, L., Loureiro, P. & Moura, P. (2014). **Indústria de curtumes**. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

- Pacheco, J. W. F. (2005). **Curtumes: Série P+L**. São Paulo: Cetesb.
- Passianoto, C. C. & Rodrigues, C. G. (2001). Efeito de adição de lodo de curtume sobre as alterações químicas do solo, rendimento de matéria seca e absorção de nutrientes em soja. **Revista Brasileira de Agrociência**. Pelotas, 7, 189-191.
- Paradelo, R., Moldes, A. B. & Barral, M. T. (2012). Evolution of organic matter during the mesophilic composting of lignocellulosic winery wastes. **Journal of Environmental Management**, 116, 18-26.
- Petric, I., Sestan, A. & Sestan, I. (2009). Influence of wheat straw addition on composting of poultry manure. **Process Safety and Environmental Protection**, 87, 206-212.
- Possato, E. L., Scaramuzza, W. L. M. P., Weber, O. L. dos S., Nascentes, R., Bressiani, A. L. & Calegario, N. (2014). Chemical attributes of a cambisol and growth of eucalyptus seedling after the addition of tannery sludge containing chromium. **Revista Árvore**, 38(5), 847-856.
- Presumido, P. H., Armacollo, J. E., Marques, V. da C. & Dal Bosco, T. C. (2017). Gerenciamento e tratamento de resíduos sólidos em aeroporto. In: Dal Bosco, T. C., *Compostagem e vermicompostagem de resíduos sólidos: resultados de pesquisas acadêmicas* (225 -240). **São Paulo: Blucher**.
- Shukla, O. P., Rai, U. N. & Dubey, S. (2009). Involvement and interaction of microbial communities in the transformation and stabilization of chromium during the composting of tannery effluent treated biomass of *Vallisneria spiralis* L. **Bioresource Technology**. 100, 2198-2203.
- Singh, N. B., Singh, R. & Imam, M. M. (2014). Waste water management in dairy industry: pollution abatement and preventive attitudes. **International Journal of Science**, 3(2), 672-683.
- Silva, L. N. (2007). **Processo de compostagem com diferentes porcentagens de resíduos sólidos agroindustriais**. Dissertação de mestrado, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, PR, Brasil.
- Souza, L.A., do Carmo, D. de F., da Silva, F. C. & Paiva, W. de M. L. (2020). Análise dos principais parâmetros que influenciam a compostagem de resíduos sólidos urbanos. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, 8(3), 194-212.
- Taiatele Junior, I., Dal Bosco, T. C., Bertozzi, J., Oliveira, S. M. & Michels, R. N. (2017). Compostabilidade de embalagens biodegradáveis. In: Dal Bosco, T. C., *Compostagem e vermicompostagem de resíduos sólidos: resultados de pesquisas acadêmicas* (109 -134). **São Paulo: Blucher**.
- Tedesco, M. J., Gianello, C., Bissani, C. A., Bohnen, H. & Volkweiss, S. J. (1995). **Análise de solo, plantas e outros materiais** (2 ed.). Porto Alegre, UFRGS, 174.
- Teixeira, K. R. G., Filho, L. A. R. G., Carvalho, E. M. S., de Araújo, A. S. F. & dos Santos, V. B. (2006) Efeito da adição de lodo de curtume na fertilidade do solo, nodulação e rendimento da matéria seca em caupi. **Ciência e Agrotecnologia**, 30(6), 1071 - 1076.
- Trautmann, N. & Olynciw, E. (2005). **Compost Microorganisms – The Phases of Composting**. In: Cornell Composting, Science & Engineering.

Valente, B. S., Xavier, E. G., Morselli, T. B. G. A., Jahnke, D. S., Junior Brum, B., Cabrera, B. R., Moraes, P. & Lopes, D. C. N. (2009). Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos. **Archivos de Zootecnia**, 58, 60-76.

Vig, A. P., Singh, J., Wani, S. H. & Dhaliwal, S. S. (2011). Vermicomposting of tannery sludge mixed with cattle dung into valuable manure using earthworm *Eisenia fetida* (Savigny). **Bioresour Technol**, 7941–7945.

Zhang, L. & Sun, X. (2016). Influence of bulking agents on physical, chemical, and microbiological properties during the two-stage composting of green waste. **Waste Management**, Amesterdã, 48, 115-126.