

II-416 - PRODUÇÃO BIOLÓGICA DE METANO EM REATOR ANAERÓBIO COMPARTIMENTADO (RAC) PROCESSANDO VINHAÇA DE CANA-DE- AÇÚCAR CONCENTRADA

Vinicius Masquetti da Conceição⁽¹⁾

Tecnólogo em Saneamento pela Universidade Estadual de Maringá (UEM). Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Doutorando em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Graduando em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Central Paulista (UNICEP).

Guilherme Araujo Vuitik

Engenheiro Civil pela Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG). Mestre em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo (USP). Doutorando em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP).

Eloisa Pozzi

Graduação em Ecologia pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP). Mestra em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo (USP). Doutora em Ecologia e Recursos Naturais pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Especialista do Laboratório de Processos Biológicos – LPB/EESC/USP.

Valéria Del Nery

Engenheira Química pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Mestra em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo (USP). Doutora em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo (EESC/USP).

Eduardo Cleto Pires

Engenheiro Mecânico pela Universidade de São Paulo (USP). Mestre em Engenharia Mecânica pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC). Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo (USP). Pós-Doutor pela University of Oxford. Professor Titular e Livre-Docente do Departamento de Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos (SHS/EESC/USP).

Endereço⁽¹⁾: Departamento de Hidráulica e Saneamento - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo - SHS/EESC/USP, Av. Trabalhador São Carlense, 400 - São Carlos, SP - CEP: 13566-590 - Brasil - Tel: (16) 3373-9552 - e-mail: viniciusmasquetti@sc.usp.br

RESUMO

Este trabalho teve por objetivo avaliar a produção de metano em um reator anaeróbio compartimentado (RAC) processando vinhaça de cana-de-açúcar concentrada. Para tanto, foi utilizado um reator construído em material de PVC, dividido em quatro câmaras (C1, C2, C3 e C4), cada qual com capacidade para 5 L⁻¹, totalizando um volume de 20 L⁻¹. A operação e monitoramento do reator foi avaliada partindo-se da carga orgânica volumétrica (COV) de 0,5 kg DQO/m³.d até a obtenção da COV de 2,5 kg DQO/m³.d. O monitoramento do reator foi verificado pelos parâmetros de alcalinidade, ácidos voláteis, pH, DQO, produção de metano e microscopia de contraste de fase. Os resultados obtidos indicam remoção global média de DQO de 80,5 %. Foram observados por meio das análises de microscopia, variação na densidade e diversidade morfológica de microrganismos para as diferentes câmaras do RAC, fato este que pode estar associado às condições individuais encontradas em cada câmara do reator em termos de fornecimento de substrato orgânico. A maior produção de metano foi de 5,690 L⁻¹ observada para a C1, em detrimento desta câmara apresentar a maior COV aplicada quando analisada individualmente, verificando um decréscimo na produção para as demais câmaras subsequentes (C2, C3 e C4). De forma geral, os resultados obtidos demonstraram bom desempenho do processamento da vinhaça de cana-de-açúcar concentrada em reator tipo RAC para a produção de biogás, especificamente metano.

PALAVRAS-CHAVE: Reator Anaeróbio Compartimentado (RAC), Vinhaça de cana-de-açúcar concentrada, COV, Produção de Metano, *Methanosaeta* sp.

INTRODUÇÃO

O processamento industrial da cana-de-açúcar seja para a produção de álcool ou açúcar resulta na geração de grande quantidade de resíduos como bagaço, cinzas, vinhaça, outros resíduos líquidos e emissões gasosas. A maioria desses resíduos tem alto teor de matéria orgânica que, se tratada adequadamente, pode ser utilizada como fonte de energia.

Especificamente em relação à vinhaça, esta possui elevada carga orgânica, representando um insumo para a geração de energia por meio da utilização do biogás que pode ser produzido por tratamentos anaeróbios. Esse potencial chega a representar em termos energéticos, a um adicional de 22 % em relação à energia obtida pela combustão do etanol produzido.

Entre as principais alternativas empregadas no tratamento da vinhaça, tem-se destacado os processos de biodigestão anaeróbia, por meio da utilização de diferentes configurações de reatores biológicos (fluxo ascendente, leito fluidizado, leito fixo e reatores híbridos), além dos métodos físico-químicos, como a adsorção, coagulação/floculação, oxidação e os processos de separação por membranas.

A utilização de reatores anaeróbios de alta taxa, tem ganhado grande atenção no processamento de águas residuárias em decorrência a diversas vantagens como, pequeno custo de implantação, baixa demanda de área, ausência de decantador primário, boa eficiência de remoção de DBO e DQO, entre outras (Chernicharo, 2007).

O reator anaeróbio compartimentado e/ou chicanado (RAC), também denominado como reator ABR (*Anaerobic Baffled Reactor*), é uma configuração de reator que tem merecido destaque no tratamento de águas residuárias. Esta configuração de reator combina as vantagens do filtro anaeróbio, que apresenta alta estabilidade e segurança, e do reator UASB, no qual, a própria biomassa agregada facilita a sua retenção no reator, mostrando excelente desempenho para tratamento de águas residuárias com elevada carga orgânica (Boopathy, 1998).

O projeto do reator RAC é simples, sem peças móveis ou mistura mecânica, tornando seu custo de construção relativamente barato; não há exigências para as propriedades da biomassa dentro do reator; a geração de lodo é baixa e o tempo de retenção de sólidos é elevado; não a necessidade de fixação da biomassa em material suporte ou uma câmara de sedimentação de sólidos (Foxon et al., 2004).

Embora não comumente encontrado em grande escala, os reatores compartimentados possuem inúmeras vantagens sobre outros sistemas já bem estabelecidos, como baixo custo de construção e operação, não requer partes móveis, baixa geração de lodo, retenção da biomassa sem necessidade de meio suporte, baixo TRH, tempo de operação elevados sem desperdício de biomassa, dentre outros.

No que refere-se ao processamento da vinhaça por meio da utilização de reatores tipo compartimentado (RAC), verifica-se uma escassez de trabalhos na literatura científica, necessitando desta forma, estudos direcionados à investigação do potencial de tratabilidade deste efluente com elevada carga orgânica.

Desta forma, este trabalho propõe avaliar a produção de metano em reator anaeróbio compartimentado (RAC) tratando vinhaça de cana-de-açúcar concentrada, visando melhorias na conversão da carga orgânica poluente na geração de metano.

MATERIAIS E MÉTODOS

Reator Anaeróbio Compartimentado - RAC

Foi utilizado um reator anaeróbio compartimentado construído em material de PVC (conforme ilustrado na Figura 1), com quatro câmaras (C1, C2, C3 e C4), cada qual com capacidade para 5 L⁻¹, totalizando um volume de 20 L⁻¹, diâmetro interno de 100 mm e altura de 0,8 m.

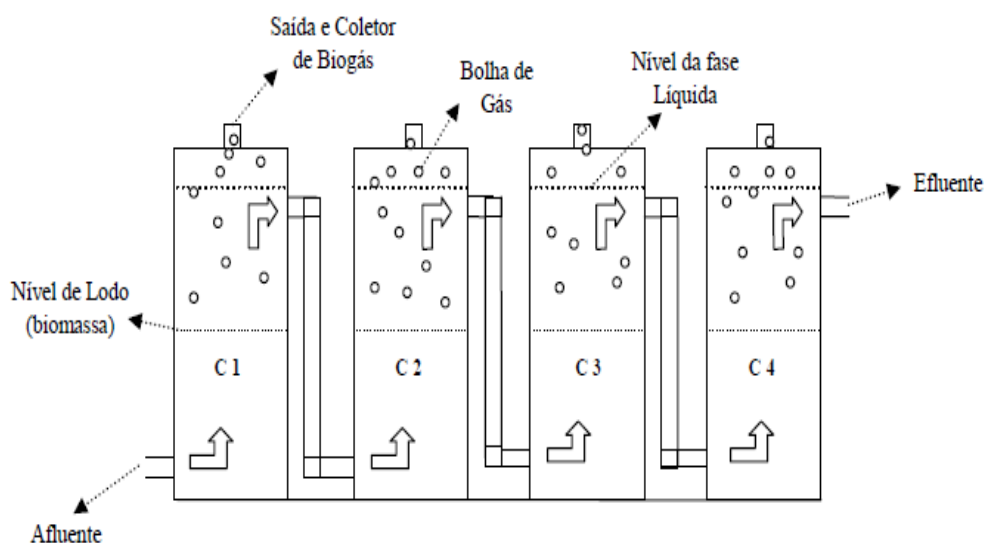


Figura 1: Desenho esquemático do Reator Anaeróbio Compartimentado (RAC).

A inoculação do RAC foi realizada com lodo anaeróbio granular proveniente de um reator UASB em escala real tratando efluente de abatedouro de aves, utilizando volume aproximado de $2,5 \text{ L}^{-1}$ em cada câmara.

Vinhaça de cana-de-açúcar

As amostras de vinhaça bruta utilizada nos ensaios foram coletas em uma destilaria de álcool, a qual foi armazenada e refrigerada em local apropriado, mantendo-se assim a mesma qualidade durante todo o período de duração do estudo.

Preliminarmente, foi realizada a caracterização da vinhaça por meio dos seguintes parâmetros físico-químicos: DQO, alcalinidade, ácidos voláteis, pH, carboidratos, ST, STF e STV de acordo com os procedimentos descritos no *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005).

Operação e monitoramento do reator

A operação e monitoramento do RAC foi realizada partindo-se da carga orgânica volumétrica (COV) de $0,5 \text{ kg DQO/m}^3 \cdot \text{d}$ até a obtenção da COV de $2,5 \text{ kg DQO/m}^3 \cdot \text{d}$ com o reator em regime estacionário.

O monitoramento do reator foi verificado pelos parâmetros de alcalinidade, ácidos voláteis, pH, DQO e produção de metano, de acordo com o *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005). Após a obtenção da carga orgânica estipulada e com o reator em regime estacionário, foi realizada também, análise de microscopia de contraste de fase.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Monitoramento do RAC

Na Tabela 1 é apresentado os valores obtidos para a caracterização da vinhaça bruta de açúcar e álcool utilizada no trabalho.

Tabela 1: Caracterização da vinhaça bruta utilizada no presente trabalho.

Parâmetro	Valor médio
DQO (mg/L)	17.509,79
pH	6,60 - 7,48
Alcalinidade total (mg/L)	3.283,14
Ácidos voláteis (mg/L)	2.141,46
Carboidratos (mg/L)	2348,10
Sólidos totais - ST (g/L)	17,56
Sólidos totais fixos - STF (g/L)	5,26
Sólidos totais voláteis - STV (g/L)	12,30

Os resultados obtidos a partir do monitoramento do reator para cada compartimento em termos de concentração de DQO, eficiência de remoção de DQO, alcalinidade total, ácidos voláteis, pH, carboidratos e sólidos, estão apresentados na Figura 2.

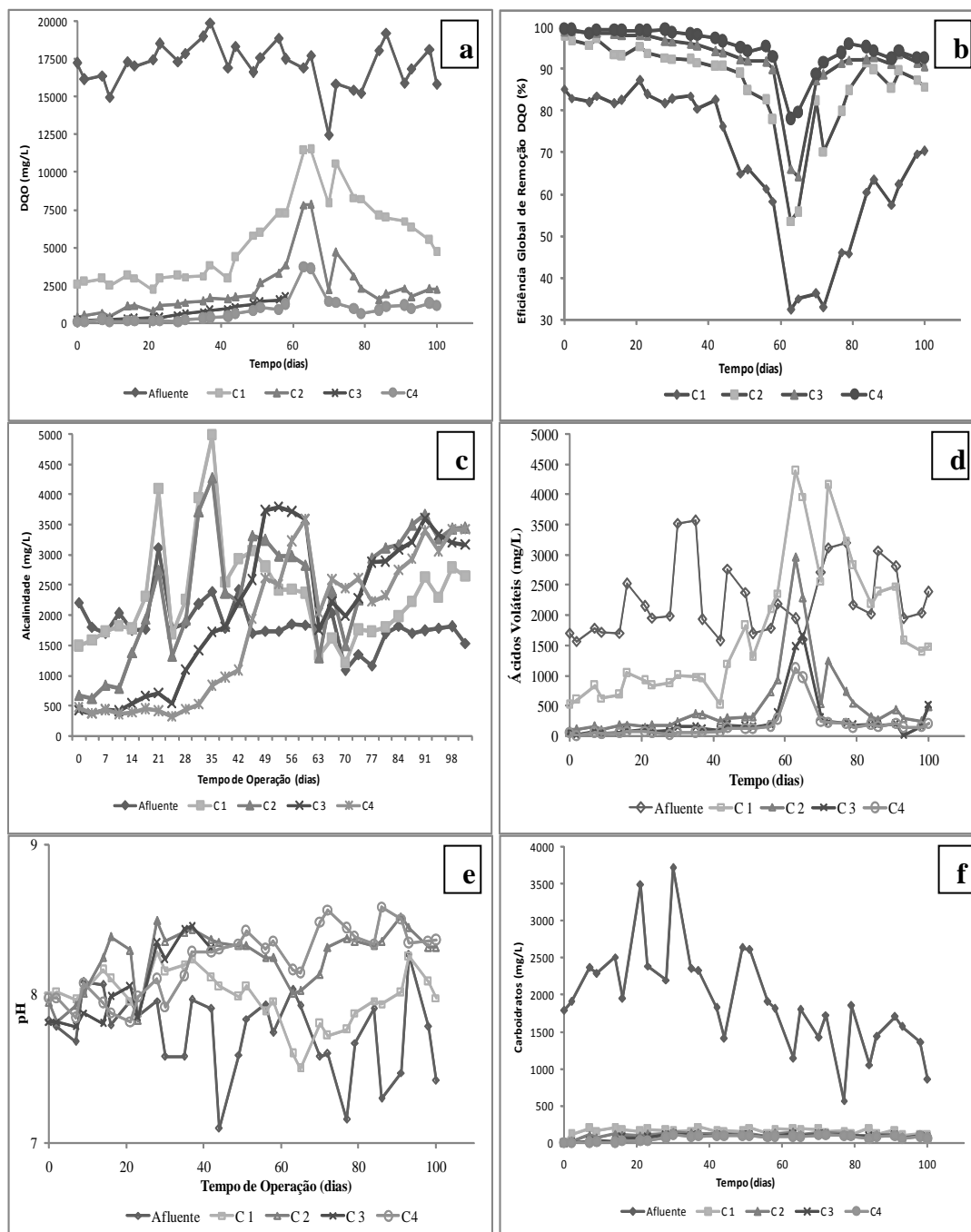


Figura 2: Variação temporal do monitoramento do RAC para cada câmara em termos de remoção de DQO (a), eficiência global de remoção de DQO (b), alcalinidade (c), ácidos voláteis (d), pH (e) e carboidratos (f).

Observa-se a partir dos resultados obtidos do monitoramento do reator processando vinhaça, foi obtida uma DQO afluente média de $17.509,79 \text{ mg/L}^{-1}$ (Tabela 1). Para as câmaras C1, C2, C3 e C4, foram obtidos valores de DQO efluente médio de 5479,11; 2236,46; 1305,82 e 843,25 mg/L^{-1} , respectivamente.

Analisando os dados da Figura 2.b, constata-se que a eficiência média global de remoção de DQO no RAC foi de 80,5 %. Em relação aos valores individuais médios de eficiência de remoção de DQO para cada câmara, estes foram de 35,1; 31,8; 19,2 e 43,0 %, para a C1, C2, C3 e C4, respectivamente. Pode-se verificar desta forma, que o reator processando vinhaça, apresentou boa eficiência na remoção de matéria orgânica na forma de DQO, tendo-se em vista que, a maior parcela de redução da carga orgânica foi obtida pela primeira câmara (C1).

Observa-se a partir da Figura 2.c ligeira oscilação dos valores de alcalinidade total a bicarbonato para as quatro câmaras do RAC. O valor médio de alcalinidade obtido para o afluente foi de 3.283,14 mg/L⁻¹, enquanto para as câmaras C1, C2, C3 e C4, os valores médios observados foram de 3570,70; 2907,11; 2005,34 e 1485,27 mg/L⁻¹.

Os valores médios de ácidos voláteis (Figura 2.d) afluente e para C1, C2, C3 e C4 foram de 1731,09; 517,35; 252,18 e 182,05 mg/L⁻¹, respectivamente. Os valores de pH (Figura 2e) manteve na faixa de neutralidade em geral para ambas as câmaras do reator ao longo do período de operação do mesmo, indicando que efetivamente ocorreu o consumo de ácidos voláteis e geração de alcalinidade por meio das reações bioquímicas dentro dos compartimentos do reator .

Em reatores biológicos, o acúmulo de ácidos orgânicos voláteis indica um desbalanceamento entre as velocidades de consumo de matéria orgânica, realizado pelos consórcios de bacterianos presentes na biomassa do reator. Segundo (Speece, 1996) quando a concentração de ácidos voláteis se torna muito elevada, há probabilidade de ocorrência de problemas graves com o sistema de tratamento, devido à diminuição do pH.

Em relação aos resultados de carboidratos (Figura 2.f), observa-se que houve remoção significativa pela biomassa presente nas câmaras do reator, obtendo-se as concentrações médias de 1937,24; 157,53; 107,95; 84,26 e 68,46 mg/L⁻¹ para o afluente, C1, C2, C3 e C4, respectivamente, apresentando eficiência média global de remoção da ordem de 96,5 %.

Monitoramento da biomassa

Após a obtenção da carga orgânica aplicada ao RAC de 2,5 kg DQO/m³.d foram retiradas amostras de biomassa para realização de exames microscópicos de contraste de fase com a finalidade de se verificar a diversidade morfológica dos microrganismos para cada câmara do reator, conforme apresentado na Figura 3.

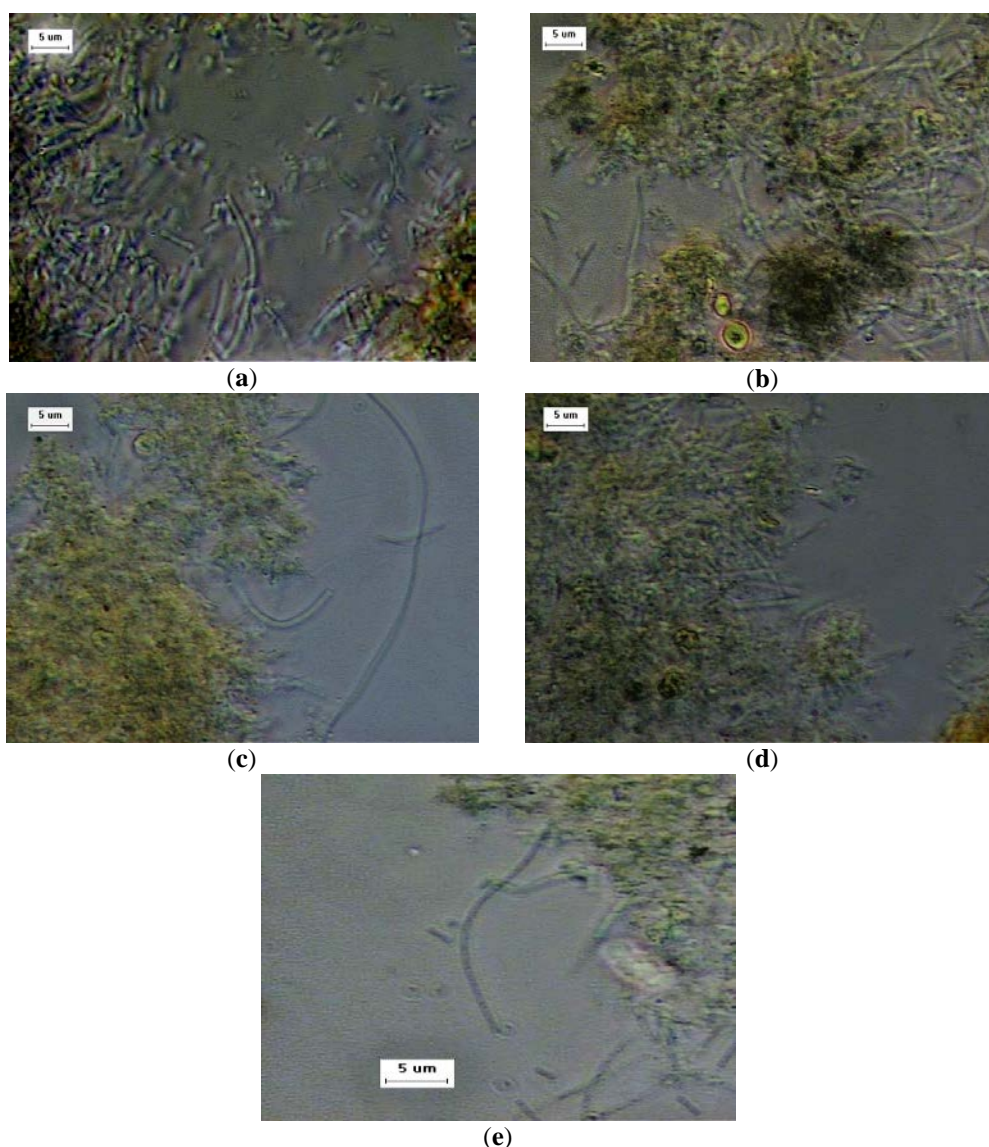


Figura 3: Microscopia de contraste de fase de morfologias observadas para o lodo de inóculo (a), C1 (b), C2 (c), C3 (d) e C4 (e).

Em relação a amostra do lodo de inóculo (Figura 3a) foi observado a predominância de uma grande quantidade de bacilos com dimensões variadas, com predomínio o de *Methanosaeta* sp. Para as amostras das quatro câmaras do reator, foram observados comportamentos diferentes em relação à densidade morfológica da biomassa.

Na C1 (Figura 3b), foi observado predomínio maior de *Methanosaeta* sp, (quando comparado ao inóculo), leveduras, bacilos curvos semelhantes a BRS, e algumas poucas *Methanosarcina* sp. Já para a C2 (Figura 3c), também foi observado o predomínio de *Methanosaeta* sp porém com menor densidade morfológica. Para a C3 e C4 (Figuras 3d e 3e, respectivamente), foram observadas aparente diminuição das arqueias metanogênicas.

Essa variação da densidade e diversidade morfológica verificada para os microrganismos presente nas diferentes câmaras do RAC pode ter sido influenciada pelas condições individuais encontradas em cada câmara do reator em termos de fornecimento de substrato orgânico.

Produção de metano

Os valores do volume de metano produzido obtidos para as câmaras C1, C2, C3 e C4 no decorrer do período de operação do reator são apresentados na Figura 4.

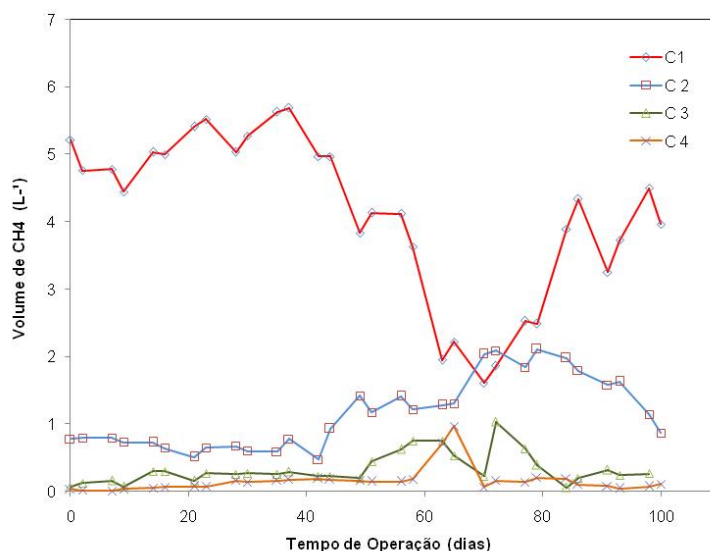


Figura 4: Produção de metano calculado para cada câmara do reator RAC processando vinhaça.

Analisando a Figura 4 constata-se que, a maior produção em termos de volume de metano foi de 5,690 L⁻¹ obtido para a C1, verificando-se decréscimo para as demais câmaras subsequentes (C 2, C 3 e C 4). Os valores médios produzidos ao longo do período de operação do RAC para a C1, C2, C3 e C4 foram de 4,125; 1,150; 0,330 e 0,162 L⁻¹ de CH₄, respectivamente.

A maior produção de gás metano observada na primeira câmara (C1) possivelmente pode estar relacionado ao fato de que, esta detém a maior carga orgânica volumétrica (COV) quando analisada individualmente, garantindo maior concentração de substrato orgânico a ser degradado pela biomassa microbiana presente nesta câmara, permitindo assim, maior conversão em biogás, especificamente gás metano.

Os valores menores de CH₄ observados para as demais câmaras (C2, C 3 e C4), podem ter sido decorrentes do menor fornecimento em termos de concentração de matéria orgânica para a biomassa microbiana pelos afluentes de cada câmara antecedente, como pode ser constatado pelos valores finais de DQO apresentados na Tabela 1.

CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos do presente estudo pode-se concluir que:

No período de operação do reator RAC a eficiência global média de remoção de DQO foi de 80,5 %. Os resultados indicam elevada remoção certamente propiciada pela adaptação da biomassa anaeróbia ao longo das quatro câmaras do reator dispostas em série.

Foram observados por meio das imagens de microscopia de contraste de fase, variação na densidade e diversidade morfológica de microrganismos presente nas diferentes câmaras do RAC, fato este que possivelmente pode ter sido influenciado pelas condições individuais encontradas em cada câmara do reator em termos de fornecimento de substrato orgânico.

A maior produção de metano foi observada para a C1(5,690 L⁻¹ de CH₄), possivelmente pode estar relacionado ao fato que, esta detêm a maior carga orgânica aplicada quando analisada individualmente, verificando um decréscimo na produção de metano para as demais câmaras subsequentes (C2, C3 e C4).

De forma geral, os resultados obtidos indicam a potencialidade do tratamento de vinhaça concentrada proveniente de destilaria de açúcar e álcool em reator anaeróbio tipo RAC para a redução da carga orgânica poluente, permitindo que esse efluente final possa ser utilizado na produção de biogás e posteriormente na fertirrigação de solos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21^a ed., American Public Health Association, Washington, D.C., USA, 2005.
2. BARBER, W.P.; STUCKEY, D.C. (1999). The used of an anaerobic baffled reactor (ABR) for wastewater treatment: A Review. *Water Research*. 33 (Orozco, 1997) 1559.
3. BOOPATHY, R. (1998). Biological treatment of swine waste using anaerobic baffled reactors. *Bioresource Technology*. v. 64, Issue 1, April, p.1-6.
4. CHERNICHARO, C.A. de L. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Reatores Anaeróbios. 2.ed. Belo Horizonte: Departamento de engenharia Sanitária e Ambiental, 2007.
5. FOXON, K.M.; PILLAY, S.; LALBAHADUR, T.; RODDA, N.; HOLDER, F.; BUCKLEY, C.A. (2004). The anaerobic baffled reactor (ABR) - An appropriate technology for on-site sanitation.. In: Water SA 30, 5.
6. LAMONICA, H.M, Potencial de geração de excedentes de energia elétrica a partir da biodigestão da vinhaça, Campinas, 06 jun. 2006. Palestra proferida no AGRENER 2006.
7. SPEECE, R. Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewaters. Tennessee: Archae Press, 1996.