

III-202 – SECAGEM DE LODO DE ESGOTO INDUSTRIAL POR AERAÇÃO FORÇADA

Alice do Carmo Precci Lopes⁽¹⁾

Engenheira Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa. Mestranda em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Viçosa.

Nayara Vilela Avear

Engenheira Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa. Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Viçosa. Doutoranda em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Viçosa

Ana Augusta Passos Rezende

Engenheira Civil pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela UFMG. Mestre em Engenharia pela Universidade de Toronto, Canadá. Doutora em Engenharia Agrícola pela UFV. Professora adjunta do Departamento de Engenharia Civil da UFV.

Endereço⁽¹⁾: Avenida P.H. Rolfs s/n – Universidade Federal de Viçosa, Centro de Ciências Exatas/Departamento de Engenharia Civil – Centro – Viçosa – MG – CEP: 36570-000 – Brasil – Tel: (31) 8959-7293 – e-mail: alice.lopes@ufv.br

RESUMO

Dentre as etapas de tratamento do lodo das estações de tratamento de efluentes, os processos de desaguamento e secagem ocupam papel de destaque. Nestas etapas, o volume de lodo pode ser reduzido até 20%. No entanto, esses processos são onerosos ou demandam uma grande área e a sua eficiência muitas vezes não atende a remoção de umidade requerida pelos processos de aproveitamento dos resíduos, principalmente aqueles que consideram o aproveitamento energético. Nesse contexto, o projeto busca uma nova metodologia de secagem de lodo, visando baixo custo de implantação e operação, bem como baixo requerimento de área e de demanda de energia. O projeto se estruturou em três etapas, compreendendo, primeiro a caracterização e classificação do lodo a ser estudado. A segunda etapa consistiu no desenvolvimento, implantação e monitoramento de dispositivos de secagem de lodo proveniente da estação de tratamento de efluentes de uma indústria têxtil utilizando sistemas de aeração forçada. A terceira etapa abordou um estudo preliminar de viabilidade econômica do sistema. Os resultados preliminares indicaram um custo relativamente elevado para operação dos dispositivos de aeração forçada. Este foi um estudo introdutivo, sendo importante a continuidade e o aprimoramento dos experimentos, para melhor avaliação dos sistemas de secagem.

PALAVRAS-CHAVE: Valorização de biossólido, resíduos sólidos, ventilação forçada, indústria.

INTRODUÇÃO

Todo e qualquer processo industrial gera algum tipo de resíduo e seu gerenciamento torna-se parte importante do sistema de produção. Dentre os resíduos sólidos gerados nos processos produtivos industriais, destaca-se o proveniente do tratamento dos efluentes líquidos, denominado lodo ou biossólido. O lodo pode ser caracterizado como primário, secundário ou biológico, e terciário, cada qual proveniente das respectivas etapas na estação de tratamento de efluentes (ETE).

Embora o lodo represente apenas de 1 a 2% do volume do efluente tratado, o seu gerenciamento é complexo e dispendioso, possuindo um custo geralmente entre 20 a 60% do total gasto com a operação de uma estação de tratamento de efluentes. Se esse gerenciamento for mal executado, os benefícios ambientais e sanitários esperados de ETES poderão estar comprometidos.

O destino final adequado do lodo é um fator fundamental para o sucesso de um sistema de saneamento, entretanto esta atividade tem sido negligenciada no Brasil. É comum que projetos de estações de tratamento de efluentes omitam a gestão de tal resíduo, fazendo com que esta operação seja realizada sem planejamento. Indústrias têm direcionado o lodo biológico para aterros sanitários, incineração, compostagem ou uso agrícola. Independentemente da opção de destinação final, o alto teor de umidade do biossólido constitui um fator limitante, visto que o adensamento do lodo, seguido de desaguamento, não é suficiente para obtenção de

umidade considerada ótima para viabilizar o transporte ao destino final ou seu aproveitamento. Além disso, os processos tradicionais de desaguamento e secagem de lodo são onerosos ou demandam uma grande área, e a sua eficiência muitas vezes não atende a remoção de umidade requerida para seu reaproveitamento.

Sendo assim, o presente projeto visou desenvolver, monitorar e avaliar uma nova metodologia de secagem de lodo, de menor custo, requerimento de área e energia elétrica, utilizando sistema de aeração forçada. O objeto de estudo foi o lodo biológico proveniente do tratamento de efluentes líquidos de uma indústria têxtil da região.

MATERIAIS E MÉTODOS

O processo de tratamento de efluentes líquidos da indústria em estudo é constituído de sistema de lodos ativados, sendo o lodo em excesso adensado por gravidade e desaguado em centrífuga. A Figura 1 apresenta um esquema do atual sistema de tratamento desses efluentes da indústria.

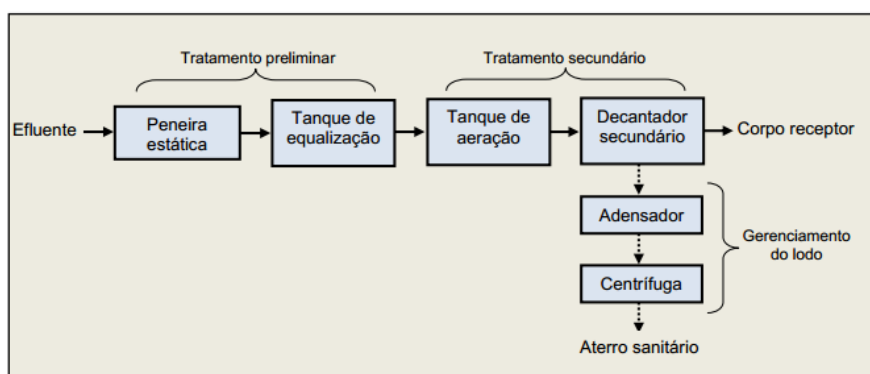


Figura 1: Etapas do tratamento de efluentes líquidos da indústria têxtil.

A metodologia do trabalho constou em três principais etapas: determinação das características física e química do lodo; desenvolvimento, implantação e monitoramento de um dispositivo de secagem do lodo; e estudo preliminar de viabilidade econômica.

PRIMEIRA ETAPA: CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DO LODO

Os ensaios realizados compreenderam as análises de umidade, sólidos totais, fixos e voláteis, segundo o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA *et al.*, 2012); densidade a granel, de acordo com a NBR 6922 (ABNT, 1981); e pH. O lodo foi ainda classificado quanto à periculosidade conforme as normas NBR 10.004 (ABNT, 2004a), NBR 10.005 (ABNT, 2004b) e NBR 10.006 (ABNT, 2004c).

SEGUNDA ETAPA: DESENVOLVIMENTO, IMPLANTAÇÃO E MONITORAMENTO DO DISPOSITIVO DE SECAGEM

O sistema de secagem constou de pilhas aeradas, similar aos empregados em sistemas de compostagem por aeração forçada, sendo o resíduo disposto sobre dutos perfurados conectados a um sistema de insuflação de ar (Figura 2a). De modo a absorver o possível líquido lixiviado, montou-se uma cama de casca de eucalipto, sobre a qual o resíduo foi disposto (Figura 2b). No sentido de conferir porosidade e estrutura às pilhas de lodo, foram utilizados materiais estruturantes disponíveis no local, sendo eles cavaco de madeira e casca de eucalipto. A conformação final do sistema é apresentada na Figura 2c.



Figura 2: Montagem dos sistemas de leiras estáticas aeradas. (a) Inserção de dutos de distribuição de ar sob as leiras; (b) disposição de um meio absorvente do líquido lixiviado da leira; (c) conformação final das unidades experimentais 1, 2 e 3.

Assim, foram projetadas três conformações diferentes de secagem, variando o tipo de material estruturante e o modo de operação dos ventiladores, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Tratamentos conferidos a sistema de secagem de lodo.

Tratamento	Material estruturante	Proporção lodo: material estruturante v/v	Modo de operação do ventilador	Dimensões, altura x comprimento x largura m
1	Casca de eucalipto	5:1	Sucção de ar	0,58 x 2,26 x 1,24
2	Cavaco de madeira	5:1	Insuflação de ar	0,54 x 2,21 x 1,28
3	Casca de eucalipto	5:1	Insuflação de ar	0,58 x 2,20 x 1,28

Para o monitoramento da temperatura, utilizou-se o termômetro digital portátil da marca *Instrutherm*, modelo TH-096. O monitoramento da vazão foi feito indiretamente por meio da medição da velocidade do ar na entrada dos ventiladores, utilizando-se o anemômetro digital da marca *Instrutherm*, modelo TAVR-650. Em relação ao monitoramento de umidade, foram coletadas amostras na superfície, no centro e na base de cada tratamento, semanalmente, procedendo-se a análise conforme o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA *et al.*, 2012).

TERCEIRA ETAPA: ESTUDO PRELIMINAR DE VIABILIDADE ECONÔMICA DO DISPOSITIVO DE SECAGEM

A análise preliminar econômica englobou apenas os custos relacionados ao transporte, disposição final em aterro sanitário e energia elétrica. Foram excluídos os custos em comum aos sistemas, como a energia necessária para centrifugação do lodo, processo este feito na indústria. Ainda, não foram contabilizados os custos dos materiais estruturantes, cavaco de madeira e casca de eucalipto e nem os custos para aquisição, operação e manutenção dos dispositivos de secagem.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 apresenta os resultados dos ensaios de caracterização física e química do lodo biológico.

Tabela 2: Caracterização física e química do lodo biológico.

Parâmetro	Sólidos totais %	Sólidos fixos %	Sólidos voláteis %	Umidade %	pH a 25° C
Média*	12 ± 0.58	24 ± 0.20	76 ± 0.20	87 ± 0.58	7.2

*média de 3 repetições

Quanto à periculosidade, o resíduo foi classificado como Classe II A, ou seja, não perigoso e não inerte, conforme a NBR 10.004 (ABNT, 2004a).

No que tange ao monitoramento dos dispositivos de secagem, a Tabela 3 apresenta a vazão de ar injetada nos dispositivos; e as figuras 3, 4 e 5 apresentam o teor de umidade ao longo do tempo dos Tratamentos 1, 2 e 3, respectivamente, para os três pontos analisados: superfície, centro e base.

Tabela 3: Caracterização de cada tratamento quanto à vazão média de ar aplicado em relação ao volume inicial de cada leira.

	Vazão média de ar injetado m ³ /s	Jornada de trabalho da bomba h/d	Volume inicial da mistura – lodo com material estruturante L
Tratamento 1	0,13	12	960
Tratamento 2	0,13	12	960
Tratamento 3	0,12	12	960

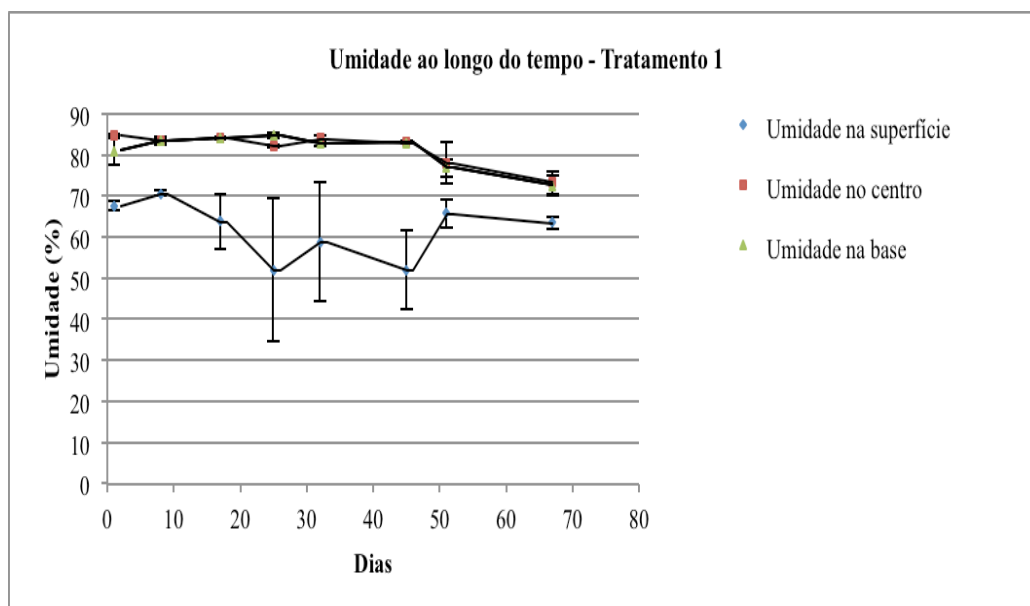


Figura 3: Umidade média (2 repetições) do Tratamento 1 (mistura de lodo com casca de eucalipto, no modo sucção de ar) em três pontos de monitoramento: superfície, centro e base.

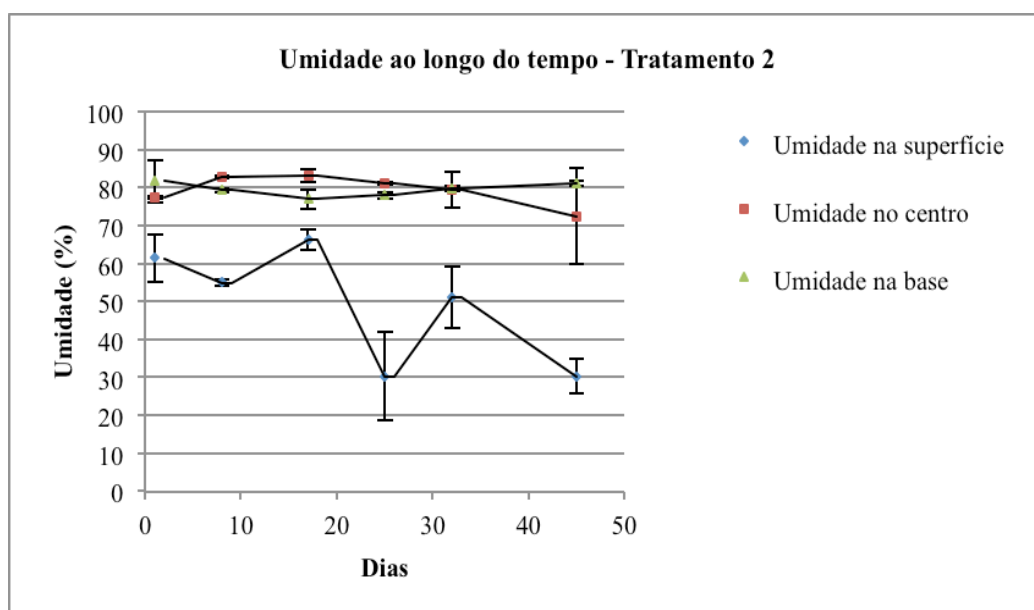


Figura 4: Umidade média (2 repetições) do Tratamento 2 (mistura de lodo com cavaco de madeira, no modo insuflação de ar) em três pontos de monitoramento: superfície, centro e base.

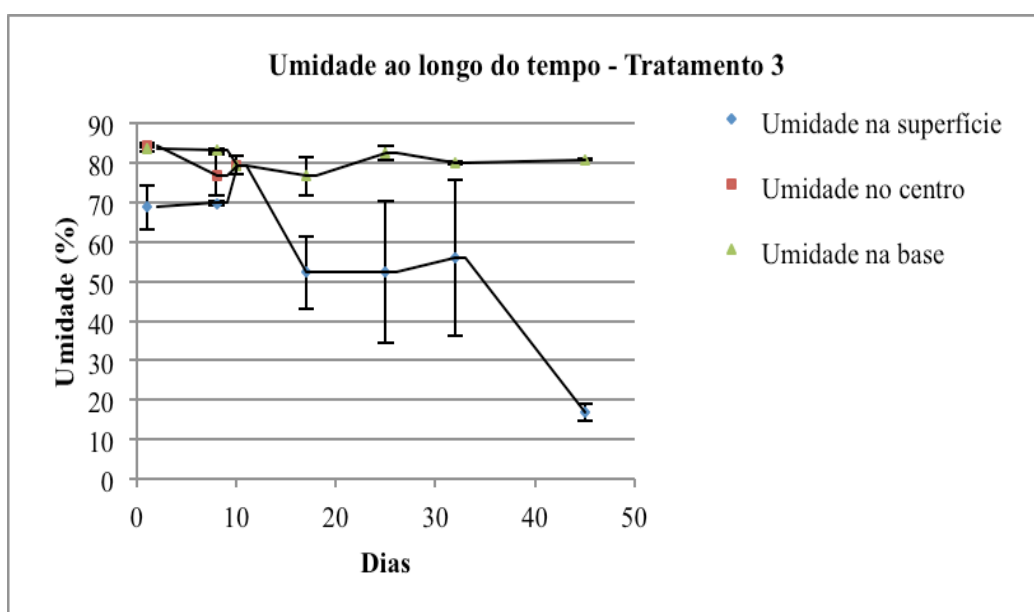


Figura 5: Umidade média (2 repetições) do Tratamento 3 (mistura de lodo com casca de eucalipto, no modo insuflação de ar) em três pontos de monitoramento: superfície, centro e base.

Para o Tratamento 1 (mistura de lodo com casca de eucalipto, no modo sucção de ar) (Figura 3), observa-se que a umidade na superfície decresceu ao longo do tempo, enquanto que as umidades da base e do centro não apresentaram redução, permanecendo na faixa de 80 a 85%. Tal assertiva pode ser explicada pelo fato de a massa de lodo se apresentar adensada e com baixa porosidade, além disso, a vazão de ar insuflada pode não ter sido suficiente para o volume da mistura aplicado ($13 \text{ m}^3/\text{s}$ de ar para 960L da mistura). A redução de umidade da superfície pode ter sido devido à própria circulação de ar natural no ambiente e à incidência solar, que em determinadas horas do dia, atingia a superfície da leira.

Tendo em vista que as umidades do centro e da base não apresentaram decaimento expressivo, o Tratamento 1 passou a funcionar no processo *Windrow* a partir do dia 46^o, com reviramento manual duas vezes por semana.

Observa-se que a partir de tal dia, as umidades do centro e da base apresentaram decaimento, atingindo um valor final médio de 73%. Em relação à superfície, a umidade final média foi em torno de 63%. A menor umidade na superfície pode ser justificada pela interferência da ventilação natural, promovendo a secagem nas camadas mais superficiais da mistura.

No que se refere ao Tratamento 2 (mistura de lodo com cavaco de madeira, no modo insuflação de ar) (Figura 4), assim, como no Tratamento 1, o decaimento de umidade foi mais expressivo na superfície do que no centro e na base.

Em relação ao Tratamento 3 (mistura de lodo com casca de eucalipto, no modo insuflação de ar) (Figura 5), houve uma redução significativa de umidade na base a partir do décimo dia. Isso porque tal Tratamento foi adaptado no décimo dia de experimentação, com redução da altura pela metade e agregação de mais 20% de casca de eucalipto do volume inicial da mistura.

A partir das figuras 3 a 5, pode-se observar que a redução de umidade na superfície foi mais expressiva que a redução de umidade no centro e na base em relação a todas as leiras, o que pode ser explicado pela influência da ventilação natural, bem como a incidência de radiação solar sobre os tratamentos em determinadas horas do dia. A baixa redução de umidade no centro e na base pode ser devido à baixa vazão de ar aplicada e/ou baixa porosidade da mistura.

Comparando-se as figuras 3, referente ao Tratamento 1 (lodo com casca de eucalipto; sucção de ar) e 5, referente ao Tratamento 3 (lodo com casca de eucalipto; insuflação de ar), a partir do momento em que foram feitas adaptações aos sistemas (o Tratamento 1 funcionando pelo processo *Windrow*, e Tratamento 3 com maior proporção de material estruturante e menor volume), observa-se que a baixa redução de umidade no centro e na base da leira referente ao Tratamento 3 pode ser devido ao não revolvimento da mistura. Observa-se que mesmo após se agregar mais material estruturante, a variação de umidade no centro e na base do Tratamento 3 foi mínima, permanecendo em torno de 80% (Figura 5, a partir do 10º dia); entretanto, ao revirar a leira referente ao Tratamento 1, a umidade começou a decrescer, atingindo um valor em torno de 70%.

Em relação ao monitoramento das temperaturas nos diferentes eixos de cada leira ao longo do tempo, constatou-se que não houve aumento significativo de temperatura em nenhuma das leiras e em nenhum ponto de monitoramento, pois a temperatura permaneceu em torno de 20°C. Sendo assim, pode-se inferir que não estava havendo degradação aeróbia da matéria orgânica, já que a temperatura é um indicador da atividade metabólica dos micro-organismos. A baixa atividade microbiana pode ser devido à alta umidade da mistura, a qual se apresentou em torno de 80% a 70% nas camadas mais profundas, não representando uma condição ideal para o crescimento microbiano.

A Tabela 4 apresenta os resultados referentes à análise econômica do sistema. O Tratamento 1 não foi englobado em tal análise, tendo em vista que sua umidade média ao final do processo foi maior que 60% e, segundo Werther e Ogada (1999), para a combustão do lodo biológico é necessário que o mesmo apresente um teor de sólidos totais mínimo de 60%.

Tabela 4: Custo mensal por metro cúbico para secagem da mistura de lodo biológico e material estruturante de umidade média de 60%.

	Tratamento 2 R\$/m ³ .mês	Tratamento 3 R\$/m ³ .mês
Transporte e disposição no aterro, sem secagem	96,00	96,00
Secagem (até atingir umidade média de 60% ou inferior)	105,25	101,80

*Valores correspondente ao mês de agosto de 2013.

Observa-se que, para os Tratamentos 2 e 3, em que foram empregados cavaco de madeira e casca de eucalipto como materiais estruturantes, respectivamente, os custos para secagem de 1 m³ de lodo foram próximos, entretanto maiores que o custo para transporte e aterro. Para se concluir, de fato, sobre a viabilidade econômica da secagem do lodo por aeração forçada, deve-se levar também em consideração a possibilidade de empregar o lodo biológico como combustível na indústria.

CONCLUSÕES

Não foram observadas diferenças qualitativas entre os tratamentos 1, 2 e 3, quando se analisa os extratos base e centro, tendo em vista que o comportamento da umidade ao longo do tempo em ambos os tratamentos foi similar. Tal assertiva pode ser explicada pelo fato de a massa de lodo se apresentar adensada e com baixa porosidade e, além disso, a vazão de ar insuflada pode não ter sido suficiente para o volume da mistura aplicado.

Em relação à área superficial das pilhas, a queda de umidade foi maior para o Tratamento 3. Essa redução pode ter sido devido à circulação de ar natural no ambiente e à incidência solar, que em determinadas horas do dia, atingia a superfície da leira. Em relação aos materiais estruturantes, ambos pareceram se comportar de modo semelhante no que tange a eficiência de secagem.

Baseado nos resultados preliminares da análise econômica, nenhum tratamento por aeração forçada mostrou-se viável, quando comparado com o custo para disposição final do lodo biológico em aterro. Entretanto, a análise preliminar não computou a possibilidade de reaproveitamento energético do biossólido. Sendo assim, é preciso conduzir um estudo mais detalhado, a fim de se concluir sobre a viabilidade econômica da secagem por aeração forçada do lodo.

Recomenda-se ainda para trabalhos futuros a insuflação de ar previamente aquecido ao sistema, seja por meio do aquecimento solar ou pelo próprio rejeito de calor proveniente da indústria, bem como o revolvimento frequente das pilhas, de modo que haja homogeneidade na distribuição de ar sobre as mesmas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1981) NBR 6922: Carvão vegetal – Ensaio físicos determinação da massa específica (densidade à granel). Rio de Janeiro, Brasil.
2. Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2004a) NBR 10004: Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, Brasil.
3. Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2004b) NBR 10005: Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, Brasil.
4. Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2004c) NBR 10006: Procedimento para obtenção e extrato solubilizado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, Brasil.
5. APHA - American Public Health Association. (2012) Standard methods for the examination of water and wastewater. 22.ed. Baltimore, EUA.
6. Werther, J.; Ogada, T. (1999) Sewage sludge combustion. Progress in Energy and Combustion Science, 25, 55-116.