

Ano 10, Vol XX, Número 1, Jan-Jun, 2018, Pág. 197 – 212.

## AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS EM REATOR ANAERÓBIO NO TRATAMENTO DE LIXIVIADO

Keith Soares Valente, Aldecy de Almeida Santos & Amazonino Lemos de Castro

**RESUMO:** A alternativa mais adequada de disposição de resíduos sólidos são os aterros sanitários, que tem como um dos produtos finais o lixiviado e gases provenientes da decomposição do material orgânico que são altamente poluentes. Ambos podem causar problemas ambientais, sendo o metano um gás altamente inflamável e contribuinte para aumento do efeito estufa e o lixiviado na contaminação dos solos e dos recursos hídricos. Por outro lado, o biogás é fonte de energia em decorrência do poder calorífico do metano. Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar a quantidade de biogás produzido em Reator Anaeróbico de Leito Fixo no tratamento de lixiviado. O experimento foi realizado em um reator anaeróbico de leito fixo com carvão ativado como meio suporte e lixiviado proveniente do aterro controlado de Manaus/AM nos meses de Agosto, Setembro e Outubro de 2010. Para avaliar a quantidade do gás foi acoplado um medidor. A maior eficiência obtida na remoção de DQO e DBO<sub>5</sub> ocorreu com o Tempo de Detenção Hidráulica de 12 horas atingindo o valor de 61,7% e 78,3%, respectivamente. O valor máximo de 3.449 mL com 66% de CH<sub>4</sub> e mínimo de 2.596 mL correspondente a 64% CH<sub>4</sub>.

**Palavras-chave:** Resíduo Sólido, Lixiviado, Reator Anaeróbico, Biogás.

### EVALUATION OF BIOGAS PRODUCTION IN ANAEROBIC REACTOR IN LEACHING TREATMENT

**ABSTRACT:** The most suitable alternative of solid waste disposal is the sanitary landfill, which has as one of the final products the leachate and gases from the decomposition of the organic material that are highly polluting. Both can cause environmental problems, with methane being a highly flammable and contributing gas for increasing the greenhouse effect and leaching into contamination of soils and water resources. On the other hand, biogas is a source of energy due to the calorific value of methane. In this sense, the objective of this work was to evaluate the amount of biogas produced in Fixed Bed Anaerobic Reactor in the treatment of leachate. The experiment was carried out in a fixed bed anaerobic reactor with activated charcoal as support medium and leachate from the Manaus / AM controlled landfill in August, September and October 2010. A meter was coupled to evaluate the amount of gas. The highest efficiency obtained in the removal of COD and BOD<sub>5</sub> occurred with the Hydraulic Holding Time of 12 hours, reaching 61.7% and 78.3%, respectively. The maximum value is 3,449 mL with 66% CH<sub>4</sub> and minimum 2,596 mL corresponding to 64% CH<sub>4</sub>.

**Keywords:** Solid Waste, Leachate, Anaerobic Reactor, Biogas.

## INTRODUÇÃO

A disposição final dos resíduos sólidos urbanos é um dos graves problemas ambientais enfrentados pelos grandes centros urbanos e tende a agravar-se com o aumento do consumo de bens industrializados. Uma das alternativas de disposição adequada de resíduos sólidos são os aterros sanitários, que tem como um dos subprodutos a geração de lixiviado e gases provenientes da decomposição do material orgânico. Os principais constituintes é o gás dióxido de carbono e o gás metano, sendo este último um combustível possível de ser coletado e utilizado para a geração de energia (ENSINAS, 2003).

Os lixiviados produzidos em aterros sanitários são produtos da interação entre os processos de biodegradação da fração orgânica dos resíduos dispostos no aterro e da infiltração de águas pluviais que solubilizam componentes orgânicos e inorgânicos.

Os reatores anaeróbios de leito fixo vem sendo bastante empregados tratamento de lixiviado. Nestes reatores ocorre uma grande produção de biogás em decorrência dos processos fermentativos da biomassa, onde 50% do biogás produzido correspondem ao metano.

O presente trabalho tem como objetivo geral avaliar a quantidade e qualidade da produção de biogás gerado em reator anaeróbio de fluxo ascendente e leito fixo no tratamento de lixiviado. Bem como Objetivos específicos: Construir e monitorar o reator anaeróbio de fluxo ascendente e leito fixo; Avaliar a eficiência da Demanda Bioquímica de Oxigênio ( $DBO_5$ ) e Demanda Química de Oxigênio (DQO) *Versus* Tempo de Detenção Hidráulica; Relacionar  $DBO_5$ /DQO do lixiviado afluente no reator; Relacionar os fatores ambientais: temperatura no interior do reator e pH no reator anaeróbio de fluxo ascendente e leito fixo; Verificar a produção de Biogás no Tratamento de lixiviado em reator anaeróbio; Determinar a carga orgânica aplicada afluente e efluente no reator; e Determinar a Carga Orgânica Volumétrica.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido na Universidade Federal do Amazonas no município de Humaitá/AM utilizando lixo do aterro controlado de Manaus-AM localizado nas coordenadas 3° 08' 7" S e 60° 01' 34" W. O reator anaeróbio foi construído em PVC de 100 mm de diâmetro e 1,28 m de altura, com volume de 10L conforme figura 4.

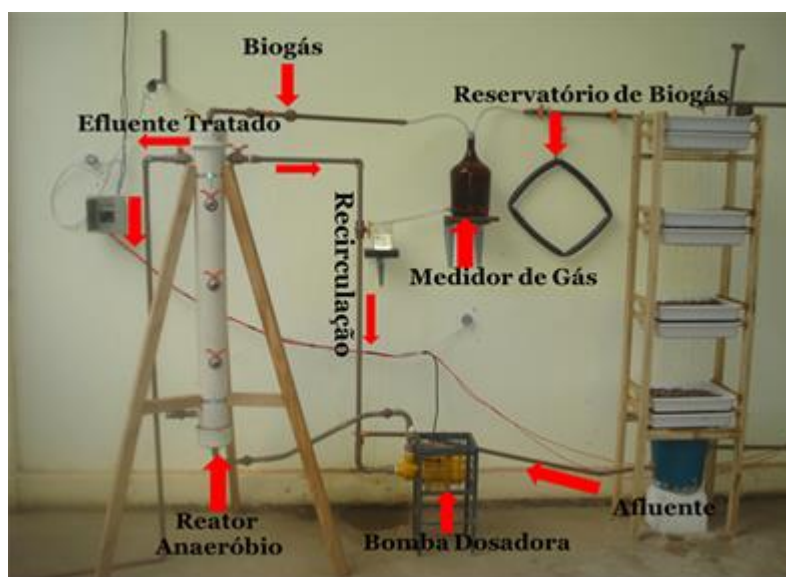


Figura 4- Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente e Leito Fixo

O lixiviado foi coletado em dias alternados no mês de Junho e armazenado na UFAM no laboratório de solos até sua utilização no experimento, o mesmo foi armazenado em recipientes de 15 e 60 litros para o transporte do material coletado.

Foi inoculado no reator 1L de lodo anaeróbio da Estação de Tratamento da Universidade Federal do Amazonas do Campus da UFAM, no município de Humaitá-AM de acordo com Figura 5.

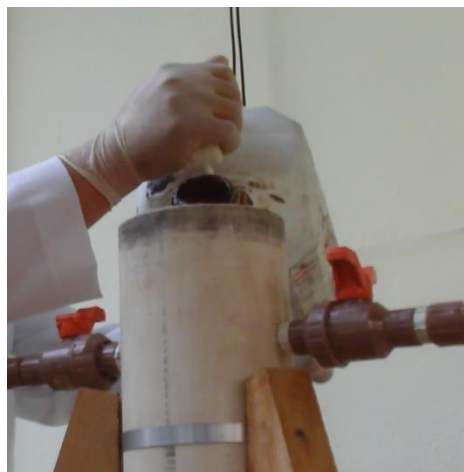


Figura 5- Inoculação com Lodo no Reator Anaeróbio.

Dentro do tubo adicionou-se 8,5L de carvão ativado oriundo de babaçu como meio suporte para avaliar o potencial desse material. A vazão diária de lixiviado aplicada ao reator foi de 0,02 m<sup>3</sup>/dia de forma ascendente.

O período de montagem do experimento ocorreu de Abril a Julho de 2010. O monitoramento da quantidade e qualidade do biogás ocorreu nos meses de Agosto, Setembro e Outubro sendo realizada uma vez a cada mês por um período de 24 horas. O biogás foi coletado com uma seringa de vidro (25 mL) específica para coleta de gás.

As coletas para análises físico-químicas foram realizadas utilizando frascos de 500 mL.

As amostras coletadas no sistema de tratamento proposto foram preservadas em temperatura de 4°C até a fase de análises em laboratório. As análises foram realizadas no laboratório da Universidade Federal do Amazonas.

Os parâmetros físico-químicos adotados foram realizados de acordo com *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1995).

Tabela 3- Metodologia Empregada na Análise do Tratamento do Lixiviado

Parâmetro Físico-Químico	Metodologia	Equipamentos
DBO <sub>5</sub>	Iodométrico	Incubadora Marca Velp
DQO	Titulométrico - Refluxo fechado	Digestor Hach Espectrofotômetro- DR 2010
pH	Potenciométrico	pHmeter Tec-2 Marca Tecnal
Temperatura	Leitura direta no Termômetro	Termômetro de Mercúrio

Tabela 04- Parâmetro Estabelecido para o Monitoramento do Biogás

Parâmetro	Unidade	Método	Equipamento
Biogás (Quantidade)	(m <sup>3</sup> /dia)	Volumétrico	Reservatório
Composição do Biogás (Qualidade)	% CH <sub>4</sub>	Orsat	Colorimétrico

A metodologia colorimétrica de análise foi realizada utilizando-se cartela de cores por comparação visual ou fotocolorímetro. Foram adaptadas, sendo a determinação de amônia realizada pelo método “Azul de Indofenol”. A determinação de metano é realizada pela adaptação do método Orsat. A faixa de análise dos parâmetros de avaliação de amônia são:

- Cartela: Faixa 1:15 – 525 ppmV/ Faixa 2:45 – 1310 ppmV
- Fotocolorímetro: Faixa1:15 – 350 ppmV/ Faixa 2:45 – 875 ppmV

Para coletar o Biogás, primeiramente abriu-se uma válvula do reator para sair um pouco de gás e então conectou-se a mangueira do amostrador no reator para encher até a metade. Em seguida houve o descarte e encheu-se novamente com o biogás para análise.

Em relação à determinação de amônia no biogás o processo ocorreu utilizando-se uma cubeta plástica de 50 mL, adicionando 10 mL de água desionizada e 2 gotas da Solução Pré-Tratamento 1 seguida de agitação para homogeneizar a amostra. Com a seringa para amônia aspirou-se a solução da cubeta até atingir 5 mL, em seguida abriu-se o amostrador de biogás para sair um pouco de gás e conectou-se a mangueira da seringa aspirando lentamente na seringa 50 mL de biogás, utilizou-se o estrangulador para fechar a mangueira da seringa e do amostrador de biogás. Posteriormente agitou-se a seringa por aproximadamente 2 minutos e transferiu-se a solução para cubeta de vidro para a análise colorimétrica.

Para a análise colorimétrica

- Adicionou-se 3 gotas do reagente Amônia Indotest 1 na cubeta de vidro com a amostra e agitou-se a cubeta;
- Adicionou-se 3 gotas do reagente Amônia Indotest 2 e agitou-se a cubeta;
- Adicionou-se 3 gotas do reagente Amônia Indotest 3 e agitou-se a cubeta aguardando 10 minutos;

- Comparou-se a intensidade de cor desenvolvida com as cores da cartela e fazer a leitura da concentração de amônia em ppmV ( $\text{mL m}^{-3}$ ).

Conforme a concentração de amônia no biogás, verificou-se um volume menor de biogás com a seringa. Caso a intensidade de cor desenvolvida for azul mais intenso do que pode ser lido na cartela, repetir a determinação

As equações utilizadas para os cálculos de Carga Orgânica Aplicada (COA) e Carga Orgânica Volumétrica (COV).

**Equação 01.**  $\text{COA} = C * V$  onde: COA: Carga Orgânica Aplicada (kg/dia)

C: Concentração ( $\text{DBO}_5$  e DQO) ( $\text{mgO}_2/\text{L}$ )

V: Volume total do reator ( $\text{m}^3$ )

**Equação 02.**  $\text{COV} = Q * C / V$  onde: COV: Carga Orgânica Volumétrica ( $\text{kgDQO}/\text{m}^3 \cdot \text{dia}$ )

Q: Vazão ( $\text{m}^3/\text{dia}$ )

C: Concentração ( $\text{DBO}_5$  e DQO) ( $\text{mgO}_2/\text{L}$ )

V: Volume total do reator ( $\text{m}^3$ )

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Eficiência da remoção de DQO e $\text{DBO}_5$ versus tempo de detenção hidráulica TDH

A vazão afluyente no reator anaeróbio foi constante sendo  $0,02 \text{ m}^3/\text{d}$  com alteração somente no tempo de coleta. Foi realizada uma comparação com tempo de detenção hidráulica (TDH) com os resultados obtidos de DQO e  $\text{DBO}_5$ .

Neste sentido verificou-se que durante o monitoramento do reator anaeróbio a maior eficiência constatada foi com TDH de 12 horas. Em relação à matéria orgânica removida a eficiência de remoção de DQO atingiu valor máximo de 61, 7% e desvio padrão de  $\pm 6$ .

A eficiência obtida está um pouco acima dos valores médios alcançados por Alves (2007), que atingiu cerca de 60%, em eficiência média na remoção de DQO. Na Tabela 5 são evidenciadas as eficiências testadas durante o período de monitoramento do reator anaeróbio de fluxo ascendente e leito fixo.

Tabela 5- Eficiência da Remoção da Demanda Química de Oxigênio

TDH (hora)	DQO (mgO <sub>2</sub> /L)	Desvio Padrão
6	57%	± 4
8	60%	± 5
12	61,7%	± 6

A eficiência na remoção de carga orgânica de DBO<sub>5</sub> no reator atingiu 78,3%, Desvio padrão ± 3,8 de acordo a Tabela 6. De acordo com Campos (1999) a faixa ideal de remoção de DBO<sub>5</sub> varia de 45 a 85% em reator anaeróbio.

Tabela 6- Eficiência da Remoção de Demanda Bioquímica de Oxigênio

TDH (hora)	DBO <sub>5</sub> (mgO <sub>2</sub> /L)	Desvio Padrão
6	69%	± 2,5
8	75%	± 3
12	78,3%	± 3,8

#### - Demanda Química de Oxigênio

Considerando todo o período de operação, o valor máximo encontrado para a DQO afluente foi 7798 mgO<sub>2</sub>/L com o mínimo de 4370 mgO<sub>2</sub>/L e média de 5837 mgO<sub>2</sub>/L. Para a DQO efluente no reator anaeróbio de fluxo ascendente e leito fixo os valores variaram de 2807 e 1657 mgO<sub>2</sub>/L, respectivamente, com média de 2086,3 mgO<sub>2</sub>/L de acordo com Figura 6 . Neste sentido pode-se verificar que houve uma significativa produção de biogás durante o período do experimento, tornando-se uma proposta viável para possíveis estudos tanto em escala experimental quanto para normal.

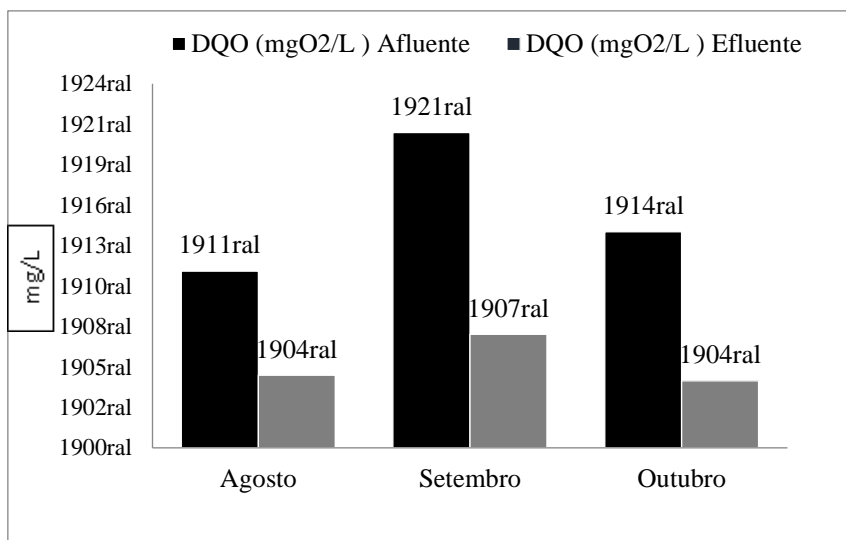


Figura 6- Eficiência na Remoção de DQO

A eficiência na remoção de DQO, considerando os valores de DQO afluente e efluente oscilaram entre 58,9 a 68%. A média obtida foi 63,6% próximo ao valor da eficiência encontrada em reatores anaeróbios que varia entre 40 a 75% para remoção de DQO de acordo com CAMPOS (1999).

#### - Demanda Bioquímica de Oxigênio

O máximo valor obtido da análise de DBO<sub>5</sub> afluente foi de 3469 mg O<sub>2</sub>/L sendo o mínimo 2020 mg O<sub>2</sub>/L com média de 2653,6 mgO<sub>2</sub>/L. Os valores para o efluente foram 694 mg e 656 mg O<sub>2</sub>/L sendo o máximo e mínimo respectivamente com valor médio de 670, 6 mgO<sub>2</sub>/L de conforme Figura 7.



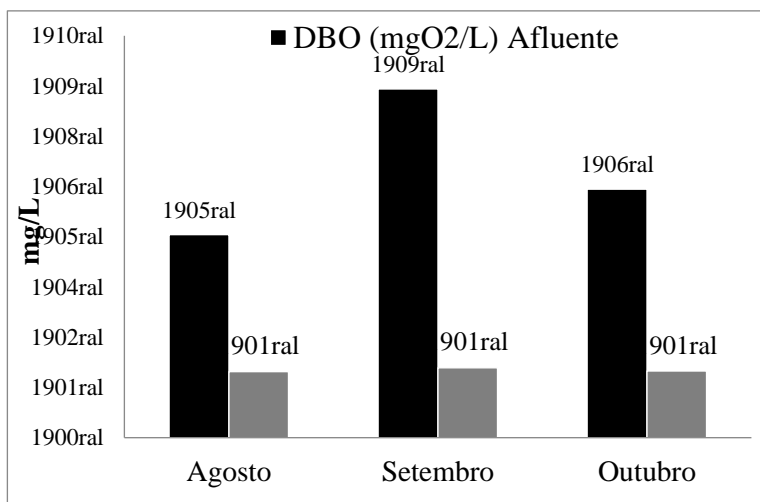


Figura 7- Eficiência na Remoção de DBO<sub>5</sub>

A eficiência na remoção de DBO<sub>5</sub>, considerando os valores de DBO<sub>5</sub> afluyente e efluente oscilou entre 67,5% a 79,9%, com média de 73,5 % próximo ao valor da eficiência encontrada em reatores anaeróbios que varia entre 45 a 85% para remoção de DQO de acordo com Chernicharo (1997).

### Relação DBO<sub>5</sub>/DQO para o lixiviado afluyente tratado no reator

Via de regra existem dificuldades para a escolha do melhor tipo de tratamento para lixiviado de aterros tais substâncias possuem difícil caracterização em relação às características físico-químicas e biológicas assim como a variação da composição do lixiviado ao longo do tempo. A idade do aterro varia a relação DBO<sub>5</sub>/DQO, proporção esta que propicia uma idéia sobre o estado de degradação dos lixiviados.

A relação DBO<sub>5</sub>/DQO no afluyente variou entre 0,1 e 0,5 indicando um lixiviado intermediário (aterro idade mediana) de acordo com a Tabela 7.

Tabela 7- Relação DBO<sub>5</sub>/DQO

Etapa	DBO <sub>5</sub> /DQO
Agosto	0,46
Setembro	0,44
Outubro	0,46

Quanto maior a idade do aterro mais complexo torna-se o tratamento do lixiviado devido à difícil biodegradabilidade existente decorrente de substâncias recalcitrantes, tornando-se necessário a utilização de um tratamento físico-químico. Os valores

apresentados indicam que à relação DBO<sub>5</sub>/DQO, do lixiviado é medianamente biodegradável.

## **Fatores ambientais – temperatura e pH e nutrientes**

### **- Temperatura no Interior do Reator**

As temperaturas no interior do reator foram: máxima de 33°C, mínima 26,2°C e média de 32°C. A temperatura tem influência no comportamento do reator uma vez que este é um fator condicionante nos processos biológicos, reações químicas e bioquímicas.

Os resultados indicam que a temperatura no interior do reator encontra-se em uma faixa ótima de crescimento das bactérias anaeróbias mesofílicas (30 a 35°C) de acordo com Chernicharo (1997).

### **- pH**

O valor de pH máximo, mínimo e médio obtido no monitoramento foram 8,83, 7,5 e 8 respectivamente, com influência direta na eficiência líquida e do biogás gerado pelo reator. Segundo CAMPOS (1999) a faixa ideal de pH para reatores anaeróbio é de 6,8 a 7,2 para esgoto doméstico.

CHERNICHARO (2007), afirma que as *Archaeas* metanogênicas têm crescimento ótimo na faixa de pH entre 6,6 e 7,4, embora possa ocorrer estabilidade na formação de metano em faixa mais ampla, entre 6,0 e 8,0. Prado (2010) verificou que as maiores concentrações de metano foram verificadas nos períodos em que o pH estava mais próximo da neutralidade.

## **Produção de Biogás No Tratamento De Lixiviado**

A remoção de matéria orgânica é fundamental para que a produção de biogás ocorra de forma eficiente. Nos três meses do experimento o mês de Setembro apresentou maior produção de biogás atingindo 3449 mL, com mínimo de 40 mL. O mês de Outubro atingiu em seu valor máximo 2840 mL com mínimo de 55 mL e por fim Agosto variou de 2595 a 43 mL respectivamente na geração de biogás no reator, sendo que a média dos três meses de estudo atingiu valor de 2961,3 mL. No experimento também foi observado à produção de biogás no decorrer do dia de acordo com a Figura 8 a seguir.

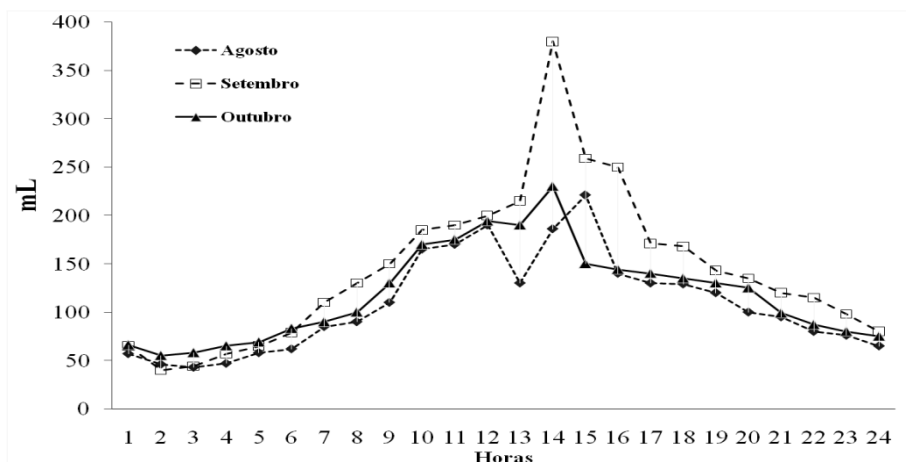


Figura 8- Produção de Biogás no Reator Anaeróbico de Fluxo Ascendente e Leito Fixo.

Os teores de metano encontrados nos meses do monitoramento foram 58% em Agosto, 66% no mês de Setembro e 64% em Outubro. Este fato ocorreu devido ao valor da concentração de carga orgânica aplicada durante o período de operação ser superior no mês de Setembro do que nos outros meses em estudo. Pode-se verificar que os maiores valores obtidos na produção de biogás ocorreram na faixa horária de 12:00 às 14:00 h onde existe o maior aumento diário da temperatura, fator que auxilia o aumento de gás gerado no reator.

### Determinação da Carga Orgânica Aplicada Afluente e Efluente

A Tabela 08 apresenta valores de carga orgânica aplicada afluente e efluente no reator anaeróbico de fluxo ascendente e leito fixo. Constatou-se que a maior carga orgânica aplicada em relação à DQO afluente e efluente foi no mês de Setembro com 0,156 Kg/dia para carga afluente e 0,056 Kg/dia para a efluente, os valores mínimos de carga orgânica aplicada afluente são de 0,087Kg/dia encontrado no mês de Agosto e 0,033 Kg/dia de carga efluente presente em Outubro.

Para CAMPOS (1999) quanto maior a carga orgânica aplicada maior será a eficiência do sistema. Neste sentido o mês de Setembro apresentou 68% de eficiência, em relação à DQO máxima obtida no sistema tanto de carga efluente a afluente no sistema.

Tabela 8 - Carga Orgânica Aplicada de DQO Afluente e Efluente

<b>DQO (mgO<sub>2</sub>/L)</b>			
<b>Carga Orgânica Aplicada Afluente</b>			
	<b>Agosto</b>	<b>Setembro</b>	<b>Outubro</b>
COA	0,087	0,156	0,107
<b>Carga Orgânica Aplicada Efluente</b>			
	<b>Agosto</b>	<b>Setembro</b>	<b>Outubro</b>
COA	0,036	0,056	0,033

Os valores máximos de COA afluente foram encontrados em Setembro assumindo valores de 0,0694 Kg/dia para carga afluente e efluente de 0,0139 Kg/dia. Os valores mínimos são 0,0404 Kg/dia de afluente encontrado em Agosto e 0,0131 Kg/dia de carga efluente também verificado neste mês.

De acordo com CHERNICHARO (1997) a carga orgânica aplica de DBO<sub>5</sub> (79,9%,) assim como a DQO está relacionada com a eficiência do sistema. A Tabela 9 apresenta os valores de COA no reator anaeróbio.

Tabela 9- Carga Orgânica Aplicada de DBO<sub>5</sub> Afluente e Efluente

<b>DBO<sub>5</sub> (mgO<sub>2</sub>/L)</b>			
<b>Carga Orgânica Aplicada Afluente- DBO</b>			
	<b>Agosto</b>	<b>Setembro</b>	<b>Outubro</b>
COA	0,0404	0,0694	0,0494
<b>Carga Orgânica Aplicada Efluente- DBO</b>			
	<b>Agosto</b>	<b>Setembro</b>	<b>Outubro</b>
COA	0,0131	0,0139	0,0132

### **Carga Orgânica Volumétrica-COV**

De acordo com os resultados obtidos de carga orgânica volumétrica aplicada diariamente no reator (Tabela 10) pode-se verificar que a maioria dos valores são

inferiores a 15 Kg/dia, valor recomendado por Chernicharo (1997), exceto a DQO afluente referente ao mês de Setembro. É interessante ressaltar que este valor excedente demonstra a alta capacidade de suportar altas cargas orgânicas de acordo com Santos (2003) fator determinante na produção de biogás gerada no reator.

Tabela 10 - Carga Orgânica Volumétrica Afluente e Efluente

<b>Carga Orgânica Volumétrica (Kg/dia)</b>			
<b>Agosto</b>			
DQO Afluente	DQO Efluente	DBO Afluente	DBO Efluente
8,74	3,59	4,04	1,312
<b>Setembro</b>			
DQO Afluente	DQO Efluente	DBO Afluente	DBO Efluente
15,596	4,174	6,938	1,388
<b>Outubro</b>			
DQO Afluente	DQO Efluente	DBO Afluente	DBO Efluente
10,688	3,314	4,944	1,324

## CONCLUSÃO

Os resultados das análises revelaram que o lixiviado apresenta característica alcalina e com relação de DBO<sub>5</sub>/DQO medianamente biodegradável (0,45). Porém convém ressaltar que mesmo com essas características o reator obteve uma elevada eficiência na remoção de carga orgânica.

A melhor eficiência atingida no reator anaeróbico de fluxo ascendente e leito fixo com TDH de 12 horas assumiu valores de DQO (61,7%) na remoção de carga orgânica com desvio padrão de  $\pm 6$  e DBO de (78,3%) com desvio padrão de  $\pm 3,8$ . Em relação à geração de biogás foi possível atingir o máximo valor de 3449 mL com 66% de CH<sub>4</sub>, o valor médio produzido foi de 2961,3 mL com 62,6 % e mínimo de 2596 mL correspondente a 64% CH<sub>4</sub>.

O pH medido no reator assumiu valor médio de 8 encontrando-se de acordo com a Resolução 357/05 do CONAMA, que recomenda pH de 6 a 9.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). *Resíduos Sólidos: classificação*, NBR 10.004. Rio de Janeiro, 1987. 63p.

ALVES, R. G. C. M. *Tratamento e Valorização de Dejetos da Suinocultura Através de Processo Anaeróbio- Operação e Avaliação de Diversos Reatores em Escala Real*. Florianópolis: UFSC, 2007. Tese de Doutorado em Engenharia Ambiental, 2007.

APHA, AWWA, WPCFC. *Standard Methods for the Examination of Water and wastewater*. Eds. L.S. CLERCERI, A.E. GREENBERG, R.R. TRUSSEL, 17<sup>th</sup> edition, Washington, USA, Ed. APHA. (1995).

BANCO MUNDIAL. *The World Bank handbook for the preparation of landfill gas to energy projects in Latin America and the Caribbean*. Waterloo, Ontario, 2004.

BERRUETA, J.; GUTÉRREZ, A.; FUEYO, G. *Anaerobic treatment of leachates in pilot-scale UASB: strategy of start-up*. Journal of Chemical Technology and Biotechnology. V. 67, p. 302-314, 1996.

BOCCHIGLIERI, Miriam Moreira. *O lixiviado dos aterros sanitários em estações de tratamento dos sistemas públicos de esgotos*- São Paulo: USP, 2010. Tese.

CAMPOS, José Roberto. *Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo*. Rio de Janeiro: ABES, 1999.

CARVALHO, Anésio Rodrigues de; OLIVEIRA, Mariá Vendramini Castrignano de. *Princípios Básicos do Saneamento do Meio*. 9<sup>a</sup> ed. São Paulo: Senac São Paulo, 2007.

CASSINI, Sérgio Túlio. *Digestão de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento do biogás*. Rio de Janeiro: ABES, 2003.

CHAVES, Edson Valente. *Absorção de metais pesados de solos contaminados do aterro sanitário e pólo industrial de Manaus pelas espécies de plantas Senna multijega, Schizolobium amazonicum e Caesalpinia echinata*-Manaus: UFAM, 2008. Dissertação de Mestrado.

CHERNICHARO, C. A. L.; *Reatores anaeróbios*. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, p. 246, 1997.

CMMAD - *Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento*. Nosso Futuro Comum. Rio de Janeiro, Editora da Fundação Getúlio Vargas, 1988. 430p.

COLOMBO, U. *Development and the global environment, in the energy-environment connection*. Island Press, USA: Jack M. Hollander, 1992.

ENSINAS, A. V. *Estudo da geração de biogás no aterro sanitário Delta em Campinas - SP*. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

ENSINAS, A. V. *Estudo da geração de biogás no aterro sanitário Delta em Campinas - SP*. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

FELIPETTO, Adriana. *Estudo de Caso: NOVAGERAR CTR NOVA IGUAÇU Central de Tratamento de Resíduos*. Disponível em: < adriana@sapaulista.com.br >. Acesso em: 27 de Agosto de 2010.

GOMES, L. P. *et al. Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos com ênfase na proteção de corpo d'água: prevenção, geração e tratamento de lixiviados de aterros sanitários*. Rio de Janeiro: ABES, 2006. 494 p.

GOMES, Luciana Paulo. *Estudos de caracterização e tratabilidade de lixiviados de aterros sanitários para as condições brasileiras*. Rio de Janeiro: ABES, 2009.

HINRICHS, R.A.; KLEINBACH M. K. *Energia e meio ambiente*. 3.ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003.

IBGE. *Pesquisa Nacional de Saneamento Básico*. 2000.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS-IPT. *Manual de gerenciamento integrado*. São Paulo: Papirus, 2000.

JUNIOR, Armando B. de C. *Alternativas de Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos para Pequenas Comunidades*. Rio de Janeiro: ABES, 2003.

LEITE, V. D. *Processo de Tratamento Anaeróbio de Resíduos Sólidos Urbanos Inoculados com Lodo de Esgoto Industrial*. 1997. Tese (Doutorado)- Departamento de Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos, USP.

**Recebido: 30/10/2017. Aceito 30/11/2017.**

**Sobre os autores e contatos:**

**Keith Soares Valente** - Engenheira Ambiental pela Universidade Federal do Amazonas, Mestre em Ciências Florestais e Ambientais, Professora do Curso de Engenharia Ambiental do IEAA/UFAM. E-mail: keith.ufam@gmail.com

**Aldecy de Almeida Santos** - Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT, Mestre Em Física e Meio Ambiente pela UFMT e, Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco – UFPE. Professor da Universidade Federal do Mato Grosso – UFMT, E-mail: aldecy\_allmeida@yahoo.com.br

**Amazonino Lemos de Castro** - Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal do Amazonas, Mestre em Ciências Florestais e Ambientais, Professor do Curso de Engenharia Ambiental do IEAA/UFAM. E-mail:alcastro.ufam@gmail.com