



XI SILUBESA

Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

28/03 a 02/04/2004 - Natal - Rio Grande do Norte - Brasil

II-006 - TRATAMENTO TÉRMICO DE LODO ANAERÓBIO, A PARTIR DA QUEIMA DO BIOGÁS GERADO EM REATORES UASB, OBJETIVANDO O AUMENTO DA BIODEGRADABILIDADE DA FRAÇÃO ORGÂNICA

Eduardo Sales Machado Borges

Engenheiro Civil. Doutorando pelo Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos (UFMG). Professor da Escola Agrotécnica Federal de Barbacena.

Carlos Augusto De Lemos Chernicharo⁽¹⁾

Engenheiro Civil e Sanitarista. Doutor em Engenharia Ambiental pela Universidade de Newcastle upon Tyne – UK. Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (UFMG)

Fernando Silva de Paula

Graduando em Engenharia Civil (UFMG). Bolsista de Iniciação Científica pelo programa CNPq/PIBIC – UFMG

Endereço⁽¹⁾ : Rua Gonçalves Dias, Nº 1846 – apto 901, bairro Lourdes, CEP: 30140-092, Belo Horizonte. Minas Gerais. Fax: (31) 32381879, Tel.: (31) 32912449,

 calemos@desa.ufmg.br

RESUMO

O trabalho objetivou avaliar, a partir de um sistema simplificado, o tratamento térmico do lodo excedente de reatores UASB, a partir da queima do biogás gerado nestes reatores, almejando-se melhorar as características de biodegradabilidade da fração orgânica remanescente neste lodo.

O trabalho experimental foi desenvolvido nos laboratórios do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Escola de Engenharia da UFMG, sendo o aparato, em escala piloto, constituído de um reator UASB de 420 L, dois reservatórios de biogás, cuja capacidade total de reservação era de aproximadamente de 220 L/d e um reator térmico de 5 L.

Os resultados obtidos indicam que o sistema simplificado aqui avaliado apresenta-se como uma importante, útil e promissora alternativa para o emprego do biogás gerado em reatores UASB, uma vez que o uso deste como fonte de energia calorífica permitiu que se alcançasse, no lodo tratado termicamente, aumentos da ordem de 60 vezes na DBO filtrada, e da ordem de 30% na DBO total, levando-se assim à conclusão de que ganhos substanciais foram alcançados frente às características de biodegradabilidade do lodo tratado termicamente.

PALAVRAS-CHAVE: Biodegradabilidade, Biogás, Lodo excedente, Reatores UASB, Tratamento térmico

INTRODUÇÃO/OBJETIVOS

De um modo geral, na digestão anaeróbia, a fase metanogênica é considerada a etapa limitante de todo o processo. No entanto, quando substratos particulados, tais como lodo, são considerados, a hidrólise, normalmente, é a etapa que limita e regula toda a cinética do processo (WOODARD & WUKASCH, 1994; EASTMAN & FERGUSON, 1981, citados por DELGENÈS et al., 2000). Deste modo, em tais situações é necessário que se atue nesta etapa limitante (hidrólise), a qual pode ser alcançada a partir de métodos biológicos, químicos, físicos e mecânicos, tais como digestão anaeróbia, tratamento térmico, tratamento termo-químico, oxidação úmida, homogeneizadores de alta pressão e

moinhos de bola, dentre outros.

No que se refere aos sistemas de tratamento de esgotos, comparando-se os sistemas aeróbios e anaeróbios, com relação à geração de lodo, os processos anaeróbios destacam-se por apresentar uma baixa produção, com boa desidratabilidade e elevada concentração do lodo excedente (CHERNICHARO, 1997). Estes fatores são de fundamental importância, visto que os custos com tratamento e disposição final do lodo situam-se normalmente entre 20% e 60% do custo operacional de uma ETE, mesmo representando o lodo apenas 1% a 2% do volume do esgoto tratado (ANDREOLI et al., 2001). Adicionalmente, ao tratar as águas residuárias os sistemas anaeróbios, além do lodo excedente, geram ainda um outro "subproduto", que é o biogás.

Segundo MULDER (2001), a emissão global de metano está estimada em 500 milhões de toneladas por ano, sendo que os sistemas anaeróbios de tratamento de esgoto contribuem com cerca de 5 % deste total, ou seja, cerca de 25 milhões de toneladas. A queima deste biogás, portanto, além de contribuir para o meio ambiente, uma vez que o metano é cerca de 30 vezes mais impactante que o gás carbônico, na contribuição para o aumento do efeito estufa (EVANS, 2001), poderá propiciar o aproveitamento deste como uma fonte de energia calorífica.

Nesse contexto, o presente trabalho objetiva avaliar, a partir de um sistema simplificado, o tratamento térmico do lodo excedente de reatores UASB, a partir da queima do biogás gerado nestes reatores, almejando-se melhorar as características de biodegradabilidade da fração orgânica remanescente neste lodo. O aumento de biodegradabilidade poderá propiciar também o aumento do grau de estabilização do lodo e da produção de biogás, na eventualidade do mesmo ser retornado para o interior do reator anaeróbio, após a etapa de tratamento térmico.

MATERIAL E MÉTODOS

Aparato experimental

O trabalho experimental foi desenvolvido nos laboratórios do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Escola de Engenharia da UFMG, sendo o aparato, em escala piloto, constituído de um reator UASB de 420 L, dois reservatórios de biogás, cuja capacidade total de reservação era de aproximadamente de 220 L/d, e um reator térmico de 5 L. Apresenta-se na figura 1 a disposição do aparato experimental, destacando-se os sistemas de coleta, armazenamento e queima do biogás, além do reator onde o lodo era tratado termicamente.

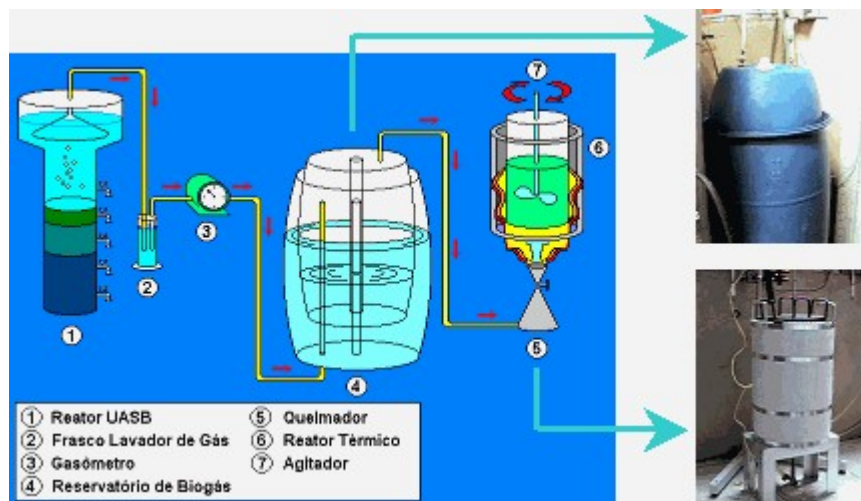


Figura 1 – Disposição esquemática do aparato experimental

Protocolo dos testes

Como o biogás é produzido continuamente e o descarte do lodo é realizado em bateladas, para atingir-se as condições de trabalho desejadas, armazenou-se o biogás produzido, para posterior queima no momento do tratamento térmico do lodo. Este armazenamento permitiu a aplicação de pressão no biogás no decorrer do processo de queima, o que propiciou alcançar temperaturas mais elevadas em espaços de tempo mais curtos, tendo como consequência uma menor período de tempo no tratamento do lodo. As pressões empregadas no decorrer dos ensaios situaram-se entre 5,5 e 6,5 cm de coluna d'água, tendo o tratamento térmico se desenvolvido no período de 7 horas.

No decorrer dos ensaios o lodo foi mantido em constante agitação, objetivando-se minimizar a sedimentação de sólidos e a formação de gradiente de temperatura ao longo da altura do volume de lodo aquecido, uma vez que o queimador do

biogás foi instalado sob o reator térmico. Após início da agitação, coletava-se a primeira amostra (tempo zero de aquecimento – temperatura ambiente), iniciando-se assim o aquecimento do lodo, sendo as demais amostras coletadas a 1,5, 3, 5 e 7 horas de aquecimento. O trabalho experimental foi desenvolvido em duas etapas distintas, conforme apresentado a seguir.

Tabela 1 – Diferentes etapas de trabalho, realizadas durante a fase experimental

Etapas de trabalho	Amostras coletadas	Tempo de aquecimento (h)	Temperatura no ato da coleta ($^{\circ}\text{C}$)
Etapla 1	1	0	23
	2	1,5	70
	3	3,0	70
	4	5,0	70
	5	7,0	70
Etapla 2	1	0	25
	2	1,5	50
	3	3,0	64
	4	5,0	72
	5	7,0	74

Observações:

1. Na primeira etapa de trabalho a amostra 1 era coletada à temperatura ambiente, e as demais somente a partir do instante em que atingia-se a temperatura de $70 \pm 2^{\circ}\text{C}$, a qual era a temperatura de referência para trabalho neste momento da pesquisa. O tempo gasto para que se elevasse a temperatura de 24°C a 70°C situou-se em torno de 30 minutos. Atingida a temperatura de 70°C , passou-se então a computar o tempo para coleta da amostra 2 (1,5 h) e das demais. Na etapa 2 os tempos correspondentes às coletas de amostras correspondem efetivamente aos tempos de aquecimento;
2. No decorrer da etapa 1, atingir a temperatura de 70°C somente a partir da queima do biogás, por se trabalhar com baixas vazões, demandaria elevados tempo de trabalho e volume de biogás. Sendo assim, empregou-se uma outra fonte de energia térmica (gás de cozinha) até atingir-se tal ponto. A partir deste momento passou-se então ao emprego do biogás, o qual foi utilizado somente para manter a temperatura de trabalho. Já na etapa 2, empregou-se somente o biogás como fonte de energia calorífica desde o início do aquecimento, não tendo sido realizada nenhuma intervenção no decorrer dos ensaios, permitindo-se assim o desenvolvimento espontâneo da temperatura.

Para avaliar a biodegradabilidade das amostras, submetidas a diferentes temperaturas e tempos de aquecimento, foram realizadas análises de DBO, empregando-se duas metodologias distintas, que foram o Método Titulométrico tradicional e o Método Manométrico - Sistema Oxitop, conforme procedimentos constantes no *Standard Methods* (AWWA/APHA/WEF, 1998) e no manual do fabricante. No emprego do Método Titulométrico, cada amostra de lodo foi fracionada em duas partes, sendo que uma destas passou por um processo de extração da matéria orgânica (Método de extração por vaporização - ZHANG et al., 1999) e a outra foi somente filtrada. Já no Método Manométrico (Sistema Oxitop), as amostras foram analisadas tal como eram coletadas, não sendo, portanto, submetidas a nenhuma forma de preparo, tendo assim se analisado a DBO total destas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apresenta-se a seguir, na forma de tabela e gráficos, valores das concentrações quantificadas, acompanhados da temperatura e do tempo de aquecimento, relacionados ao momento no qual a amostra foi coletada.

Tabela 2 – Estatística descritiva das concentrações de DBO (mg/L) verificadas nas duas etapas de trabalho, para os 2 métodos de ensaio empregados

		Etapa 1					Etapa 2				
Tempo de exposição (horas)		0,0	1,5	3,0	5,0	7,0	0,0	1,5	3,0	5,0	7,0
Temperatura (°C)		23	70	70	70	70	25	50	64	72	74
DBOextração	Número de amostras	9	12	12	12	12	7	7	9	9	9
Método titulométrico	Média	1394	3517	3867	4094	4615	583	1812	2716	3383	3807
	Máximo	3120	5434	6760	5980	8840	928	2957	3592	4639	4810
	Mínimo	429	2215	2725	3065	3235	150	612	1688	2335	2704
	Desvio Padrão	831	919	1174	931	1594	277	1027	760	761	739
	Aumento (N ⁰ vezes)	1,0	2,5	2,8	2,9	3,3	1,0	3,1	4,7	5,8	6,5
DBOfiltrada	Número de amostras	6	11	12	12	12	9	7	9	9	9
Método titulométrico	Média	61	2265	2426	2816	2972	52	1044	2315	2866	3163
	Máximo	110	3100	2957	3600	4200	77	1809	3321	3822	4311
	Mínimo	37	1768	1813	2044	2238	18	393	1344	1479	1831
	Desvio Padrão	32	478	374	504	590	18	559	586	694	723
	Aumento (N ⁰ vezes)	1	37	40	46	49	1	20	45	56	61
DBOtotal	Número de amostras	7	7	7	7	7	10	10	10	10	10
Sistema Oxítóp	Média	6806	8355	8467	8439	8755	11683	12948	14078	14561	15338
	Máximo	9099	9880	10249	12067	10679	16729	17439	19969	22659	21109
	Mínimo	4598	6158	5448	4178	4458	6969	6302	8028	8298	7448
	Desvio Padrão	1470	1129	1604	2456	2282	3557	4459	4612	5041	5201
	Variação(%)	0	23	24	24	29	0	11	21	25	31

Etapa 1: Aquecimento sob temperatura constante

As Figuras 2, 3, 4 e 5, a seguir, apresentam o comportamento dos resultados obtidos na etapa 1, para as duas metodologias distintas de análise de DBO, sendo que as Figuras 2 e 4 apresentam o conjunto de todos os valores (para cada metodologia), e as figuras 3 e 5 apresentam, juntamente com a temperatura, os valores médios constantes na Tabela 2. Adicionalmente, ressalta-se que a Figura 5 apresenta as curvas médias de desenvolvimento da DBO, no decorrer de todo o teste, uma vez que o equipamento permite este tipo de avaliação.

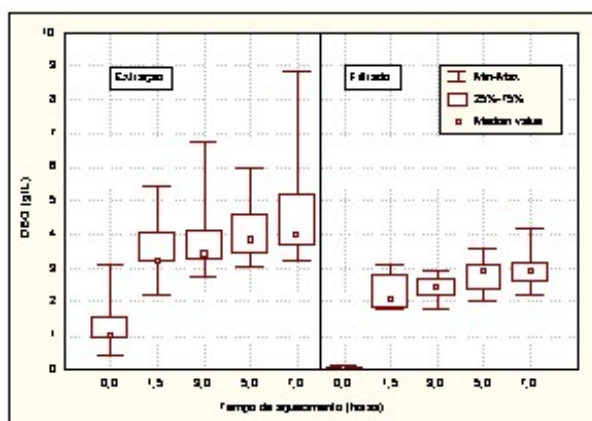


Figura 2: Variação da DBO – Método Titulométrico (etapa 1).

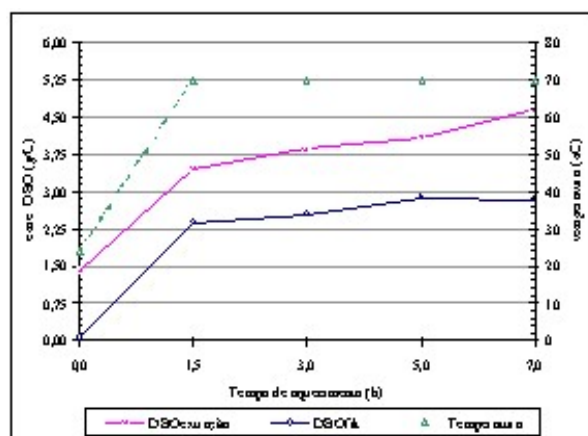


Figura 3: Variação da DBO e da temperatura - valores médios (Método Titulométrico, etapa 1).

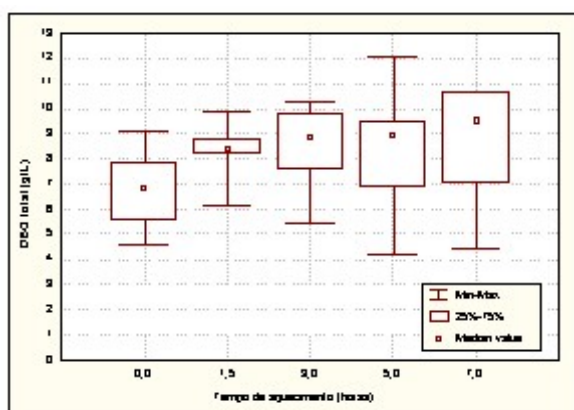


Figura 4: - Variação da DBO total – Sistema Oxitop (etapa 1).

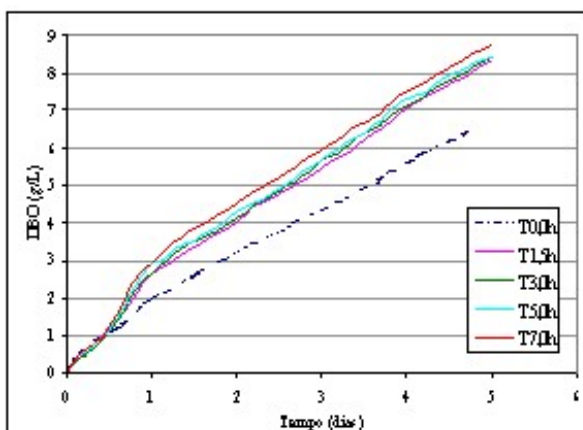


Figura 5: Curvas médias de variação da DBO total, com o tempo e a temperatura de aquecimento (Sistema Oxitop, etapa 1).

Observação: Os valores apresentados na Figura 4 referem-se aos valores de DBO quantificados no final dos 5 dias do teste de DBO - Sistema Oxitop, sendo, portanto, os valores correspondentes ao último ponto de cada uma das curvas, obtidas a cada ensaio, tal como apresentadas na Figura 5, lembrando que neste último as curvas são de valores médios.

Analisando-se as Figuras 2 e 3, que apresentam os resultados de DBO obtidos a partir do Método Titulométrico, e a Tabela 2, percebe-se, tanto para os valores médios quanto na apresentação gráfica do comportamento de todos os valores obtidos, uma variação crescente na concentração da DBO, entre as amostras coletadas a diferentes tempo e temperatura de aquecimento. Tal fato é também percebido nos resultados obtidos a partir do Sistema Oxitop de análise de DBO, cujos resultados são apresentados nas Figuras 4 e 5, e também na Tabela 2. Como todas as amostras, dentro de cada metodologia, foram submetidas às mesmas condições de ensaio, tendo variado somente os tempos e as temperaturas de coleta, tais resultados indicam uma relação direta entre a melhora da biodegradabilidade do lodo e os parâmetros tempo e temperatura de ensaio. Ou seja, os resultados indicam que o lodo torna-se mais biodegradável à medida em que se aumentam o tempo e a temperatura de aquecimento.

Adicionalmente, lembrando que nesta etapa (etapa 1) as amostras foram primeiramente levadas à temperatura de 70°C (pois esta era a temperatura de trabalho almejada nesta fase), para depois então iniciar-se o cômputo do tempo de aquecimento, percebe-se nas Figuras 2, 3, 4 e 5 que os saltos mais significativos na concentração de DBO deram-se até o tempo de 1,5 hora de aquecimento, havendo ainda uma melhora da biodegradabilidade, com o passar do tempo e o

com o aumento da temperatura, até o final dos ensaios, embora de maneira menos intensa. Tais resultados podem ser melhor visualizados na Tabela 2, onde, por exemplo, os valores médios de DBO filtrada saíram de 61 mg/L, nas amostras sem aquecer, chegando a 2.265 mg/L após 1,5 hora de aquecimento, e a 2.972 mg/L após 7 horas de aquecimento (valores estes 37 e 49 vezes maiores que o valor médio verificado nas amostras que não foram submetidas ao aquecimento, respectivamente). Já no teste manométrico (Sistema Oxitop), os valores médios de DBO total saíram de 6.806 mg/L, na amostras sem aquecer, chegando a 8.355 mg/L, após 1,5 hora de aquecimento, e a 8.755 mg/L após 7 horas de aquecimento (valores estes, respectivamente, cerca de 23 % e 29 % maiores que o valor médio verificado nas amostras que não foram submetidas ao aquecimento).

Etapa 2: Aquecimento sob variação espontânea da temperatura

As Figuras 6, 7, 8 e 9, a seguir, apresentam o comportamento dos resultados obtidos na etapa 2, para o parâmetro DBO, a partir das duas metodologias distintas, sendo que as Figuras 6 e 8 apresentam o conjunto de todos os valores (para cada metodologia), e as figuras 7 e 9 apresentam, juntamente com a temperatura, os valores médios constantes na Tabela 2. Adicionalmente, ressalta-se, também aqui, que a Figura 9 apresenta as curvas médias de desenvolvimento da DBO, no decorrer de todo o teste.

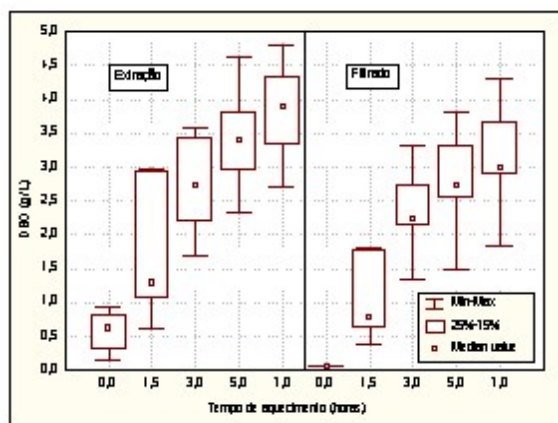


Figura 6: Variação da DBO – Método Titulométrico (etapa 2).

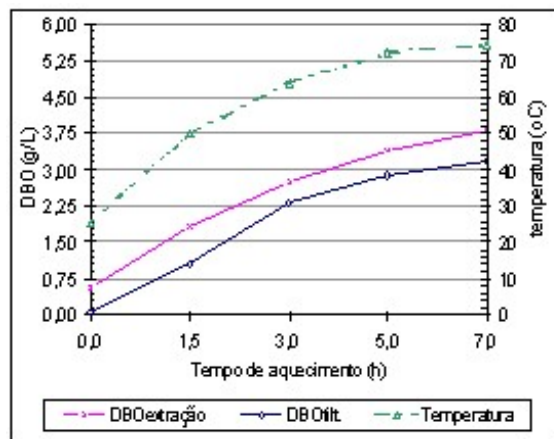


Figura 7: Variação da DBO e da temperatura – valores médios (Método Titulométrico, etapa 2).

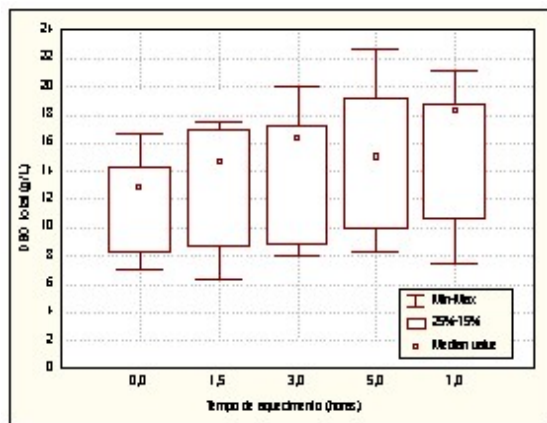


Figura 8: - Variação da DBO total – Sistema Oxitop (etapa 2).

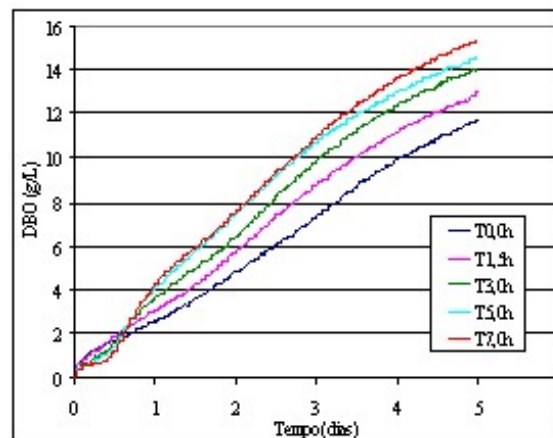


Figura 9: Curvas médias de variação da DBO total, com o tempo e a temperatura de aquecimento (Sistema Oxitop, etapa 2).

Também na etapa 2, tal como na etapa 1, os resultados, constantes na Tabela 2 e nas Figuras 6, 7, 8 e 9, apresentam, para as duas metodologias de ensaio, uma variação crescente da concentração de DBO com o aumento do tempo e da temperatura de ensaio. Tais resultados, novamente, sugerem uma melhora da biodegradabilidade do lodo à medida em que aumentam-se os parâmetros tempo e temperatura de aquecimento. No entanto, aqui nesta etapa, diferentemente da etapa 1, o aumento da DBO deu-se de maneira mais distribuída e uniformizada, parecendo, inclusive, seguir o aumento da temperatura, desde o início ao final do aquecimento. Tal fato pode ser verificado na Tabela 2, onde, por exemplo, no método titulométrico, os valores médios de DBO filtrada variaram de 52 mg/L, na amostra coletada sem aquecimento, atingindo 1.044 mg/L, na amostra aquecida por 1,5 hora, e 3.163 mg/L na amostra submetida a 7 horas de aquecimento (estes valores são, respectivamente, cerca de 20 e 61 vezes maiores que o valor médio de DBO verificado na amostra que não foi aquecida). No método manométrico de ensaio (Sistema Oxitop), os valores médios de DBO total variaram de 11.683 mg/L, na amostra que não sofreu aquecimento, até 12.948 mg/L, na amostra aquecida durante 1,5 hora, e 15.338 mg/L na amostra submetida a 7 horas de aquecimento (tais valores são, respectivamente, cerca de 11 % e 31 % maiores que o valor médio verificado na amostra que não foi submetida a aquecimento).

Visto isso, segundo von SPERLING (1996), a matéria orgânica biodegradável, segundo a facilidade de degradação, pode ser dividida em rapidamente biodegradável e lentamente biodegradável, sendo que a fração rapidamente biodegradável apresenta-se usualmente na forma solúvel, e a fração lentamente biodegradável apresenta-se usualmente na forma particulada. Uma vez que os resultados obtidos, tanto na etapa 1 quanto na etapa 2, apresentam um aumento geral expressivo, principalmente da DBO filtrada, tem-se assim a indicação da desintegração térmica da fração orgânica presente no lodo, acarretando com isso um aumento da biodegradabilidade deste mesmo material, a partir do tratamento térmico.

Complementarmente, segundo SPERLING (1996) e KARLSSON e GORANSSON (1993), a maior ou menor biodegradabilidade de um substrato está relacionada ao tamanho das partículas a serem degradadas, sendo a fração solúvel a fração mais biodegradável. Uma vez que o aumento da DBO solúvel foi verificado, à medida em que aumentavam-se o tempo e a temperatura de ensaio, fica reforçada a relação direta entre o aumento da DBO (aumento da biodegradabilidade) e o aumento dos parâmetros tempo e temperatura de tratamento térmico do lodo anaeróbio excedente, a partir da queima do biogás produzido no reator UASB.

CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, a partir dos resultados obtidos tanto nas duas etapas de trabalhos quanto nas duas metodologias de ensaio empregadas, concluiu-se que:

- O emprego do biogás gerado em reatores UASB, como fonte de energia para tratamento térmico do lodo excedente, propiciou, na etapa 1, incrementos da ordem 3 vezes na DBO das amostras que foram submetidas ao processo de extração da matéria orgânica, da ordem de 50 vezes na DBO filtrada, e cerca de 29% na DBO total

(Método Manométrico), retratando assim uma maior biodegradabilidade da fração orgânica remanescente.

- O emprego do biogás gerado em reatores UASB, como fonte de energia para tratamento térmico do lodo excedente, propiciou, na etapa 2, incrementos da ordem 6 vezes na DBO das amostras que foram submetidas ao processo de extração da matéria orgânica, da ordem de 60 vezes na DBO filtrada, e cerca de 30% na DBO total (Método Manométrico), retratando assim uma maior biodegradabilidade da fração orgânica remanescente.
- O uso exclusivo do biogás gerado em reatores UASB (etapa 2), como fonte de energia calorífica para tratamento térmico de todo o lodo anaeróbio excedente, proporcionou sensíveis aumentos na DBO do lodo tratado termicamente.
- Com base nos resultados obtidos, o sistema simplificado aqui avaliado apresenta-se como uma importante, útil e promissora alternativa para o emprego do biogás gerado em sistemas anaeróbios de tratamento de esgoto, como também para o tratamento de lodos de descarte, mostrando-se de grande relevância para o Brasil e para os países em desenvolvimento.

AGRADECIMENTOS

- Ao PROSAB e à FAPEMIG, pelo apoio financeiro à pesquisa;
- À CAPES e ao CNPq, pela bolsa de doutorado do autor Eduardo Borges;
- Ao programa de bolsas da UFMG, PIBIC/CNPq, pela bolsa de iniciação científica do autor Fernando de Paula.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANDREOLI, C. V., VON SPERLING, M., FERNANDES, F. Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias. Lodo de esgotos: tratamento e disposição final. 1.ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, Companhia de Saneamento do Paraná, 2001. 484p. (Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias, V.6)
2. APHA, AWWA, WEF. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 20. ed. Washington: APHA/AWWA/WEF, 1998.
3. CHERNICHARO, C. A. L. Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias. Reatores Anaeróbios. 1.ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 1997. 246p. (Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias, V.5)
4. DELGENÈS, J. P. et al. Investigations on the changes in anaerobic biodegradability and biotoxicity of an industrial microbial biomass induced by a thermochemical pretreatment. Water Science and Technology, v. 41, n. 3, p. 137-144, 2000.
5. EASTMAN, J. A. & FERGUSON, J. F. Solubilization of particulate organic carbon during the acid phase of anaerobic digestion. J. Water Pollut. Control Fed., v. 53, n. 3, p. 352-366, 1981 apud DELGENÈS, J. P. et al. Investigations on the changes in anaerobic biodegradability and biotoxicity of an industrial microbial biomass induced by a thermochemical pretreatment. Water Science and Technology, v. 41, n. 3, p. 137-144, 2000
6. EVANS, G. Biowaste and biological waste treatment. London: James & James Scienc Publishers Ltd., 2001. 194p.
7. KARLSSON, I.; GORANSSON, J. Thermic sludge treatment. Water Science and Technology, v. 27, n. 5-6, p. 449-456, 1993.
8. MULDER, A. Optimisation of the methane recovery from anaerobic treatment sewage. In: 9th WORLD CONGRESS ANAEROBIC DIGESTION 2001. Anaerobic Conversion for Sustainability. Proceedings - Part 2, Antwerpen. Belgium. September 2-6, 2001.
9. von SPERLING, M. Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias. Princípios básicos do tratamento de esgotos. 1 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 1996. 211 p. (Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias, V.2).
10. WOODARD, S. E.; WUKASCH, R. F. A hydrolysis/thickening/filtration process for the treatment of waste activated sludge. Water Science and Technology, v. 30, n. 3, p. 29-38, 1994.
11. ZHANG X., BISHOP P. L., KINKLE, B. K. Comparison of extraction methods for quantifying extracellular polymers in biofilms. Wat. Sci, Tech. V. 39. N. 7, p. 211-218, 1999.