



SECAGEM DO LODO ORGÂNICO EM FORNO MICRO-ONDAS

M. C. JERÔNIMO¹, L. A. VIEIRA^{1,2}, R. N. de TOLEDO², J. R. D. FINZER¹, E. U. BUCEK¹

¹ Programa de Pós-Graduação Mestrado Profissional Engenharia Química da Universidade de

² Empresa ONDATEC - Tecnologia Industrial em Micro-ondas SA, Uberaba-MG

RESUMO – *As águas residuárias (efluentes) de abatedouros avícolas, e o lodo orgânico gerado em seu tratamento, se não tratadas causam danos ambientais ao meio aquático, o que tem sido uma grande preocupação do setor agroindustrial brasileiro. A reciclagem de lodo orgânico, e obtenção a partir dele de produtos ou subprodutos de interesse econômico vem sendo um desafio, gerando pesquisas que contribuem com esta meta, diminuindo a poluição e agregando valor aos resíduos. Dentre os tratamentos térmicos utilizados destacamos os fornos de micro-ondas, que contém magnetrons que converte energia elétrica em micro-ondas, e o aquecimento ocorre por dissipação da energia eletromagnética. O objetivo deste trabalho é determinar a umidade do lodo proveniente de abatedouro de aves e avaliar a metodologia de secagem em micro-ondas de escala piloto, visando a reciclagem deste resíduo seco. O lodo orgânico testado, foi obtido no fundo da lagoa de decantação do efluente de abatedouro de aves. Foi determinado, o teor de umidade por gravimetria (n=3). A secagem do lodo previamente tratado foi realizada em forno micro-ondas, cavidade rotativa de escala piloto (Tecnologia ONDATEC[®]). Os resultados obtidos demonstram que O lodo orgânico, apresentou elevada umidade e substâncias voláteis (82,115±1,405 %), sugerindo um tratamento prévio antes secagem em forno micro-ondas. O tratamento prévio (exposição em céu aberto por 4 dias) do lodo orgânico, permitiu além da homogeneização do material, eliminar 19,523 % de umidade e substâncias voláteis. Assim o lodo após tratamento prévio apresentou 62,592±1,059 % de umidade e substâncias voláteis, que foi encaminhado para secagem em forno micro-ondas. A água total (líquida e vapor) retirada do lodo orgânico submetido ao tratamento prévio foi de 18,17%. O micro-ondas de cavidade rotativa tecnologia ONDATEC é eficiente no processo de secagem do lodo orgânico proveniente de abatedouros de aves. A análise criteriosa do consumo de energia no processo de secagem aqui apresentado, se faz necessário para uma tomada de decisão pela empresa, quanto ao custo/benefício na implantação do processo.*

1. INTRODUÇÃO

As águas residuárias, também denominadas de efluentes, de abatedouros avícolas contendo sangue, vísceras, penas, carne e tecidos gordurosos, se não tratadas causam danos ambientais ao meio aquático (Fernades Jr e Mendes, 2006) (Barros, 2005). De acordo com Giordano (2006) os efluentes industriais são constituídos de fração poluente dissolvido e em suspensão que durante o tratamento produz gases inertes e/ou sólidos sedimentáveis (lodo estável ou subprodutos sólidos) com posterior separação das fases sólida e líquida (Passianoto *et al.*, 2001). Nos resíduos

orgânicos existe também uma biomassa microbiana, também denominada de lodos biológicos ou secundários (Barros, 2005).

O lodo proveniente de abatedouros de aves é denominado de lodo orgânico (Sena, 2009), e quando ele pode ser utilizado na agricultura, como fertilizantes agrícolas, o termo biossólido é empregado para designar este produto (Sena, 2005). O lodo orgânico que representa os sólidos sedimentáveis, é considerado um resíduo e é utilizado pelos microrganismos como fonte de carbono e energia, para aumento da atividade biológica e posterior liberação de CO₂ (Passianoto *et al.*, 2001).

O tratamento de resíduos tem sido uma grande preocupação do setor agroindustrial brasileiro desde 2005, onde o mercado vem se preocupando cada vez mais em se adequar às questões ambientais e buscando a sua reutilização (Sena, 2005). A destinação comum para esse tipo de resíduo são os aterros sanitários e como alternativa para o processamento do lodo é o tratamento térmico, visando aplicação desse material, após tratamento como adubo orgânico e fonte de energia através do gás gerado quando apresentar alto poder calorífico (Zanotto, *et al.*, 2006). A destinação de resíduos e efluentes para reciclagem e obtenção de produtos ou subprodutos de interesse econômico vem sendo um desafio, gerando pesquisas que contribuem com esta meta, diminuindo a poluição e agregando valor aos resíduos, efluentes e seus subprodutos (Borges, *et al.*, 2008). O volume de efluentes e consequentemente de lodos orgânicos gerados pelas grandes indústrias de abatimentos de animais produz elevada concentração de poluentes. Este fato justifica, a elaboração de projetos de pesquisa para solucionar este problema, através do tratamento de qualidade destes resíduos para minimizar os impactos causados.

Dentre os tratamentos térmicos destacamos os fornos de micro-ondas. O funcionamento do micro-ondas se dá na existência de magnetrons que converte energia elétrica em micro-ondas, através da diferença de potencial entre ânodo e cátodo que acelera os elétrons em um campo magnético produzindo as ondas eletromagnéticas, em temperaturas pré-estipuladas em período de tempo pré-estabelecido. Assim o material a ser processado dentro do forno é submetido a um campo elétrico, que atua no dipolo elétrico da molécula, que por consequência se alinha com o campo, e ao ser retirado deste campo as moléculas relaxam e liberam energia (Mizuno *et al.*, 2004). O aquecimento ocorre por dissipação da energia eletromagnética.

O objetivo deste trabalho é determinar a umidade do lodo proveniente de abatedouro de aves e avaliar a metodologia de secagem em micro-ondas de escala piloto, visando a reciclagem deste resíduo seco. Este estudo contribui com a busca da solução de um abatedouro de aves do Triângulo Mineiro para os resíduos gerados, de forma que possa tratar seus resíduos, minimizando seu impacto ao meio ambiente e gerando um subproduto, aumentando assim o valor agregado do processo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Obtenção do lodo: o lodo orgânico testado, consiste no resíduo depositado no fundo da lagoa de decantação do efluente de abatedouro de aves do Triângulo Mineiro, que foi

encaminhado para tratamento em bombona de 50 L), sendo denominado de lodo orgânico não tratado (Figura 1).

Tratamento prévio: após recebimento do lodo, o mesmo foi homogeneizado e exposto ao sol, sobre placas de aço galvanizado, durante 4 dias, coberto com a placa metálica no período da noite. Durante o tratamento prévio o lodo foi revolvido duas vezes ao dia, e homogeneizado. Após o tratamento a amostra foi encaminhado para processamento em forno micro-ondas.



Figura 1: Recebimento de lodo orgânico não tratado.
Fonte: M. C. Jerônimo (2018).



Figura 2: Forno micro-ondas Ondatec®: estrutura do forno (2A);
cavidade sextavada com cesto giratório (2B).
Fonte: Empresa ONDATEC Tecnologia Industrial em Micro-ondas SA.

Forno Micro-ondas: o equipamento de escala piloto utilizado é de Tecnologia ONDATEC® (Figura 2), com cavidade rotativa sextavada; rotação ajustável (inversor de frequência 30-60 Hz); capacidade 650 L; reator e sistema de separação de gases de exaustão; potência 20 kW; tensão de alimentação 220V 60 Hz; 24 válvulas/magnetrons (controle manual e individual). Amostras de 25 Kg de lodo tratado previamente foi processado até secagem em exposição à ação das micro-ondas.

A determinação do teor de umidade: o controle foi realizado nos lotes de lodo recebido do abatedouro, após seu tratamento prévio e após secagem pelas micro-ondas, por gravimetria a 105°C em estufa de esterilização, até peso constante (Brasil, 2010). Cada análise foi realizada em triplicata (n=3). O cálculo da umidade em gramas foi determinado através da diferença entre a massa do lodo proveniente do abatedouro e a massa do lodo desidratado até massa constante. O cálculo da umidade em base úmida foi determinado de acordo com a Equação (1) e a umidade em base seca de acordo com a Equação (2).



$$U_{bu} \% (m/m) = \frac{(mLA) - (mLS)}{mLA} \times 100 \quad (1)$$

$$U_{bs} \% (m/m) = \frac{(mLA) - (mLS)}{mLS} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

- U_{bu} = umidade em base úmida (%);
- U_{bs} = umidade em base seca (%);
- mLA = massa do lodo do abatedouro (g)
- mLS = massa do lodo seco (g).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O lodo orgânico proveniente do abatedouro de aves (Figura 3), apresentou aspecto de consistência pastoso moldável, com presença de gravetos e terra, de coloração marrom escuro, opaco.

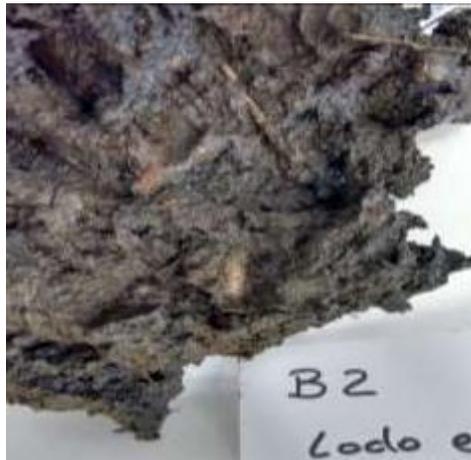


Figura 3: Aspecto do lodo proveniente do abatedouro de aves.
Fonte: M. C. Jerônimo (2018).

A análise gravimétrica do lodo disponibilizado para estudo, detectou $82,115 \pm 1,405$ % de umidade e substâncias voláteis, sugerindo um tratamento prévio visando a redução desta

umidade. O tratamento prévio (exposição em céu aberto por 4 dias) do lodo orgânico, permitiu além da homogeneização do material, eliminar 19,523 % de umidade e substâncias voláteis. Assim o lodo após tratamento prévio apresentou $62,592 \pm 1,059$ % de umidade e substâncias voláteis, que foi encaminhado para secagem em forno micro-ondas.

Na secagem, o lodo orgânico após ser inserido na cavidade rotativa do forno micro-ondas, teve como temperatura inicial 30°C (Figura 4A). Em seguida elevou-se a temperatura de 30°C a 100°C em 76,9 min (Figura 4B), permanecendo a 102°C por 22,9 min (Figura 4C). A temperatura foi elevada a 106°C em 22,1 min e permaneceu sob ação das micro-ondas à temperatura de secagem, $105 - 106^{\circ}\text{C}$ por 12,8 min, (Figura 4D). Posteriormente, a temperatura caiu e o lodo permaneceu a $103-101^{\circ}\text{C}$ por 33,6 min representado na Figura 4E. A faixa F (Figura 4F) representa o término do tratamento que corresponde ao resfriamento. A análise gravimétrica do lodo após secagem no micro-ondas confirmou a eliminação total da umidade e substâncias voláteis, mostrando a eficiência do processo de secagem.

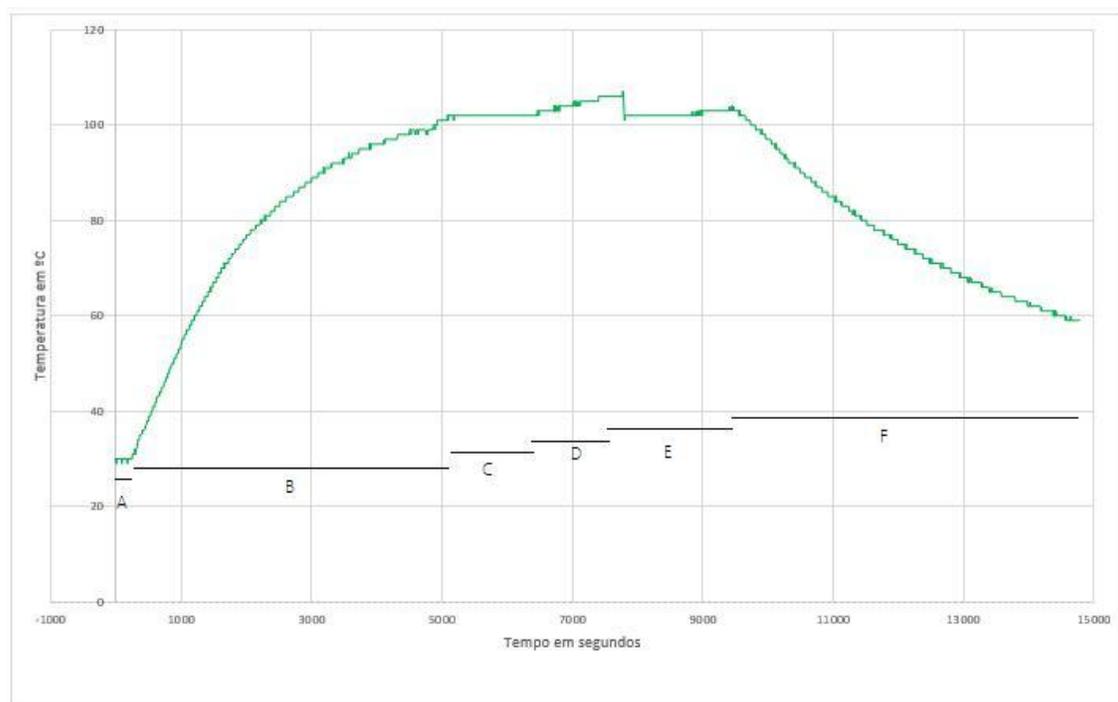


Figura 4: Curva temperatura em função do tempo do processo de secagem do lodo orgânico em micro-ondas de cavidade rotativa, com as respectivas faixas de temperatura: A (30°C de 0-4,3 min); B ($31-99^{\circ}\text{C}$, 4,3-81,2 min); C (102°C , 84,9-107,8 min); D ($105-106^{\circ}\text{C}$, 117,1-129,9 min); E ($103-100^{\circ}\text{C}$, 130,0-163,6 min); F (resfriamento).

A quantidade de água retirada do lodo orgânico previamente tratado é determinada através do balanço de massa, considerando os fluxos de massa no sistema (entrada e saída) em peso (Kg) de acordo com a Equação (3).

$$M_{TP} = M_S + M_{AF} + M_{AF} + M_V \quad (3)$$

Onde:

M_{TP} = massa do lodo orgânico previamente tratado a céu aberto

M_S = massa do lodo orgânico seco em micro-ondas

M_{AF} = massa da água recolhida na válvula frontal do forno

M_{AA} = massa da água recolhida na válvula atrás do forno

M_V = massa de d'água (valor estimado)

Logo:

$$36,74 \text{ Kg} = 26,07 \text{ Kg} + 7,21 \text{ Kg} + 1,47 \text{ Kg} + 1,99 \text{ Kg}$$

Sabendo que o lodo (M_{TP}) contém $62,592 \pm 1,059$ % de umidade e substâncias voláteis (usv), significa que em 36,74 Kg de M_{TP} está presente 22,99 Kg de “usv”. As massas de água recolhidas nas válvulas presentes na parte frontal e atrás do forno representa 14,78% de água, e como o forno não é hermeticamente fechado, 3,39 % de água é eliminado na forma de vapor. Assim sendo a água total (líquida e vapor) retirada do M_{TP} foi de 18,17%.

4. CONCLUSÃO

O micro-ondas de cavidade rotativa tecnologia ONDATEC é eficiente no processo de secagem do lodo orgânico proveniente de abatedouros de aves, porém o período de secagem é considerado longo (2:40 h) o que sugere uma análise financeira para verificar a viabilidade econômica do processo.

O Tratamento prévio de 4 dias a céu aberto em dias ensolarados, reduziu 19,5 % a umidade do lodo trazendo uma redução no custo do processo de secagem por micro-ondas, trazendo uma economia energética, caso seja ele adotado pela empresa. Porém ressalta-se que a secagem a céu aberto, apesar de ser um processo simples, demanda uma área física considerável e funcionário específico para esta atividade o que justifica a demanda por um processo rápido para sua secagem, embasando este estudo.

A análise criteriosa do consumo de energia no processo de secagem aqui apresentado, se faz necessário para uma tomada de decisão pela empresa, quanto ao custo/benefício na implantação do processo, assim como para elaboração de um novo forno pela ONDATEC, visando a redução do gasto de energia e o custo.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação Engenharia Química – Mestrado Profissional da UNIUBE, a Empresa ONDATEC[®]-Tecnologia Industrial em Micro-ondas (Uberaba-MG), e aos meus Pais, por contribuir com o desenvolvimento deste trabalho.

6. REFERÊNCIAS

BARROS, L. S. S. **Estudo do potencial do impacto ambiental de águas residuárias de abatedouros avícolas e suínolas.** (Doutorado) Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP Jaboticabal, 2005. 122p.

BORGES, F.; SELLIN, N.; MEDEIROS, S. H. W. Caracterização e avaliação de lodos de efluentes sanitário e industrial como biomassa na geração de energia, **Ciência & Engenharia**, v. 17, n. 1/2, p. 27-32, 2008.

BRASIL. **Farmacopeia Brasileira.** 5a ed., Brasília: ANVISA, 2010. 546p.

FERNANDES JÚNIOR, J. F.; MENDES, O. **Gerenciamento de efluentes de abatedouros avícolas Estudo de caso.** Universidade Católica de Goiás (TCC) – Departamento de Engenharia – Engenharia Ambiental 2006. 19p.

MIZUNO, M.; OBATA, S.; TAKAYAMA, S.; ITO, S.; KATO, N.; HIRAI, T.; SATO, M. Sintering of alumina by 2.45 GHz microwave heating. **Journal of the European Ceramic Society**, v. 24, n. 2, p. 387-391, 2004

PASSIANOTO, C. C.; CASTILHOS, D. D.; CASTILHOS, R. M. V.; LIMA, A. C. R.; LIMA, C. L. R. Atividade e biomassa microbiana no solo com a aplicação de dois diferentes lodos de curtume, **Rev. Bras. de Agrociência**, v. 7, n. 2, p. 125-130, 2001.

SENA, R. F. D. **Avaliação da biomassa obtida pela otimização da flotação de efluentes da indústria de carnes para geração de energia.** (Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005. 83p.

SENA, R. F. D. **Tratamento de efluentes da indústria de processamento de carnes utilizando flotação por ar dissolvido e processos de oxidação avançada.** (Doutorado) Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009. 141p.

ZANOTTO, D. L.; BELLAYER, C.; COLDEBELLA, A.; SCHEUERMANN, G. N.; CUNHA JUNIOR, A.; AJALA, L. C. **Flotado de efluentes de frigorífico de suínos e aves: 1. Composição química.** Concórdia-SC: EMBRAPA Comunicado Técnico 440, 2006. 3p.

7. AGRADECIMENTOS

OS AUTORES AGRADECEM À FAPEMIG PELO APOIO PRESTADO.

Uberaba, 30 de novembro e 01 de dezembro de 2018