

## Avaliação de atividade metanogênica específica para produção de biogás a partir de resíduos sólidos orgânicos

Lais Vilar Albuquerque<sup>1</sup>; Naiane Costa Lima<sup>2</sup>; Ari Clecius Alves de Lima<sup>3</sup>; Ronaldo Stefanutti<sup>4</sup>  
; Francisco Diego Araújo Oliveira<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Ceará, Unidade Acadêmica de Engenharia Ambiental - [laisvilar@live.com](mailto:laisvilar@live.com)

<sup>2</sup> Universidade Federal do Ceará, Unidade Acadêmica de Engenharia Hidráulica e saneamento Ambiental - [edineuza@deha.ufc.br](mailto:edineuza@deha.ufc.br)

<sup>3</sup> Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará, Núcleo de Química – [ari.lima@nutec.ce.gov.br](mailto:ari.lima@nutec.ce.gov.br)

<sup>4</sup> Universidade Federal do Ceará, Unidade Acadêmica de Engenharia Hidráulica e saneamento Ambiental - [ronaldostefanutti@hotmail.com](mailto:ronaldostefanutti@hotmail.com)

<sup>5</sup> Universidade Federal do Ceará, Unidade Acadêmica de Engenharia Hidráulica e saneamento Ambiental – [diego.oliveira@cagece.com.br](mailto:diego.oliveira@cagece.com.br)

### RESUMO

O estudo e aplicação da digestão anaeróbia são extremamente importantes, pois na medida em que os resíduos orgânicos são degradados, geram subprodutos como o metano, sendo uma fonte de combustível, além da consequente destinação ambientalmente adequada. Considerando a importância da digestão anaeróbia para o reaproveitamento da fração orgânica dos resíduos sólidos e a possibilidade de geração de energia por meio do biogás produzido, a pesquisa objetiva encontrar mecanismos que aperfeiçoe o processo de biodigestão, através da avaliação metanogênica específica com diferentes Inóculos.

O experimento consistiu na análise e avaliação de diferentes tipos de Inóculos, a fim de aperfeiçoar a digestão anaeróbia de resíduos. Os Inóculos foram coletados em baldes de polietileno com capacidade de 10L, previamente descontaminados com ácido clorídrico P.A. No momento da coleta, a temperatura foi medida no local. O material, posteriormente, foi armazenado em galões de polietileno com capacidade de 5L, também descontaminados, e conservado sob refrigeração a 4°C.

A pesquisa foi subdividida em duas fases, nas quais foram realizadas a caracterização dos Inóculos e o teste de atividade metanogênica específica. Na primeira fase, foram caracterizadas as propriedades físicas e químicas de quatro diferentes Inóculos. No segundo momento, foi realizado o teste de atividade metanogênica específica. Ao avaliar a atividade metanogênica dos quatro Inóculos testados, o Inóculo oriundo de uma indústria de cervejaria (Inóculo 3), apresentou um maior desempenho com uma AME máximo de 0,80 gDQO.gSV·d<sup>-1</sup>, volume máximo de metano de 21,98 mL e 67,5% de metano presente no biogás, ainda em um período mais curto de 0,83 dia ao comparar com as outras amostras.

Biogás, Resíduos Sólidos, Metanogênese.

## 1. INTRODUÇÃO

A digestão anaeróbia consiste na estabilização biológica da matéria orgânica, por uma gama de microrganismos, na ausência de oxigênio, obtendo-se como principal subproduto metano e gás carbônico [BARCELOS, 2009]. O estudo e aplicação da digestão anaeróbia são extremamente importantes, pois na medida em que os resíduos orgânicos são degradados, geram subprodutos como o metano, sendo uma fonte de combustível, além da consequente destinação ambientalmente adequada.

A digestão anaeróbia pode-se ser subdividido em uma sucessão de quatro etapas: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese. É essencial avaliar o funcionamento dessas etapas para se verificar um possível efeito inibitório de algum fator presente em determinada fase da biodigestão. Diversos fatores podem influenciar este processo, como a temperatura, a carga orgânica aplicada, a presença de materiais de natureza tóxica, entre outros. [LEITE *et al.*, 2004].

A grande desvantagem do processo de digestão anaeróbia em biodigestores consiste no elevado tempo para a estabilização da matéria orgânica. Entretanto, atualmente são

evidenciados artifícios para diminuir o tempo e aperfeiçoar o processo de bioestabilização dessa matéria, destacando-se a adição Inóculos.

A utilização de Inóculos propicia um equilíbrio na relação entre o Carbono e Nitrogênio, o aumento da população microbiana, a incorporação de agentes de tamponamentos, a elevação do percentual de umidade, além de melhorar a rentabilidade da produção de biogás; são geralmente utilizados: lodos de esgoto sanitário, chorume e alguns materiais de origem animal, como esterco bovino e outros [BARCELOS, 2009].

Considerando a importância da digestão anaeróbia para o reaproveitamento da fração orgânica dos resíduos sólidos e a possibilidade de geração de energia por meio do biogás produzido, a pesquisa objetiva encontrar mecanismos que aperfeiçoe o processo de biodigestão, através da avaliação metanogênica específica com diferentes Inóculos. As análises e testes foram realizados no LABOSAN (Laboratório de Saneamento) do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental (DEHA) da Universidade Federal do Ceará (UFC).

## 2. METODOLOGIA

A pesquisa foi desenvolvida no LABOSAN (Laboratório de Saneamento) do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental (DEHA) da Universidade Federal do Ceará (UFC).

O experimento consistiu na avaliação da atividade metanogênica específica para diferentes Inóculos, a fim de aperfeiçoar a digestão anaeróbia de resíduos.

A pesquisa foi subdividida em duas fases, nas quais foram realizadas a caracterização dos Inóculos e o teste de atividade metanogênica específica. Na primeira fase, foram caracterizadas as propriedades físicas e químicas de quatro diferentes Inóculos. No segundo momento, foi realizado o teste de atividade metanogênica específica.

Os resultados de cada fase da pesquisa foi avaliado estatisticamente, com intuito de apresentar dados confiáveis a um aperfeiçoamento na tecnologia dos reatores anaeróbios para tratamento da fração orgânica de resíduos sólidos.

### 2.1. Inóculos

De modo a potencializar o processo de digestão anaeróbia dos resíduos sólidos orgânicos, optou-se por aplicar a técnica de

inoculação. Foram selecionados quatro diferentes Inóculos, oriundos de processos anaeróbios (Tabela 1).

Tabela 1: Inóculos selecionados para utilização na pesquisa.

Inóculos	Processo de Origem	Local de Origem
<b>Inóculo 1</b>	Lodo anaeróbio, proveniente da digestão anaeróbia de um efluente doméstico.	Lodo coletado em reator anaeróbio de fluxo ascendente (UASB), localizado em uma estação de tratamento de esgoto no bairro Aracapé, cedido por uma companhia de saneamento.
<b>Inóculo 2</b>	Lodo anaeróbio, proveniente da digestão anaeróbia de um efluente doméstico.	Lodo coletado de tanques sépticos de residências por caminhão limpa fossas, descarte ocorrendo em estação de tratamento de esgoto de companhia de saneamento, a qual cedeu o material para estudo.

Continuação Tabela 2:



<b>Inóculo 3</b>	Lodo anaeróbio, proveniente de digestão anaeróbia, a ser utilizado em tratamento de efluente industrial.	Lodo coletado de reator anaeróbio de fluxo ascendente, inóculo adquirido por uma indústria no município de Pacatuba, a ser utilizado no tratamento de efluente industrial, cedido pela industrial para estudo.
<b>Inóculo 4</b>	Lixiviado, proveniente de digestão anaeróbia de resíduos sólidos urbanos.	Lixiviado coletado de aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos do município de Fortaleza e região metropolitana, localizado em Caucaia.

Os Inóculos foram coletados em baldes de polietileno com capacidade de 10L, previamente descontaminados com ácido clorídrico P.A. No momento da coleta, a temperatura foi medida no local. O material, posteriormente, foi armazenado em galões de polietileno com capacidade de 5L, também descontaminados, e conservado sob refrigeração a 4°C.

Cada Inóculo foi caracterizado através de parâmetros físicos e químicos, sendo as análises realizadas no LABOSAN. A tabela

abaixo informa os parâmetros analisados e metodologias utilizadas (Tabela 2).

Tabela 2: Parâmetros físicos e químicos realizados para caracterização dos Inóculos.

Parâmetros	Unidade	Método Analítico	Referência
pH	-	Potenciométrico	APHA, 2005
C.E.	$\mu\text{S.cm}^{-1}$	Condutivimétrico – Sonda Multiparâmetro	APHA, 2005
TU	%	Gravimétrico	APHA, 2005
ST	$\text{Mg.L}^{-1}$	Gravimétrico - Secagem a 103 – 105°C	APHA, 2005
STV	$\text{mg.L}^{-1}$	Gravimétrico – Ignição a 500 – 550°C	APHA, 2005
Alc.T	$\text{mg CaCO}_3.\text{L}^{-1}$	Titulação potenciométrica	Ribbas <i>et al</i> , 2007
AGV	$\text{mg CH}_3\text{C OOH.L}^{-1}$	Titulação potenciométrica	Ribbas <i>et al</i> , 2007
NTK	$\text{Mg.L}^{-1}$	Kjedahl	APHA, 2005
PT	$\text{Mg.L}^{-1}$	Espectrofotométrico (Digestão – ácido ascórbico)	APHA, 2005
DQO	$\text{mg O}_2.\text{L}^{-1}$	Colorimétrico por refluxo fechado	APHA, 2005

## 2.2. Teste de Atividade Metanogênica Específica

A realização do teste de atividade metanogênica específica foi formulado a partir do protocolo proposto por Angelidaki *et al.* [2009], abaixo segue o roteiro utilizado no experimento:

- Caracterizar o Inóculo mediante aspectos físicos e químicos;

- Separar os frascos de vidro necessários para análise do Inóculo, lembrando que o frasco de reação deve possuir volume entre 100 e 2000 mL. Realizar este procedimento em triplicata;

- Diluir o Inóculo para atingir uma concentração inicial entre 2,0 e 5,0 g STV (faixa de concentração recomendada para testes de AME sob agitação);

- Definir o substrato a ser utilizado no teste (Glicose, acetato, celulose, propionato e butirato);

- Preparar a solução de macro e micronutrientes conforme as tabelas 3 e 4, respectivamente. É adicionado 1mL da solução de micronutrientes a 1 litro da solução de macronutrientes, compondo a solução de nutrientes.

Tabela 3: Solução padrão de macronutrientes

NUTRIENTE	CONCENTRAÇÃO
-----------	--------------

	(mg.L <sup>-1</sup> )
NH <sub>4</sub> Cl	280
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	250
MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	100
CaCl <sub>2</sub> .6h <sub>2</sub> O	10

Fonte: DOS SANTOS, 2005.

Tabela 4: Solução padrão de micronutrientes

NUTRIENTE	CONCENTRAÇÃO (mg.L <sup>-1</sup> )
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	50
FeCl <sub>2</sub> .4H <sub>2</sub> O	2000
ZnCl	50
MnCl <sub>2</sub> .4H <sub>2</sub> O	500
CuCl <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O	38
(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> Mo <sub>7</sub> O <sub>4</sub> .4H <sub>2</sub> O	50
AlCl <sub>3</sub> .6H <sub>2</sub> O	90
CoCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	2000
NiCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	92
NaSeO <sub>3</sub> .5H <sub>2</sub> O	162
EDTA	1000
HCl	1

- Ajustar o pH da solução de substrato e nutrientes numa faixa entre 6,8 e 7,2;

- Adicionar 1 g de bicarbonato de sódio para cada litro de solução nutritiva;

- Adicionar os volumes determinados das soluções de lodo e substrato nos frascos de reação de modo a se obter a concentração final da mistura de 2,5 g DQO/L, destaca-se que o volume da mistura (lodo + substrato +



solução nutritiva) deverá ocupar de 70-90% da capacidade do frasco;

- Completar o volume da mistura definido com a solução tampão e de nutrientes;

- Lacrar devidamente os frascos de reação, evitando a fuga do biogás durante o teste;

- Remover o O<sub>2</sub> no interior do frasco, purgando-o com um gás inerte;

- Certificar-se de que a pressão no interior do frasco seja igual à atmosférica (1 atm.);

- Incubar os frascos a 35 °C sob agitação a 150 rpm;

- Monitorar a produção de metano diariamente por um período suficiente para cessar ou estabilizar a produção de biogás.

Abaixo segue o esquema dos cálculos necessários para realização do teste:

- Determinação do volume de Inóculo adicionado em cada frasco de reação (Equação 1):

$$V_i \text{ (mL)} = \frac{V_{\text{mist}} \times C_{\text{mist}}}{C_i} \quad [1]$$

Onde:

V<sub>i</sub> = volume do Inóculo (mL);

C<sub>i</sub> = concentração do Inóculo (g STV.L<sup>-1</sup>)

V<sub>mist</sub> = volume da mistura (mL);

C<sub>mist</sub> = concentração da mistura (g STV.L<sup>-1</sup>).

- Determinação do volume de substrato a ser adicionado em cada frasco a fim de se obter concentração final de DQO de 2,5 g DQO/L (Equação 2):

$$V_s \text{ (mL)} = \frac{2,5 \text{ mg DQO/mL} \times V_{\text{mist}}}{C_s} \quad [2]$$

Onde:

V<sub>s</sub> = volume do substrato (mL);

C<sub>s</sub> = concentração do Inóculo (mg DQO .mL<sup>-1</sup>)

V<sub>mist</sub> = volume da mistura (mL);

C<sub>mist</sub> = concentração da mistura (mg DQO.mL<sup>-1</sup>) = 2,5 mg DQO.L<sup>-1</sup> = 2,5 g DQO.L<sup>-1</sup>.

- Determinação do volume da solução de tampão e de nutrientes (Equação 3):

$$V_{\text{stn}} = V_{\text{mist}} - V_i \quad [3]$$

Onde:

V<sub>stn</sub> = volume da solução de tampão e de nutrientes (mL);

V<sub>mist</sub> = volume da mistura (mL);

$V_i$  = volume do Inóculo (mL).

- Cálculo da AME (Equação 4):

$$AME = \frac{\frac{V_{CH_4}}{t}}{FC \times STV \times \frac{V_{mist}}{1000}} \quad [4]$$

Onde:

AME = Atividade metanogênica específica (g DQO-CH<sub>4</sub>/gSTV.d)

$V_{CH_4}$  = volume de metano produzido durante todo o experimento (mL);

FC = fator de conversão estequiométrico (390 mL de CH<sub>4</sub>/g DQOrem);

STV = sólidos totais voláteis (g.L<sup>-1</sup>).

Neste experimento, optou-se por utilizar como substrato a glicose na realização do teste de AME. Durante o teste, foram preparados meios de reação com os quatro tipos de Inóculos em triplicata. Existindo frascos controles, onde não foram adicionados substratos, com o intuito de avaliar atividade endógena dos microrganismos.

A concentração do Inóculo escolhido foi de 5,0 g STV/L, exceto para o Inóculo 4, devido o seu baixo teor de sólidos optando por uma concentração de 1,0 g STV/L. Obtendo uma concentração final da mistura (substrato + Inóculo + solução nutritiva) de 2,5 g DQO/L. Os frascos de vidro âmbar

utilizados possuíam cerca de 110 mL, a mistura ocupou 70% do volume do frasco.

Após os frascos devidamente lacrados, realizou-se a purga do gás presente no frasco com N<sub>2</sub> grau FID, durante 1 minuto. Posteriormente, incubaram-se os frascos em um agitador orbital MA-420 Marconi, até que a produção de biogás cessasse. Optou-se por uma temperatura de 35°C e agitação de 150rpm.

O biogás produzido foi quantificado através do método manométrico, com auxílio de leitores de pressão, onde se apresentam constantes a temperatura e o volume da fase gasosa, portanto o acréscimo de pressão no frasco representava o volume de biogás produzido

A caracterização e quantificação do biogás foram realizadas por cromatografia gasosa, utilizando um cromatógrafo GC 17A, marca Shimadzu, acoplado a um detector de condutividade térmica (TCD).

Na pesquisa utilizou-se modelos de regressão não-linear, mais especificamente as funções sigmoidais (forma de S), para descrever a produção cumulativa do metano na avaliação da Atividade Metanogênica Específica dos Inóculos e teste de biodegradabilidade dos meios de reações estudados.

Os modelos de regressão, linear ou não-linear, são bastante úteis na análise de dados, pode-se avaliar uma possível relação entre um variável dependente com uma ou mais variáveis independentes. Um modelo de regressão não-linear consiste em pelo menos um de seus parâmetros aparecem de forma não-linear, se destaca as curvas sigmóides com um desses modelos [MAZUCHELI E ACHCAR, 2002]. As curvas sigmóides, “inicia em algum ponto fixo, com a razão de crescimento aumentando monotonicamente até atingir o ponto de inflexão e, em seguida, essa razão decai até aproximar assintoticamente de algum valor final [UEDA,2003]”.

As funções sigmóides utilizadas neste trabalho foram a Logística, Gompertz, Richards, MMF, Weibull e Boltzam.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Teste de atividade metanogênica específica – AME

Os Inóculos avaliados durante o teste de AME apresentaram uma elevada atividade metanogênica para as mesmas condições, com exceção do Inóculo 4. Em poucas horas os Inóculos provenientes de lodos de ETEs (Inóculo 1, 2 e 3) apresentaram sua AME

máxima e em questão de dias a produção de metano cessou.

Conforme apresentado na Tabela 5, houve uma maior atividade metanogênica para o Inóculo 3, proveniente de uma indústria de cerveja, com AME máxima de 0,80 g DQO/g STV.d, produção máxima de 21,98 mL de metano e apresentando cerca de 67% de metano presente no biogás. Acredita que isto se deve a maior adaptação dos microrganismos ao substrato presente mais especificamente aos sacarídeos, já que efluentes de cervejarias apresentam elevada quantidade deste composto.

Tabela 5: Resultados do teste de AME para os Inóculos.

TESTE DE ATIVIDADE METANOGENICA ESPECIFICA			
AMOS TRA	VCH <sub>4</sub> máximo (mL)	AME máximo (gDQO.gSV·d <sup>-1</sup> )	Biogás - % CH <sub>4</sub>
INÓCU LO 1	4,92	0,16	33,2
INÓCU LO 2	7,81	0,53	39,3
INÓCU LO 3	21,98	0,80	67,5

Continuação tabela 5:

TESTE DE ATIVIDADE METANOGENICA ESPECIFICA			
--	--	--	--





AMOS TRA	VCH <sub>4</sub> máximo (mL)	AME máximo (gDQO.gSV. d <sup>-1</sup> )	Biogás - % CH <sub>4</sub>
INÓCU LO 4	0,0714	0,0039	1,8

AME: Atividade Metanogênica Específica.

O Inóculo 4 apresentou baixíssima atividade metanogênica, acredita-se que algum componente oriundo do aterro sanitário inibiu a atividade dos microrganismos. Provavelmente a inibição ocorreu devido a elevados teores de metais pesados, que se podem encontrar comumente nos resíduos sólidos urbanos dispostos em aterros sanitários.

Devido à falta de padronização na literatura para execução do teste de AME, torna-se difícil comparar os valores encontrados com outras pesquisas. Nas mesmas condições, uma relação A/M de 0,5 e glicose como substrato, Machado [2012], Carneiro [2012] e Brauna [2012] para um Inóculo proveniente de uma indústria de cerveja, obtiveram, respectivamente, valores máximos de AME de 0,26, 0,63 e 1,49 g DQO/g STV.d, próximo da concentração encontrada nesta pesquisa. Os autores também obtiveram a produção máxima de AME em

poucas horas e a produção de metano cessou em poucos dias.

### 3.2 Aplicando regressão não linear – função sigmoidal.

Utilizou-se a regressão não linear na avaliação do teste de atividade metanogênica específica para cada Inóculo estudado, assim ajustando os dados de produção de metano acumulado aos modelos de funções sigmoidais escolhidas.

A produção máxima de metano acumulado para o Inóculo 1 foi alcançado no período de 1,0 dia com um volume de 4,92 mL. Portanto, aplicando a regressão não linear para estes dados, utilizando como critério de seleção para o melhor ajuste o erro padrão residual, opta-se pelo modelo de Morgan-Mercer-Flodin (MMF).

A produção de metano para o Inóculo 2 chegou ao máximo no período de 0,92 dia com um volume de 7,81 mL. Aplicando a regressão não linear para estes dados, conforme Figura 4, e de acordo com o critério de seleção, segundo Tabela 13, tem-se como melhor ajuste o modelo de Weibull.

O Inóculo 3 apresentou uma maior produção de metano em período mais curto ao comparar com os outros Inóculos estudados, com um volume máximo de metano de 21,98

mL no período de 0,83 dia. Aplicando a regressão não linear para estes dados, conforme Figura 1, tem-se como melhor ajuste o modelo Logístico por apresentar um menor erro padrão residual.

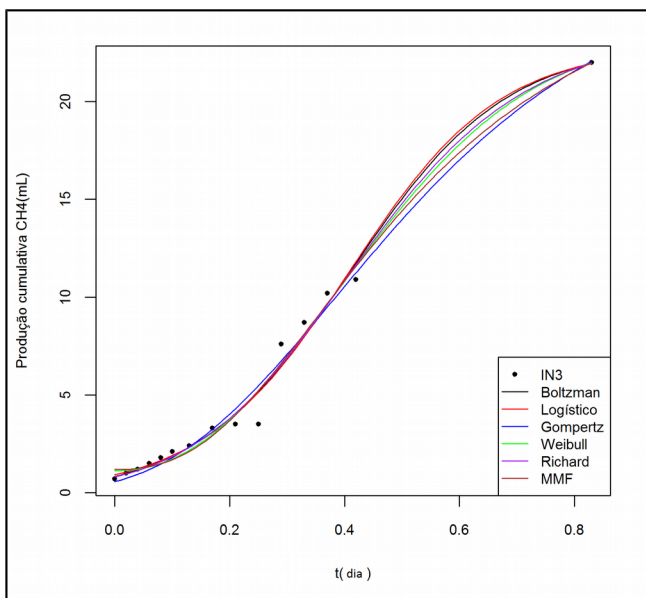


Figura 1: Ajustes dos modelos aplicados aos dados de produção de metano para o Inóculo 3.

Conforme discutido no item anterior, o Inóculo 4 obteve uma baixa produção de metano devido algum agente inibidor, chegando somente a uma produção máxima de 0,0714 mL no período de 1,13 dias. Devido a essa baixa produção, não foi possível aplicar a regressão não linear para estes dados.

#### 4. CONCLUSÕES

A etapa de caracterização dos quatros Inóculos estudados no início da pesquisa conseguiu ser fiel à literatura enquadrando as características dos tipos de Inóculos avaliadas ao que se encontra em diversos trabalhos. Concluindo através de ferramentas estatísticas características semelhantes aos grupos de lodos anaeróbios.

Ao avaliar a atividade metanogênica dos quatros Inóculos testados, o Inóculo oriundo de uma indústria de cerveja (Inóculo 3), apresentou um maior desempenho com uma AME máximo de 0,80 gDQO/gSV·d, volume máximo de metano de 21,98 mL e 67,5% de metano presente no biogás, ainda em um período mais curto de 0,83 dia ao comparar com as outras amostras. Apesar da falta de padronização do teste, encontraram-se resultados semelhantes na literatura para condições semelhantes.

Concluiu-se ao fim do trabalho a partir dos resultados obtidos, que um Inóculo com características semelhantes ao Inóculo 3, com foco principalmente na produção de metano, deve ser mais indicados para a co-digestão anaeróbia. Acreditando que houve uma maior adaptação dos microrganismos ao substrato presente, devido aos efluentes de cervejaria apresentar elevadas quantidades de sacarídeos.

## 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio financeiro dos órgãos: FUNCAP, CAPES, CNPq, FINEP, NUTEC.

## 6. REFERÊNCIAS

### BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. BR 10004: Resíduos sólidos – classificação. Rio de Janeiro, 2004a.

ANDREOLI, C. V. Lodo de esgotos: tratamento e disposição final. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG; Companhia de Saneamento do Paraná, 2001. 484p 6 vol.

ANGELIDAKI, I. ALVES, D.; BOZONELLA, L.; BORZACONNI, L.; CAMPOS, L. GUWIA.; KALYUZHNYL, S.; JENICEK, P.; VAN LIER, J. Defining the biomethane potential (BMP) of solid organic wastes and energy crops: a proposed protocol for batch assays. Water science and technology. Vol 59, 2009.

APHA. Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. 20ª edição. American Water Work Association,

Water Environment federation. Washington: 2005. 953p.

BARCELOS, B. R. Avaliação de diferentes inóculos na digestão anaeróbia da fração orgânica de resíduos sólidos domésticos. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos). Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Distrito Federal, 2009. 90 p.

BRAUNA, C. H. da C. Co-digestão anaeróbia de tortas de oleaginosas visando à produção de metano. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental. Fortaleza, 2012.

CARNEIRO, P. M. Remoção de BTEX em biorreatores anaeróbios sob condições Metanogênicas, desnitrificantes e sulfetogênicas. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental. Fortaleza, 2012.

CHERNICHARO, C. A. de L. **Reatores anaeróbios**. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 1997. 2. ed. Belo horizonte, 2007.



**II CONEPETRO**

II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE  
PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS  
IV WORKSHOP DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO

DOS SANTOS, A. B. Aplicação

conjunta de tratamento anaeróbico termofílico por lodo granular e de mediadores redox na remoção de cor de águas residuárias têxteis. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 10, p. 253-259, 2005.

LEITE, V. D.; *et. al.* Tratamento anaeróbico de resíduos orgânicos com baixa concentração de sólidos. Engenharia Sanitária Ambiental. vol. 9 - nº 4 - out/dez 2004.

MACHADO, M. F. de S. A situação brasileira dos biossólidos. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil. Campinas, 2001

MACHADO, F. L. de O. Co-digestão anaeróbia de microalgas e de glicerol residual do biodiesel. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental. Fortaleza, 2012.

PIMENTEL, F. J. G. Aproveitamento de lodo de estação de tratamento de esgoto em camada de cobertura de aterro sanitário. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Florianópolis, 2012.



**www.conepetro.com**  
**.br**

(83) 3322.3222

contato@conepetro.com.br