

**II-559 - AVALIAÇÃO DA VARIABILIDADE QUANTITATIVA E QUALITATIVA
DO BIOGÁS GERADO EM REATORES UASB TRATANDO
ESGOTO DOMÉSTICO**

Déborah de Freitas Melo⁽¹⁾

Engenheira Bioenergética pela Fundação Mineira de Educação e Cultura (FUMEC). Mestranda em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

Tomás Miranda Motta

Engenheiro Ambiental pela Fundação Mineira de Educação e Cultura (FUMEC).

Paulo Victor Caetano de Oliveira

Engenheiro Civil pela Fundação Mineira de Educação e Cultura (FUMEC).

Lucas Martins Machado

Graduando em Engenharia Civil na Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

Cláudio Leite de Souza

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Doutor em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos - Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

Endereço⁽¹⁾: Av. Antônio Carlos 6627 – Pampulha – Belo Horizonte/MG – Escola de Engenharia, Bloco 1 – sala 4541; CEP: 31270-901 – Brasil -- E-mail: deborahfmelo@hotmail.com.

RESUMO

O tratamento de esgotos domésticos pela via anaeróbia em estações de tratamento de esgoto (ETE) tem ganhado relevância, uma vez que este processo leva à formação de biogás, que pode ser aproveitado energeticamente. Porém, uma das maiores dificuldades encontradas em plantas operadas com reatores UASB em relação à produção de biogás é conhecer o comportamento da produção, para assim, estimar o quanto de biogás será produzido e quais as características desse gás. Outra dificuldade operacional dos reatores UASB está relacionada com a sua partida, sendo necessária a presença de microrganismos adaptados ao efluente. Diante disso, algumas estações optam por inocular o reator com lodo já adaptado, porém, em algumas situações, a inoculação não é possível, por dificuldades financeiras, operacionais e de logística, sendo necessário dar partida no reator sem inóculo. Com o intuito de aprofundar o conhecimento nessa lacuna, este trabalho foi desenvolvido objetivando interpretar o comportamento da produção de biogás e de metano, nas fases gasosas e líquidas e também das taxas de produção ao longo do dia, em um reator UASB auto inoculado, durante todo o ciclo, até a estabilização da produção. Os resultados mostram que a auto inoculação de um reator UASB leva a produções satisfatórias já em torno do dia 54, com uma produção de biogás em torno de 100 L/dia, com uma concentração de metano de cerca de 60%. As concentrações de metano dissolvido no efluente estiveram também dentro do esperado quando da operação já estabilizada, em torno de 40% da produção total de metano. À respeito das taxas de produção de biogás ao longo de um dia, pôde-se confirmar a tendência de comportamento, que mostra uma maior produção no período entre 12h e 24h, que pode estar associada às maiores temperaturas ocorridas nesse intervalo, sem descartar porém, a possibilidade dessa diferença estar relacionada também às variações da DQO afluente ao longo do dia. De forma geral, o trabalho permitiu compreender melhor o desenvolvimento da produção de biogás, no que diz respeito a quantidade e a qualidade do mesmo, obtendo valores de produção de biogás próximos dos valores calculados a partir de métodos teóricos.

PALAVRAS-CHAVE: Biogás, metano, metano dissolvido, reator UASB, esgotos domésticos.

INTRODUÇÃO

Em reatores anaeróbios a partida é determinante para o bom funcionamento e operação do mesmo, uma vez que a presença de microrganismos adaptados favorecerá a remoção da matéria orgânica com maior eficiência. Contudo, é ainda uma dificuldade das estações de tratamento de esgotos a promoção de uma partida satisfatória nos reatores, devido ao longo período necessário para o crescimento e adaptação dos microrganismos, conforme reportado em diversas literaturas (Lettinga et al., 1993; Kalogo et al., 2001; Chernicharo, 2007).

De acordo com Chernicharo e Borges (1996) a partida de reatores pode ocorrer de três formas: com inóculo adaptado ao efluente, o que promove uma partida rápida e eficiente; com inóculo não adaptado, o que requer um período de aclimação dos microrganismos; ou sem utilização de inóculo, que é então, considerada a forma mais desfavorável, pois nessas condições, o crescimento e a adaptação dos microrganismos são ainda mais demorados, podendo demorar de 4 a 6 meses.

O biogás, proveniente da digestão anaeróbia da matéria orgânica, apresenta composição razoavelmente uniforme quando o sistema é operado em condições estáveis (Chernicharo, 2007), sendo composto principalmente por metano e dióxido de carbono, além de outros gases em menores concentrações, como os gases de nitrogênio, oxigênio, hidrogênio e sulfeto de hidrogênio (Pecora, 2006). Entretanto, as rotas unitárias envolvidas na formação de metano não estão completamente estabelecidas (Chernicharo, 2007).

Em pesquisa realizada por Posseti et al. (2011) verificou-se, a partir de medições em tempo real, que a produção de biogás segue, em geral, um comportamento padrão, influenciado pelas chuvas e pelas características físico-químicas do esgoto bruto. Alcalinidade, pH, DBO, DQO e a vazão de esgoto descreveram também o mesmo comportamento. Foi constatado ainda que o teor de metano presente no biogás foi de 60%, estando dentro das faixas estabelecidas nas literaturas. Porém, o nível de correlação entre cada um dos parâmetros e a produção de biogás ainda não são conhecidos.

Nesse entrave, pesquisas tem avançado no sentido de se estudar melhor o processo da auto inoculação de reatores UASB, considerando que, apesar do elevado tempo para crescimento da biomassa, pode apresentar algumas vantagens, sobretudo, em relação à produção de biogás e metano.

Sendo assim, são objetivos do presente trabalho: i) avaliar a evolução da produção de biogás, da concentração de metano na fase gasosa e na fase líquida ao longo de ciclos de operação do reator UASB tratando esgotos domésticos, desde sua partida, por auto inoculação, até à estabilização da produção; ii) avaliar a variabilidade das taxas de produção de biogás ao longo de ciclos diários de operação, em um reator auto inoculado e, iii) avaliar a variabilidade da concentração de metano no biogás ao longo de ciclos diários de operação, em um reator auto inoculado.

METODOLOGIA

Descrição do aparato experimental

A pesquisa foi realizada no Centro de Pesquisa e Treinamento em Saneamento (CePTS) da UFMG, que está inserido na Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) Arrudas, em Belo Horizonte, Minas Gerais. A vazão afluente ao sistema instalado no CePTS corresponde ao efluente proveniente da ETE Arrudas após passar pelo tratamento preliminar, composto por gradeamentos e desarenadores.

Para o desenvolvimento dos objetivos foi utilizado um reator UASB em escala piloto (360 L), que operou por 2 ciclos, cada um com um período definido de 3 meses entre os descartes totais do lodo do reator, a fim de acompanhar a evolução da biomassa presente e sua associação com a produção de biogás e outros parâmetros.

Amostragem e monitoramento

Durante os ciclos foram realizadas análises de DBO₅, DQO, sólidos em suspensão (fixos e voláteis), perfil de sólidos na coluna do reator (voláteis e fixos), pH, OD, produção volumétrica de biogás, composição do biogás (% de CH₄, CO₂, e outros) e concentração de metano dissolvido no efluente do reator.

Para a análise do perfil de lodo presente no reator (sólidos totais e sólidos voláteis), foram analisados 5 pontos ao longo da coluna de digestão, sendo o P1 o ponto mais inferior, no leito de lodo e, o P5 o ponto mais superior, próximo à zona de decantação. A Figura 1 mostra um desenho esquemático dos pontos de coleta para a análise de sólidos e o reator UASB escala piloto.

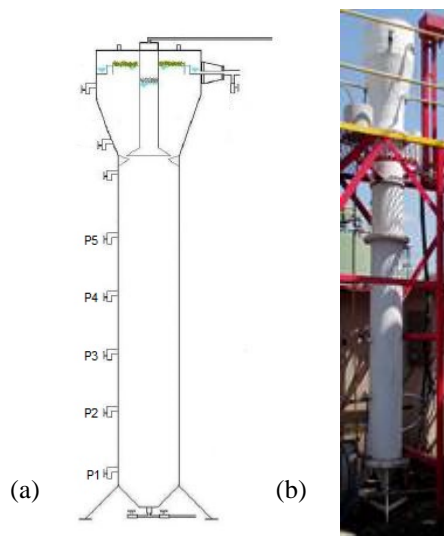


Figura 1 - Desenho esquemático (a) e foto (b) do reator UASB.

Para verificação da produção volumétrica diária do biogás, assim como a sua taxa de produção, foi utilizado um gasômetro do tipo tambor, do fabricante Ritter, com gerador de pulsos elétricos a partir da produção de gás. Ao gasômetro se associa um computador com software de registro e armazenamento dos dados, Rígamo, funcionando 24 horas por dia. Em eventualidades de inoperância do computador e/ou software, são utilizados os dados do sistema analógico de medição.

A amostragem e análise de metano dissolvido foram realizadas conforme Souza et al. (2011). As análises de DQO, sólidos em suspensão (totais e voláteis), perfil de lodo, pH e de sulfeto dissolvido no efluente foram realizadas conforme o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005). O biogás é coletado em seringas apropriadas e analisado via cromatografia gasosa.

O acompanhamento de variabilidade qualitativa do biogás ao longo do dia é feita por meio do analisador de gases portátil do fabricante Landtec, Biogás CDM. Tal analisador mede o percentual de CH₄, CO₂, O₂ entre outros. As análises são realizadas semanalmente, com coletas de 20 em 20 minutos na linha do biogás, contemplando turnos da manhã e da tarde, a fim de avaliar a influência da temperatura, sendo, para isso, coletados também os dados da estação meteorológica existente na área experimental.

As análises físico-químicas foram realizadas duas vezes por semana, à exceção da análise de lodo anaeróbio, feita quinzenalmente. O descarregamento dos dados de produção volumétrica e de taxa de produção era feito semanalmente para processamento. A composição do biogás ao longo do dia, feita também semanalmente.

Tratamento dos dados

A análise e interpretação dos dados foram realizadas a partir da estatística descritiva e dos testes estatísticos de hipóteses. Foram utilizados os softwares Statistica 8.0[®] e Microsoft Excel 2010[®] para realização das análises estatísticas.

Dados brutos foram tratados por meio da estatística descritiva e analisados para identificação de *outliers* (método da amplitude interquartis). Para o segundo e terceiro objetivos específicos deste trabalho foi utilizado também teste estatístico de hipóteses sobre dados. Foi escolhido o teste não paramétrico, por não se conhecer a normalidade dos dados.

Para análise das taxas de produção de biogás e da concentração de metano optou-se pelo teste de comparação entre amostras pareadas *Wilcoxon's matched pairs test.*, uma vez que no início da operação, devido à baixa quantidade de lodo presente no reator, a produção de biogás é muito pequena, o que distorceria a amostra em termos de média e mediana avaliadas, caso fossem comparadas como amostras independentes. Já para análise da temperatura ao longo do dia, optou-se por utilizar o teste de comparação entre medianas de amostras independentes, o teste *U de Mann-Whitney*.

RESULTADOS

Produção de biogás e metano em ciclos de auto inoculação

Foram concluídos dois ciclos de auto inoculação do reator UASB, os quais trabalharam com as condições operacionais conforme mostrado na Tabela 1.

Tabela 1: Condições médias operacionais do Reator UASB auto inoculado		
Ciclos de auto inoculação		
Período	1 31/05/2014 a 04/09/2014	2 05/09/2014 a 09/12/2014
Duração (dias)	96	96
Vazão (L/h)	55,7	51,2
TDH (h)	6,7	7,0
DQO afluente (mg/L)	671	572
Remoção DQO (%)	49,7	51,0

Em relação ao primeiro objetivo específico, percebe-se que a produção de biogás tende a se estabilizar em torno de 70-80 dias (Figura 2). Salienta-se que em ambos os ciclos houve um período sem registro de dados por dificuldades operacionais, mas que não inviabiliza a análise dos dados.

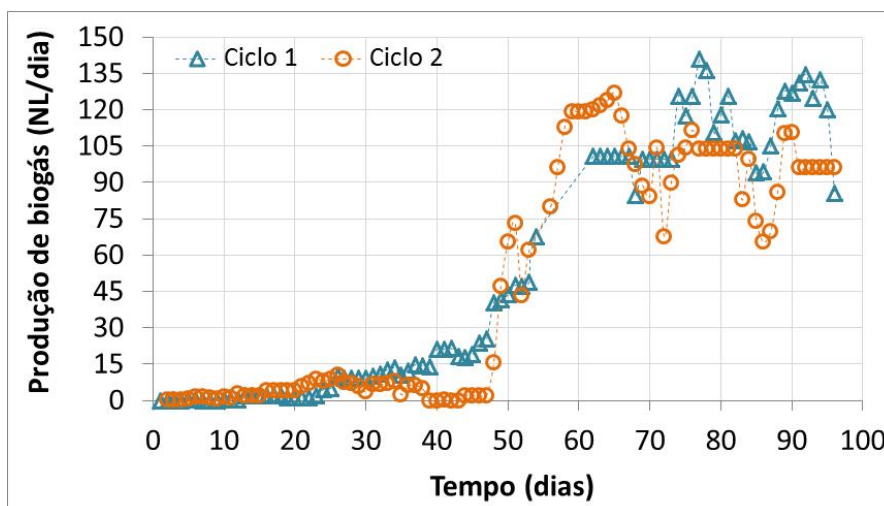


Figura 2: Série temporal da produção volumétrica de biogás em auto inoculação.

Nos ciclos analisados, a concentração de metano no biogás gerado foi bastante baixa no início, devido à ausência de biomassa presente no reator para promover a conversão da DQO em metano e, a partir do 50º dia de operação os valores encontrados estiveram dentro da faixa esperada para um reator em plena operação, conforme pode ser observado pela Figura 3a. Estando, a partir desse dia, a maioria dos dados dentro dos valores reportados pela literatura, entre 60-80 % de metano presente no biogás.

As concentrações de metano dissolvido apresentaram também um perfil crescente em ambos os ciclos estudados, estando de acordo com valores já encontrados por outros pesquisadores, como Souza (2010), com concentrações entre 15-20 mg/L (Figura 3b). No início do ciclo, apresentaram valores bem baixos, progrediram com crescimento gradual e, a partir do dia 50, as concentrações atingiram e se mantiveram dentro de valores esperados, assim como a concentração de metano na fase gasosa.

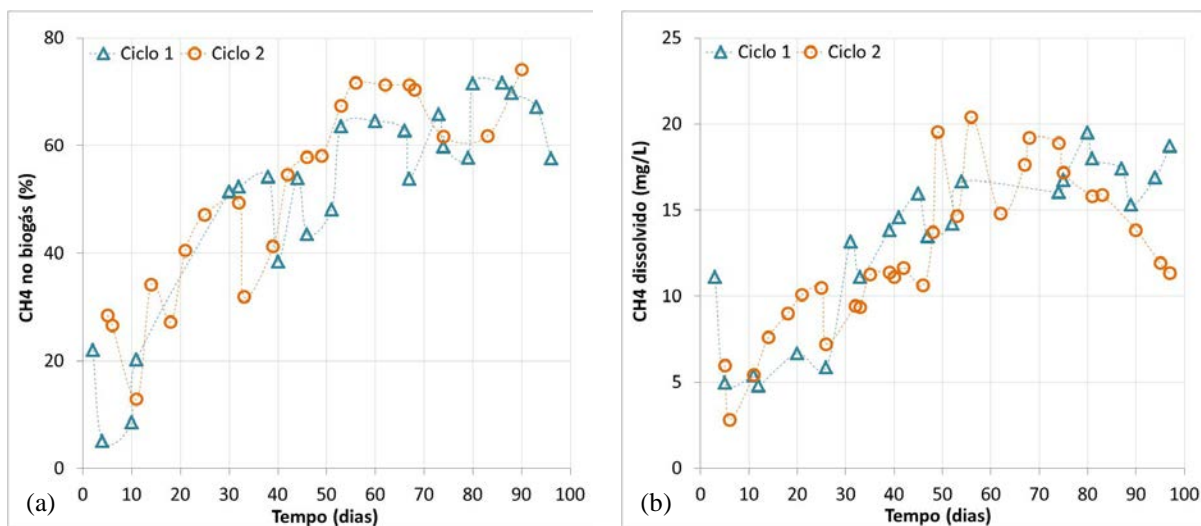


Figura 3: Séries temporais das concentrações de CH₄ no biogás (a) e de CH₄ dissolvido no efluente (b).

Outra análise interessante de se fazer a respeito das concentrações de metano presente no biogás e dissolvido no efluente é que quando ocorrem concentrações de metano no biogás relativamente baixas, a concentração de metano dissolvido no efluente tende a apresentar tendência similar e, quando a concentração de metano no biogás alcança valores elevados, a concentração de metano dissolvido no efluente tende a ser alta, o que ocorre quando os valores de produção, tanto na fase gasosa, quanto na fase líquida, atingem os valores mais esperados para reatores em operação normal, como pode ser observado na Figura 4.

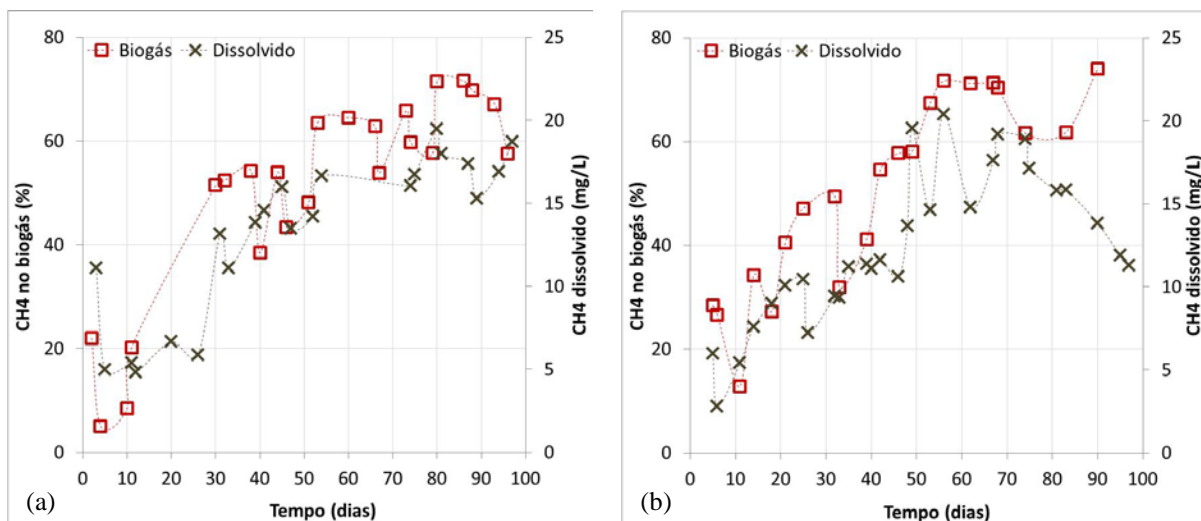


Figura 4: Séries temporais das concentrações de CH₄ no biogás e dissolvido no efluente, para o ciclo 1 (a) e ciclo 2 (b).

A estabilização da concentração de metano dissolvido pode ser explicada pela interpretação da Lei de Henry e da transferência de massa entre fases, conforme discutido em Souza (2010), no sentido de que, uma vez atingida a concentração de saturação no meio líquido, o composto começa a ser desprendido para a fase gasosa. O que sugere também o comportamento semelhante das curvas de metano no biogás e metano dissolvido observadas na Figura 4.

Em relação à massa total de sólidos voláteis no reator, observa-se também um crescimento gradual ao longo do ciclo de operação (Figura 5). Nota-se que, em ambos os ciclos, a quantidade de sólidos voláteis tendeu a valores semelhantes, dentro de um mesmo tempo de operação. Salienta-se ainda que a quantidade de lodo nos dois ciclos para a qual a concentração de metano no biogás e dissolvido no efluente chegaram a valores próximos dos esperados (por volta dos dias 50-70) foi de 2.000 gSV.

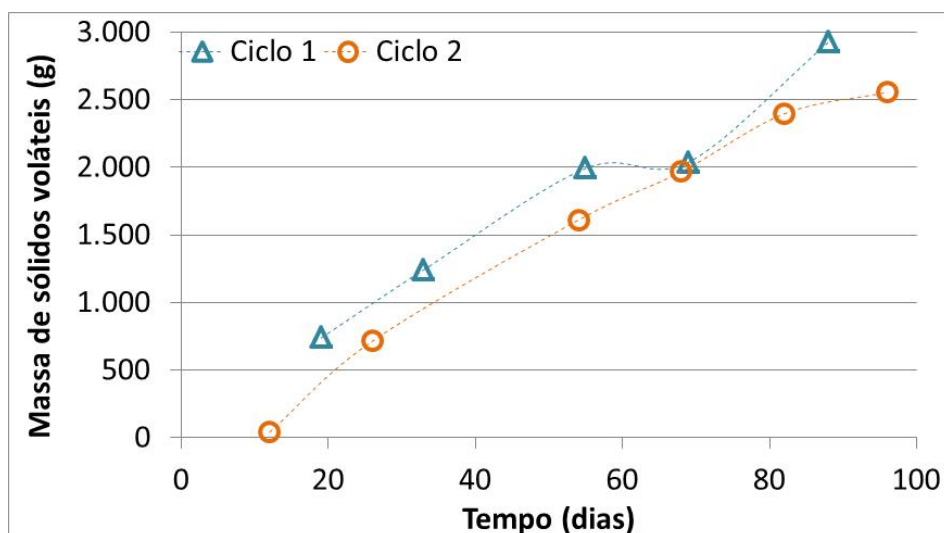


Figura 5 – Massa de lodo no reator

Em relação à estabilização do lodo no reator (relação SV/ST, Figura 7), observa-se nos dois ciclos analisados que, no início, o lodo localizado no leito (primeiros pontos: P2 e P3) possuía elevada estabilidade (baixa relação STV/ST), ao contrário dos demais pontos. Depois, por volta do dia 60, os valores se aproximaram em toda a coluna do reator (P1 a P5), com relação SV/ST média de 0,64, o que é considerado um lodo de boa estabilidade de acordo com Chernicharo (2007).

Com a estabilidade do lodo no reator relativamente constante a partir dos dias 60-70 e com a quantidade de lodo total ainda em progressão crescente, entende-se que o sistema havia atingido uma relação alimento/microrganismo necessária, abaixo da qual a produção de biogás se daria em quantidade apreciável. Assim, pode-se inferir que as produções esperadas e aproveitáveis de metano e biogás no reator UASB estejam associadas não somente às eficiências de remoção de DQO, mas principalmente a uma quantidade mínima de microrganismos, provocada pelo crescimento da camada de lodo ao longo da coluna de digestão do reator.

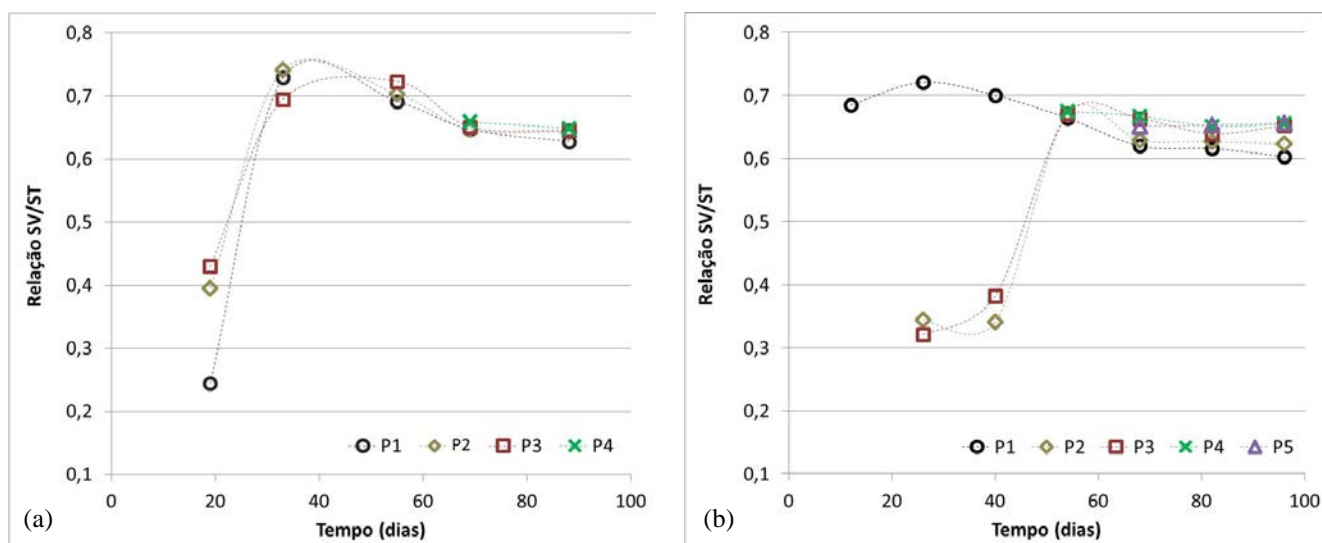


Figura 7 - Relação SV/ST, ciclo 1 (a) e ciclo 2 (b).

Considerando a massa de sólidos (totais e voláteis) presente no reator a partir do momento em que os parâmetros alcançam valores esperados de produção de metano (gasoso e dissolvido) e a carga de matéria orgânica diária aplicada ao reator, tem-se que para cada grama de DQO afluente a ser degradada são necessários 4,0 gST e 2,5 gSV presentes no reator.

Assim, pode-se inferir que a massa mínima de biomassa presente no reator para uma operação satisfatória, seria em torno de 2,5 kgSV/kgDQO aplicada por dia. Sendo este um valor de referência, no qual a produção de biogás e de metano no biogás e dissolvido no efluente já apresentam valores próximos ao esperado.

Para esse momento, a atividade metanogênica específica do lodo no reator foi determinada pelos parâmetros mensurados (metano e SV), sendo de 0,14 gDQO_{CH₄}/gSV.dia. Sendo a eficiência de remoção de DQO cerca de 72%.

Desenvolvendo mais cálculos, a partir da metodologia proposta por Chernicharo (2007) para estimativa da produção de biogás, utilizando os valores médios obtidos entre os dois ciclos e, considerando os valores a partir do dia 60 de operação, momento em que os valores tendem aos reportados na literatura, esperava-se, em um reator com essas características, obter uma produção de cerca de 284,2 L/dia de biogás, ou 244,4 NL/dia.

Descontando-se as parcelas de DQO_{CH₄} que não são utilizadas para produção de metano, como a sulfatorredução, que consome aproximadamente 5% da DQO_{CH₄} e também a perda de metano dissolvido na fase líquida, a qual foi medida, que pode representar até aproximadamente 40% da DQO_{CH₄} (Souza, 2010), a produção de biogás então esperada seria de 156,3 L/dia de biogás, ou 134,4 NL/dia.

Variabilidade da produção de biogás ao longo do dia

Sobre o segundo específico, em relação às taxas de produção de biogás observou-se, a partir de gráficos de séries temporais feitos em duas fases distintas (intermediária e final) em ambos os ciclos, que a taxa de produção apresentava uma menor inclinação entre 0h e 12h do que no período compreendido entre 12h e 24h, independente do volume de gás produzido (Figuras 8a e 8b). Podendo tal fato ser associado à ocorrência de maiores e menores temperaturas, respectivamente.

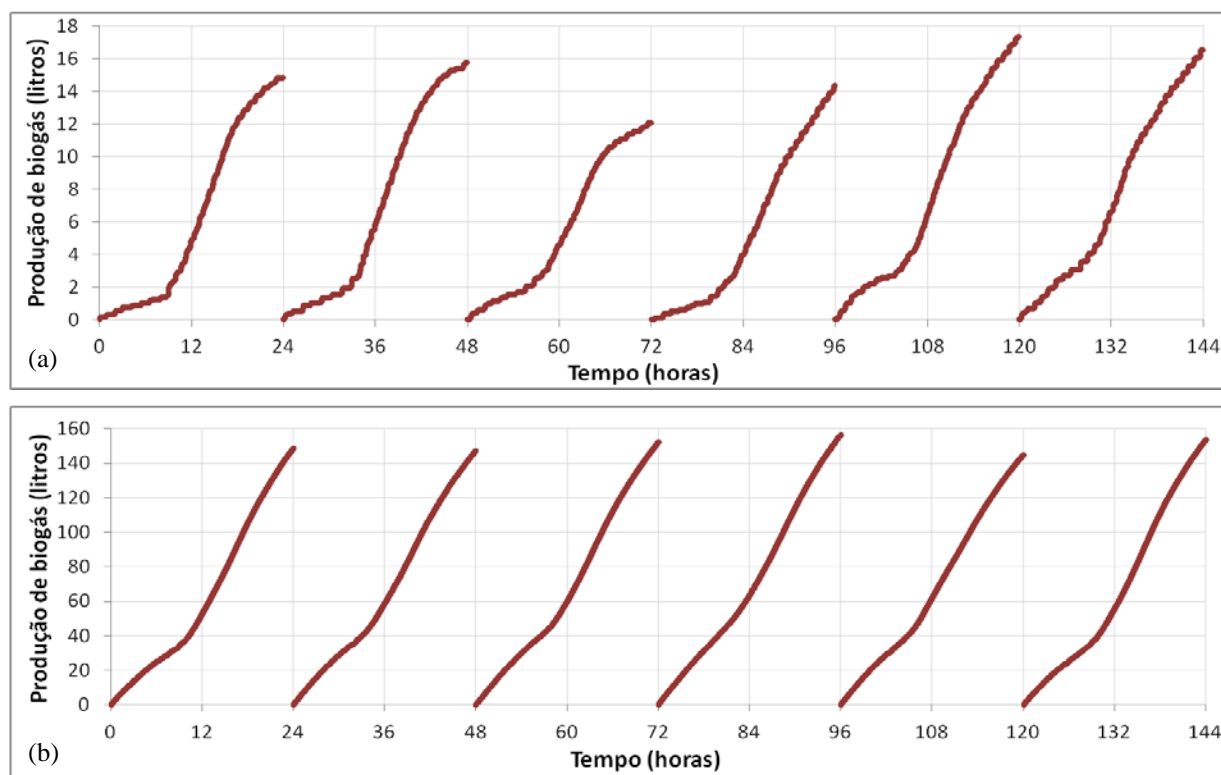


Figura 8 - Produção diária de biogás do ciclo 1, entre os dias 33 e 38 (a) e entre os dias 89 e 94 (b).

Assim, a variação da temperatura externa ao longo do dia foi avaliada pelo teste estatístico de comparação entre amostras independentes, teste *U de Mann-Whitney*, com um nível de confiança de 95%, mostrando ser significativamente diferente entre os períodos de 8h às 12h e de 12h às 17h, com um nível de p de 0,000000. Abaixo, o gráfico box-whiskers demonstra a variação da temperatura para os períodos avaliados (Figura 9).

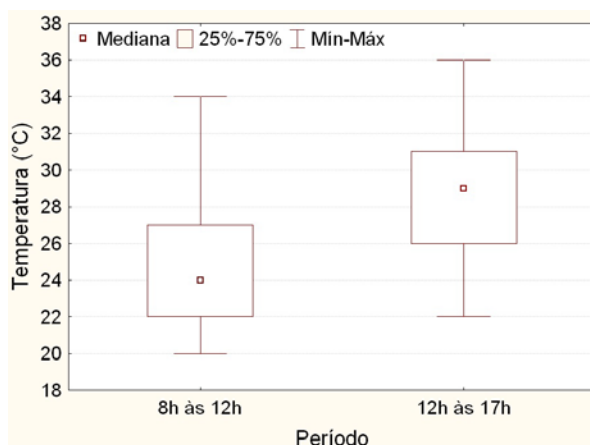


Figura 9 – Gráfico Box-Whiskers para a temperatura.

Mediante as semelhanças encontradas nos ciclos e nas fases analisadas e confirmando a diferença significativa da temperatura entre os períodos avaliados, foi realizada a estatística descritiva dos dados da taxa de produção de biogás, para a qual se pode perceber a partir da Tabela 2, que as médias das taxas de produção entre o período de 0h e 12h foram sempre maiores que as médias das taxas de produção entre o período de 12h e 24h, independente do volume de gás produzido no dia, uma vez que foram obtidos os valores da fase intermediária e da fase final dos ciclos.

Tabela 2: Média das taxas de produção de biogás (L/h)

Tabela 2.1 - Tabela das etapas de produção do biogás (LTP)						
CICLO 1				CICLO 2		
FASE	DIA OPERACIONAL	PERÍODO		DIA OPERACIONAL	PERÍODO	
		0h às 12h	12h às 24h		0h às 12h	12h às 24h
Intermediária	33	1,47	2,35	21	0,91	1,74
	34	1,56	2,15	22	0,96	1,39
	35	1,35	1,56	23	0,92	1,29
	36	1,07	1,94	24	0,62	1,12
	37	1,20	1,83	25	1,09	1,27
	38	1,79	2,24			
Final	89	5,50	8,51	85	4,12	5,06
	90	5,66	8,01	86	3,46	5,90
	91	5,53	8,16	87	5,06	5,90
	92	5,68	8,24	88	4,80	6,20
	93	5,89	7,26	89	6,41	7,29
	94	5,38	8,63	90	7,00	8,87

Assim, foi realizado o teste estatístico *Wilcoxon's matched pairs test* para comparação de amostras pareadas, à fim de confirmar se as taxas produção de biogás obtidas entre 0h e 12h foram significativamente menores que as taxas de produção obtida entre 12h e 24h. O teste foi então realizado com 23 dados, a um nível de confiança de 95%, obtendo um nível de p de 0,000027, confirmando a diferença entre os períodos avaliados. A Figura 10 mostra a distribuição dos dados, dividindo-os em períodos horários, agrupando as fases intermediária e final dos ciclos 1 e 2.

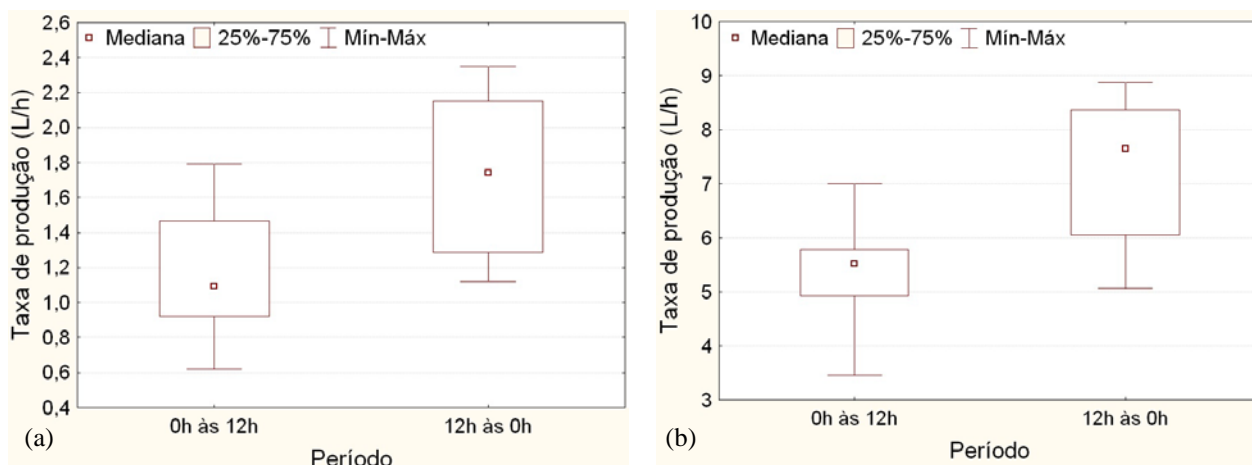


Figura 10 – Distribuição das taxas de produção de biogás, para fase intermediária (a) e fase final (b).

Porém, ressalta-se que essa diferença pode estar relacionada também às características do afluente, principalmente à DQO de entrada, uma vez que ela também varia ao longo do dia, de forma que, mesmo trabalhando com vazão constante, o padrão de carga orgânica tende a ser o mesmo da concentração orgânica, sendo o esgoto menos concentrado no período entre 0h e 12h (Oliva et al., 1997; Metcalf & Eddy, 1991).

Variabilidade da concentração metano ao longo do dia

Para o terceiro objetivo específico deste trabalho, que avalia as concentrações de metano ao longo do dia associando-as à temperatura externa, foi calculada a média da concentração de metano para o período entre 8h e 12h e também a média para o período entre 12h e 17h, ao decorrer do ciclo 2.

A partir da série temporal (Figura 11) se percebe que tanto no início, quanto no final do ciclo, a curva da concentração de metano no biogás entre o período de 8h às 12h é similar a curva da concentração de metano no período entre 12h e 17h, não apresentando muita similaridade com as variações de temperatura dos respectivos períodos horários.

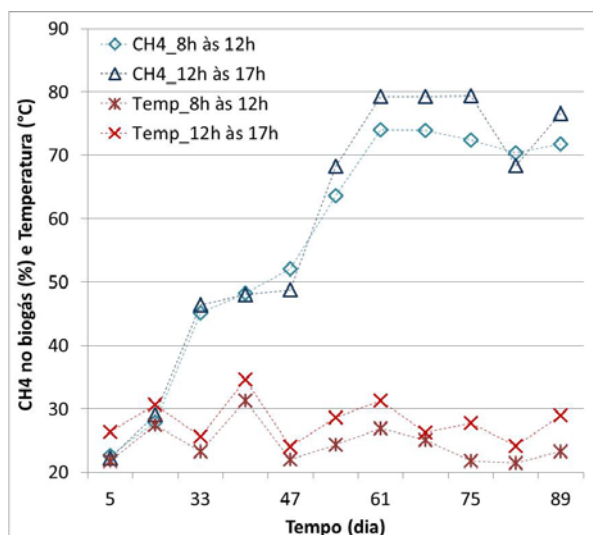


Figura 11 – Série temporal da concentração de CH4 e da temperatura ao longo do dia.

*Dados apresentados referentes ao ciclo 2.

Assim, as concentrações de metano foram avaliadas também sob o teste estatístico de amostras pareadas *Wilcoxon's matched pairs test*, uma vez que o reator iniciou a operação sem inóculo, sendo de fato as concentrações de metano ao início da operação menor, conforme discutido no primeiro objetivo deste trabalho. Verificou-se que a concentração de metano não apresentou diferença significativa entre os períodos analisados, encontrando um nível de p de 0,091162, para um nível de confiança de 95%.

CONCLUSÕES

- A produção de biogás apresenta um comportamento típico sempre que ocorre a auto inoculação do reator. As concentrações de metano presentes na fase gasosa e na fase líquida tendem a se estabilizarem após alguns dias de operação, o que ocorreu próximo ao dia 54.
- O período em que a produção de metano, nas fases líquida e gasosa, alcançam valores próximos ao esperado é o mesmo para atingir a estabilidade habitual do lodo anaeróbio (relação STV/ST de 0,64) no reator, sendo obtido nesse período uma atividade metanogênica específica de 0,14 gDQO_{CH₄}/gSV do lodo e uma quantidade de lodo de aproximadamente 2.000 gSV.
- A taxa de produção de biogás mostra ser influenciada pela temperatura, apresentando maiores valores entre o período compreendido entre 12h e 24h. Sugere-se que as maiores temperaturas observadas após 12h contribuem para o aquecimento do reator. Salienta-se, porém, que esse comportamento é influenciado também pela carga de matéria orgânica aplicada ao reator, que é maior no período de maiores temperaturas (a partir de 12h).
- As variações de metano presente no biogás não acompanham o aumento da produção volumétrica, não sendo significativamente diferentes ao longo do dia.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao suporte no desenvolvimento da pesquisa e na sua divulgação dado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG. Também importa agradecer a outras instituições: Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq; Companhia de Saneamento de Minas Gerais – COPASA.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA, AWWA, WPCF. Standard methods for the examination of water and wastewater, 18 th edition. Washington DC.: American Public Health Association, 1992
2. CHERNICHARO, C. A. L. Reatores anaeróbios. 2 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 2007. 380 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v.5).
3. CHERNICHARO, C. A. L. & BORGES, J. M. (1996). Metodologia utilizada durante a partida de um reator UASB de 477 m³ tratando esgotos tipicamente domésticos. In: Anais do XXV Congresso Interamericano de Ingenieria Sanitaria y Ambiental, Tomo I - Vol. 2, pp. 655-661, México, DF.
4. KALOGO, Y. BOUCHE, J. H. M. VERSTRATE, W (2001). Physical and biological performance of self-inoculated UASB reactor treating raw domestic sewage. Journal of Environmental Engineering, Vol 127, 179-183.
5. LETTINGA, G, A de MAN, A. R. M. van der LAST, W. WIEGANT, K. van KNIPPENBERG, J. FRIJNS. J. C. L. van BUUREN (1993). Anaerobic Treatment of Domestic Sewage and Wastewater. Water Science & Technology, Vol 27, n 9, 67-73.
6. METCALF & EDDY, Inc., 1991. Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse. McGraw-Hill Book Company, New York, USA, p. 1334.
7. OLIVA, L. C. H. V. FORESTI, E. VALLEJOS, M. E. H. REBELLO, M. R. P. (1997). Tratamento de esgotos sanitários com reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) protótipo – caracterização do esgoto e acompanhamento do desempenho. In: 19º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 1997. Foz do Iguaçu. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária, Londrina.
8. PECORA, V. Implementação de uma unidade demonstrativa de geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento de esgoto residencial da USP: estudo de caso. 2006. 153 p. Dissertação (Mestrado em Energia). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
9. POSSETI, G. R. C.; JASINSKI, V. P.; MESQUITA, N. C.; KRIGUEL, K.; CARNEIRO, C. Medições em tempo real do biogás produzido em reatores UASB alimentados com esgoto doméstico. In: 27º

- CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2011. Goiânia. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária, Londrina.
10. SOUZA, C. L. D. Estudo das rotas de formação, transporte e consumo dos gases metano e sulfeto de hidrogênio resultantes do tratamento de esgoto doméstico em reatores. 2010. 127 p. Tese (Doutorado em Meio Ambiente, Saneamento e Recursos Hídricos). Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.