

VI-234 – EFEITO DA ENZIMA DE CARICA PAPAYA NA BIODEGRADAÇÃO ANAERÓBIA DA ESCUMA ACUMULADA EM REATOR UASB APLICADO AO TRATAMENTO DO ESGOTO DOMÉSTICO

Aracele Vieira Santos⁽¹⁾

Zootecnista e Especialista em Meio Ambiente pela Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB). Mestre em Ciência Animal pela Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC). Doutora em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (DESA/UFMG).

Carla Vieira Serufo

Bolsista de Iniciação Científica e graduanda em Engenharia Ambiental pela UFMG.

Priscila Emerenciana Silva de Oliveira

Engenheira Ambiental pela FUMEC. Mestranda em Química Ambiental pela UFOP.

Priscila Natalie Pereira Neves

Bolsista de Iniciação Científica e graduanda em Engenharia Ambiental pela UFMG.

Carlos Augusto de Lemos Chernicharo

Engenheiro Civil e Sanitarista pela UFMG. Doutor em Engenharia Ambiental pela Universidade de Newcastle upon Tyne – UK. Professor Associado do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais.

Endereço⁽¹⁾: Avenida Artur Bernardes, 108, Apartamento 202 – São Bento - Belo Horizonte - MG - CEP: 30350-970, Brasil - Tel: (31) 93156748 - e-mail: ara.celle@yahoo.com.br

RESUMO

Os reatores UASB têm sido amplamente reconhecidos como alternativa para sistemas de tratamento anaeróbio de esgotos domésticos no Brasil. Contudo, algumas limitações em termos de operação ainda são observadas sob a perspectiva do efetivo controle da espuma produzida nesses reatores. Sendo assim, o trabalho tem como objetivo demonstrar o efeito da hidrólise enzimática na biodegradação anaeróbia da espuma por meio da utilização da enzima papaína extraída do látex de *Carica papaya L.* Para tal, realizou-se uma primeira etapa em que a espuma foi submetida à hidrólise por 24 horas, com diferentes concentrações de enzima (0; 0,10; 0,25; 0,50; 0,75; 1,0 e 5,0% m/v), de acordo com as condições operacionais usuais de pH e temperatura dos reatores UASB, com o objetivo de estabelecer quais dessas concentrações proporcionariam maior degradação dos lipídeos, através da produção de ácidos. Foram selecionadas, então, três faixas de concentrações enzimáticas (0,5, 1,0 e 5,0%) para a realização dos testes. As amostras de espuma previamente hidrolisadas a 0,5, 1,0 e 5,0% foram submetidas a testes de biodegradação anaeróbia em incubadora shaker, por até 32 dias. Realizou-se, a partir dos resultados, uma comparação entre o sistema pré-tratado e o não tratado, visando evidenciar a eficiência do processo a partir da produção acumulada de metano. Os resultados indicaram valores mais eficientes de produção de ácidos para o tratamento a 1,0% de enzima, evidenciado pelas maiores taxas de produção de metano obtidas. O volume acumulado médio de metano dos ensaios tratados com enzima 1,0% foi de 950 mL, o que indica acréscimo de produção de 68% quando comparado ao volume médio de 564 mL obtido nos frascos controles contendo somente espuma e lodo anaeróbio. Conclui-se, diante disso, que a aplicação da papaína permitiu aumentar a taxa de conversão de matéria orgânica em biogás e, como consequência, o incremento obtido no volume do metano pode aumentar a potencialidade de recuperação de energia a partir do aproveitamento do biogás produzido no tratamento anaeróbio de esgoto doméstico por reatores UASB.

PALAVRAS-CHAVE: Hidrólise enzimática, papaína, espuma, metano, tratamento de esgoto.

INTRODUÇÃO

A produção de energia renovável a partir de resíduos representa uma prioridade de interesse mundial, principalmente a partir da utilização de sistemas que permitam diminuir o impacto ambiental e econômico. Neste contexto, a espuma acumulada nos reatores UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) pode representar uma fonte de energia através da conversão da matéria orgânica em metano. Os cenários futuros para as

energias renováveis, em especial o biogás, são absolutamente promissores, já que o país conta com clima e biodiversidade extremamente favoráveis para estas fontes.

A espuma acumulada nos reatores UASB tem sido relatada, na maioria das estações em escala real, como uma das grandes limitações desse sistema. O acúmulo e a não remoção da espuma gera problemas operacionais como o entupimento nas tubulações que impedem a passagem do biogás; a flotação da biomassa e o arraste junto ao efluente, prejudicando a sua qualidade final (HALALSHEH et al., 2005; SOUZA et al., 2006; PEREIRA, 2009).

Dentre os compostos presentes na espuma (carboidratos, lipídeos e proteínas), os lipídeos representam a fração orgânica mais difícil de hidrolisar, devido à baixa biodegradabilidade e a liberação de AGCL (ácidos graxos de cadeia longa) na etapa de hidrólise, que pode causar toxicidade aos microrganismos (OLIVEIRA et al., 2011). Ademais, a digestão anaeróbia de resíduos complexos como a espuma é um processo lento, tendo como etapa limitante a hidrólise de lipídeos e a liberação de AGCL, devido ao baixo consumo desses compostos pelos microrganismos (MASSE et al., 2001).

Um novo foco de pesquisa consiste na aplicação de enzimas lipolíticas no tratamento de efluentes industriais, cujos resultados têm se mostrado satisfatórios na remoção de compostos lipídicos e proteicos (BIAZUZ et al., 2006; RIGO et al., 2008; VALENTE et al., 2010). O látex extraído do fruto verde de *Carica papaya L.* apresenta em sua composição uma mistura de enzimas com atividade lipolítica e proteolítica (RIVERA et al., 2014), o que mostra o potencial da papaína na biodegradação de compostos orgânicos presentes em efluentes.

No presente estudo avaliou-se o efeito da papaína obtida do látex do fruto verde de *Carica papaya* na hidrólise de lipídeos e proteínas presentes na espuma de reatores UASB aplicados ao tratamento de esgoto doméstico, assim como sobre a biodegradação anaeróbia e produção de metano. O tratamento enzimático potencializa a maior biodegradação da espuma, podendo resultar em melhorias operacionais nos reatores UASB e no aumento da viabilidade de aproveitamento energético do biogás proveniente da matéria orgânica dos esgotos domésticos.

MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos nos Laboratórios de análises físico-químicas, microbiologia e análises instrumentais do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais – DESA/UFMG.

O trabalho foi desenvolvido em duas etapas. Na primeira etapa, realizou-se uma avaliação do efeito de diferentes concentrações de enzima na espuma. Tal avaliação foi realizada a partir da identificação da hidrólise de lipídeos em ácidos, levando-se em conta os parâmetros operacionais do reator UASB. Na segunda etapa, baseando-se nos melhores resultados obtidos na primeira, foi avaliado o efeito da hidrólise enzimática na biodegradação anaeróbia da espuma, por meio da conversão da matéria orgânica em metano.

Obtenção da enzima

Foram utilizadas preparações da enzima papaína crua obtida do látex do fruto verde de *Carica papaya*, adquirida pela empresa Sigma – Aldrich Brasil Ltda. Foi utilizado, ainda, o óleo de oliva como substrato e a goma arábica como emulsificante, para a dosagem da atividade lipásica da enzima.

Obtenção da espuma e lodo anaeróbio

A espuma foi coletada no separador trifásico de um reator UASB em operação na Estação de Tratamento de Esgotos Laboreaux, Itabira, Minas Gerais. As amostras foram armazenadas em recipientes plásticos de 3 litros, não esterilizados, e levadas ao laboratório de análises físico-químicas do DESA/UFMG. Em seguida, foram trituradas em moinho de panelas e estocadas em freezer a 4 °C, para conservação de suas características.

O lodo anaeróbio utilizado como inóculo nos testes de biodegradabilidade anaeróbia foi coletado de um reator UASB do Centro de Pesquisa e Treinamento em Saneamento UFMG/COPASA (CePTS), Belo Horizonte – MG. O armazenamento da espuma e do lodo anaeróbio foi feito em recipientes de 3 L, sob refrigeração a 4°C, até sua utilização.

Aparato experimental

Os testes foram conduzidos em frascos tipo penicilina de 110 mL, com volume útil de 77 mL. Os frascos foram levados à incubadora shaker a 30°C, com agitação de 100 rpm. Esses valores foram baseados nas condições operacionais do reator UASB.

A Figura 1 ilustra o aparato experimental utilizado na realização dos testes de hidrólise e biodegradação anaeróbia.

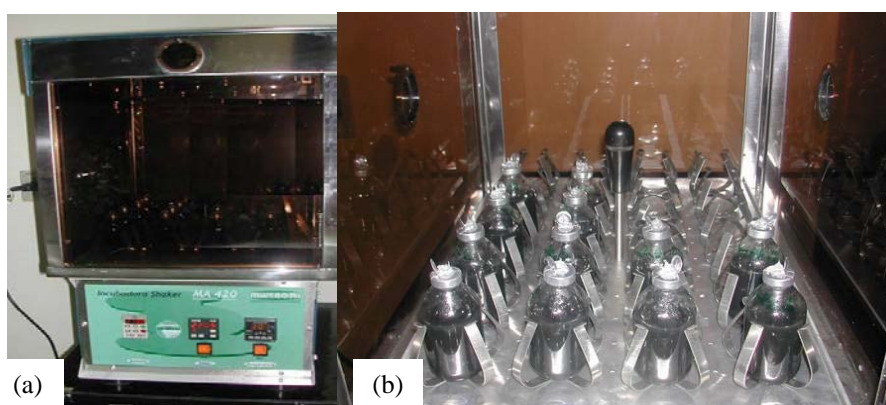


Figura1: Incubadora utilizada nos testes: a) shaker e b) frascos incubados

Os parâmetros de análises envolvidos nos ensaios experimentais das etapas de hidrólise e biodegradação anaeróbia da escuma são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Resumo dos parâmetros de análises envolvidas nos ensaios experimentais em laboratório

Ensaio	Procedimentos	Análises
1	Teste de hidrólise enzimática	Produção de ácidos livres
2	Teste de biodegradabilidade anaeróbia	DQO inicial, DQO final e produção acumulada de CH ₄

As duas etapas de trabalho são descritas a seguir:

PRIMEIRA ETAPA: TESTE DE HIDRÓLISE ENZIMÁTICA

Dosagem da atividade lipásica

O método baseia-se na utilização de óleo de oliva como substrato conforme metodologia adotada por Freire (1997). Foi preparada uma emulsão de 50 mL de azeite de oliva e 50 mL de solução de goma arábica a 7% p/v. Em frascos âmbar do tipo penicilina de 110 mL foram adicionados: 5 mL de substrato, anteriormente preparado, 4 mL de solução tampão fosfato de sódio (0,1M, pH 7,0) e 1 mL da solução enzimática 1,2 g.mL⁻¹). Os frascos foram incubados em um shaker a 37°C por 10 minutos, com agitação de 150 rpm. Os ensaios foram realizados em duplicata. Foram preparados os brancos reacionais, seguindo o mesmo procedimento, utilizando água destilada no lugar da enzima. Após o período de incubação, a reação foi paralisada pela adição de 15 mL de uma mistura de acetona e etanol (1:1) e posteriormente a atividade lipásica da enzima foi determinada.

Descrição do teste de hidrólise enzimática

A escuma foi submetida à hidrólise com diferentes concentrações de enzima [0; 0,25; 0,50; 0,75; 1,00; 2,50; 5,00% m/v, em triplicata. Pesaram-se as diferentes concentrações de papaína em balança analítica e, em seguida, cada concentração de enzima foi diluída em 100 mL de água deionizada. Foi utilizado um volume de

1,0% do preparado enzimático para cada frasco, proporcional ao volume útil utilizado (1% de 77 mL). Os testes foram conduzidos em triplicatas.

A realização da titulação das amostras para a determinação do teor de ácidos liberados na hidrólise enzimática é ilustrada na Figura 2.



Figura 2: Montagem dos ensaios de hidrólise enzimática da espuma: a) preparado enzimático; b) frascos contendo espuma hidrolisada e b) titulador automático

As reações de hidrólise foram realizadas em frascos âmbar tipo penicilina de 110 mL. Em cada frasco foram adicionados 30 mL de espuma, acrescidas de cada concentração de enzima. Em seguida, os frascos foram incubados a 25°C, sob agitação a 100 rpm, por 24 horas. A reação foi conduzida em pH igual a 7. Essas condições foram utilizadas visando simular as condições esperadas de mistura junto à interface gás/espuma, no topo dos separadores trifásicos de reatores UASB aplicados ao tratamento de esgoto doméstico.

A adição de enzima foi realizada após a estabilização da temperatura e do pH do meio reacional, sendo este ajustado através da adição de solução de NaOH 0,1M. Aliquotas de espuma (30 mL) foram coletadas nos tempos 0 e após 24 horas de teste. A reação de hidrólise foi imediatamente interrompida pela adição de 30 mL da solução de acetona e etanol na proporção 1:1, e os teores de ácidos graxos livres determinados em titulador automático (end-point pH 11), utilizando-se NaOH 0,1M como titulante.

Métodos analíticos

A atividade lipásica e o teor de ácidos na etapa de pré-hidrólise enzimática foram determinados por titulação com NaOH 0,1M até pH 11, conforme descrito por Freire *et al.* (1997). Uma unidade de atividade lipásica correspondente à quantidade de enzima que produz 1 μ mol de ácidos graxos por minuto nas condições do ensaio.

RESULTADOS DA PRIMEIRA ETAPA

Caracterização físico-química da espuma e do lodo anaeróbio

A caracterização da espuma e do lodo anaeróbio, para os ensaios de biodegradabilidade anaeróbia (testes I, II e III), são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Caracterização físico-química (pH e série sólidos) da espuma e do lodo anaeróbio (inóculo) utilizados nos testes de biodegradabilidade anaeróbia da espuma

Testes	Amostras	pH	Sólidos Totais (g.L ⁻¹)	Sólidos Voláteis (g.L ⁻¹)	Sólidos Fixos (g.L ⁻¹)
I	Escuma	5,6	249,3	197,3	52,00
	Lodo anaeróbio	7,2	56,70	38,00	18,70
II	Escuma	5,8	156,29	106,00	50,29
	Lodo anaeróbio	7,1	45,30	31,30	14,00
III	Escuma	5,8	114,20	80,00	34,42
	Lodo anaeróbio	7,1	53,39	36,60	17,30
Média	Escuma	5,7	173,26	127,77	45,57
	Lodo anaeróbio	7,2	51,79	35,30	16,67

Propriedade catalítica da papaína crua

O valor médio obtido durante a avaliação da atividade lipásica da papaína crua, para as condições avaliadas com base nos parâmetros operacionais do reator UASB (pH 7,0 e 30°C), foi de 43 U.mL⁻¹, utilizando 2 mL do preparado enzimático em tampão fosfato de sódio 100 mM.

Efeito da concentração da enzima sobre a produção de ácidos graxos

Na Figura 3 é apresentada a produção média de ácidos livres durante a hidrólise das gorduras presentes na espuma com diferentes concentrações de enzima (0, 0,10, 0,25, 0,50, 0,75, 1,0, 2,5 e 5,0% m/v). Não houve variação significativa da produção de ácidos entre o experimento controle (0%) e os experimentos pré-hidrolisados, com exceção da concentração de papaína a 1,0%, que obteve um maior rendimento da produção de ácidos, acima de 200 µmol/mL.

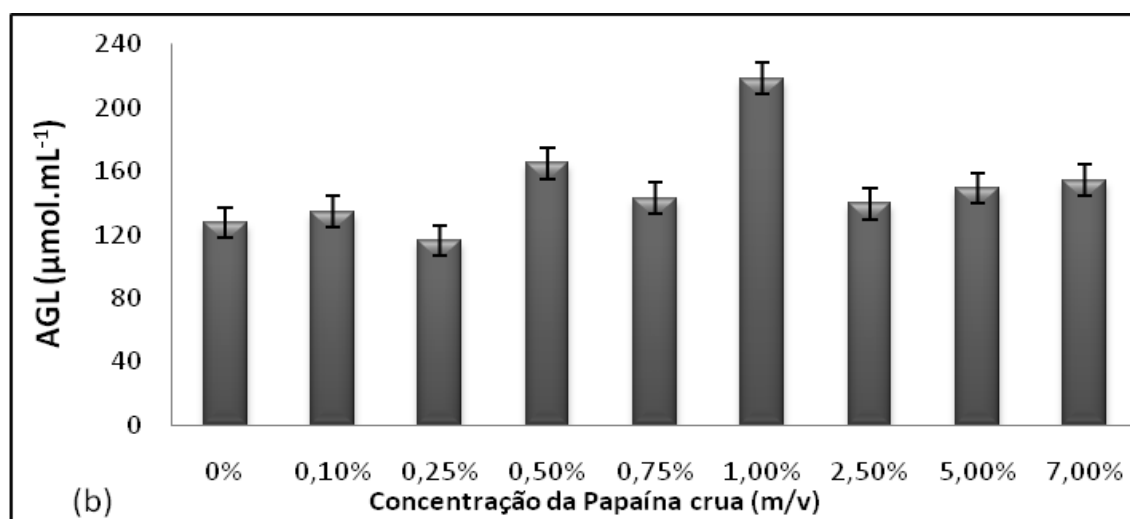


Figura 3. Produção de ácidos (µmol/mL) em 24 horas de hidrólise enzimática, a 30°C e 150 rpm de agitação, para diferentes concentrações de papaína.

SEGUNDA ETAPA: TESTES DE BIODEGRADAÇÃO ANAERÓBIA

De posse dos resultados obtidos na primeira etapa, foram realizados ensaios de biodegradabilidade anaeróbia da espuma visando determinar o potencial de conversão da matéria orgânica em biogás (metano). Optou-se por testar três concentrações enzimáticas, para avaliação da biodegradabilidade anaeróbia da espuma.

Descrição dos testes de biodegradação anaeróbia

Foram realizados três ensaios de biodegradabilidade anaeróbia. A quantidade de espuma e lodo utilizados em cada ensaio foi calculada para se manter uma relação de 0,2 gSTV da espuma/gSTV lodo anaeróbio. O pH dos efluentes foi ajustado para $7,0 \pm 0,2$ antes da mistura com o lodo. Cerca de 30% do volume dos frascos foi reservado para *headspace*, destinado ao volume de biogás produzido. O *headspace* foi lavado com fluxo de nitrogênio (N_2), por meio da introdução de uma agulha de entrada de gás e outra de saída na tampa de borracha, por dois minutos, para eliminação do oxigênio e garantia de um ambiente anaeróbio. Os frascos foram fechados com tampas de borracha e lacres de alumínio, com o auxílio de um alicate e vedados com cola de silicone. Em seguida, os frascos foram levados a incubadora shaker, a 35°C, sob agitação a 100 rpm, por um período de aproximadamente 30 dias. Os testes foram realizados em triplicata.

As concentrações de enzima foram determinadas a partir dos testes de hidrólise enzimática, previamente realizados. Foi utilizada a concentração que resultou na maior produção de ácidos (1,0%), e também testadas as concentrações de 0,5 e 5,0%.

O fluxograma com o teste de biodegradabilidade pode ser observado na Figura 4.

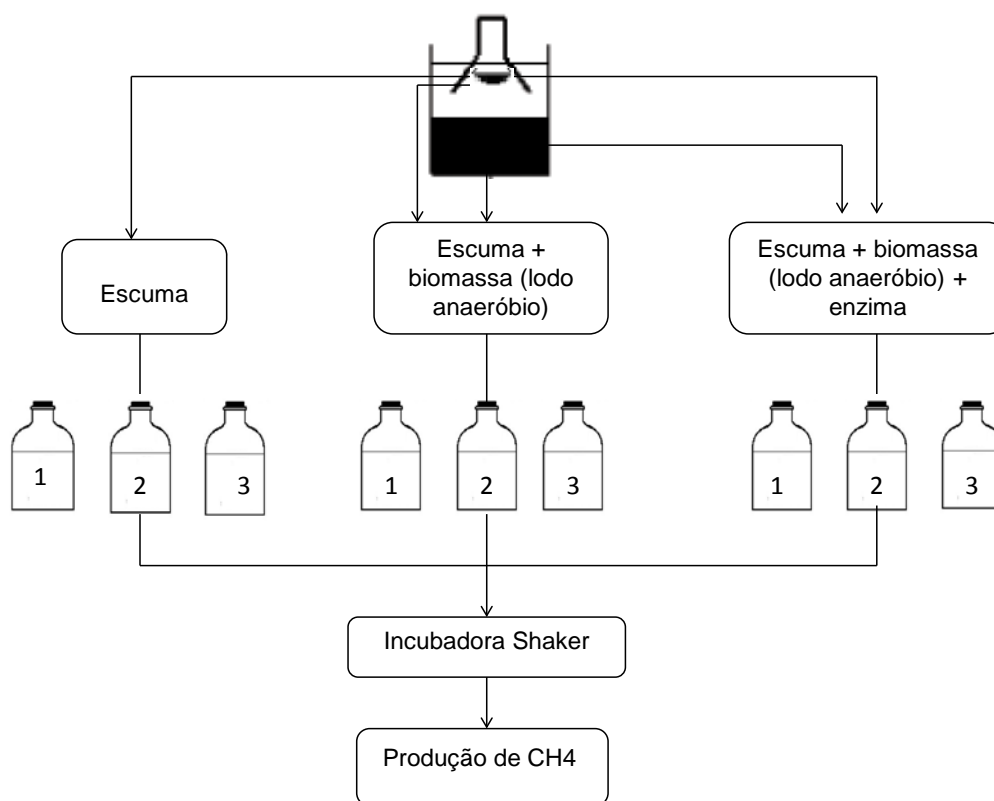


Figura 4: Fluxograma do teste de biodegradabilidade anaeróbia.

A descrição geral dos frascos com respectivas legendas, concentrações e volumes das enzimas utilizadas nos testes de biodegradabilidade anaeróbia empregando a papaína crua são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Identificação dos frascos e volume de enzima para a montagem do ensaio de biodegradabilidade anaeróbia para os testes empregando solução com papaína obtida de *Carica papaya*

Frascos	Legenda	Enzima [%] (m/v)	Volume da solução com papaína (mL)
Frasco controle: apenas espuma	E	0	0
Frasco controle: lodo + espuma	LE	0	0
Frasco teste: lodo + espuma + papaína crua	LE 0,5%	0,5	0,77
Frasco teste: lodo + espuma + papaína crua	LE 1,0%	1,0	0,77
Frasco teste: lodo + espuma + papaína crua	LE 5,0%	5,0	0,77

Nota: foi utilizado 10% do preparado enzimático, com base no volume útil dos frascos (77 mL)

Coleta e análise da produção de metano

Para a realização das análises de metano utilizou-se o cromatógrafo Perkin-Elmer®/Autosystem XL GC com detector de condutividade térmica (TCD - Thermal Conductivity Detector), coluna empacotada carbowax 100 da marca Supel, com dimensões de 15 FT x 1/8 inSS e gás hélio como gás de arraste. O sistema de injeção se encontrava a 170 e 180 °C. Foi utilizado hélio como gás de arraste a uma taxa de 25,0 mL.min⁻¹ e velocidade de 1,5 cm.s⁻¹. O tempo de análise para cada amostra foi de 4,5 minutos.

O volume de biogás foi coletado e medido através do deslocamento do êmbolo de seringas de vidro graduada de 50 mL conectadas aos frascos e as amostras do volume de biogás foram coletadas com seringa plásticas de 20 mL, durante três vezes por semana, até verificar diminuição na produção de biogás.

A análise de DQO foi realizada antes e após o teste de biodegradabilidade anaeróbia, de acordo com o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA, WEF, 2012), a fim de verificar a redução da matéria orgânica presente na espuma.

RESULTADOS DA SEGUNDA ETAPA: TESTES DE BIODEGRADAÇÃO ANAERÓBIA

A Figura 5 (I, II e III) apresenta os resultados dos ensaios realizados e referem-se à média dos valores obtidos das triplicatas de produção metano ao longo do período de incubação dos testes de biodegradabilidade anaeróbia da espuma, para as condições avaliadas (carga de 0,2 g STV espuma/ g STV lodo anaeróbio sob agitação de 100 rpm e a 30 °C).

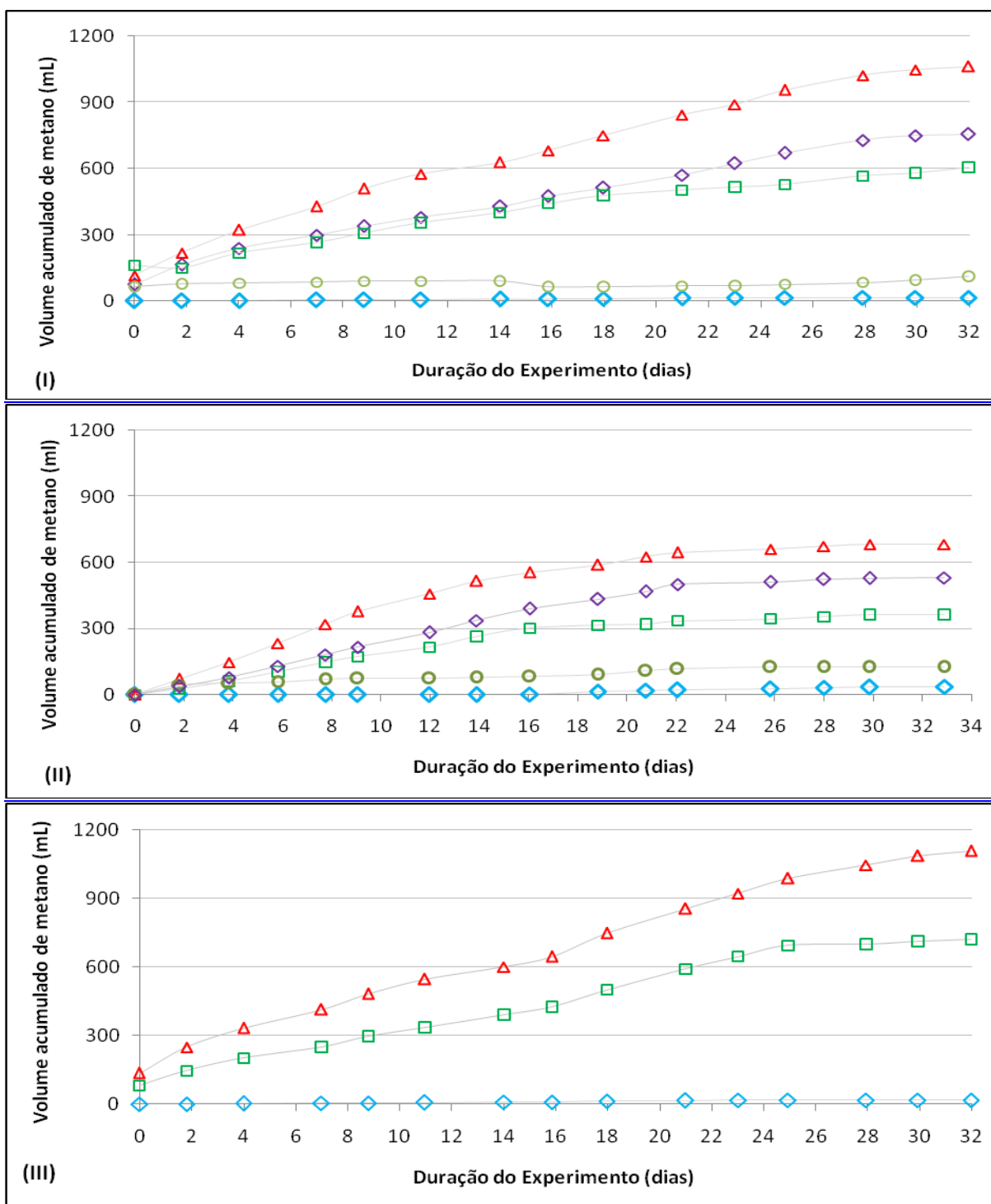


Figura 5: Produção média acumulada de metano nos frascos com escuma inoculados com lodo anaeróbico, para os controles e com diferentes concentrações da enzima papaína crua

Através da análise gráfica dos Testes I, II e III, é possível observar as maiores produções de metano obtidas com a adição de 1,0% de papaína no teste de biodegradabilidade anaeróbia da espuma, respectivamente 1062, 682 e 1108 mL. O volume médio acumulado de metano, para esses três testes, foi de 950 mL, contra 564 mL, em média, obtido nos frascos controles contendo somente espuma e lodo. Esses resultados indicam um incremento de 68% na produção de metano, decorrente da utilização da enzima papaína crua a 1,0%.

Os testes contendo uma concentração de papaína crua a 0,5%, avaliada nos testes I e II, apresentaram volumes acumulados de metano de 756 e 531 mL, respectivamente, após o término do período de incubação. O volume médio acumulado de metano nestes dois testes foi de 644 mL, contra 564 mL, em média, obtido nos frascos controles contendo somente espuma e lodo, utilizados nesses mesmos testes. Esses resultados indicam um incremento da ordem de 14% na produção de metano, decorrente da utilização da enzima papaína bruta a 0,5%.

Uma produção menor de metano foi observada para a concentração de enzima a 5,0% (testes I e II), que apresentou volume médio acumulado de metano de 137 mL. Segundo Masse *et al.* (2001), a alta concentração de enzima livre no meio reacional pode causar a diminuição ou adsorção da enzima na superfície das partículas presentes no efluente, principalmente da gordura. Além disso, considera-se que a alta concentração pode produzir um ambiente tóxico para os microrganismos, pela liberação de alguns compostos ácidos que tornam o ambiente não propício para a biodegradação.

A produção de metano nos frascos contendo a mistura de espuma e lodo anaeróbio foi elevada em todos os três testes realizados, confirmando os resultados de estudos anteriores do grupo de pesquisa da UFMG (SOUZA, 2006; PEREIRA, 2012). Apesar de toda a complexidade e heterogeneidade da espuma, este resíduo é passível de ser biodegradado pelo consórcio microbiano contido no lodo anaeróbio e potencializado pelo tratamento prévio com enzimas específicas.

Outro aspecto positivo a ser destacado na enzima em estudo é a ampla atuação da papaína em meios adversos, com variação de pH e temperatura. A faixa ótima de pH encontra-se em 5 e temperatura de 30 °C, para efluente sintético proteico (BUAIZ *et al.*, 2006) e pH igual a 9 com variação de temperatura entre 40 a 50°C, para a atividade lipolítica sobre triglicerídeos de cadeias longas (RIVERA *et al.*, 2014).

Efeito do tratamento enzimático sobre a remoção da DQO

A Tabela 4 apresenta as concentrações médias de DQO e os respectivos desvios padrão obtidos para a espuma hidrolisada e não hidrolisada, assim como os percentuais de remoção.

Tabela 4: Valores médios, desvios padrão e eficiências de remoção da DQO da espuma com e sem a aplicação do tratamento enzimático no início e final dos testes de biodegradabilidade anaeróbia

Condição	DQO (g.L ⁻¹) Inicial	DQO (g.L ⁻¹) Final	% Remoção
Controle (Escuma)	30,8 ±80	23,5 ±44	23
Controle (Lodo + Escuma)	38,5 ±110	15 ±40	61
Escuma + Lodo + Papaína a 0,5%	54,9 ±25	19,6 ±33	64
Escuma + Lodo + Papaína a 1,0%	89,7 ±21	18,1 ±31	79
Escuma + Lodo + Papaína a 5,0%	108,71 ±18	68,9 ±20	36

Conforme esperado, os resultados dos frascos-controle, contendo apenas espuma, foram os que apresentaram menores eficiências de remoção de DQO, em função da baixa presença de micro-organismos na espuma. Por outro lado, os ensaios tratados com enzima 5,0% também apresentaram baixas remoções de DQO, coincidindo com os resultados de baixa produção metanogênica e reafirmando os possíveis problemas gerados pela alta concentração enzimática no meio.

A adição de diferentes concentrações de papaína resultou em alterações de composição dos efluentes no início dos testes de biodegradabilidade, evidenciado pelo aumento dos valores de DQO inicial. Quando verificado o

efeito do tratamento enzimático, observou-se uma maior remoção da DQO quando comparado ao tratamento controle (sem adição de enzima).

A remoção mais elevada de DQO da espuma foi obtida para os tratamentos com a concentração de enzima de 1,0%, que apresentou uma eficiência média de 79%.

CONCLUSÕES

A aplicação da papaína crua numa etapa de hidrólise enzimática, anterior ao tratamento biológico, como coadjuvante na degradação da espuma, apresentou uma melhor eficiência na hidrólise de lipídeos em ácidos, obtendo-se, assim, uma maior produção de compostos orgânicos mais simples e mais facilmente assimilados pelos microrganismos na concentração a 1,0%.

Os testes de biodegradação anaeróbia mostraram que o pré-tratamento da espuma com a adição da enzima de *Carica papaya* foi eficiente para aumentar a produção de metano e aumentar a remoção de material orgânico nos frascos contendo espuma e lodo anaeróbio. As maiores eficiências de biodegradação anaeróbia e produção de metano foram obtidas com a concentração de 1,0 g L⁻¹ da enzima.

Os resultados obtidos demonstram a eficiência do emprego da papaína na hidrólise de lipídeos presentes na espuma e a sua biodegradação anaeróbia, sendo uma alternativa promissora para tratamento da espuma, além de potencializar o aproveitamento energético a partir da melhoria da conversão de matéria orgânica em biogás (metano).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BIAZUZ, J. P. M.; SANTANA, J. C. C.; SOUZA, R. R. Modelagem empírica do processo de biodegradação de efluentes proteicos por enzimas de *Carica papaya* sp. Revista Agrícola e Ambiental, v.10, n.2, p.436-440, 2006.
2. HALASHEH, M.; KOPPEL, J.; DEN ELZEN, J.; ZEEMAN, G.; FAYYAD, M.; LETTINGA, G. Effect of SRT and temperature on biological conversions and the related scum-forming potencial. Water Research, v. 39, p. 2475 – 2482, 2005.
3. FREIRE, D.M.G.; TELES, E.M.F.; BON, E.P.S.; SANTANNA, Jr.G.L. Lipase production by *Penicillium restrictum* in a laboratory-scale fermenter: media composition, agitation and aeration. Appl. Biochem. Biotechnol. v. 63, p.409–421, 1997.
4. OLIVEIRA, A. B.M.; ORRICO, A. C. A.; ORRICO JUNIOR, M. A. P.; SUNADA, N. S.; CENTURION. Biodigestão anaeróbia de efluente de abatedouro avícola. Rev. Ceres, v.58, n.6, p.690-700, 2011.
5. PEREIRA, J. O., CELANI, J. S. S. & CHERNICHARO, C. A. L. Control of scum accumulation in a double stage biogas collection (DSBC) UASB reactor treating domestic wastewater. Water Science and Technology, v.59, n.6, p.1077- 1083, 2009.
6. RIGO, E. RIGONI, R.E., LODEA, P., OLIVEIRA, D. FREIRE, D.M.G., TREICHEL, H. LUCCIO, M.D. Comparison of Two Lipases in the Hydrolysis of Oil and Grease in Wastewater of the Swine Meat Industry. Ind. Eng. Chem. Res., v.47, n.6, p 1760–1765, 2008.
7. RIVERA, I.; SANDOVAL, G. Caracterización de diversas fracciones Del látex *Carica papaya* como biocatalizadores em la hidrólisis de triglicéridos. Grasas y Aceites, v.65, n.1, p. 1-8, 2014.
8. SOUZA, C. L., SILVA, S. Q., AQUINO, S. F. & CHERNICHARO, C. A. L. Production and characterization of scum and its role in odour control in UASB reactors treating domestic wastewater. Water Science and Technology, 54 (9), 201-208, 2006.
9. VALENTE, A. M., ALEXANDRE, V. M.; CAMMAROTA, M. C.; FREIRE, D. M. G. Pré-hidrólise enzimática da gordura de efluente da indústria de pescado objetivando o aumento da produção de metano. Ciência e Tecnologia de Alimentos, v.3, n.2, 2010.