

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CAMPUS LONDRINA
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

RENAN CARLOS NASCIMENTO

**BIOGÁS DE RESÍDUOS ORGÂNICOS DO RESTAURANTE
UNIVERSITÁRIO COM ADIÇÃO DE EFLUENTE DOMÉSTICO E ÓLEO
DE COZINHA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

LONDRINA

2014

RENAN CARLOS NASCIMENTO

**BIOGÁS DE RESÍDUOS ORGÂNICOS DO RESTAURANTE
UNIVERSITÁRIO COM ADIÇÃO DE EFLUENTE DOMÉSTICO E ÓLEO
DE COZINHA**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresenta à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso Superior de Engenharia Ambiental, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Londrina, como requisito parcial para a obtenção do título de “Engenheiro Ambiental”

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Nagamine Costanzi.

LONDRINA

2014



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Londrina
Coordenação de Engenharia Ambiental



TERMO DE APROVAÇÃO

Biogás de resíduos orgânicos do Restaurante Universitário com adição de
efluente doméstico e óleo de cozinha

por

Renan Carlos Nascimento

Monografia apresentada no dia 13 de agosto de 2014 ao Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho _____
(aprovado, aprovado com restrições ou reprovado).

Prof. Dr. Alexandre Sordi
(UTFPR)

Prof. Dr. Edilaine Regina Pereira
(UTFPR)

Prof. Dr. Ricardo Nagamine Costanzi
(UTFPR)
Orientador

Profa. Dra. Joseane Debora Peruço Theodoro
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Ambiental

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus por tudo. À minha família por me apoiar nos momentos difíceis, e por fornecer condições de estudar. À Universidade Tecnológica Federal do Paraná pela estrutura fornecida e pelos docentes.

Ao meu orientador professor Dr. Ricardo Nagamine Costanzi que se mostrou sempre a disposição para sanar as dúvidas e executar a pesquisa. Ao meu colega de pesquisa Gustavo de Sotti pela colaboração durante a realização da pesquisa.

Agradeço aos meus amigos que estiveram ao meu lado durante essa longa caminhada, sempre apoiando nos momentos de dificuldade.

RESUMO

NASCIMENTO, Renan Carlos. Biogás de resíduos orgânicos do restaurante universitário com adição de efluente doméstico e óleo de cozinha. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2014.

Esta pesquisa tem objetivo de avaliar a produção de biogás a partir da biodigestão anaeróbia de resíduos orgânicos gerados no restaurante universitário com a adição de óleo de cozinha usado e efluente doméstico bruto e sintético. A fim de possibilitar a redução dos custos de transporte, tratamento ou destinação final para os geradores com aproveitamento *in loco* para geração de energia. Para isto avaliou-se a produção de biogás em reatores simples associados a gasômetros de cúpula móvel em escala de laboratório. Utilizaram-se diferentes concentrações de óleo de cozinha em cada reator, além de avaliar também efluente bruto e sintético. Os experimentos foram realizados em três etapas com montagens diferentes, sendo a primeira somente com resíduos orgânicos e óleo de cozinha, a segunda com resíduos orgânicos, efluente sintético e óleo de cozinha, e a terceira com resíduos orgânicos, efluente bruto e óleo de cozinha. Os resíduos orgânicos foram coletados no Restaurante Universitário da UTFPR-Londrina, triturados até obtenção de material homogêneo e pastoso. A proporção utilizada entre resíduo orgânico e efluente foi de 100 gramas para 1 Litro, e o óleo de cozinha escolheu-se arbitrariamente concentrações de 1%, 2,5% e 5%. Os parâmetros analisados foram: pH, condutividade elétrica, sólidos totais, sólidos fixos, sólidos voláteis, análise quantitativa e qualitativa do biogás produzido, e taxa de retorno de investimento. Como principais resultados, obteve-se uma produtividade de biogás de $2,96\text{mL.g}^{-1}$ de sólidos voláteis na etapa 1, média de 156mL.g^{-1} de sólidos voláteis na etapa 2. Na análise qualitativa do biogás para a etapa 2 obteve-se 72,36% de presença de metano. Destacou-se a influência do pH do meio para a atividade metanogênica permanecer ativa. A análise do tempo de retorno de investimento em escala real proporcional tempo de retorno de 18 anos, sendo inviável sua aplicação.

Palavras-chave: Biogás, biodigestão anaeróbia, resíduo orgânico, efluente.

ABSTRACT

NASCIMENTO, Renan Carlos. Biogas from organic waste of the university restaurant with domestic wastewater and adding cooking oil. Completion of course work in Environmental Engineering, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2014.

This research aims to evaluate the production of biogas from the anaerobic digestion of organic waste generated in the university restaurant with the addition of used cooking oil and crude and synthetic wastewater. In order to facilitate the reduction of transport costs, treatment or disposal for use with generators spot for power generation. For this we evaluated the production of biogas in simple reactors associated with gasometers mobile summit in laboratory scale. We used different concentrations of cooking oil in each reactor, and also evaluating crude and synthetic sewage. The experiments were performed in three steps with different mounts, the first only with organic waste and cooking oil, the second with organic waste, synthetic sewage and cooking oil, and the third with organic waste, raw sewage and cooking oil being. Organic waste were collected at the University Restaurant UTFPR-Londrina, ground to obtain homogeneous and pasty material. The proportion employed from organic waste and effluent from 100 grams to 1 liter, and cooking oil was chosen arbitrarily concentrations of 1%, 2.5% and 5%. The parameters analyzed were: pH, electrical conductivity, total, solid fixed solids, volatile solids, quantitative and qualitative analysis of the biogas produced, and rate of return on investment. As main results, we obtained a biogas productivity of 2.96 mL.g⁻¹ volatile solids in step 1, average 156mL.g⁻¹ volatile solids in step 2. Qualitative analysis of biogas to step 2 obtained it is the presence of 72.36% methane. Highlighted the influence of pH for methanogenic activity remains active. Time analysis of return on investment in real scale proportional payback time of 18 years, and its application infeasible.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Metodologia aplicada nas análises laboratoriais	15
Tabela 2: Composição do efluente sintético.....	18
Tabela 3: Preparação dos reatores na Etapa 1	19
Tabela 4: Preparação dos reatores na Etapa 2.....	20
Tabela 5: Preparação dos reatores na Etapa 3.....	20
Tabela 11: Sólidos totais, voláteis e fixos Etapa 1.	25
Tabela 13: Sólidos totais, voláteis e fixos Etapa 2.	26
Tabela 16: Sólidos totais, voláteis e fixos Etapa 3.	27
Tabela 12: Condutividade elétrica e pH Etapa 1	28
Tabela 14: Condutividade elétrica e pH Etapa 2	29
Tabela 17: Condutividade elétrica e pH Etapa 3	29
Tabela 15: Análise qualitativa do biogás Reator 1 na Etapa 2.	30
Tabela 6: Parâmetros para estimativa de tempo de retorno	31
Tabela 7: Equivalência energética GLP e biogás.....	33
Tabela 8: Economia real para o restaurante universitário	33
Tabela 9: Listagem de equipamentos baseada na produtividade de Kubaská (2010).	34
Tabela 10: Listagem de equipamentos baseada na produtividade do Etapa 2	34
Tabela 18: Tempo de retorno do investimento	34

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
2 REFERENCIAL TEÓRICO	9
2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS.....	9
2.3 PRODUÇÃO DE BIOGÁS E DIGESTÃO ANAERÓBIA	10
2.4 BIOGÁS.....	12
2.5 EFLUENTE SANITÁRIO	12
3 METODOLOGIA.....	13
3.1 Efluentes	18
3.1.1 Efluente sintético	18
3.1.2 Efluente bruto	19
3.2 Preparação das Etapas	19
3.2.1 Etapa 1	19
3.2.2 Etapa 2	19
3.2.3 Etapa 3.....	20
3.3 Tempo de retorno do investimento.....	21
4 RESULTADOS	21
4.1 Produção de biogás	21
4.1.1 Etapa 1	21
4.1.2 Etapa 2	22
4.1.3 Etapa 3.....	24
4.2 Análises Laboratoriais	25
4.2.1 Sólidos totais, voláteis e fixos.....	25
4.2.1.1 Etapa 1	25
4.2.1.2 Etapa 2	26
4.2.1.3 Etapa 3.....	27
4.2.2 Condutividade elétrica e pH	28
4.2.2.1 Etapa 1	28
4.2.2.2 Etapa 2	28
4.2.2.3 Etapa 3.....	29
4.2.3 Análise Qualitativa do biogás	30
4.3 Tempo de retorno do investimento.....	30
5 CONSIDERAÇÕES GERAIS	35
6 CONCLUSÕES	37

7 RECOMENDAÇÕES.....	38
REFERÊNCIAS.....	39

1 INTRODUÇÃO

A produção de resíduos sólidos com características predominantemente orgânicas pode ser encontrada no setor de alimentos, principalmente em restaurantes. Devido ao custo de transporte e economia de tempo é cada vez mais comum que as pessoas façam suas refeições próximas ao local de trabalho ou estudo. Nas universidades, os denominados Restaurantes Universitários atendem alunos, professores e funcionários. Isto gera uma quantidade de resíduos orgânicos que poderiam ser aproveitadas para gerar energia *in loco*.

No processo de produção das refeições é habitual o descarte de materiais orgânicos que não estão aptos para o consumo, assim como das sobras dos pratos dos clientes, e os restos que foram preparados e não foram consumidos. Toda essa matéria orgânica normalmente é destinada para um aterro sanitário ou lixão, causando impacto ambiental no meio físico.

Desta forma, a matéria orgânica descartada nos restaurantes pode ser aproveitada nos biodigestores anaeróbios para a produção do biogás, e o mesmo pode ser utilizado pelos próprios restaurantes, como substituinte do gás liquefeito de petróleo (GLP).

Assim, a grande quantidade de resíduos orgânicos gerados diariamente pelos restaurantes poderia ser aproveitada para tratamento *in loco* visando a geração de energia na forma de gás metano, minimizando o impacto ambiental e o impacto de gases do efeito estufa. Isto agregaria um aumento potencial do uso de energias renováveis associadas a um valor econômico.

A justificativa desse trabalho se dá na busca de reaproveitamento dos resíduos orgânicos gerados pelos restaurantes, sendo estes utilizados como matéria-prima de fonte de energia renovável que pode ser aproveitada pelo próprio restaurante.

Esse trabalho tem como objetivos: analisar a quantidade de biogás gerado a partir da biodigestão anaeróbia dos resíduos orgânicos gerados no restaurante universitário com adição de efluente doméstico e óleo de cozinha, analisar a composição química do biogás obtido e avaliar a aplicação do sistema no restaurante universitário.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS

Resíduos sólidos são aqueles, segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT,2004), resíduos nos estados sólidos e semissólidos que resultam da atividade da comunidade de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Considera-se também, os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornam inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos d'água, ou exijam, para isso, soluções técnicas e economicamente inviáveis, em face à melhor tecnologia disponível.

Segundo a NBR 10004, os resíduos são classificados em três classes quanto a seus riscos ao meio ambiente e à saúde pública. Classe I – resíduos perigosos, classe II A – resíduos não perigosos e não inertes, e classe II B – resíduos não perigosos e inertes.

Os resíduos sólidos podem ser analisados sob o prisma biológico, sendo resíduo orgânico todo lixo que tem origem animal ou vegetal. Esse tipo de resíduo também pode ser considerado como poluente, quando acumulado pode gerar impactos ambientais como: geração de gases e maus odores, geração de líquidos percolados (chorume), atração de animais vetores e corrosão de equipamentos e componentes da infraestrutura. Sua decomposição é iniciada por ação de microrganismos imediatamente após serem dispostos no ambiente (NETO et.al., 2007).

O teor de matéria orgânica dos resíduos auxilia na definição do melhor tratamento a ser utilizado. Destaca-se que habitualmente os tratamentos da fração orgânica mais empregados são os processos biológicos, aeróbios ou anaeróbios (BARCELOS, 2009).

Os humanos sempre estiveram e continuam estando ligados diretamente aos resíduos por eles gerados, podendo o resultado desta interação ser responsável por impactos de questões de natureza social, ambiental, econômica, política e

cultural. Em países em fase de desenvolvimento, os resíduos sólidos urbanos têm se tornado um problema gravíssimo de saneamento básico e até mesmo de saúde pública (LEITE et al., 2004).

Segundo Leite et al. 2003, um percentual de 55% dos resíduos sólidos urbanos coletados é composto por material orgânico putrescível. Se for bioestabilizado em áreas inadequadas, produzirá o lixiviado, líquido altamente poluente, de cor escura, cheiro forte, carreando sólidos em suspensão e microrganismos, contaminando corpos hídricos, o solo e a atmosfera, conforme ocorre a liberação do biogás

2.3 PRODUÇÃO DE BIOGÁS E DIGESTÃO ANAERÓBIA

O material orgânico é destinado ao tratamento aeróbio ou anaeróbio, conforme as prioridades locais (FELIZOLA et al., 2006).

O tratamento da fração orgânica putrescível, quando realizado em biodigestores, não causa problemas de maus odores e utiliza espaços físicos relativamente pequenos, além de oferecer melhores condições operacionais, se comparados com os aterros sanitários (LEITE et al., 2003)

Para Picanço (2004) a digestão anaeróbia é uma maneira eficiente de tratar quantidades consideráveis de resíduos, reduzindo seu poder poluente. É um tratamento biológico que tem sido apresentado como alternativa para tratamento da fração orgânica dos resíduos sólidos.

O tratamento anaeróbio da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos é um processo que tem crescido nos últimos anos. A conversão desses resíduos em metano oferece benefícios ao meio ambiente, como redução dos impactos ambientais e utilização como alternativa energética. (BOUALLAGUI et al., 2003).

O tratamento anaeróbio consiste no processo microbiológico que não necessita de oxigênio, onde diversos microrganismos exercem atividades metabólicas para a conversão do material orgânico complexo (carboidratos, proteínas e lipídios) em metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2) e amônia (NH_3) e outros gases e ácidos orgânicos (CHERNICHARO, 1997).

O tratamento anaeróbio de resíduos sólidos orgânicos pode ser realizado com alta concentração de sólidos, em reatores anaeróbios em batelada, com

substrato contendo em média 20% (percentagem em massa) de sólidos totais. No geral, pode ser aplicado para bioestabilizar diversos tipos de resíduos, prioritariamente de maneira conjugada, com o objetivo, em alguns casos, do aumento da densidade bacteriana e, em outros, o ajustamento da relação C/N (LUNA et al., 2009).

A digestão anaeróbia pode ser dividida em um processo de quatro fases, que são: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese (SILVA, 2009).

Segundo Silva(2009), a hidrólise se inicia com as bactérias fermentativas hidrolíticas, e é o processo pelo qual o material orgânico presente no sistema é transformado em compostos dissolvidos de menor peso molecular, há a solubilização da matéria orgânica em presença de água.

Na acidogênese, os compostos orgânicos mais simples são convertidos, por ação das bactérias acidogênicas, em ácidos graxos e voláteis (acético, butírico e propiônico), ácido láctico e em compostos mineirais (CASSINI, 2003).

Na acetogênese, bactérias acetogênicas oxidam os produtos gerados na fase acidogênica em substratos apropriados para as bactérias metanogênicas, fazendo parte, assim, de um grupo metabólico intermediário (CASSINI, 2003).

A metanogênese é o processo onde o ácido acético, o hidrogênio e o dióxido de carbono são convertidos em uma mistura de metano e de dióxido de carbono pelas bactérias metanogênicas (LASTELLA et al., 2002).

Os pesquisadores têm estudado vários tipos de reatores, para tratamento anaeróbio dos resíduos sólidos, que operam de forma diversificada. Os reatores mais utilizados são os convencionais de batelada. A digestão anaeróbia é utilizada para remover altas concentrações de matéria orgânica presente em muitos tipos de resíduos. Existem muitas vantagens neste tipo de processo comparado aos métodos aeróbios convencionais, como baixa produção de lodo, baixo custo de investimento inicial, e menor utilização de energia para operação do sistema. (LOPES et al., 2004).

A principal desvantagem associada ao uso de digestores anaeróbios para o tratamento de resíduos sólidos refere-se ao longo tempo necessário para bioestabilização do material. Vários estudos têm sido realizados objetivando-se aumentar a taxa de bioestabilização da matéria orgânica e, em sua maioria, lodo de esgoto sanitário tem sido utilizado como inóculo e os resultados têm mostrado a viabilidade de aplicação do processo (LEITE et al., 2001).

2.4 BIOGÁS

Biogás é um gás incolor, podendo combustível. É o produto final da fermentação anaeróbia de dejetos animais, de resíduos vegetais e de lixo residencial e industrial, em condições adequadas. É composto basicamente de dois gases, o metano (CH_4) e o gás carbônico (CO_2), mas outros gases como nitrogênio, hidrogênio participam em proporções menores. A qualidade do biogás é uma função da fração molar de metano na mistura. Quanto maior for fração molar de metano, melhor será o biogás. (COMASTRI FILHO, 1981).

O biogás é composto de metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2), traços de vapor de água ($\text{H}_2\text{O}_{\text{vapor}}$), gás sulfídrico (H_2S), nitrogênio (N_2), oxigênio (O_2), hidrogênio (H_2), monóxido de carbono (CO), amônia (NH_3) e outros gases. O metano é o principal componente do biogás e a partir de diversas matérias-primas, obtêm-se diferentes porcentagens de metano (PRADO, 2008).

O aproveitamento energético do metano oriundo da digestão anaeróbia dos resíduos sólidos orgânicos apresenta-se como mais uma das inúmeras iniciativas importantes que podem ser desenvolvidas com o objetivo de encontrar uma matriz energética sustentável. (BARCELOS, 2009).

O biogás pode ser usado como fonte de energia direta, por meio da sua energia térmica, como combustível individual ou como complemento para outro combustível (como o gás natural e o GLP) em secadores, caldeiras, chocadeiras, aquecedores, motores para a geração de energia elétrica e mecânica, turbinas a gás, fogões, geladeiras, na iluminação dos ambientes e em muitos outros processos (CASSINI, 2003).

2.5 EFLUENTE SANITÁRIO

Segundo a NBR 9648, entende-se por esgoto sanitário o despejo líquido constituído de esgotos doméstico e industrial, água de infiltração e a contribuição pluvial parasitária. E esgoto doméstico é o despejo líquido resultante do uso da água para higiene e necessidades fisiológicas humanas.

O conceito de vazão doméstica engloba usualmente os esgotos oriundos dos domicílios, bem como de atividades comerciais e institucionais normalmente componentes de uma localidade (SPERLING, 2005).

Para Leite et al. (2004), existem iniciativas em andamento no Brasil visando o aproveitamento de metano, através do biogás gerado em aterros sanitários. Entretanto a utilização de biogás a partir do tratamento de esgoto doméstico tem um elevado potencial para sua implantação e utilização.

Segundo Oliveira (2009) o esgoto doméstico é composto de uma série de constituintes podendo ser classificada com: sólidos em suspensão, matéria orgânica, nutrientes e organismos patogênicos. Esse esgoto misturado com fração orgânica do lixo residencial pode ser processado para extração de biogás.

3 METODOLOGIA

A pesquisa foi realizada na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) campus Londrina, teve duração de 18/11/2013 à 28/01/2014. Foram utilizados o laboratório B-301 do Bloco B e Laboratório de Saneamento do Bloco S do próprio campus para análises físico químicas dos resíduos orgânicos e dos efluentes doméstico sintético e sanitário.

Para o desenvolvimento do trabalho utilizou-se a pesquisa descritiva bibliográfica e a experimental, sendo que na descritiva bibliográfica foram feitos levantamentos a partir de trabalhos publicados, artigos científicos, dissertações de mestrado e teses de doutorado, relacionados ao tema estudado. A pesquisa experimental foi realizada posteriormente a fim de obter dados práticos utilizando um reator anaeróbio de pequena escala para a produção de biogás.

O experimento foi montado com a utilização de reatores anaeróbios de batelada e de gasômetros de cúpula móvel, conforme apresenta a Figura 1.

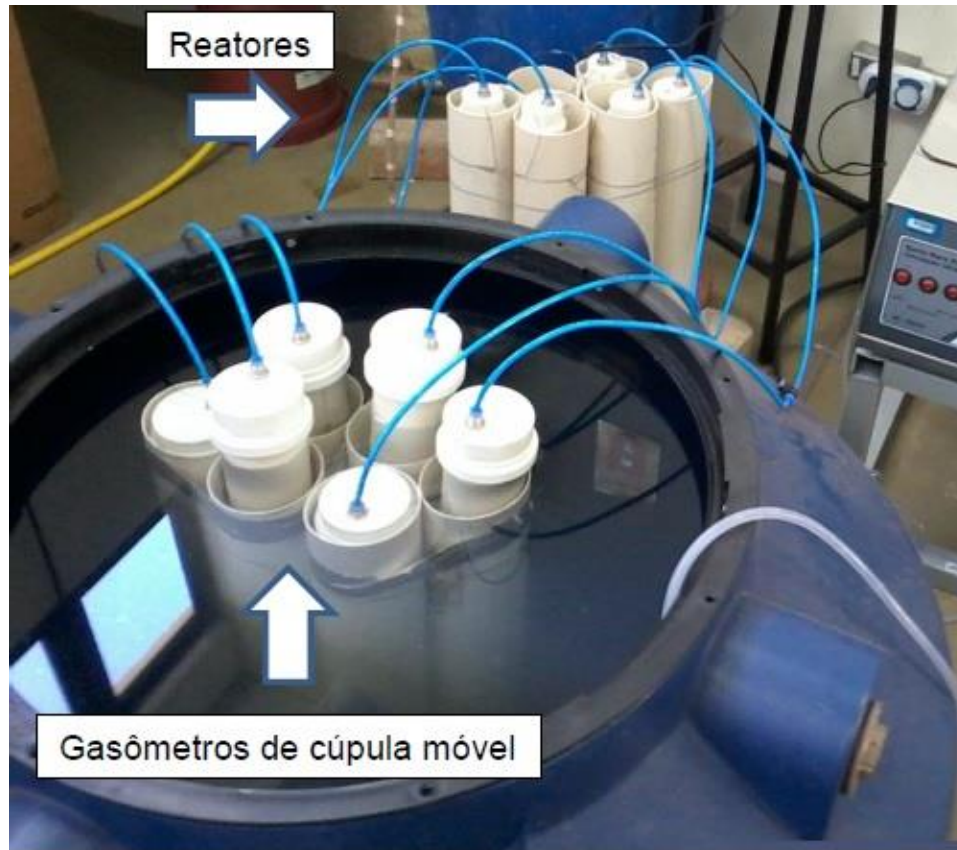


Figura 1 – Montagem do projeto
Fonte: de Sotti (2014).

Os reatores anaeróbios de batelada foram montados utilizando-se tubos de PVC com 50 mm de diâmetro e 50 cm de altura, com as extremidades hermeticamente lacradas, havendo em uma das tampas um engate rápido de mangueira para condução do biogás produzido até os gasômetros. O volume disponível nos reatores foi de 0,982 litros.

Para a montagem dos gasômetros de cúpula móvel utilizou-se nove tubos de PVC com 75 mm de diâmetro e 50 cm de altura, com capacidade de 2,209 litros. A extremidade superior foi lacrada e ligada com engate rápido de mangueira para ligação com o reator.

Os gasômetros foram acondicionados em uma caixa d'água do modelo Fortlev de capacidade de 500 litros Fortlev. Como guias para direcionar o deslocamento dos gasômetros na água no sentido vertical foram utilizados tubos de PVC de 100 mm fixos ao fundo da caixa d'água.

As análises físico-químicas das amostras utilizadas foram realizadas conforme os métodos citados na Tabela 1, descritos no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA* (2012).

Tabela 1: Metodologia aplicada nas análises laboratoriais

Variável	Método	Nº Método (Standard Methods)
PH	pHmetro	4500 H+ B
Alcalinidade	Método de titulação	2320 B
Sólidos totais	Sólidos totais secos a 105°C	2540 B
Sólidos Voláteis	Sólidos fixos e voláteis inflamado a 550°C	2540 E

Fonte: Próprio autor

Para a análise qualitativa do biogás obtido, utilizou-se a técnica de identificação volumétrica do metano por deslocamento de volume. Baseou-se na apostila de Foresti et al. (2005) que utiliza a solução de hidróxido de sódio (NaOH) 50 g.L⁻¹ para captura do dióxido de carbono (CO₂) e do gás sulfídrico (H₂S) presentes no biogás.

A Figura 2 apresenta a montagem do sistema utilizado, que conta com duas garrafas de Marriote, uma com a solução de NaOH e outra contendo água, e um recipiente para verificação do volume de água deslocado pelo metano (CH₄).

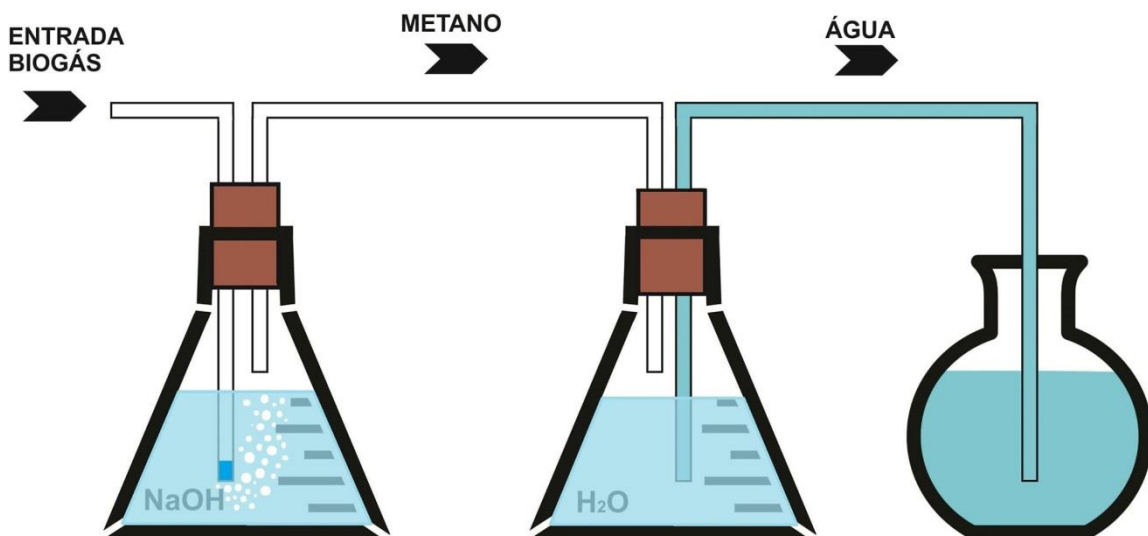
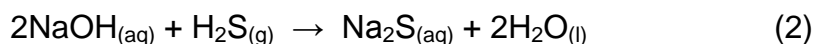
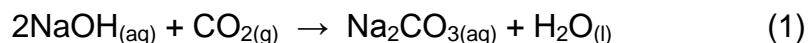


Figura 2 – Sistema para análise qualitativa do biogás.
Fonte: Próprio autor

O funcionamento consiste na condução do biogás produzido no reator até a garrafa de Marriote com a solução de NaOH, a fim de absorver o CO₂ e o H₂S, convertendo os gases em carbonato de sódio e sulfeto de sódio respectivamente. As equações 1 e 2 apresentam as reações.



O metano se desloca para a segunda garrafa de Marriote, com água, que ao ser pressurizada pelo gás tem um volume deslocado para o recipiente graduado, este volume representa a proporção de metano presente em uma determinada quantidade de biogás.

Os valores obtidos com esta metodologia não devem ser tratados como valores absolutos, sendo um método de estimativa da composição química do biogás obtido no reator.

Os resíduos sólidos orgânicos utilizados na pesquisa são provenientes do RU da UTFPR campus Londrina, as amostras foram coletadas após as refeições durante uma semana, e armazenadas em temperatura de -20°C antes de serem preparadas para a inoculação nos reatores. A Figura 3 apresenta as amostras antes da preparação.



Figura 3: Resíduo orgânico coletado no Restaurante Universitário
Fonte: Próprio autor

A preparação das amostras para a inoculação foi realizada com auxílio de liquidificadores para transformá-lo em um material pastoso, a fim de acelerar a biodigestão e facilitar a homogeneização com o efluente. A Figura 4 apresenta as características do material no momento da inoculação no reator.



Figura 4: Amostra preparada para inoculação
Fonte: Próprio autor

3.1 Efluentes

3.1.1 Efluente sintético

Na etapa 2 estudou-se a biodigestão dos resíduos orgânicos misturado com efluente sintético. A Tabela 2 apresenta a composição do efluente sintético, baseando-se aos utilizados por Callado (2000).

Tabela 2: Composição do efluente sintético

Composto	% da DQO	Fonte	Concentração para DQO de 500 mg.L ⁻¹	Concentração para DQO de 800 mg.L ⁻¹
Proteínas	50%			
Carboidratos	40%			
Lipídios	10%		5 mL.L ⁻¹	5 mL.L ⁻¹
Lipídios	10%	2H ₂ O com 0,9 g/L solução de MgCl ₂ . 6 H ₂ O com 1,4 g/L	5 mL.L ⁻¹	5 mL.L ⁻¹

Fonte: Próprio autor

3.1.2 Efluente bruto

Para a etapa 3, utilizou-se o efluente bruto coletado na ETE do Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto (SAMAE) do município de Ibiporã. A coleta do efluente foi realizada antes deste passar pelo gradeamento, garantindo um efluente fresco.

3.2 Preparação das Etapas

3.2.1 Etapa 1

Na Etapa 1 utilizou-se os resíduos orgânicos do RU preparados no liquidificador e óleo de cozinha, a concentração de óleo de cozinha adicionado nas amostras foi escolhida arbitrariamente e procurou-se repeti-las nas três etapas. Montaram-se 3 reatores anaeróbios que foram abastecidos conforme a descrição da Tabela 3.

Tabela 3: Preparação dos reatores na Etapa 1

Reator	Volume de restos de comida	Concentração de óleo	Volume de óleo
1	255,5 mL	0%	0 mL
2	255,5 mL	2,5%	6,4 mL
3	255,5 mL	5%	12,8 mL

Fonte: Próprio autor

3.2.2 Etapa 2

Na montagem da Etapa 2 utilizou-se do efluente sintético misturado com os restos de comida batidos. Para estabelecer a proporção entre quantidade de

resíduos orgânicos e a quantidade de efluente utilizaram-se os resultados de Costa et al. (2004), Menezes, Santos e Leme (2002) e Naspolini et al. (2009), sendo igual a 0,120 Kg/pessoa.refeição de resíduos e 10 L/pessoa.dia de efluente.

A relação obtida foi da ordem de 1%, mas a fim de alcançar uma melhor produtividade por volume de mistura adotou-se uma relação de 10%, sendo uma mistura de 0,100 Kg de resíduo orgânico para cada 1 Litro de efluente. A tabela 4 apresenta a montagem do sistema.

Tabela 4: Preparação dos reatores na Etapa 2.

Reator	Volume da amostra	Concentração de óleo	Volume de óleo
1	500 mL	1%	5 mL
2	500 mL	2,5%	12,5 mL
3	500 mL	5%	25 mL

Fonte: Próprio autor

3.2.3 Etapa 3

Na Etapa 3 utilizou-se a mesma proporção de mistura da Etapa 2, porém adicionou-se carbonato de sódio em concentração de $0,5\text{g.NaCO}_3.\text{L}^{-1}$ com objetivo de elevar a alcalinidade do meio, a fim de retardar a queda brusca de pH que ocorre durante a etapa de acidogênese e impede o processo metanogênico interrompendo a produção de biogás. A tabela 5 apresenta a montagem do sistema

Tabela 5:Preparação dos reatores na Etapa 3

Reator	Volume da amostra	Concentração de óleo	Volume de óleo
1	500 mL	1%	5 mL
2	500 mL	2,5%	12,5 mL
3	500 mL	5%	25 mL

Fonte: Próprio autor

3.3 Tempo de retorno do investimento

O tempo de retorno foi calculado a partir da equação 3.

$$Investimento = (Receita_{anual} * \left[\frac{(1+i)^n - 1}{(1+i)^n * i} \right]) \quad (3)$$

Onde:

I = taxa de juros (6% a.a.);

N= tempo de retorno do investimento em anos;

Investimento= Custo de implantação do Sistema;

Receita anual= Economia anual obtida com a utilização do sistema.

4 RESULTADOS

Os resultados são provenientes de três etapas distintas. Sendo a Etapa 1, realizada com resíduos orgânicos e óleo de cozinha em diferentes concentrações, a Etapa 2 foi montada com resíduos orgânicos, efluente sintético e óleo de cozinha em diferentes concentrações, e por fim a Etapa 3 onde utilizou-se resíduos orgânicos, efluente bruto e óleo de cozinha em diferentes concentrações.

4.1 Produção de biogás

4.1.1 Etapa 1

A Etapa 1 foi iniciada no dia 26/11/2013 e finalizada no dia 30/11/2013, quando foi identificado através da redução de volume no gasômetro, que a produção de biogás foi interrompida. Durante esse período só ocorreu a produção de biogás

no Reator 1, sem óleo de cozinha. O gráfico 1 apresenta o volume de biogás produzido durante a Etapa 1.

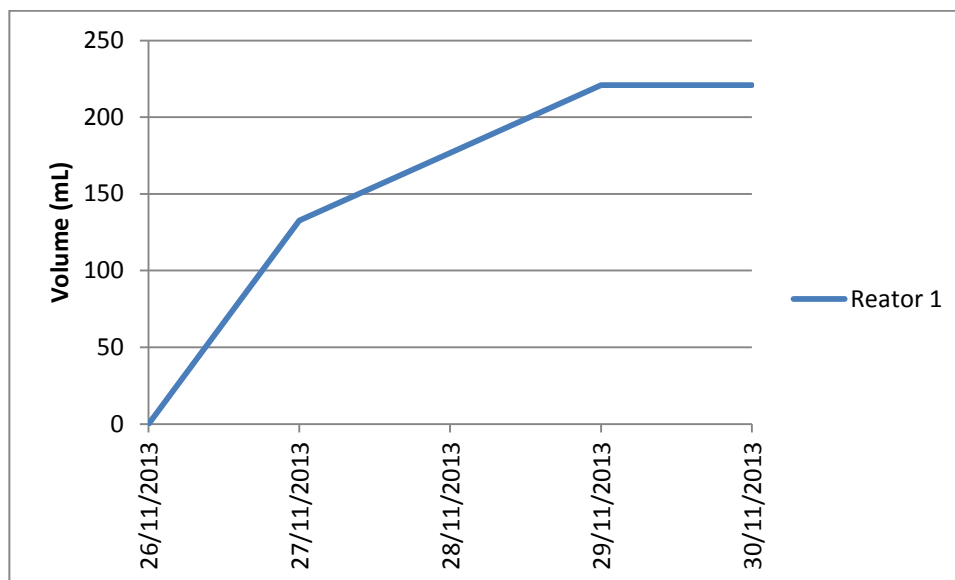


Gráfico 1 – Produção de biogás na Etapa 1.
Fonte: Próprio autor

A produção total de biogás do Reator 1 foi de 220,89 mL. Observa-se que entre o dia 26/11 e 27/11 a taxa de produção foi $132,53 \text{ mL.dia}^{-1}$, e entre os dias 27/11 e 29/11 foi de $44,18 \text{ mL.dia}^{-1}$.

Em comparação com o estudo realizado por Gustavo de Sotti (2014), que compartilhou das mesmas amostras de resíduos orgânicos e efluentes, porém, sem a utilização do óleo de cozinha, podemos fazer considerações em relação a produtividade. Na Etapa 1 o valor acumulado de biogás produzido foi de 220,89 mL com adição de 1% de óleo e o valor obtido por de Sotti (2014) teve média de 247,4 mL, o que não representa uma diferença expressiva.

4.1.2 Etapa 2

A Etapa 2 da pesquisa teve duração entre os dias 13/12/2013 e 25/12/2013, onde foi observada a redução de volume dos gasômetros significando a paralização

da produção do biogás. O volume de biogás obtido em cada reator é apresentado no Gráfico 2.

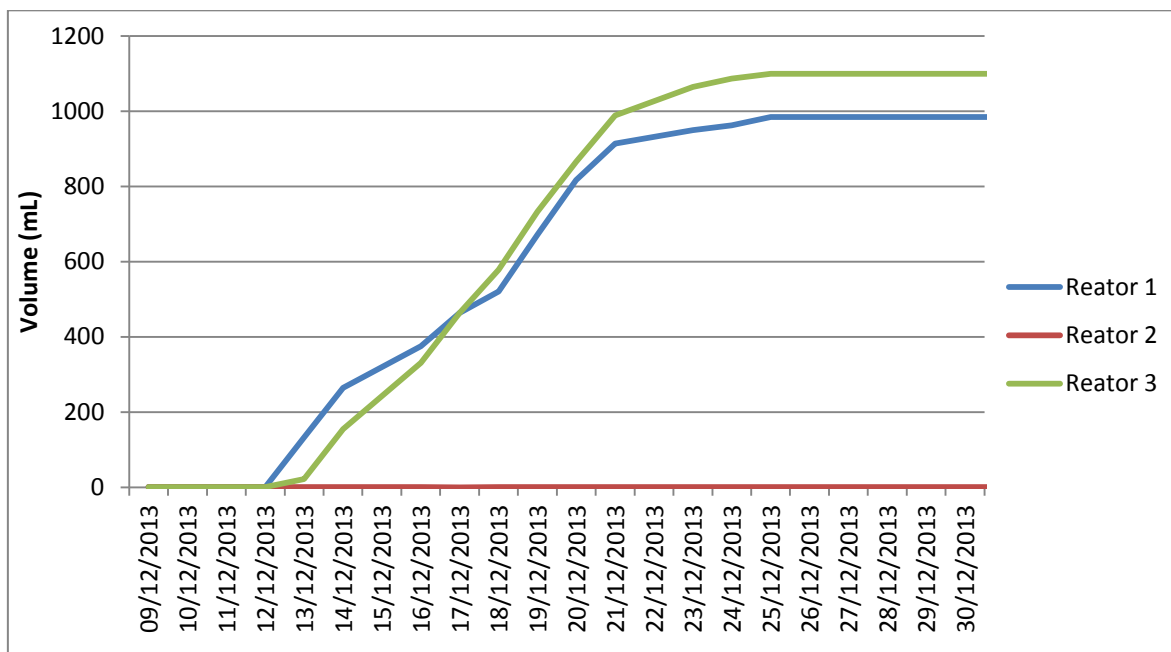


Gráfico 2: Volume acumulado de biogás obtido na Etapa 2

Fonte: Próprio autor

Observa-se pelo gráfico que o reator 2 que possuía concentração de 2,5% de óleo não apresentou produção de biogás, já os reatores 1 e 3 que possuíam respectivamente concentração de 1% e 5% de óleo apresentaram um comportamento de produção semelhante.

A produção total durante as duas semanas do reator 1 e 3 foi respectivamente 985,2mL e 1100,1mL.

O período de produção pode ser dividido em duas taxas de produção. A primeira que corresponde entre os dias 13/12/2013 e 20/12/2013, para o reator 1 teve média de $116,8\text{mL}\cdot\text{dia}^{-1}$ com desvio padrão de $33,7\text{ml}\cdot\text{dia}^{-1}$. Já para o reator 3 teve média de $123,7\text{mL}\cdot\text{dia}^{-1}$ com desvio padrão de $49,0\text{ml}\cdot\text{dia}^{-1}$.

A segunda taxa de produção corresponde ao período de 21/12/2013 a 25/12/2013, para o reator 1 teve média de $42,0\text{mL}\cdot\text{dia}^{-1}$ com desvio padrão de $37,9\text{mL}\cdot\text{dia}^{-1}$. Para o reator 3 teve média de $58,5\text{mL}\cdot\text{dia}^{-1}$ com desvio padrão de $51,3\text{mL}\cdot\text{dia}^{-1}$.

Na Etapa 2 o volume obtido de biogás por de Sotti teve máximo de 511,5mL, enquanto na pesquisa deste trabalho nos reatores 1 e 3 com concentração de 1% e 5% respectivamente, obteve-se a produção de 985,2mL e 1100,1mL. O que

relaciona a presença de óleo com o aumento da produtividade de biogás, porém, sem inferir na qualidade, pois em ambas pesquisas estimou-se entre 70 à 75% a concentração de metano no biogás.

4.1.3 Etapa 3

A Etapa 3 teve duração entre os dias 13/01/2014 e 01/02/2014, data onde foi observada a redução volume nos gasômetros. A produção de biogás desta Etapa é apresentada no gráfico 3.

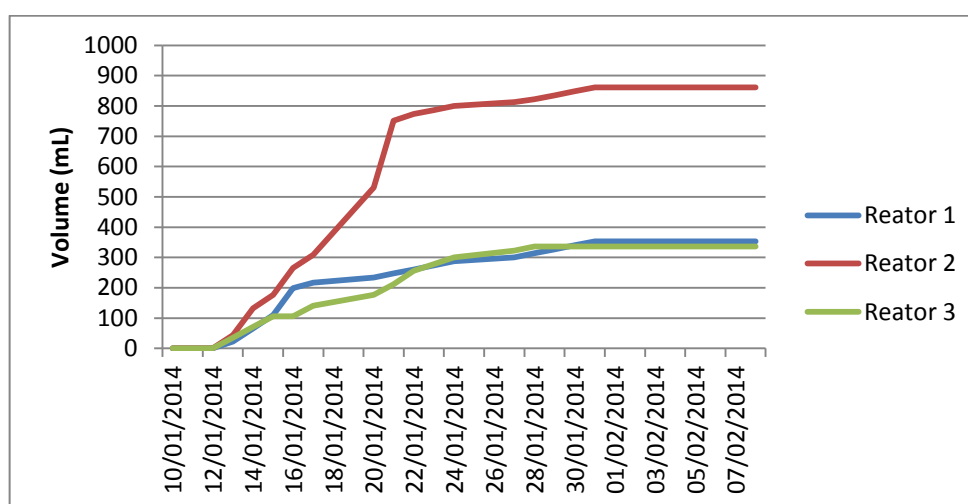


Gráfico 2: Volume acumulado de biogás obtido na Etapa 3.

Fonte: Próprio autor

O volume de biogás produzido pelo reator 1, 2 e 3 foi respectivamente 353,43mL, 861,48mL e 335,75mL. Observa-se que os reatores 1 e 3 tiveram uma produção equivalente de biogás, sendo que o reator 3 possuía uma concentração 5 vezes maior de óleo de cozinha.

A média de produção diária foi de $25,56\text{mL}\cdot\text{dia}^{-1}$ para o reator 1, $57,43\text{mL}\cdot\text{dia}^{-1}$ para o reator 2, e o reator 3 alcançou $24,5\text{mL}\cdot\text{dia}^{-1}$.

Para o reator 2, que produziu a maior quantidade de biogás, é possível identificar duas diferentes fases de produção. A primeira ocorreu entre os dias 13/01 e 21/01, onde a média foi $107,29\text{mL}\cdot\text{dia}^{-1}$ com desvio padrão de $80,09\text{mL}\cdot\text{dia}^{-1}$. A

segunda taxa aconteceu entre os dias 22/01 e 30/01, onde a média foi de 13,81mL.dia⁻¹ com desvio padrão de 3,69mL.dia⁻¹.

Para a Etapa 3, os volumes de biogás obtido nesta pesquisa para as concentrações de 1, 2,5 e 5%, foram respectivamente, 353,43mL, 861,48mL e 335,75mL, enquanto no estudo realizado por de Sotti (2014) foi utilizada a mesma amostra porém sem óleo de cozinha obteve-se uma média de produção de 127,85mL. O que enfatiza a relação entre a produtividade de biogás e a presença do óleo de cozinha, porém, não é conclusiva a sua relação com a concentração deste mesmo óleo.

4.2 Análises Laboratoriais

As análises laboratoriais foram realizadas em duas amostras, sendo uma antes da inoculação nos reatores e a segunda após o término da produção de biogás.

4.2.1 Sólidos totais, voláteis e fixos

4.2.1.1 Etapa 1

Os resultados obtidos durante a Etapa 1 para as análises de sólidos totais, voláteis e fixos são apresentados na Tabela 11.

Tabela 6: Sólidos totais, voláteis e fixos Etapa 1.

Amostra	Sólidos totais (g/g)	Sólidos voláteis (g/g)	Sólidos fixos (g/g)
Inicial	24,53%%	83,64%	16,36%
Final	26,36%	81,77	18,23%

Fonte: Próprio autor.

Este estudo demonstra a grande quantidade de água presente nos resíduos orgânicos, representando entre 70 a 75% do peso total. O aumento dos sólidos totais pode estar relacionado com a perda de água na forma de vapor d'água no interior do reator.

O consumo dos sólidos voláteis está diretamente relacionado com a produção de biogás, pelo fato de apresentar um percentual de redução pequeno obteve-se um volume final de biogás também pequeno.

A relação de volume de biogás produzido por unidade de sólidos voláteis presentes no sistema foi de 2,96mL.g⁻¹SV. O índice de produtividade foi bem menor que o obtido por Kubaská et al (2010) de 472ml.g⁻¹SV, e também menor que o obtido por de Sotti (2014) em média de 3,27mL.g⁻¹SV. Em ambas referências não o óleo de cozinha não foi adicionado no reator.

4.2.1.2 Etapa 2

Os resultados obtidos durante a Etapa 2 para as análises de sólidos totais, voláteis e fixos são apresentados na Tabela 13.

Tabela 7: Sólidos totais, voláteis e fixos Etapa 2.

	Amostra	Sólidos totais	Sólidos voláteis		Sólidos fixos	
Inicial	Reator 1	47,8114g.L ⁻¹	34,1987g.L ⁻¹	71,53%	13,6127g.L ⁻¹	28,47%
	Reator 2	42,4448g.L ⁻¹	28,0461g.L ⁻¹	66,08%	14,3987g.L ⁻¹	33,92%
	Reator 3	54,3791.L ⁻¹	40,3672g.L ⁻¹	74,23%	14,0119g.L ⁻¹	25,77%
Final	Reator 1	32,5236g.L ⁻¹	21,5404g.L ⁻¹	66,23%	10,9832g.L ⁻¹	33,77%
	Reator 2	40,2638g.L ⁻¹	24,6814g.L ⁻¹	61,30%	15,5824g.L ⁻¹	38,70%
	Reator 3	38,0546g.L ⁻¹	26,3223g.L ⁻¹	69,17%	11,7322g.L ⁻¹	30,83%

Fonte: Próprio autor.

Analisando a tabela e o gráfico de produção de biogás é possível observar que se obteve um aumento do consumo de sólidos voláteis e de volume de biogás produzido em relação a Etapa 1, onde não foi utilizado o efluente sintético.

A relação de volume de biogás produzido por unidade de sólidos voláteis para o reator 1 e 3 foi respectivamente de $155,66\text{mL.g}^{-1}\text{SV}$ e $156,65\text{mL.g}^{-1}\text{SV}$. Estes valores ficaram maiores que obtidos na Etapa 1, porém inferiores ao obtido por Kubaská et al (2010).

4.2.1.3 Etapa 3

A tabela 16 apresenta os resultados das análises de sólidos para a Etapa 3.

Tabela 8: Sólidos totais, voláteis e fixos Etapa 3.

Amostra	Sólidos totais	Sólidos voláteis			Sólidos fixos	
Comida	27,42(g/g)		94,83%		5,17%	
Inicial	Efluente bruto	$1,1222\text{g.L}^{-1}$	$0,7519\text{g.L}^{-1}$	67,00%	$0,3704\text{g.L}^{-1}$	33,00%
	Efluente bruto + comida	$18,1071\text{g.L}^{-1}$	$16,0171\text{g.L}^{-1}$	88,46%	$2,090\text{g.L}^{-1}$	11,%
	Reator 1	$27,2867\text{g.L}^{-1}$	$25,4422\text{g.L}^{-1}$	93,24%	$1,8445\text{g.L}^{-1}$	6,76%
Final	Reator 2	$59,0574\text{g.L}^{-1}$	$50,883\text{g.L}^{-1}$	86,16%	$8,1744\text{g.L}^{-1}$	13,84%
	Reator 3	$97,2604\text{g.L}^{-1}$	$93,6313\text{g.L}^{-1}$	96,27%	$3,6291\text{g.L}^{-1}$	3,73%

Fonte: Próprio autor.

Observa-se pela tabela que houve um acréscimo de sólidos voláteis, pois a análise inicial foi realizada sem a adição do óleo de cozinha, que iria ser analisado separadamente, para avaliar a interferência do óleo de cozinha na biodigestão.

Durante a execução das análises do óleo aconteceu alguma interferência e apresentou resultados não confiáveis, por ter sido utilizado o mesmo óleo em todas as etapas não se tinha mais amostra suficiente para realizar análise.

4.2.2 Condutividade elétrica e pH

4.2.2.1 Etapa 1

Os resultados obtidos durante a Etapa 1 para as análises de condutividade elétrica e pH são apresentados na Tabela 12.

Tabela 9: Condutividade elétrica e pH Etapa 1

Amostra	Condutividade	pH
Inicial	3,96 mS/cma	4,45
Final	3,59 mS/cma	3,65

Fonte: Próprio autor

A Etapa 1 foi iniciada com o pH abaixo da faixa ideal para os microrganismos metanogênicos. A análise final enfatiza a queda do pH do meio durante o período de produção de biogás e embasa as inferências com relação a produtividade e acúmulo dos ácidos voláteis na fase acidogênica.

4.2.2.2 Etapa 2

Na Etapa 2 utilizou-se na inoculação o efluente sintético que através da receita utilizada possuía característica extremamente básica, tendo seu pH igual a 10. As análises foram realizadas em uma mistura homogênea do efluente e resíduos orgânicos.

Os resultados obtidos durante a Etapa 2 para as análises de condutividade elétrica e pH são apresentados na Tabela 14.

Tabela 10: Condutividade elétrica e pH Etapa 2

	Amostra	Condutividade elétrica	pH
Inicial	Reator 1	24,72mS/cma	9,93
	Reator 2	24,72mS/cma	9,93
	Reator 3	24,72mS/cma	9,93
Final	Reator 1	34,97mS/cma	6,24
	Reator 2	25,54mS/cma	6
	Reator 3	29,22mS/cma	5,9

Fonte: Próprio autor

Analisando a tabela observa-se que a biodigestão anaeróbia no reator causou a diminuição do pH no meio, e interrompeu a produção do biogás quando o pH atingiu em torno de 6.

O aumento da condutividade elétrica nos reatores ocorreu devido a solubilização da matéria orgânica biodegradada durante o experimento.

4.2.2.3 Etapa 3

A tabela 17 apresenta os resultados obtidos nas análises de condutividade elétrica e pH para a Etapa 3.

Tabela 11: Condutividade elétrica e pH Etapa 3

	Amostra	Condutividade elétrica	pH
Inicial	Comida	4,31mS/cma	5,44
	Efluente bruto	0,923mS/cma	7,17
	Efluente bruto, comida e carbonato.	3,73mS/cma	7,75
Final	Reator 1		4,54
	Reator 2	5	4,47
	Reator 3		4,42

Fonte: Próprio autor

Conforme aconteceu nas Etapas 1 e 2, houve a diminuição do pH do meio causando a interrupção da produção do biogás do sistema.

Em comparação com a Etapa 2, observa-se que por utilizar efluente bruto a condutividade elétrica foi menor.

4.2.3 Análise Qualitativa do biogás

O resultado obtido na análise qualitativa do biogás produzido na Etapa 2 pelo reator 1 é apresentado na Tabela 15.

Tabela 12: Análise qualitativa do biogás Reator 1 na Etapa 2.

	Volume	Porcentagem
Biogás	221,36 mL	100,00%
CH₄	160,15 mL	72%
CO₂ e H₂S	61,21	28%

Fonte: Próprio autor

Foi utilizado um volume de 221,36 mL do biogás produzido para análise, ao passar pela solução de NaOH foi deslocado um volume de 160,15mL de água para o recipiente. Este volume indica que 72% da composição do biogás é metano.

A concentração de metano no biogás está diretamente relacionada com seu poder energético, de acordo com Faria (2012) esta concentração pode variar entre 40 e 75%. O que indica que o biogás obtido apresenta elevado poder energético.

4.3 Tempo de retorno do investimento

Para estimativa de tempo de retorno do investimento para implantação do sistema de biodigestão anaeróbia em escala baseou-se em produtos da empresa BGS Equipamentos para Biogás e na produção de biogás obtida em relação a

massa de sólidos voláteis inseridos no reator. A Tabela 6 apresenta as informações utilizadas para a estimativa.

Tabela 13: Parâmetros para estimativa de tempo de retorno

Parâmetros	Valores	Fonte
Relação resíduo / efluente	0,1 Kg.L ⁻¹	Próprio autor (adotado)
Geração de resíduo orgânico	70 Kg.dia ⁻¹	Albertoni (2013)
Massa específica do resíduo orgânico	1,1 Kg.L ⁻¹	Próprio autor (experimental)
Potencial energético biogás / GLP	1m ³ biogás ≈ 0,454 Kg GLP	Brasil (2007)
Sólidos voláteis efluente + resíduo	16,017 g.L ⁻¹	Próprio autor (experimental)
Produtividade biogás / SV iniciais	400mL.g ⁻¹ SV	Kubaská et al (2010)
Produtividade biogás / SV iniciais	156mL.g ⁻¹ SV	Próprio autor (Etapa 2)
Tempo de detenção	25 dias	Próprio autor (Etapa 3)
Consumo GLP	90 Kg.semana ⁻¹	RU UTFPR- Londrina
Custo do GLP	3,5 R\$.Kg ⁻¹	
Custo destinação resíduo orgânico via compostagem	0,10 R\$.Kg ⁻¹	

Fonte: Próprio autor.

O reator projetado deve ter capacidade suficiente para armazenar os resíduos orgânicos no RU misturados com o efluente, respeitando a proporção estabelecida, durante o tempo de detenção hidráulica determinado. Sendo assim tem-se a equação 4.

$$V_{EB} [70\text{kg.dia}^{-1} (\text{resíduo orgânico})] = 700\text{L.dia}^{-1} (\text{esgoto bruto}) \quad (4)$$

O volume de resíduos orgânicos a serem adicionados diariamente é obtido com base na massa específica da amostra triturada, conforme apresenta a equação 5.

$$V_{RO} = 70\text{k.dia}^{-1} / 1,1\text{kg.L}^{-1} = 63,64\text{L.dia}^{-1} (\text{res. Org.}) \quad (5)$$

O volume total do reator a ser projetado é obtido somando as duas contribuições e associando ao tempo de retenção hidráulico (TD), conforme apresenta equação 6.

$$V_{total} = (700 + 63,64) \cdot 25 = 19.090,91 \text{ L} \quad (6)$$

Sendo assim, para realizar a biodigestão dos resíduos orgânicos gerados durante um mês o reator deverá possuir capacidade para armazenar 19.090,91 L.

Para determinar a produtividade de biogás (Pr) do biodigestor utilizou-se a relação entre a taxa de volume de biogás produzido e a massa de sólidos voláteis (Msv) adicionados no reator. Para comparação adotou-se a produtividade referenciada e as produtividades obtida nas Etapas 2 e 3.

A massa diária de sólidos voláteis adicionadas ao sistema foi estimada a partir da quantidade de efluente e resíduos orgânicos, conforme apresenta a equação 7.

$$M_{SV} = 16,017 \cdot 763,64 = 12.231,22 \text{ g.dia}^{-1} \quad (7)$$

A produção diária de biogás foi estimada relacionando as taxas de produtividade com a massa de sólidos voláteis, conforme equações 8, 9 e 10.

$$V_{biogás} = M_{SV} \cdot P_{BSV}/1000 \quad (8)$$

Para produtividade obtida por Kubaská et al (2010):

$$V_{biogás} = 12.231,22 \cdot 400/1000 = 4.892,49 \text{ L.dia}^{-1} \quad (9)$$

Para produtividade obtida na Etapa 2:

$$V_{biogás} = 12.231,22 \cdot 156/1000 = 1.908,07 \text{ L.dia}^{-1} \quad (10)$$

Com as informações de relação energética entre GLP e o biogás e o consumo diário de gás informado pelo RU, a economia que pode ser alcançada é apresentada na Tabela 7.

Tabela 14: Equivalência energética GLP e biogás

Fonte	Volume biogás estimado	Volume equivalente GLP	Consumo GLP	% do consumo
Kubaská (2010)	4.892,49L.dia ⁻¹	2,221 kg.dia ⁻¹	18 kg.dia ⁻¹	12,34%
Próprio autor (Etapa 2)	1.908,07L.dia ⁻¹	0,866 kg.dia ⁻¹	18kg.dia ⁻¹	4,8%

Fonte: Próprio autor

Essa economia revertida em custo para operação do RU é apresentada na Tabela 8.

Tabela 15: Economia real para o restaurante universitário

Fonte	Economia de GLP	Custo GLP	Economia
Kubaská (2010)	12,34%	R\$3,46.kg ⁻¹	R\$7,68.dia ⁻¹
Próprio autor (Ensaio 2)	4,8%	R\$3,46.kg ⁻¹	R\$2,99.dia ⁻¹

Em um levantamento de custo para destinação de resíduos orgânicos para compostagem obteve-se em média R\$100.ton⁻¹. Estimando-se a geração média de 70Kg.dia⁻¹ o sistema a ser implantado será responsável por uma economia de R\$7,00.dia⁻¹ para o RU.

Baseou-se na sugestão da empresa BGS Equipamentos para projetar o módulo ideal para produção de biogás, os equipamentos e quantidades foram determinados com base nos resultados obtidos por Kubaská et al. e nos resultados obtidos neste trabalho na Etapa 2. As tabelas 9 e 10 resumem a estimativa de custo do projeto.

Tabela 16: Listagem de equipamentos baseada na produtividade de Kubaská (2010).

Equipamento	Quantidade	Preço unitário (R\$)	Preço total (R\$)
Triturador de pia 0,7 hp ⁽²⁾	2	2.550,00	5.100,00
Biodigestor 10m ³ BGS ⁽¹⁾	2	5.500,00	11.000,00
Balão 10 m ³ BGS ⁽¹⁾	1	4.375,00	4.375,00
Medidor vazão BGS ⁽¹⁾	1	284,00	284,00
Compressor 15w BGS ⁽¹⁾	2	466,00	932,00
		Total	21.961,00

Fonte: de Sotti (2014).

Tabela 17: Listagem de equipamentos baseada na produtividade do Etapa 2

Equipamento	Quantidade	Preço unitário (R\$)	Preço total (R\$)
Triturador de pia 0,7 hp ⁽²⁾	2	2.550,00	5.100,00
Biodigestor 10m ³ BGS ⁽¹⁾	2	5.500,00	11.000,00
Balão 2 m ³ BGS ⁽¹⁾	1	1.315,00	1.315,00
Medidor vazão BGS ⁽¹⁾	1	284,00	284,00
Compressor 15w BGS ⁽¹⁾	2	466,00	932,00
		Total	18.631,00

Fonte: Próprio autor.

A tabela 18 apresenta os tempos de retorno calculado pela equação 3 para a implantação do sistema de produção de biogás em escala real, conforme os investimentos citados na Tabela 9 e 10.

Tabela 18: Tempo de retorno do investimento

Fonte	Economia de GLP + Compostagem (R\$.dia ⁻¹)	Tempo de Retorno
Referência (Kubaská, 2010)	14,68	11 anos
Próprio autor (Etapa 2)	9,99	18 anos

Fonte: Próprio autor

Observa-se que os tempos de retorno dos investimentos são muito longos, não sendo viáveis para aplicação em escala real no Restaurante Universitário do campus Londrina. Porém, deve-se considerar o apelo ambiental do projeto que poderia minimizar impactos pelo tratamento descentralizado e aumentar a carga

orgânica em sistemas de tratamento de efluentes sanitários, o que permitiria um aproveitamento maior da geração de biogás no sistema final de tratamento.

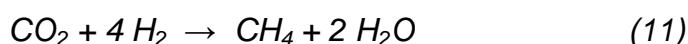
Deve-se salientar que o sistema tem potencial para aumentar a produção de biogás devido aos valores finais de sólidos voláteis disponíveis. Desta forma existe a necessidade de um maior estudo quanto a configuração do sistema e a difusão do biogás na biomassa interna do sistema.

5 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Evidenciou-se que o decaimento do pH do meio é um fator crítico para a interrupção da atividade metanogênica e conseqüentemente para a produção de biogás do sistema.

Observou-se durante a desmontagem dos reatores para as análises laboratoriais finais, por ser tratar de uma mistura homogênea quando foi adicionada, esta possuía efluente líquido e óleo, desta forma era possível observar que havia ocorrido a flotação de parte dos resíduos, e que outra parte decantou e adensou a matéria orgânica no fundo do reator. Este adensamento pode ter dificultado a disponibilidade de nutrientes para as bactérias responsáveis pela biodigestão anaeróbia.

Já no fim da produção de biogás os gasômetros tinham seu volume reduzido sem permanecer constante. Este fenômeno poderia ter ocorrido com a existência de algum vazamento, porém, por ter sido realizado teste de estanqueidade anteriormente à inoculação descartou-se esta hipótese. Sugeriu-se então a possibilidade de consumo do biogás produzido, que segundo o Prof. Dr. Marcelo Zaiat esse fenômeno pode ocorrer mas é pouco provável. Desta forma, sugeriu-se a hipótese de equilíbrio do CO₂ no meio. Thauer (1998) demonstrou as principais reações químicas para a produção de biogás, sendo uma das vias se dá pelo consumo do CO₂ e H₂ conforme a equação 11, que pode ter sido responsável pela redução de volume no gasômetro.



A concentração de mistura de efluente com resíduo orgânico tem influência direta no tempo de retorno do investimento, uma vez que baixas concentrações, como utilizada pra esta pesquisa ($0,1\text{kg.L}^{-1}$), exigem reatores com volumes maiores por necessitar de maior tempo de detenção.

A influência da concentração do óleo de cozinha utilizado na pesquisa sobre a produção de biogás não pode ser avaliada devido aos resultados obtidos, que em etapas diferentes obteve-se um maior volume para maior concentração, e em contrapartida obteve-se também maior produção com menor concentração.

6 CONCLUSÕES

Para se ter eficiência no processo de biogestão anaeróbia é fundamental o controle sobre o pH e alcalinidade do meio, pois sua alteração pode inibir o metabolismo dos microrganismos metanogênicos impedindo a produção do biogás.

O melhor índice de produtividade obtido neste estudo ocorreu na Etapa 2 para o reator 3, com $156,65\text{mL.g}^{-1}\text{SV}$. Nesta mesma Etapa 2 o reator 1 obteve produtividade de $155,66\text{mL.g}^{-1}\text{SV}$. Segundo o valor encontrado na literatura de $400\text{mL.g}^{-1}\text{SV}$ os valores obtidos estão baixos, indicando que não houve consumo dos substratos presentes nos resíduos, e ainda existia um potencial de utilização do carbono orgânico disponível nos sistemas de biodigestão.

O tempo de retorno de investimento estimado para sistema em escala real apresentou resultado de período de retorno de 18 anos, o qual pode ser considerado alto. Porém, pode-se inserir variáveis ambientais como a possibilidade de tratamento descentralizado dos resíduos, diminuição do custo no transporte na coleta de resíduos sólidos orgânicos, e aumento da carga orgânica de efluentes sanitários visando melhorar a produção de biogás em Estações de Tratamento de Efluentes Sanitários.

7 RECOMENDAÇÕES

Para melhorias propõe-se, um novo formato de reator para reduzir o efeito parede que ocorre sobre o meio. Manter o sistema em agitação para evitar a formação de fases por longo período de tempo. Se possível realizar monitoramento do pH, temperatura, a fim possibilitar a produção de biogás até o consumo total dos substratos. Analisar a presença dos sólidos totais, fixos e voláteis no óleo de cozinha utilizado para verificar sua real influência sobre a produtividade de biogás na pesquisa. Para buscar atingir a viabilidade econômica da implantação em escala real utilizar maior concentração de resíduo orgânico em relação ao efluente

REFERÊNCIAS

ALBERTONI, T. A. **Caracterização física dos resíduos sólidos gerados em restaurante universitário**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2013.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WATER ENVIRONMENT FEDERATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22. ed. Washington: American Public Health Association, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR. 10.004** - Resíduos Sólidos - Classificação. Rio de Janeiro: 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR. 9.648** - Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário. Rio de Janeiro: 1986.

BARCELOS, Beatriz R. **Avaliação de diferentes inóculos na digestão anaeróbia da fração orgânica de resíduos sólidos domésticos**. Dissertação de mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos – Universidade de Brasília, Brasília, fevereiro 2009.

BOUALLAGUI, H. et al. Mesophilic biogas production from fruit and veetable waste in a tubular digester. **Bioresource Technology**, v. 86, n. 1, 2003.

CASSINI, S. T., **Digestão de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento de biogás**. Rede Cooperativa de Pesquisa. PROSAB. Vitória, 2003.

CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores anaeróbios – princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. Belo Horizonte, 2 ed., 1997.

COMASTRI FILHO, José A. Biogás: **Independência energética do Pantanal Mato-Grossense**. EMBRAPA, Corumbá-MS, circular técnica n09, out. 1981.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. **Alternativas energéticas: uma visão Cemig**. Belo Horizonte: Cemig, 2012.

FARIA, R. A. P. **Avaliação do potencial de geração de biogás e de produção de energia a partir da remoção da carga orgânica de uma estação de tratamento de esgoto – Estudo de caso.** 2012. 65f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) - UNIOESTE, Cascavel, 2012.

FELIZOLA, C. S. et al. Estudo do processo de digestão anaeróbia de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento do biogás. **Revista Agropecuária Técnica.** Areia, v.27, n.1, 2006.

GOLDEMBERG, J. Energia e desenvolvimento. **Estud. av.**, São Paulo, v. 12, n. 33, agosto 1998.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. Energia e meio ambiente no Brasil. **Estud. av.**, São Paulo, v. 21, n. 59, abr. 2007 .

JUNIOR, A. N. A. L. Resíduos sólidos em restaurante comercial: um estudo de caso na cidade de Santos/SP. **Revista de Tecnologia Aplicada – Faculdade Campo Limpo Paulista.** Santos, v.6, n.2, 2012.

KUBASKÁ, M; SEDLÁČEK, S.; BODÍK, I; KISSOVA, B. Food Waste as Biodegradable SUBstrates for Biogas Production. In: 37th International Conference of SSCHE. Tatransk´ e Matliare, Slovakia, 2010.

LASTELLA, G. et al. **Anaerobic digestion of semi-solid organic waste: biogas production and its purification.** Energy Conversion and Management, Oxford, v.43, n.1, janeiro 2002.

LEITE, V. D. et al. Bioestabilização anaeróbia de resíduos sólidos orgânicos em reatores de batelada. **Revista Bras. Eng. Agríc. Ambient.** Campina Grande, v.25, n.1, janeiro 2001.

LEITE, V.D. et al. Bioestabilização de resíduos sólidos orgânicos. **PROSAB: Digestão de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento de biogás.** Rio de Janeiro, 2003.

LEITE, V. D. et al. Tratamento anaeróbio de resíduos orgânicos com baixa concentração de sólidos. **Revista Eng. Sanit. Ambient.** Rio de Janeiro, v.9, n.4, outubro 2004.

LUNA, M. L. D. et al. **Tratamento anaeróbio de resíduos orgânicos com baixa concentração de sólidos.** Revista Engenharia Agrícola. Jaboticabal, v.29 , n.1, janeiro 2009.

MARQUES, M. S. B. A aceleração inflacionária no Brasil: 1973-83. **Revista Brasileira de Economia**, vol.39, n.04, out. 1985.

NETO, H. C. A. et al. **Caracterização de resíduos sólidos orgânicos produzidos no restaurante universitário de uma instituição pública**. XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Foz do Iguaçu, outubro 2007.

OLIVEIRA, S. V. W. B. **Estudo de viabilidade de aplicação do biogás no ambiente urbano**. Ribeirão Preto, 2009.

PICANÇO, Aurélio P. **Influência da recirculação de percolado em sistemas de batelada de uma fase e híbrido na diestão da fração orgânica de resíduos sólidos urbanos**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, 2004.

PRADO, M. A. C.; CAMPOS, C. M. M. **Produção de biogás no tratamento dos efluentes líquidos do processamento de *Coffea arabica* L. em reator anaeróbio UASB para o potencial aproveitamento na secagem do café**. Ciênc. Agrotec. Lavras, v.25, n.3, maio, 2008.

SILVA, C. L. et al. **A cadeia de biogás e a sustentabilidade local: uma análise socioeconômica ambiental da energia de resíduos sólidos urbanos do aterro da Caximba em Curitiba**. Revista Innovar. Bogotá, v.19, n.34, julho.2009.

SILVA, M. et al. Citação em dedicação. In: TOLMASQUIM, M. T. **Fontes Renováveis de Energia no Brasil**. Rio de Janeiro: Editora: Interciência, 2003.

SOTTI, Gustavo de. **Biogás de digestão anaeróbia dos resíduos orgânicos de restaurante universitário com efluente sanitário**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2014.

SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. 3 ed. Belo Horizonte, 2005.

THAUER, R. K. **Biochemistry of methanogenesis: a tribute to Marjory Stephenson**. Microbiology v. 144, 1998.