

## **Compostagem em reator de tabaco de cigarro contrabandeado e resíduo orgânico doméstico: Estudo físico - químico e espectroscópico**

*Sandro Xavier de Campos<sup>1</sup>(campos@uepg.br), Rosimara Zittel<sup>1</sup>(r\_roseuepg@hotmail.com)*

1-Grupo de Química Analítica Ambiental e Sanitária (QAAS), Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG)

### **RESUMO**

O presente trabalho teve como objetivo estudar a compostagem de resíduos orgânicos domésticos (RSO) misturados a serragem e tabaco de cigarros contrabandeados em reator. Para o monitoramento do processo foram realizadas físico-químicas (pH, temperatura, umidade e C/N) e espectroscópicas (UV-Vis e IV). As análises de relação C / N revelaram que o composto atingiu a maturidade dentro de um período de 60 dias de tratamento. As análises espectroscópicas de UV-Vis e IV mostraram a eficiência do processo, indicando a degradação de compostos de estrutura mais simples e a formação de grupos mais complexos (substâncias húmicas). Assim, concluiu-se que a proposta de tratamento dos resíduos estudados por meio do reator foi eficiente.

**Palavras-chave: Compostagem, Reator, Cigarro contrabandeado**

## **Composting of smuggled cigarettes tobacco and domestic organic residue in reactor: Physicochemical and spectroscopic study**

### **ABSTRACT**

This study aimed to investigate domestic organic waste, sawdust and smuggled cigarette tobacco residue biodegradation in reactor. In order to monitor the process, physicochemical (pH, temperature, moisture and the C/N ratio) and spectroscopic (UV-Vis and IR) analyses were carried out. The C/N ratio analyses revealed that the compound reached maturity within a period of 90 days of processing. The spectroscopic UV-Vis and IR pointed to the efficiency, indicating the compounds to simple structures degradation and the formation of more complex groups (humic substances). Thus, it was concluded that the proposal of treating the waste under study through the reactor was efficient

**Keywords: Composting, Reactor, Smuggled Cigarette**

### **1. INTRODUÇÃO**

No mundo são produzidos bilhões de toneladas de resíduos, sendo a maior parte composta pela fração orgânica proveniente de lixo doméstico, restaurantes, entre outras atividades. No Brasil, a quantidade de resíduos sólidos orgânicos (RSO) destinados inadequadamente cresce a cada ano. Cerca de 23,7 milhões de toneladas seguem para lixões ou aterros controlados, que do ponto de vista ambiental pouco se diferem dos lixões, pois não

possuem condições necessárias para a proteção do meio ambiente e da saúde pública. Esse material orgânico necessita de tratamento adequado, pois é altamente biodegradável com alto teor de umidade, sendo uma fonte de contaminação ambiental, devido à produção de lixiviados durante sua decomposição. A degradação dos RSO em escala industrial utilizando a compostagem em leiras ou pilhas apresenta como principal inconveniente os custos elevados para a instalação e manutenção das usinas de tratamento. Além disso, estudos têm demonstrado que devido a exigência de manipulação constante, esses processos de compostagem podem, inclusive, apresentarem riscos químicos e biológicos (GAJALAKSHMI & ABBASI, 2008). Cigarros originados do Paraguai correspondem a mais da metade de todos os cigarros consumidos no país e mais de 90% do mercado ilegal. De dez marcas mais vendidas em território nacional, quatro são fabricados no Paraguai (FNCP, 2018). Diante disso, a apreensão de unidades de cigarros ilegais totalizou 44,4 bilhões em 2017, o que representa 28 mil toneladas de tabaco. Esse volume alcançou 58 bilhões de unidades e 36 mil toneladas de tabaco em 2018 (BRF, 2017, 2018; FNCP, 2018). Diante desses dados, o volume de cigarros contrabandeados passa e se transformar em um passivo ambiental, e devido a suas características tóxicas necessita de um tratamento adequado. Atualmente, a principal forma de tratamento para o tabaco de cigarros contrabandeados no Brasil é a incineração. Tal destino utiliza uma grande quantidade de energia e ainda pode liberar diferentes contaminantes extremamente tóxicos, tais como as dioxinas e furanos. Nos últimos anos, a compostagem em reatores tem se mostrado uma tecnologia eficiente e promissora para o tratamento adequado de diferentes RSO, tais como os RSO domésticos e do tabaco de cigarros contrabandeados (CAMPOS et al., 2014; ZITTEL et al., 2018). A compostagem de tabaco de cigarros contrabandeados em reatores é considerada uma tecnologia promissora, em comparação às tecnologias convencionais de sistemas abertos como leiras ou pilhas, uma vez que não necessita de revolvimento da massa de compostagem e proporciona arejamento suficiente à mistura (com ou sem injeção mecânica de ar) para produzir composto final maturado, não ocorrendo problemas com odor, lixiviado ou emissão de poluentes. Além disso, proporciona controle de parâmetros físico-químicos, como temperatura e umidade, podendo ser utilizados em diferentes estações climáticas (CAMPOS et al., 2014; ZITTEL et al., 2018). Para que o processo de compostagem de RSO em reatores seja considerado eficiente é necessário o monitoramento de diferentes parâmetros físicos, químicos e espectroscópicos, o que possibilitará afirmar se o composto obtido pode ser definido como um produto estabilizado e maturado. Os parâmetros físico e químicos de umidade, temperatura e pH são indicativos de estabilidade do composto (CAMPOS et al., 2014). A estabilidade está diretamente relacionada com a taxa de decomposição da matéria orgânica por ação de bactérias e fungos, e mineralização do composto, resultando na redução de massa. Além disso, está associada às estágios de temperatura. A aproximação da temperatura do composto à temperatura ambiente é um indicativo do equilíbrio microbiológico. A relação carbono/nitrogênio (C/N) é um importante parâmetro utilizado para avaliar a concentração de substâncias orgânicas e seus efeitos no crescimento microbiológico, visto que a atividade microbiana depende do nitrogênio para síntese de proteínas e do carbono como fonte de energia para seu metabolismo (NAYAK; KALAMDHADA, 2015). Dessa forma, a razão C/N deve ser determinada no início do processo, em amostras das misturas dos resíduos para promover o equilíbrio de nutrientes, e também no decorrer da compostagem a fim de avaliar a qualidade do composto. A caracterização espectroscópica utilizando ultravioleta/visível (UV/Vis) e infravermelho (FTIR) proporciona a avaliação do grau de humificação do composto e sua maturidade durante o processo de compostagem (SPACCINI e PICCOLO, 2009). A espectroscopia de UV/Vis é utilizada para refletir qualitativamente as características de compostos aromáticos ou insaturados (TAHIRI et al., 2016). A Espectroscopia de FTIR é uma técnica qualitativa para caracterizar os principais grupos químicos. A utilização das informações obtidas nos resultados de UV/Vis e FTIR possibilitarão entender o grau de polimerização indicando a maturidade do composto, por meio da transformação de grupos alifáticos, de componentes peptídicos e de carboidratos, que são facilmente degradados por microrganismos para formação de estruturas complexas de copostos humificados com alto teor de grupos oxigenados hidrofílicos ligados a anéis aromáticos (ZHANG; SUN, 2016).

## 2. OBJETIVO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o processo de compostagem em reator de tabaco proveniente de cigarros contrabandeados misturados a serragem e a resíduos orgânicos domésticos, por meio de técnicas convencionais (pH, umidade, temperatura) e espectroscópicas (UV/VIS, FTIR).

## 3. METODOLOGIA

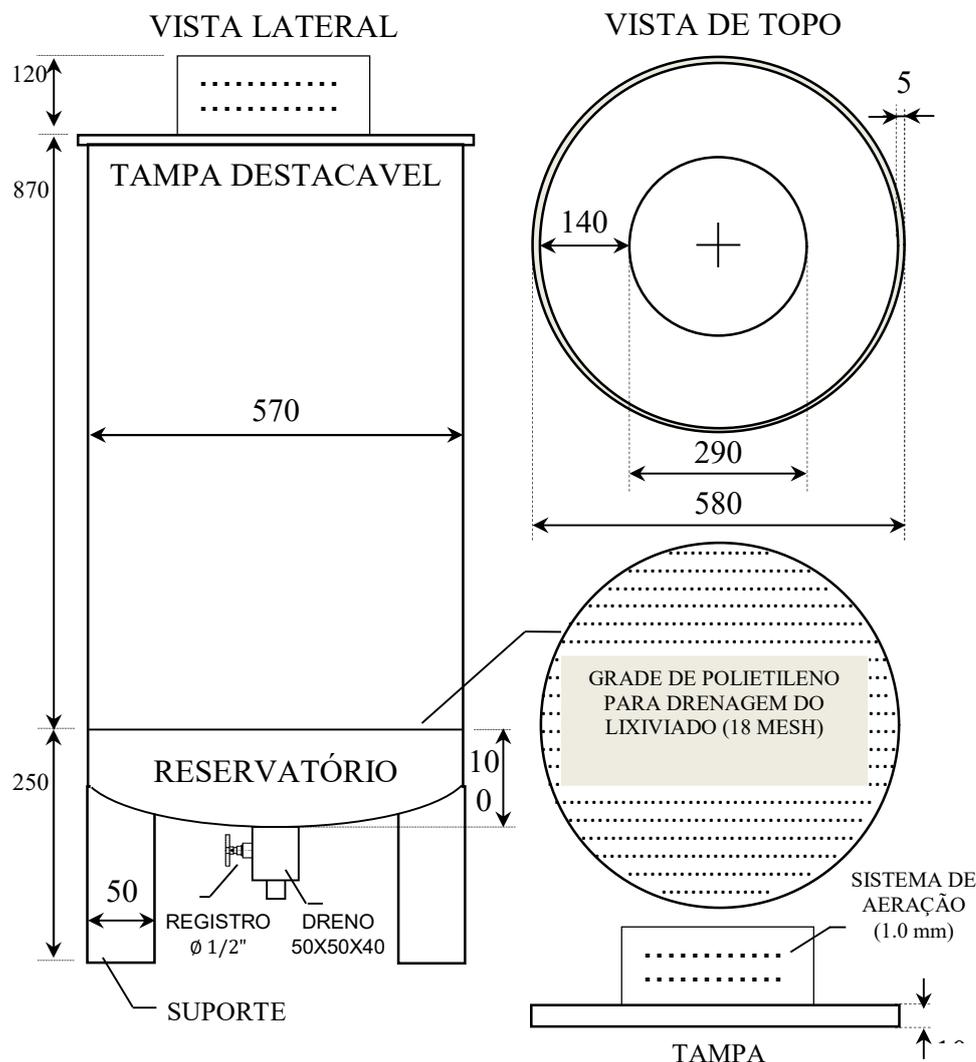
### 3.1. Montagem do Experimento

Para o experimento foi montado um reator conforme Figura 1 (CAMPOS, et al, 2014, ZITTEL, et al., 2018) utilizando 57,6 kg de resíduos orgânicos domésticos (ROD) produzidos no Restaurante Universitário (RU) da Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2,8 kg de serragem (RS) e 6,7 kg de tabaco de cigarros contrabandeados (TCC), adquiridos da Receita Federal do Brasil, em atividade de apreensão. Os resíduos foram misturados e dispostos em camadas de 200 mm no reator e distribuídos em 3 dias da semana, sendo preenchido após um período de 30 dias. Os ROD foram caracterizados de acordo com o procedimento de amostragem de resíduos (ABNT - NBR: 10007). O TCC foi obtido por meio da separação do filtro da porção do tabaco. Na sequência o papel e o tabaco foram triturados. Depois de triturado, o tabaco foi separado do papel através de peneira com orifícios de dimensão 6 mm x 6 mm, resultando em partículas menores que 1 mm. Os RS eram compostos de partículas com dimensões entre 3 e 5 mm. Para o monitoramento do processo de degradação foram coletadas amostras, em períodos quinzenais, em pontos aleatórios, no interior do reator. A coleta de amostras foi realizada no 1º dia e em períodos de 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 135, 150, 165, 180 dias, respectivamente. Em cada coleta foram retiradas aproximadamente 100 g de amostras do reator. Estas amostras foram homogêneas, sendo então retiradas 20 g para a realização das análises. A tabela apresenta algumas características dos resíduos utilizados no estudo.

Tabela 1 - Características dos resíduos utilizados no experimento.

Parâmetros	Resíduo orgânico doméstico (ROD)	Tabaco de cigarro contrabandeado (TCC)	Serragem (RS)
<b>pH</b>	5,5	7,2	6,4
<b>C (%)</b>	36,15	36,85	44,1
<b>N (%)</b>	3,04	3,20	0,28
<b>Razão C/N inicial</b>	11,89	11,15	157,5
<b>Tamanho das partículas (mm)</b>	20-50	3-5	3-5
<b>Teor de umidade (%)</b>	65	15,3	12

Figura 1: Desenho esquemático do reator (todas as dimensões em milímetros).



Fonte: Zittel et al. (2018).

### 3.2 Determinação da Temperatura

No decorrer dos experimentos, a temperatura foi aferida 3 vezes durante a semana, entre as 14 e 15 horas, utilizando-se um termômetro digital portátil tipo espeto com alarme, marca INCOTERM. O monitoramento foi efetuado no primeiro dia da disposição do material orgânico no interior do reator e no decorrer do processo, em três regiões distintas: superfície, meio e fundo. Na região profunda do reator foi aberto um orifício através de uma haste de PVC (cloreto de polivinila) e posteriormente inserido o termômetro.

### 3.3 Determinação da Umidade

Para controle do teor de umidade foram realizadas leituras da mistura nos reatores em períodos quinzenais. Efetuou-se análise nas regiões da superfície e do fundo do reator, utilizando-se aparelho de termo higrômetro digital de marca INCOTERM.

### 3.2 Determinação do pH

Para a determinação do pH pode ser utilizado água destilada ou solução de cloreto de cálcio, sendo este o método oficial do Ministério da Agricultura. O pH em água determina apenas a concentração dos íons hidrogênios em solução, limitando a detecção daqueles aderidos à superfície dos coloides. A utilização da solução de cloreto de cálcio desprende os íons hidrogênios da superfície dos coloides, estando presentes na solução. Isto acarreta valores de pH moderadamente mais baixos se comparados com aqueles encontrados em água (KIEHL, 2002).

### 3.3 Determinação da razão C/N

A análise química elementar foi realizada utilizando-se Analisador Elementar TruSpec CN Analyser, marca LECO, St. Joseph, Mi, USA, pertencente à Universidade Estadual de Ponta Grossa, laboratório de Análises de Solos do Curso de agronomia. A proporção C/N foi obtida a partir dos valores de porcentagem de C e N da amostra.

### 3.4 Análises de UV/Vis

A análise de absorção UV-Vis foi realizada no aparelho *Varian Cary 50 BIO* da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG). Dissolveu-se 0,002 g da amostra em 10 mL de solução de bicarbonato de sódio ( $\text{NaHCO}_3$ )  $0,05 \text{ mol.L}^{-1}$ . A relação  $E_2/E_3$  foi determinada através da razão das absorbâncias na faixa de 250 nm e 365 nm (CAMPOS, et al. 2014).

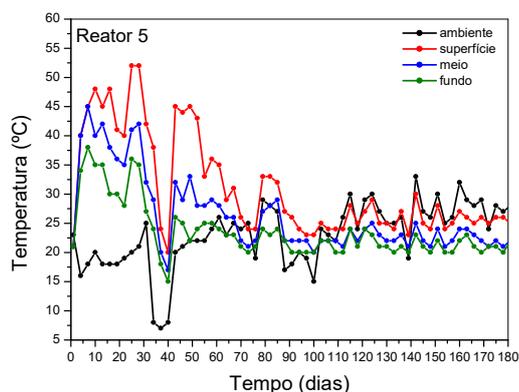
### 3.5 Análises de FTIR

As análises de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) do material orgânico foram realizadas em um espectrofotômetro da marca *Shimadzu*, modelo IR PRESTIGE 21, pertencente à Universidade Estadual de Ponta Grossa. Os espectros foram obtidos na faixa de  $400 \text{ cm}^{-1}$  a  $4000 \text{ cm}^{-1}$ , preparando-se pastilhas com 1,0 mg de amostra e 100 mg de KBr (CAMPOS, et al. 2014)

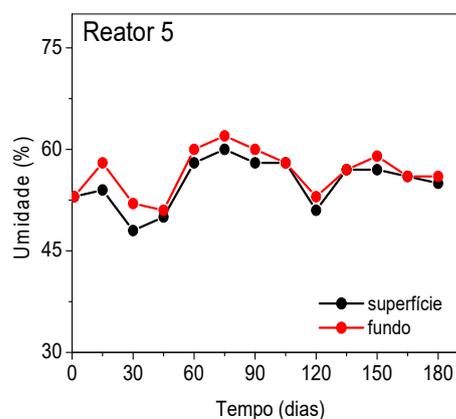
## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Resultados das análises Físico- Químicos

**Figura 2- Resultados da temperatura**



**Figura 3 – Resultados de umidade.**



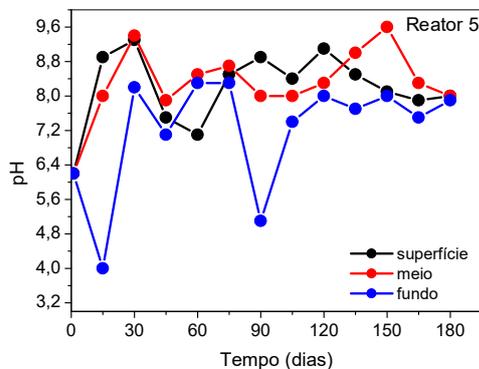
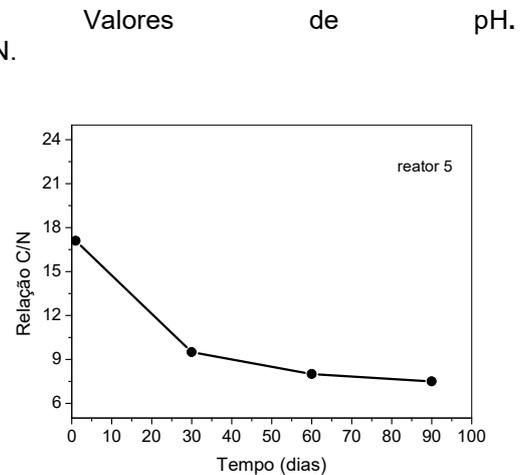


Figura 4- Valores da razão C/N.

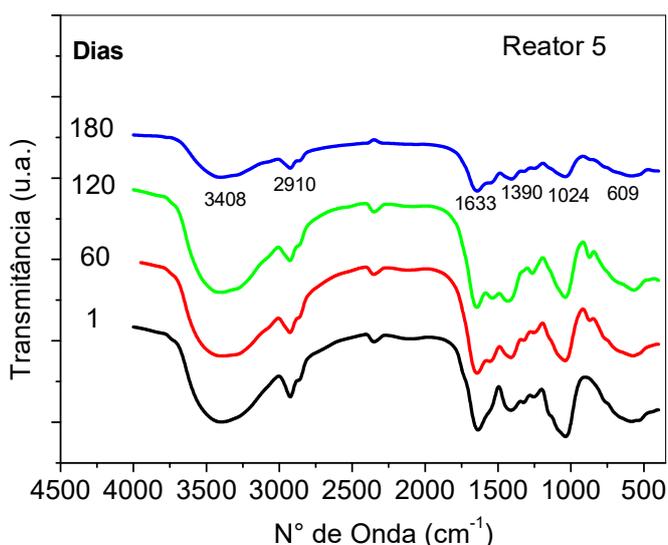


Verifica-se na Figura 2 que a temperatura nos primeiros dias do processo permaneceu próxima à temperatura ambiente, caracterizando a fase mesofílica. Após 4 dias, observou-se o aumento nos valores de temperatura atingiu picos entre 38°C e 52°C, permanecendo por um período de 30 dias, caracterizando a fase termofílica. A ocorrência dessas temperaturas termofílicas favoreceu a destruição de patógenos e compostos tóxicos. Em relação a umidade observou-se variações nas primeiras semanas entre 48% e 58% nas duas regiões analisadas e, após 60 dias elevaram-se para índices em torno de 60%, reduzindo até o final do processo entre 50% e 60%. Em vista desses resultados, observou-se que a partir do período de 30 dias o líquido produzido, principalmente por resíduos de alimentos, e acumulado a 100 mm do fundo do reator, foi eliminado até o final do processo, acarretando estabilização na umidade. Na Figura 4 observa-se o aumento do pH, na superfície e meio do reator, enquanto que no fundo do reator houve diminuição do pH. Essas variações ocorrem devido aos processos envolvidos com a formação de substâncias nitrogenadas como a amônia e a formação de ácidos solúveis (ácidos carboxílicos de cadeia curta, ácido acético, propiônico, butírico), sendo convertidos, posteriormente, em compostos minerais por ação microbiana (IYENGAR e BHAVE, 2005). Analisando a Figura 5, constatou-se que a razão C/N inicial da mistura esteve em 17. No decorrer do processo, observou-se que essas proporções reduziram, alcançando a razão C/N igual a 8. A relação C/N é utilizada como um indicador da capacidade de degradação dos resíduos pelos microrganismos. A relação C/N é um parâmetro utilizado para mensurar o tempo de decomposição e a quantidade de nutrientes presentes no material orgânico indicando a estabilidade do material. Diversos estudos propuseram uma relação C/N inicial de 20 a 40 para a compostagem. No entanto, recentemente, alguns pesquisadores realizaram com sucesso a compostagem em reatores com razões C/N mais baixas nas misturas iniciais (14/1) (ZHANG et al., 2018; ZITTEL et al., 2018). Esse parâmetro inicial de baixas relações C/N possibilita o tratamento de grandes quantidades de resíduos sólidos orgânicos. Além disso, a tecnologia de compostagem em reatores controla o excesso de nitrogênio liberado na forma de amônia no sistema, através da aeração suficiente e intensificação do processo de nitrificação, resultando em auto-regulação da relação C/N (CAMPOS et al., 2014; ZITTEL et al., 2018). Em 60 dias de compostagem, verificou-se que a razão C/N no reator já estava próxima ao valor de estabilidade o que pode indicar por meio desse parâmetro que com esse tempo o composto final já estaria apto a ser utilizado no solo, por exemplo. Essa diminuição pode estar relacionada com a perda de carbono orgânico, devido à oxidação biológica dos compostos lábeis e à liberação de gás carbônico (CO<sub>2</sub>), o que acarreta em um aumento na proporção de nitrogênio total do meio (ZITTEL et al., 2018).. Esse parâmetro reflete a estabilidade dos compostos durante a compostagem, com a ação dos microrganismos responsáveis pela

degradação da matéria orgânica. Para estudos da maturidade dos compostos os valores da razão C/N devem ser associados a outras análises tais como ultravioleta visível (UV/Vis) e infravermelho (FTIR).

A figura 7 apresenta os resultados de FTIR .

Figura 6- Resultados de FTIR



A espectroscopia de FTIR foi utilizada para caracterizar a presença de grupamentos funcionais do material orgânico obtido em diferentes fases do processo. Nesse trabalho, apenas os espectros de FTIR mais significativos são mostrados e comentados. Foram obtidos espectros (modo transmitância) de amostras em estágios de 01, 60, 120 e 180 dias do processo para os experimentos. As possíveis atribuições das principais bandas de absorção, usualmente observadas nos espectros de FTIR para compostos humificados provenientes de processos de compostagem estão apresentados na tabela 2.

Tabela

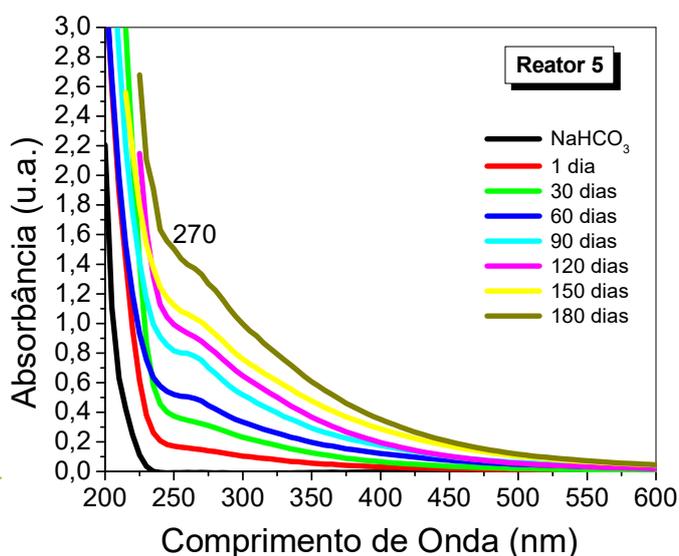
Número de onda	Atribuições
3386 – 3412 cm <sup>-1</sup>	Estiramento de OH e NH
2928 – 2930 cm <sup>-1</sup>	Estiramento assimétrico de C alifático
2750 – 2850 cm <sup>-1</sup>	Estiramento de H do grupo CHO (aldeído)
1705 – 1716 cm <sup>-1</sup>	Estiramento C=O de cetonas e de grupos COOH
1630 – 1652 cm <sup>-1</sup>	Estiramento C=C dos anéis aromáticos, estiramento C=O e deformação N-H das amidas primárias e estiramento assimétrico C-O dos íons (COO) <sup>-</sup>
1400 – 1450 cm <sup>-1</sup>	Estiramento assimétrico C-O; deformação O-H e deformação C-O-H dos grupos carboxílicos e estiramento simétrico dos íons (COO) <sup>-</sup>
1010 – 1135 cm <sup>-1</sup>	Estiramento C-O de polissacarídeos e carboidratos
< 1000	Estiramento C-O-H de polissacarídeos e hidratos de carbono em aromáticos

Principais grupos de absorção no FTIR para compostos humificados

Os espectros exibiram a absorbância em regiões semelhantes, entretanto diferem na intensidade de alguns picos, observando-se a diminuição de estruturas alifáticas ( $2922\text{ cm}^{-1}$ -  $2855\text{ cm}^{-1}$ ) e carboidratos ( $1100\text{ cm}^{-1}$  –  $1135\text{ cm}^{-1}$ ). A Figura apresenta picos entre de  $3369\text{ cm}^{-1}$  e  $3415\text{ cm}^{-1}$ , indicando a presença de grupos hidroxilos de álcoois, de fenóis e ácidos orgânicos. Semelhantemente, um sinal de menor intensidade entre  $2846\text{ cm}^{-1}$  e  $2918\text{ cm}^{-1}$  sugeriu a presença de grupos alifáticos. As bandas na região entre  $1620\text{ cm}^{-1}$  e  $1660\text{ cm}^{-1}$  são características de vibrações de aromáticos ligados a grupos carboxílicos e cetonas. No início do processo de biodegradação dos materiais, muitas bandas são visíveis na região entre  $1600$  a  $900\text{ cm}^{-1}$ . Essas bandas podem ser atribuídas à celulose e aos resíduos em decomposição, tais como: aldeídos, cetonas, ésteres, ácidos carboxílicos de cadeia curta. A banda encontrada entre as regiões de  $1259\text{ cm}^{-1}$   $1365\text{ cm}^{-1}$  foi atribuída a ligações OH de grupos fenóis, possivelmente de celulose. A banda larga entre  $1390\text{ cm}^{-1}$  e  $1537\text{ cm}^{-1}$  e o sinal entre  $1014\text{ cm}^{-1}$  e  $1037\text{ cm}^{-1}$  indicaram deformações de polissacarídeos e hidratos de carbono aromáticos (POGNANI et al., 2010). Os resultados mostraram que as reações bioquímicas no processo de degradação da matéria orgânica são decorrentes da transformação de compostos, tais como grupos alifáticos, polissacarídeos e proteínas. Essa característica é verificada com um aumento na região de  $1630$  a  $1652\text{ cm}^{-1}$  (correspondente ao estiramento C=C dos anéis aromáticos, estiramento C=O e deformação N-H das amidas primárias e estiramento assimétrico C-O dos íons carboxilato). Esta observação encontra-se em concordância com a degradação da matéria orgânica inicial e sua consequente estabilização ou humificação

Figura 7-  
de Uv/Vis

Resultados



Em função da quantidade e da variabilidade de grupos cromóforos existentes na matéria orgânica, os espectros de UV/Vis são formados por sobreposição de bandas, sem definição das mesmas (FIALHO, 2007). Existem regiões importantes da matéria orgânica no espectro de UV/Vis onde a absorção deve ser analisada: próximo de 280 nm, de 400 nm à 500 nm e acima de 600 nm. Em vista disso, nos espectros obtidos (Figura 7) para os experimentos, observou-se que as absorvâncias nos comprimentos de ondas maiores que 400 nm foram muito baixas e semelhantes em todas as amostras. Estruturas orgânicas com ligações conjugadas absorverão tanto mais luz visível (parecerão mais escuras) quanto maior for o tamanho da cadeia conjugada aromática (FIALHO, 2007). Em análise aos espectros de UV/Vis do material para os experimentos (Figura 7), verificou-se que a absorção decresceu com o comprimento de onda, apresentando um ombro acentuado de absorção próximo a 270 nm, característico de grupos cromóforos, tais como estruturas insaturadas ou aromáticas (FIALHO, 2007). A absorvância na região de 260-280 nm é devido à presença de estruturas de lignina e de quinona, indicando o início de transformações no material em degradação (ZBYTNIIEWSKI e BUSZEWSKI, 2005). Para Domeizel et al. (2004), os grupos aromáticos, que caracterizam o processo de humificação, absorvem os comprimentos de onda entre 250 nm e 300 nm. A razão da absorvância entre 250 nm e 365 nm ( $E_{250}/E_{365}$ ) é frequentemente utilizada para caracterizar qualitativamente mecanismos moleculares tais como, aromaticidade e grau de moléculas orgânicas (HE et al., 2011). A razão de  $E_2/E_3$  do composto foi calculada nos períodos de 1, 30, 60, 90, 120, 150 e 180 dias. Assim, a partir dos espectros observados na figura 7 verificou-se que a razão  $E_2/E_3$  passou de 3,8 no início do processo para 2,7 com noventa dias. O valor de  $E_2/E_3$  é inversamente proporcional ao peso molecular e ao processo de humificação, diminuindo com o aumento do tempo de biodegradação, o que sugere que o grau de humificação e o peso molecular aumentam ao longo do processo (HE et al., 2011).

## 5. CONCLUSÕES

Por meio dos resultados encontrados, pode-se concluir que:

- O reator alcançou temperaturas que provocaram intensa transformação da matéria orgânica, e ainda os valores obtidos permitem inferir que houve degradação da nicotina;
- Os valores (50 – 60 %) de umidade e pH permaneceram na faixa ótima sem qualquer manipulação e a razão C/N chegou próxima de 10 com cerca de 60 dias indicando a maturação do composto;
- As análises por UV/Vis e IV possibilitaram acompanhar a evolução da transformação da matéria orgânica dentro do reator e os resultados da razão  $E_2/E_3$  mostraram que para a maturação do composto seria necessário ao menos 90 dias.
- A compostagem no reator proposto mostrou-se como uma tecnologia eficiente e com possibilidade de ser viável ambiental e economicamente para o tratamento de tabaco de cigarros contrabandeados.

## 6. REFERÊNCIAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR: 10007: Amostragem de resíduos: Procedimentos. Rio de Janeiro, 2004.

- CAMPOS, S. X.; RESSETTI, R.R.; ZITTEL. R. Monitoring and characterization of compost obtained from household waste and pine sawdust in a facultative reactor by conventional and spectroscopic analysis. *Waste Management & Research*, v.32, Nº12, p.1186-1191, 2014.
- FIALHO, L.L. Caracterização da matéria orgânica em processo de compostagem por métodos convencionais e espectroscópicos. 2007. 170 p. Tese (Doutorado em Ciências – Química Analítica) – São Carlos: Instituto de Química de São Carlos – Universidade de São Paulo, 2007.
- GAJALAKSHMI S, ABBASI AA. Solid Waste Management by composting: state of the art. *Environmental Science Technology*. 38: p. 311-400, 2008.
- HE, X. et al. Spectroscopic characterization of water extractable organic matter during composting of municipal solid waste. **Chemosphere**, v.82, p.541-548, 2011.
- IYENGAR, S. R.; BHAVE, P. P. In-vessel composting of household wastes. *Waste Management*, v.26, p.1070-1080, 2005
- KIEHL, E. J. Manual de Compostagem: maturação e qualidade do composto. 3. ed. Piracicaba, 2002.
- NAYAK, A.K.; KALAMDHAD, A.S. Sewage sludge composting in a rotary drum reactor: stability and kinetic analysis. *International Journal Recycling Organic Waste Agriculture*, v.4, p.249-259, 2015.
- POGNANI, M. et al. Monitoring the organic matter properties in a combined anaerobic/aerobic full-scale municipal source-separated waste treatment plant. *Bioresource Technology*, v. 101, p. 6873-6877, 2010.
- RECEITA FEDERAL DO BRASIL (RFB). Relatório Aduaneiro Anual de 2017. Disponível em: <<http://www.receita.fazenda.gov.br/publico/destinacaoMercadorias/MercadoriasAp eendidas/RelatorioAduaneiro2012.odt>>.
- SPACCINI, R.; PICCOLO, A. Molecular Characteristics of humic acids extracted from compost at increasing maturity stages. *Soil Biology & Biochemistry*, v.41, p.1164-1172, 2009.
- ZHANG, D. et al. Performance of co-composting sewage sludge and organic fraction of municipal solid waste at different proportions. *Bioresource Technology*, v.250, p.853-859, 2018.
- ZITTEL, R. et al. Treatment of smuggled cigarette tobacco by composting process in facultative reactors. *Waste Management*, v.71,115-121, 2018.
- ZBYTNIIEWSKI, R.; BUSZEWSKI, B. Characterization of natural organic matter (NOM) derived from sewage sludge compost. Part 1: chemical and spectroscopic properties. *Bioresource Technology*, v.96, p.471-478, 2005.