

AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS DE SANEAMENTO, DOMICILIARES E DE ALGODÃO

Daví Jose Matos Lopes de Souza⁽¹⁾

Graduando em Engenharia Sanitária pela Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB).

Maico Chiarello⁽²⁾

Professor Dr. – Centro das Ciências Exatas e das Tecnologias, Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB)

Monica Luci Oliveira de Brito⁽³⁾

Engenheira Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB).

Endereço⁽¹⁾: Rua Beija-flor, 185 - Recanto dos Pássaros - Barreiras - BA - CEP: 47808 072 - Brasil - Tel: (77) 99851 4118 - e-maildavimatoseng@gmail.com

RESUMO

O crescimento da população alinhado a suas demandas acaba por gerar grandes quantidades de resíduos, com uma fração considerável de resíduos orgânicos. É necessário tratar tais resíduos e a compostagem é uma ferramenta eficaz para tal. Por isso, esta pesquisa tem como objetivos avaliar o processo de compostagem de resíduos produzidos na região Oeste da Bahia por meio do comportamento de parâmetros físico-químicos, como tecnologia para o tratamento e valorização dos resíduos e avaliar diferentes combinações dos resíduos para o tratamento por compostagem. Para tal, os resíduos que serão utilizados no processo de compostagem tiveram seus parâmetros físico-químicos caracterizados, foi construída uma base teórica através de revisão bibliográfica para possibilitar fundamentação a respeito do tema e seus resultados e foi conduzido processo de compostagem com quatro configurações diferentes de combinações entre os resíduos escolhidos. Verificou-se que nos parâmetros avaliados os tratamentos com lodo de estação de tratamento de água em sua composição tiveram valores similares ao tratamento sem este resíduo, demonstrando uma possibilidade de degradação do lodo com a combinação dos demais resíduos presentes na região.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos orgânicos, lodo de estação de tratamento de água e temperatura.

INTRODUÇÃO

O crescimento da população, alinhado a suas demandas, tem como consequência a geração de resíduos sólidos. Os sistemas de gestão de resíduos precisam encontrar novos meios que promovam sua valorização, afinal, há em sua composição materiais orgânicos de valor que podem ser reaproveitados (CHEN *et al.*, 2020). Além da diminuição do desperdício, é necessário gerenciar os resíduos orgânicos de forma produtiva, pois sua geração é inevitável (OLIVEIRA *et al.*, 2021).

Grande parte dos resíduos produzidos pelo ser humano têm natureza orgânica, ou seja, em um sentido mais amplo, são compostos de carbono suscetíveis a degradação, dentre os quais podem ser citados: resíduos animais, vegetais, sobras de alimentos, sobras de cultura, adubos orgânicos, resíduos agroindustriais, entre outros (PEREIRA NETO, 2007).

Quando dispostos no ambiente sem controle de sua biodegradação (decomposição por meio de microrganismos), os resíduos orgânicos podem causar impactos ambientais (poluição do ar, dos solos, das águas e proliferação de pragas) através da geração de gases e líquidos. Assim, a biodegradação controlada se torna uma medida necessária, e, para tal, a compostagem é a alternativa mais eficaz (PEREIRA NETO, 2007). Segundo Chen *et al.* (2020), durante o processo, microrganismos modificam a matéria orgânica em um produto estabilizado e seguro do ponto de vista sanitário com um conjunto de técnicas fáceis de serem aplicadas, trazendo benefícios ambientais e econômicos e não sendo de difícil implementação.

A compostagem também implica na redução do volume de resíduos, na destruição de ervas daninhas e na eliminação de microrganismos patogênicos (BERNAL *et al.*, 2009). Em se tratando da redução do volume dos resíduos, a compostagem pode ser feita com a integração de diversos resíduos, levando em consideração suas características para controle do processo.

A combinação de resíduos orgânicos como algodão, lodos de estações de tratamento de água e esgoto e resíduos de alimentos pode ser feita como estratégia para mitigação dos efeitos negativos causados pela geração de tais resíduos, o que torna o processo de compostagem uma ferramenta muito útil em localidades em que há geração desses resíduos. Vale destacar que a combinação entre os resíduos citados para tratamento via compostagem não está relatada em literatura científica.

OBJETIVOS

A presente pesquisa procurou avaliar o processo de compostagem de resíduos produzidos na região Oeste da Bahia por meio do comportamento de parâmetros físico-químicos, como tecnologia para o tratamento e valorização dos resíduos, além de avaliar diferentes combinações dos resíduos para o tratamento por compostagem.

MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido através da realização das seguintes atividades: caracterização dos parâmetros físico-químicos dos resíduos utilizados, montagem dos reatores que foram utilizados para o processo de compostagem, realização do processo de compostagem e caracterização dos parâmetros físico-químicos de amostras do processo de compostagem.

A montagem dos reatores e a análise dos parâmetros físico-químicos foram conduzidas na Universidade Federal do Oeste da Bahia, *Campus* Reitor Edgard Santos, município de Barreiras, Estado da Bahia.

Os reatores foram projetados para garantir o isolamento térmico do sistema de compostagem, pois é desejável que durante o processo não haja perdas de calor. Além disso, os reatores foram montados de modo a permitir a retirada do lixiviado sem obstrução do encanamento acoplado ao fundo.

Um balde de plástico com furos no fundo para passagem do lixiviado foi acoplado a um balde de PVC de dimensão maior, o qual possui saída em seu fundo para retirada de líquidos. O balde de PVC foi colocado dentro de um barrilete grande, com espaçamento entre sua superfície e a do balde com o intuito de preencher tal espaço com lã de vidro para fazer o isolamento térmico do sistema.

Os resíduos caracterizados foram: lodo de estação de tratamento de esgoto (LETE), lodo de estação de tratamento de água (LETA), resíduos de algodão (RAL) e resíduos de alimentos domiciliares (RAD).

Amostras de LETA e LETE foram coletadas em estações de tratamento de água e de tratamento de esgoto da cidade de Barreiras. Os RAL foram coletados em algodozeiras da região Oeste da Bahia. Já os RAD foram coletados em algumas residências da cidade de Barreiras, tendo em sua composição todo tipo de alimento descartado cru ou cozido, com a exceção de carnes.

Os parâmetros físico-químicos analisados foram os seguintes:

- a) pH e condutividade elétrica: para determinação desses parâmetros foram utilizados 10 g de amostra *in natura* com 50 ml de água destilada (EMBRAPA, 2009), material posteriormente agitado por 30 minutos a 250 rpm. As leituras foram realizadas com auxílio de pHmetro e condutímetro de bancada.
- b) Carbono orgânico total (COT): as amostras foram secas em estufas a 105 °C e depois encaminhadas ao forno mufla em temperatura de 550 °C por duas horas. Após o período, as amostras tiveram sua massa aferida em balança analítica para determinação de sólidos voláteis (SV). A concentração de COT foi determinada por meio da razão da concentração de SV pela constante 1,8 (CUNHA-QUEDA *et al.*, 2007).

- c) Nitrogênio total Kjeldahl (NTK) e relação C:N: para a determinação de nitrogênio total, as amostras foram secas em estufa à temperatura de 50 °C e trituradas em moinho tipo facas. Posteriormente, as amostras foram encaminhadas para bloco digestor a 350 °C com ácido sulfúrico e 0,7 g de solução digestora. Após o fim da digestão, as amostras foram destiladas em destilador Kjeldahl, com NaOH 40%. E por fim, foi feita a titulação das amostras com ácido sulfúrico 0,025 mol/l (EMBRAPA, 2009). Para determinação da relação C:N foi feito o cálculo da razão entre COT e NTK.

Foram conduzidos quatro tratamentos com diferentes combinações dos resíduos. Cada tratamento apresentou composição inicial por meio da combinação dos resíduos, as quais foram definidas com base em projetos desenvolvidos anteriormente, sendo:

- Tratamento 1 (T1): 50% RAL + 10% LETA + 20% LETE + 20% RAD
- Tratamento 2 (T2): 50% RAL + 20% LETA + 15% LETE + 15% RAD
- Tratamento 3 (T3): 50% RAL + 30% LETA + 10% LETE + 10% RAD
- Tratamento 4 (T4): 50% RAL + 0% LETA + 25% LETE + 25% RAD

Semanalmente foi realizado revolvimento da massa em degradação, com o objetivo de aeração do meio e homogeneização do material. Junto ao revolvimento foram retiradas amostras para realização da caracterização das amostras. O processo foi encerrado quando a temperatura interna da massa em degradação nos reatores apresentou valores próximos ($\pm 3^\circ \text{C}$) à temperatura ambiente verificada por pelo menos cinco dias. Ao final do tratamento foram coletadas amostras do composto final.

Os parâmetros avaliados durante o processo de compostagem foram os mesmos que os utilizados na caracterização dos resíduos, com a adição de:

- a) Temperatura: A temperatura dos reatores foi monitorada diariamente com auxílio de termômetro digital. A temperatura ambiente também foi monitorada diariamente. Com os valores foi possível verificar a duração da fase termofílica e temperatura máxima atingida para cada tratamento. A acumulação exotérmica (EXI^2) em cada reator foi calculada com base na soma quadrática da diferença diária entre a temperatura média da massa em degradação e a temperatura ambiente durante todo o processo de estabilização (VICO *et al.*, 2018).
- b) Respiração basal (RBS): A análise de respiração basal foi conduzida segundo EMBRAPA (2009). Foram utilizadas 8g de amostras in natura, as quais foram incubadas em frascos plásticos de 250 mL, a 25°C por um período de sete dias. O CO_2 produzido foi adsorvido em 10 mL de solução de NaOH (2M), presente no interior do frasco com amostra. A evolução da produção de CO_2 foi determinada por titulação da solução de NaOH com HCl (2M).

RESULTADOS OBTIDOS

A tabela 01 apresenta as principais características dos resíduos utilizados, com valores para pH, CE, SV, COT, NTK e relação C/N.

Tabela 01: Principais características dos resíduos utilizados.

| Parâmetro | RAL | LETE | LETA | RAD |
|-------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| pH | 6,4 \pm 0,00 | 4,93 \pm 0,15 | 5,17 \pm 0,15 | 5,5 \pm 0,00 |
| CE (mS/cm) | 12,40 \pm 0,26 | 3,94 \pm 0,08 | 0,30 \pm 0,01 | 7,12 \pm 0,03 |
| SV (%) | 88,86 \pm 0,52 | 51,71 \pm 1,98 | 15,36 \pm 1,10 | 79,61 \pm 0,72 |
| COT (%) | 49,37 \pm 0,29 | 28,73 \pm 1,10 | 8,54 \pm 0,61 | 44,23 \pm 0,40 |
| NTK (%) | 1,54 \pm 0,04 | 2,44 \pm 0,02 | 0,26 \pm 0,00 | 1,61 \pm 0,15 |
| Relação C/N | 31,50 \pm 0,23 | 12,03 \pm 0,05 | 31,95 \pm 0,33 | 26,28 \pm 0,10 |

Fonte: Autores.

A figura 01 apresenta a evolução do perfil térmico da fase bioxidativa para os 4 tratamentos e a comparação dos valores obtidos com a temperatura ambiente até o fim do processo.

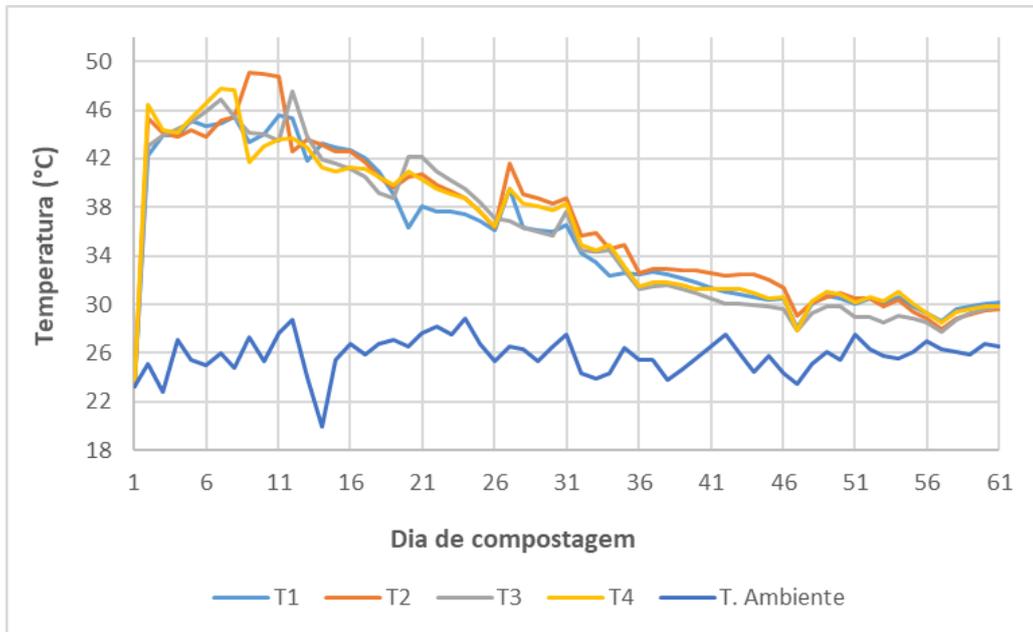


Figura 01: Perfil de temperatura durante o processo de compostagem.

Fonte: Autores.

A tabela 02 apresenta os índices exotérmicos calculados durante a fase bioxidativa, levando em consideração a sua duração (BP), a duração da fase termofílica (TV) e o índice EXI².

Tabela 02: Índices exotérmicos durante a fase bioxidativa.

| Parâmetros | T1 | T2 | T3 | T4 |
|--|----------|----------|----------|----------|
| Duração fase termofílica (dias) | 17 | 20 | 20 | 19 |
| Temperatura máxima (°C) | 45,6 | 49,1 | 47,5 | 47,8 |
| Índice EXI ² (°C ²) | 8.009,17 | 9.426,52 | 8.323,99 | 8.610,10 |
| Razão BP/TV | 3,59 | 3,05 | 3,05 | 3,21 |
| Razão EXI ² /BP | 186,82 | 215,07 | 192,90 | 199,02 |

Fonte: Autores.

A evolução da RBS durante o processo de compostagem está representada na figura 02, indicando a produção de CO₂ por parte dos microrganismos presentes nos quatro tratamentos.

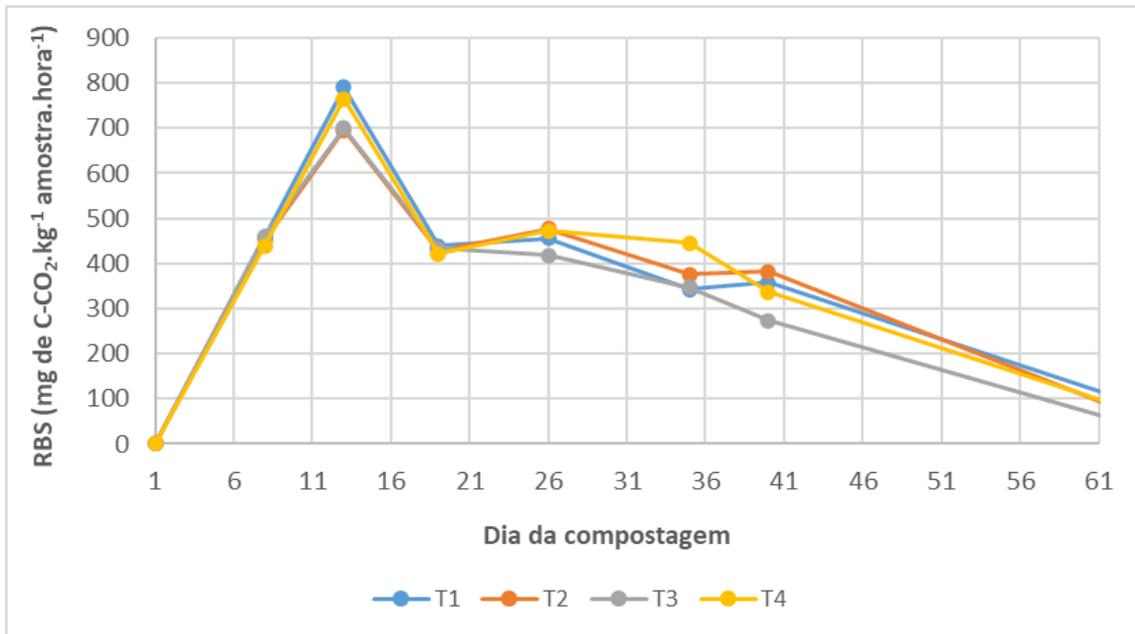


Figura 02: Gráfico de evolução dos valores de respiração basal ao longo da fase biooxidativa.
 Fonte: Autores.

A figura 03 dispõe a variação de valores de pH durante a fase biooxidativa do processo de compostagem.

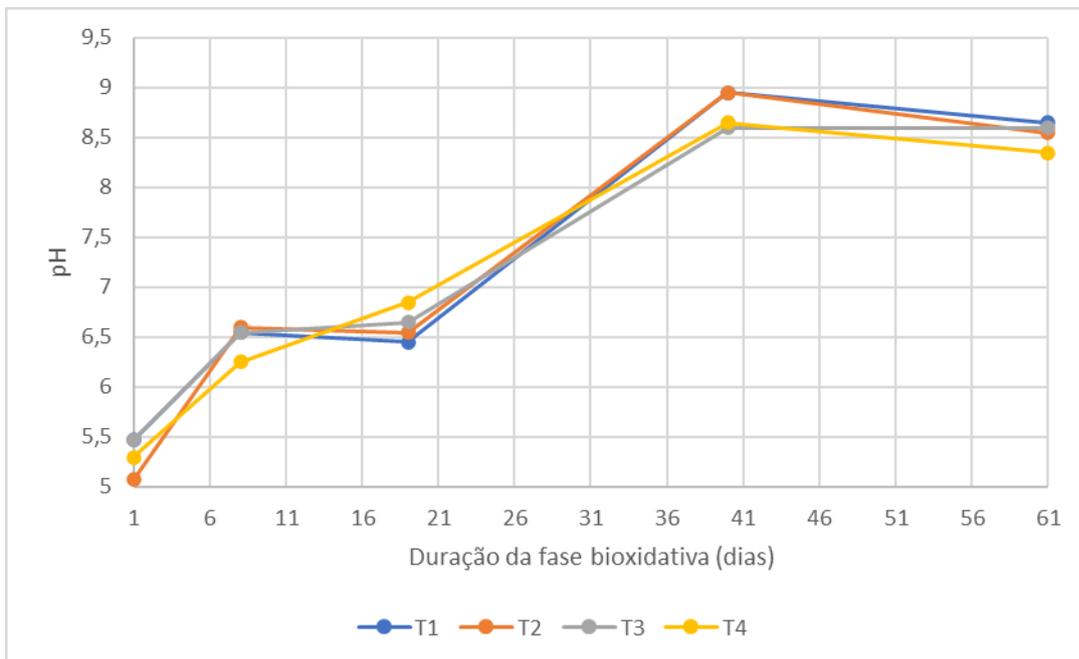


Figura 03: Gráfico de evolução dos valores de pH ao longo da fase biooxidativa.
 Fonte: Autores.

A figura 04 ilustra a variação de valores de CE ao longo da fase biooxidativa para os quatro tratamentos.

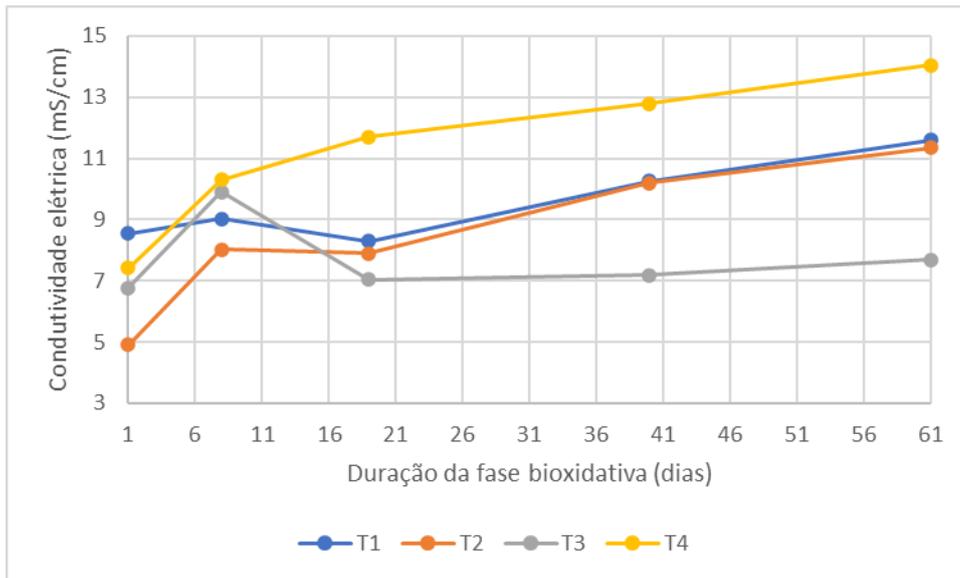


Figura 04: Gráfico de evolução dos valores de CE ao longo da fase biooxidativa.
 Fonte: Autores.

A figura 05 apresenta a evolução dos valores de concentração de COT durante a fase oxidativa para os quatro tratamentos.

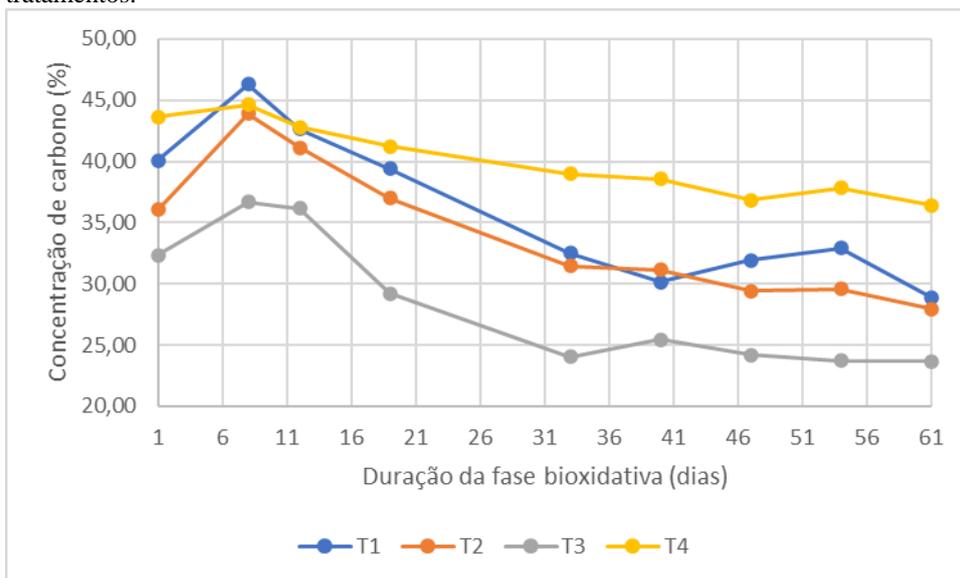


Figura 05: Gráfico da evolução da concentração de COT durante a fase biooxidativa.
 Fonte: Autores.

A figura 06 apresenta a evolução de valores para NTK ao longo da fase biooxidativa para os quatro tratamentos.

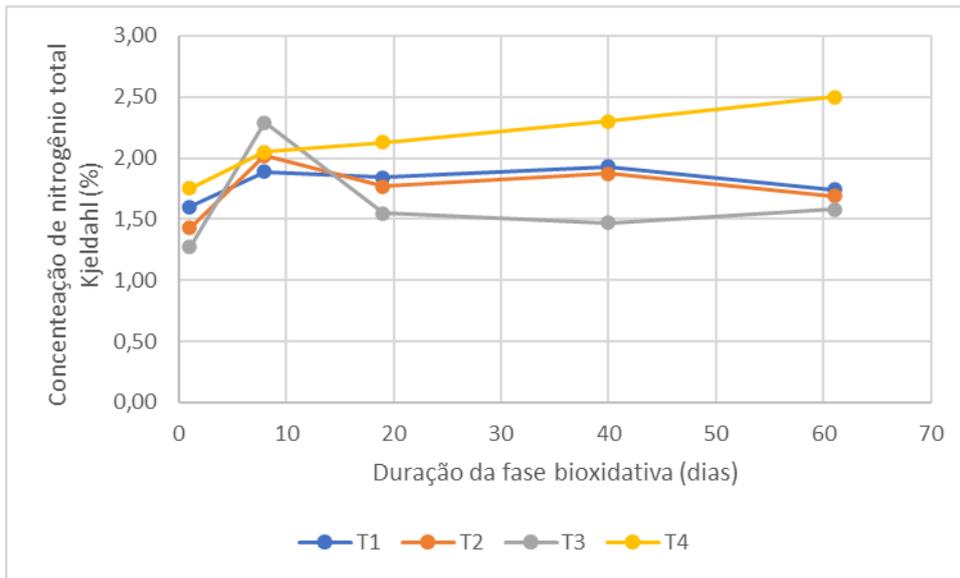


Figura 06: Gráfico de evolução dos valores de NTK ao longo da fase bioxidativa.
 Fonte: Autores.

A figura 07 ilustra a variação de valores da relação C/N durante a fase bioxidativa para os quatro tratamentos.

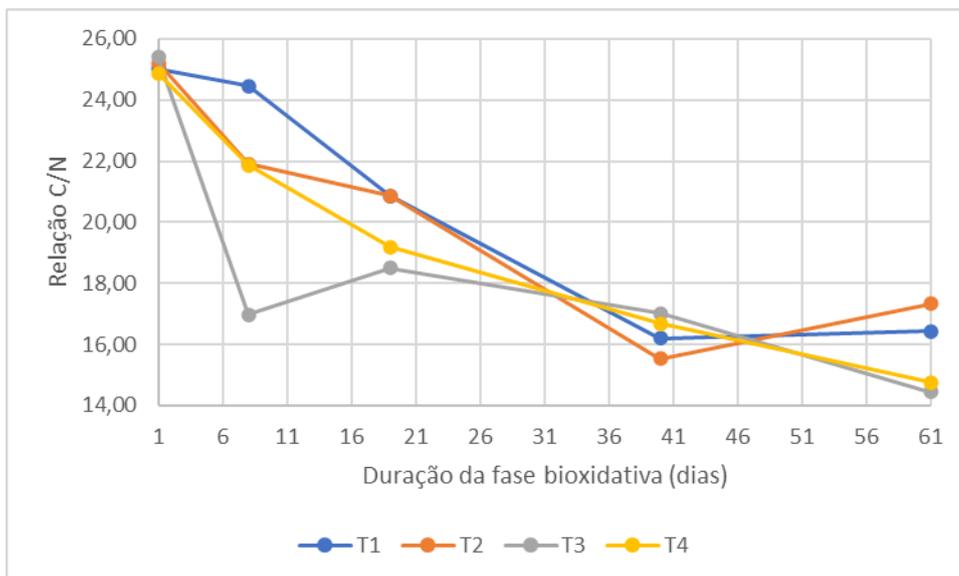


Figura 07: Gráfico de evolução dos valores da relação C/N ao longo da fase bioxidativa.
 Fonte: Autores.

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os valores de pH dos resíduos utilizados estão na faixa de pHs ácidos, sendo o mais baixo o pH do lodo de ETE. Quanto à condutividade elétrica, os maiores valores estão no resíduo de algodão e no resíduo de alimentos, demonstrando que tais produtos têm maior concentração de sais dissolvidos em sua composição.

No que diz respeito à matéria orgânica (sólidos voláteis), são encontradas porcentagens maiores no RAL e no RAD que são resíduos frescos, sendo que LETE também possui quantidade significativa, afinal, se trata de resíduo gerado no tratamento de esgoto sanitário, o qual tem como finalidade a remoção de matéria orgânica do efluente. O LETA possui um teor muito baixo de matéria orgânica, pois em sua composição estão mais

presentes os sólidos inorgânicos, podendo ser um fator que dificulte sua degradação individual através de microrganismos.

A concentração de COT está associado diretamente a presença de matéria orgânica, ou seja, os resíduos com maior teor de MO também terão concentrações maiores de COT. Isso é verificado pelos valores encontrados: RAL e RAD possuem a maior concentração de COT, e LETA uma concentração muito baixa.

Em relação à concentração de NTK, o resíduo que possui a maior concentração é o LETE, devido à remoção de nutrientes no tratamento de esgoto sanitário, os quais se acumulam no lodo. Já a menor concentração de NTK se encontra no LETA, pois em sua composição estão mais presentes compostos de metais e outros sólidos inorgânicos dissolvidos.

Os resíduos apresentados contribuem como fonte de carbono (RAL e RAD) e nitrogênio (LETE), ideais para a manutenção do processo de compostagem e da atividade dos microrganismos. Tais concentrações provavelmente podem suprir a falta destes componentes no LETA e ajudar em sua biodegradação através da compostagem.

Todos os tratamentos tiveram a presença de fase termofílica e mesofílica. Já no segundo dia todos os reatores passaram de temperaturas próximas a registrada no ambiente para temperaturas elevadas, superando os 40°C. Durante todo o processo as temperaturas não ultrapassaram 50°C, o que é benéfico aos microrganismos presentes no meio. Temperaturas superiores a este valor são suscetíveis à diminuição de microrganismos degradadores de matéria orgânica, diminuindo a eficácia do processo de compostagem.

Os tratamentos T2 e T3, os quais apresentavam a maior variação de LETA, obtiveram a maior duração da fase termofílica, quase o mesmo valor de T4, tratamento sem LETA em sua composição. Tais valores demonstram que tais tratamentos apresentaram um ambiente ainda mais propenso à redução de patógenos e degradação de resíduos por apresentarem uma fase mais duradoura de temperaturas elevadas.

Os valores menores da razão BP/TV para T2 e T3 comprovam sua maior duração na fase termofílica. Já os valores mais altos da razão EXI²/BP de T2 e T4 indicam que esses tratamentos operaram em temperaturas mais altas com maior frequência durante o processo, demonstrando intensidade maior na atividade microbiana e na degradação dos resíduos.

A evolução de RBS durante a fase biooxidativa demonstra comportamento semelhante ao de temperatura. Isso implica em como as atividades metabólicas dos microrganismos que produzem CO₂ estão diretamente ligadas a temperatura do processo de compostagem.

Durante o período de fase termofílica, T1 apresentou o maior valor de RBS, não muito distante de T4. Com a entrada na fase mesofílica, e com a provável diminuição de nutrientes para consumo, a atividade dos microrganismos começou a diminuir e T2 e T4 apresentaram na maior parte do tempo os maiores valores de RBS. Porém ao decorrer da finalização do processo, T1, T2 e T4 foram se aproximando dos mesmos resultados.

A variação de pH durante todo o processo foi semelhante para os 4 tratamentos. Durante a fase termofílica o pH foi perdendo sua natureza ácida e chegou perto da neutralidade, estando dentro da faixa de valores considerados ideais.

Perto da transição entre fase mesofílica e a estabilização da temperatura os valores de pH cresceram, se tornando alcalino, tornando o processo mais suscetível a perda de nitrogênio por volatilização de amônia (BERNAL *et al.*, 2009). Porém com a continuidade do processo, os valores voltaram a diminuir, se aproximando da neutralidade.

Em relação a condutividade elétrica, houve uma maior elevação de valores em T2, T3 e T4 no meio da fase termofílica. Ao final da fase termofílica os valores de CE diminuíram significativamente para T3, indicando perda de sais durante o período de maior degradação da matéria orgânica.

Durante a fase mesofílica e até o fim da fase biooxidativa, os valores de CE aumentaram para T1, T2 e T4, indicando aumento na concentração de sais em relação a redução da matéria orgânica. T3, o tratamento com maior concentração de LETA em sua composição terminou a fase biooxidativa com o menor valor de CE, não tendo um aumento significativo quanto os outros tratamentos.

Todos os tratamentos tiveram diminuição de COT comparando os valores iniciais e finais. Como COT está relacionado a quantidade de matéria orgânica presente no meio, conseqüentemente houve redução da mesma. Os tratamentos com presença de LETA obtiveram maior redução de COT, principalmente T1, que tinha em sua composição o menor teor de LETA.

Em relação ao NTK, pôde-se notar os menores valores iniciais nos tratamentos com LETA, devido a menor proporção de LETE e RAD, resíduos que possuem as maiores concentrações desse nutriente.

Houve acréscimo nos valores finais de NTK, em relação aos iniciais, em todos os tratamentos, principalmente em T4. Esse acréscimo pode ser relacionado a concentração do nutriente em função da degradação da matéria orgânica.

A respeito da relação C/N dos tratamentos, todos começaram com valores próximos de 25. Ao final do tratamento, os valores reduziram e ficaram abaixo de 20, o que seria o valor indicado (BERNAL *et al.*, 2009).

CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

Conclui-se que os tratamentos combinados em compostagem dos resíduos utilizados, mesmo com a adição de até 30% de LETA, são suscetíveis a degradação eficaz de tais resíduos ao se comparar parâmetros de perfis térmicos, relação C/N, pH e respiração basal.

Vale ressaltar que tratamentos com LETA tiveram reduções maiores de COT e em especial o T2, teve os melhores índices de razão BP/TV e EXP/BP, indicando que pode haver maior atividade dos microrganismos e degradação de matéria orgânica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BERNAL, M. P.; ALBUQUERQUE, J. A.; MORAL, R. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. **Bioresource Technology**, v. 100, p. 5444-5453, 2009.
2. CHEN, T.; ZHANG, S.; YUAN, Z. Adoption of solid organic waste composting products: A critical review. **Journal of Cleaner Production**, v. 272, 2020.
3. CUNHA-QUEDA, A. C., *et al.* Study of biochemical and microbiological parameters during composting of pine and eucalyptus bark. **Bioresource Technology**, V. 98, 2007.
4. EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Solos/Embrapa Informática Agropecuária/Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2009. 627p.
5. OLIVEIRA, J. C. F.; TAVARES, K. J. T.; GOMES, P. C.; ALVES, J. L.; MELO, F. J. C. Gestão de resíduos orgânicos e viabilidade financeira: um estudo de caso. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 2, 2021.
6. PEREIRA NETO, J. T. **Manual de compostagem: processo de baixo custo**. 1 ed. Viçosa: Editora UFV, 2007.
7. VICO, S., *et al.* Valorization of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) pruning biomass by co-composting with urban and agri-food sludge. **Journal of Environmental Management**, v. 226, 2018.