



UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

HEITOR DE SANTANA RODRIGUES

**DIAGNÓSTICO DA PRODUÇÃO DE RESÍDUOS ALIMENTARES DOS
RESTAURANTES DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO
FRANCISCO**

JUAZEIRO

2018

HEITOR DE SANTANA RODRIGUES

**DIAGNÓSTICO DA PRODUÇÃO DE RESÍDUOS ALIMENTARES DOS
RESTAURANTES DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO
FRANCISCO**

Trabalho apresentado a Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF, Campus Juazeiro, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof.^a Dr.^a Miriam Cleide Cavalcante de Amorim.

JUAZEIRO

2018

	Rodrigues, Heitor
R696d	Diagnóstico da produção de resíduos alimentares dos restaurantes da Universidade Federal do Vale do São Francisco / Heitor de Santana Rodrigues. -- Juazeiro, 2018.
	Xix, 55 f.: il.; 29 cm
	Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil - Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Juazeiro, Juazeiro, 2018.
	Orientadora: Prof ^a . Dr ^a . Miriam Cleide Cavalcante de Amorim.
	1. Resíduos sólidos alimentares. 2. Biodigestão anaeróbia. I. Título. II. Amorim, Miriam Cleide Cavalcante. III. Universidade Federal do Vale do São Francisco
	CDD 612.3

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Integrado de Biblioteca SIBI/UNIVASF
Bibliotecário: Márcio Pataro

UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

FOLHA DE APROVAÇÃO

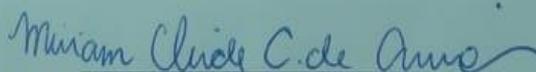
HEITOR DE SANTANA RODRIGUES

DIAGNÓSTICO DA PRODUÇÃO DE RESÍDUOS ALIMENTARES
DOS RESTAURANTES DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE
DO SÃO FRANCISCO

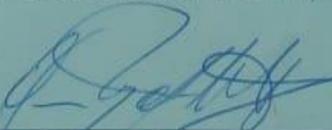
Trabalho de conclusão de curso apresentado
como requisito parcial para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil, pela Universidade
Federal do Vale do São Francisco.

Aprovado em: 11 de outubro de 2018.

Banca Examinadora



Prof.^a Dr.^a Miriam Cleide Cavalcante de Amorim (Orientadora/UNIVASF).



Prof. Dr. Gerson Marques dos Santos – UNIVASF.



Prof. Dr. Dennis Marinho Oliveira Ramalho de Souza – UNIVASF.

À minha família, todo esforço, lágrimas, risos e vitórias conquistadas.

Todo tempo dedicado é pequeno diante da eternidade.

AGRADECIMENTOS

Inicialmente, agradeço a Deus, todo poderoso, por não desistir desse filho quando o cansaço da labuta calejava no corpo e no espírito. Por ter possibilitado que o encontro de dois seres lindos – Martha e Cláudio – frutificasse em três bons filhos.

À Oxóssi, meu protetor que sempre atende aos pedidos de minha amada avó Péu, colocando teu cavalo e tua flecha a minha frente, protegendo e guiando-me para os bons caminhos.

À Poeta Pók Ribeiro, que esteve ao meu lado durante esse extenso caminho percorrido, sempre com a amizade e o amor se fazendo presentes, demonstrando apoio e incentivo para que eu chegasse até essa etapa. A ti, todo meu respeito e orgulho por ser a MULHER que é!

À Prof.^a Dr.^a Miriam Amorim, minha gratidão por ter convivido com esse aprendiz de aluno por quase cinco anos e pela orientação. Saiba que nesse tempo, aprendi a ser uma pessoa melhor, mais dedicada, responsável, amante pela pesquisa e principalmente, cumpridora de horários. Professora, nunca esqueça de que a senhora é mais do que uma docente, tornou-se uma mãe que levarei no meu coração, onde estiver.

Agradeço ao Programa de Educação Tutorial PET Conexões de Saberes – Saneamento Ambiental, dirigido de forma brilhante pela tutora Miriam Amorim, que possibilita alunos a vivenciarem a tríade do ensino, pesquisa e extensão. Ter sido um petiano permitiu que eu vivenciasse a existência de muitas pessoas desse país. São vidas que sobrevivem sem a mínima infraestrutura de saneamento básico e esse contato amplia a visão de mundo e amadurece o amor pela área do saneamento ambiental, escancarando o poder que existe nos profissionais, que são capazes de alterar essa realidade, melhorando a vida do povo.

Agradeço a Damiana Rodrigues – melhor técnica da UNIVASF, a Késsia Dantas – petiana e amiga que o TCC me deu, ao professor Dr. Dennis Marinho – dedicado docente – por ter contribuído, imensuravelmente com esse trabalho, abdicando de horas e finais de semanas para tornar concreto esse experimento. Saibam que os resultados colhidos não são meus, mas sim NOSSOS!

Agradeço as petianas e petianos que me deram a oportunidade de aprender a cada dia, dentro e fora do laboratório. Torço para que, assim como eu, vocês vivam

intensamente essa experiência. Em especial a Manu Gonçalves, Naedja Ferraz, Dayane Rodrigues e Pamella Horrana pela amizade, companheirismo e momentos inesquecíveis vividos.

A UNIVASF por ter me dado à oportunidade de realizar um sonho: estudar em uma Universidade Federal. Tu és mais especial por ser uma instituição no sertão. Agradeço a todos os Colegiados do Campus Juazeiro, em especial ao Colegiado de Engenharia Civil, por possuir belíssimos docentes, como a professora Sylvia Paes, que ministra as suas aulas com competência e atitude nos posicionamentos. A professora Sayonara Pinheiro que mesmo após sua saída da instituição continua amiga. Ao professor Anderson Barbosa e Gerson Marques pelos ensinamentos com as disciplinas de estruturas e Solos, por fim, Marcelino que muito ajudou nos momentos em que mais precisei, diante das burocracias administrativas.

Agradeço ao professor Nilton Almeida e Paula Galvão, do colegiado de Ciências Sociais pelas aulas, ensinamentos e bons papos. Ao professor Euriclésio por ter sido um bom professor que permitiu meu engajamento profissional na fotografia.

Em nome de Valdécio, Josemir, Zé, Chico e Vovô, meu muito obrigado a todos os motoristas que me conduziram com responsabilidade a tantas experiências por esse mundo afora.

Em nome de Neguinho, Seu Fernando e Neide, eu agradeço com muita força aos Terceirizados, que são importantíssimos para a existência da Universidade e cumprem suas funções com tamanho profissionalismo. Vocês merecem muito reconhecimento.

Em nome de Rosivaldo e Ricardo, agradeço a todos os Seguranças pelas boas conversas.

Ao projeto Aquaticus que contribuiu ainda mais com minha formação como atleta universitário, possibilitando competir natação em alto nível, com treinamentos bem fundamentados e dirigidos.

Por fim, e não menos importante, em nome de Ingra, agradeço de coração a todas nutricionistas que muito me ajudaram com esse trabalho de conclusão de curso.

"Os sonhos simbolizam nossos maiores desejos, enquanto os pesadelos, nossos maiores medos". – Heitor Rodriguês

RESUMO

Diante de um cenário que caminha para o aumento da geração de resíduos, à medida que cresce a população, torna-se essencial investir em ações sustentáveis. Dados apontam que a geração de resíduos alimentares em restaurantes universitários varia entre 112 a 400 kg por dia. Em vista disso, objetivou-se neste trabalho realizar diagnóstico dos resíduos alimentares, por meio de visitas técnicas aos estabelecimentos, caracterizá-los através de análises físico-químicas e bioquímicas, além de avaliar o potencial de produção de biometano dos restaurantes universitários da Universidade Federal do Vale do São Francisco em reatores de batelada, aplicando o método volumétrico de Medição Direta do Volume de Metano, visto que tais resíduos, além de possuir altas concentrações de matéria orgânica, são facilmente degradáveis. Os estudos preliminares do diagnóstico evidenciaram um quantitativo diário gerado de 138,6 kg, sendo que 83% são provenientes da preparação do alimento (SR1) e 17% das sobras dos buffets e restos dos pratos (SR2). A partir dos parâmetros analisados constatou-se que os substratos possuem pH ácido, que o teor de umidade é superior a 70% e que o teor elevado de sólidos voláteis indica potencial biometanogênico. Ademais, a caracterização apontou diferenças significativas entre esses resíduos, com destaque para os compostos bioquímicos. Para o processo de inoculação do substrato, aplicou-se lodo bruto anaeróbio oriundo de estação de tratamento de esgoto (ETE) com duas relações distintas de concentração: 1,5 e 3,0 g.STV com a finalidade de determinar o melhor tratamento, conforme metodologia de Chen et al. (2010) ao longo dos trinta e dois dias de biodigestão anaeróbia. O delineamento fatorial demonstrou a inexistência de diferenças significativas entre as relações de inóculo utilizadas, por sua vez o teste de Tukey apresentou o substrato SR1 como o maior produtor de biometano, ratificado através da geração acumulada com produção igual $154,2 \text{ mLCH}_4/\text{gSTV}_{\text{rem}}$. Os ensaios de BPM reduziram em quase 63% os sólidos totais voláteis. Apesar da distinção entre os substratos, todos apresentaram picos de produção de biometano semelhantes, em relação aos primeiros dias, o que reforça a importância dos resíduos alimentares como fonte alternativa para produção de energia.

Palavras-chave: Resíduos sólidos alimentares. Biodigestão anaeróbia. Caracterização. BPM.

ABSTRACT

Facing a scenario that leads to increased waste generation, as the population grows, it becomes essential to invest in sustainable actions. Data indicate that the generation of food waste in university restaurants ranges from 112 to 400 kg per day. As a result, the objective of this study was to conduct a food waste diagnosis through technical visits to establishments, characterize them through physicochemical and biochemical analyzes, as well as to evaluate the biomethane production potential of the university restaurants of the Federal University of the São Francisco Valley in batch reactors, applying the volumetric method of Direct Measurement of Methane Volume, since these residues, besides having high concentrations of organic matter, are easily degradable. Preliminary studies of the diagnosis showed a daily quantitative of 138.6 kg, 83% of which came from the preparation of the food (SR1) and 17% from the leftovers of the buffets and remnants of the dishes (SR2). From the analyzed parameters it was verified that the substrates have acid pH, that the moisture content is higher than 70% and that the high content of volatile solids indicates biometanogenic potential. In addition, the characterization showed significant differences between these residues, with emphasis on biochemical compounds. For the substrate inoculation process, anaerobic crude sludge from a sewage treatment plant (ETS) was applied with two different concentration ratios: 1.5 and 3.0 g.STV in order to determine the best treatment, according to the methodology of Chen et al. (2010) during the thirty-two days of anaerobic biodigestion. The factorial design showed the absence of significant differences between the inoculum ratios used. In turn, the Tukey test presented the substrate SR1 as the largest producer of biomethane, ratified through the accumulated generation with production equal to $154.2 \text{ mLCH}_4 / \text{gSTV}_{\text{rem}}$. The BPM tests reduced the total volatile solids by almost 63%. In spite of the distinction between the substrates, all showed similar biomethane production peaks in relation to the first days, which reinforces the importance of food waste as an alternative source for energy production.

Key-words: Solid food waste. Anaerobic digestion. Characterization. BPM.

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1: Localização RU Petrolina CCA.	31
Figura 2: Localização RU Sede Petrolina	32
Figura 3: Localização RU Juazeiro.	33
Figura 4: Tipos de substratos estudados.	34
Figura 5: Coleta dos substratos.	35
Figura 6: Quarteamento dos substratos.	36
Figura 7: Presença de materiais inorgânicos nos substratos.	36
Figura 8: Trituração dos substratos.	37
Figura 9: Fluxograma dos ensaios da biodigestão anaeróbia.	40
Figura 10: Local de armazenamento dos resíduos.	43
Figura 11: Percentual de substrato coletado	45
Figura 12: pH de entrada e saída dos reatores.	49
Figura 13: Alcalinidade total de entrada e saída dos reatores	50
Figura 14: Sólidos totais voláteis de entrada e saída dos reatores.	51
Figura 15: Teor de sólidos voláteis de entrada e saída dos reatores	52
Figura 16: Proteínas de entrada e saída dos reatores	54
Figura 17: Carboidratos de entrada e saída dos reatores.	55
Figura 18: Comparativo do fósforo no início e fim do BPM.	56
Figura 19: Teor de nitrogênio de entrada e saída dos reatores.	57
Figura 20: Nitrogênio amoniacal de entrada e saída dos reatores	58
Figura 21: Dados da produção diária de metano	59
Figura 22: Produção acumulada de biometano	61

LISTAS DE QUADROS

Quadro 1: Metodologias adotadas.	38
Quadro 2: Dias e quantitativo de maior e menor consumo de refeições	44

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1: Composição média do biogás	26
Tabela 2: Potencial metanogênico dos substratos.	28
Tabela 3: Média da quantidade diária de refeições servidas	44
Tabela 4: Caracterização dos substratos.	46
Tabela 5: Teores de umidade encontrados na literatura	47
Tabela 6: Teores de sólidos totais voláteis obtidos na literatura.	48
Tabela 7: Valores dos componentes bioquímicos de entrada e saída dos reatores.	53
Tabela 8: Média de produção de metano por tipo de substrato.	60

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AGV	Ácidos Graxos Voláteis
APHA	American Public Health Association
AWWA	American Water Works Association
BA	Bahia
BPM	Potencial Bioquímico de Metano
BR	Rodovia Federal
CAR	Carboidratos
CCA	Campus Ciências Agrárias
CEMPRE	Cadastro Central de Empresas
CH ₄	Metano
CO	Monóxido de Carbono
CO ₂	Dióxido de Carbono
CV	Coeficiente de Variação
DP	Desvio Padrão
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
FAO	Food and Agriculture Organization of The United Nations
H	Hidrogênio
H ₂ S	Ácido Sulfídrico
g/L	Gramas por Litro
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ISRMU	Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos em Universidades

Kg	Quilos
kWh	Quilowatts hora.
LEA	Laboratório de Engenharia Ambiental
LIP	Lipídios
mg/L	Miligramas por Litro
mLCH ₄ / gSTV _{rem}	Miligramas de Metano por Gramas de Sólidos Totais Voláteis Removidos
MT	Mato Grosso
N ₂	Nitrogênio
NBR	Norma Brasileira
NH ₃	Amônia
NH ₃ ⁺	Íon Amônia
NTK	Nitrogênio Total Kjeldahl
O ₂	Oxigênio
PB	Paraíba
PE	Pernambuco
pH	Potencial hidrogeniônico
PNRS	Plano Nacional de Resíduos Sólidos
PROT	Proteínas
PT	Fósforo Total
RA	Resíduos Alimentares
REUNI	Programa de Apoio a Planos de Reestruturação e Expansão das Universidades
RU	Restaurante Universitário
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SNIS	Sistema Nacional de Informações em Saneamento
S/I	Relação Substrato – Inóculo
SR	Substrato

ST	Sólidos Totais
STF	Sólidos Totais Fixos
STV	Sólidos Totais Voláteis
STV _{rem}	Sólidos Totais Voláteis Removidos
SMEWW	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater
T_R_	Tratamento_Relação_
TU	Teor de Umidade
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
UNIVASF	Universidade Federal do Vale do São Francisco.
WEF	Water Environment Federation

LISTA DE SÍMBOLOS

% Porcentagem

® Registrado

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	20
1.1 OBJETIVOS	22
1.1.1 Objetivo geral	22
1.1.2 Objetivos específicos	22
1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO	22
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	24
2.1 RESÍDUOS ALIMENTARES (RAs)	21
2.2 RESÍDUOS SÓLIDOS ALIMENTARES GERADOS EM RESTAURANTES UNIVERSITÁRIOS.	24
2.3. BIOGÁS	26
2.4 POTENCIAL BIOQUÍMICO DE PRODUÇÃO DE BIOMETANO (BPM)	27
2.4.1 Fatores que influenciam a biodigestão anaeróbia	29
2.5 JUSTIFICATIVA DO PROBLEMA	30
3 METODOLOGIA	31
3.1 DESCRIÇÕES DOS LOCAIS DE ESTUDO	31
3.1.1 RU1(Campus Petrolina CCA)	31
3.1.2 RU2 (Campus Sede Petrolina)	32
3.1.3 RU3 (Campus Juazeiro)	32
3.2 LEVANTAMENTO PRELIMINAR DE INFORMAÇÕES E DIAGNOSTICO DOS RESÍDUOS GERADOS	33
3.3 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS	34
3.3.1 Coleta dos substratos	34
3.3.2 Quarteamento dos substratos	35
3.3.3 Trituração dos substratos	37
3.3.4 Caracterização dos resíduos alimentares	38
3.4 ENSAIOS DE POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOMETANO	39

3.4.1 Montagem dos frascos reatores para avaliação do potencial de produção de biometano	39
3.4.2 Medição da produção acumulada de metano	41
3.5 ANÁLISE E TRATAMENTO DOS DADOS	41
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	43
4.1 ESTUDOS PRELIMINARES DOS RESTAURANTES UNIVERSITÁRIOS E DIAGNOSTICO DOS RESÍDUOS GERADOS	43
4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS	45
4.3 AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOMETANO (BPM)	48
4.3.1 pH	48
4.3.2 Alcalinidade total e AGV	50
4.3.3 Série de sólidos	51
4.3.4 Proteínas e Carboidratos	53
4.3.5 Fósforo Total, nitrogênio total Kjeldahl e amoniacal	55
4.3.6 Produção de biometano	58
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	63
5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	64
REFERÊNCIAS	65
ANEXO A	71
ANEXO B	74

INTRODUÇÃO

A abordagem sobre os resíduos sólidos e a sua importância para a evolução do saneamento básico cresceu significativamente, tendo em vista que é uma diretriz essencial para promover melhor qualidade de vida da população. Apesar disso, o cenário ainda requer atenção, pois segundo dados da Abrelpe (2017), 40,9% dos resíduos coletados, foram despejados em locais inadequados por 3.352 municípios brasileiros, causando danos diretos ao meio ambiente e a sociedade. Além disso, dados de 2016 do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), estimou a massa total de resíduos sólidos coletada no Brasil em 58,9 milhões de toneladas. Porém, desse total, 41.257.286 toneladas são de resíduos orgânicos.

Diante desse contexto, salienta-se que a Engenharia Civil possui grande responsabilidade, tendo em vista a importância da sua área na promoção tecnológica e social, que aliada às técnicas, ferramentas e estratégias, converge, sobretudo, a um mecanismo capaz de reduzir essa lacuna, e principalmente, intensificar resoluções no campo dos impactos ambientais. Segundo estudo da Food and Agriculture Organization of The United Nations (FAO, 2013) 1,3 bilhões de toneladas de alimentos são desperdiçados anualmente, provocando grandes impactos econômicos, sociais e ambientais. No entanto ainda é incipiente o tratamento desse material, já que, conforme Brito (2015) “poucas são as experiências utilizadas no âmbito de novas tecnologias”.

Assim, a biodigestão anaeróbia surge como uma alternativa para suprir essa demanda, pois o reaproveitamento traz benefícios para a sociedade e o meio ambiente. Ferreira (2015) observou, em um restaurante universitário, que o potencial energético médio foi de 108 kWh/dia, dos quais 32 kWh/dia estariam disponíveis para a transformação em eletricidade. Araujo (2017), afirma que o gás metano produzido pode ser destinado, imediatamente como fonte de energia para a produção dos alimentos em substituição ao gás de cozinha. Para Picanço (2004) a digestão anaeróbia é uma maneira eficiente de tratar quantidades consideráveis de resíduos, capaz de reduzir o seu poder poluente. Além disso, a Política Nacional de

Resíduos Sólidos (PNRS) – Lei 12.305/2010 – incentiva o aproveitamento energético dos gases oriundos da biodigestão dos resíduos orgânicos e a reutilização dos subprodutos nas áreas da agricultura.

Entre os geradores de resíduos dessa natureza os restaurantes se destacam, devido aos serviços oferecidos e a gama de alimentos que são perdidos. (PISTORELLO, et al 2015, p. 337), tendo em vista que a Lei 2.848/1940 inviabiliza a doação de alimentos excedentes. No Brasil detectou-se, a partir de informações obtidas com o Cadastro Central de Empresas – CEMPRE, que o país possui aproximadamente 37,7 mil empresas no ramo alimentício (IBGE, 2015), tornando essa indústria a mais representativa e responsável pela enorme geração de resíduos alimentares (RAs) no país. Nesse contexto, incluem-se os Restaurantes Universitários (RUs), tendo em vista que funcionam de forma semelhante aos comerciais.

Sanches et al. (2016) verificaram que dentro das instituições de ensino superior, RUs geram maiores quantitativos de resíduos alimentares. Spinelli et al. (2009) detectaram que 74,5% dos resíduos gerados em um restaurante institucional em São Paulo são compostos de resíduos alimentares. Desse modo, Venzke (2006) justifica que caso os RAs não sejam gerenciados de forma adequada, tendem a causar impactos ao meio ambiente. Para que aconteça o gerenciamento de resíduos de forma eficaz, é importante a realização de um diagnóstico ambiental aprofundado (SANCHES et al. 2016, p. 1).

A Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), instituição de Ensino Superior, possui três restaurantes universitários, dois instalados no município de Petrolina – PE e um em Juazeiro – BA, que atendem a comunidade acadêmica e público externo, tendo Oliveira et al. (2017) identificado a UNIVASF como uma grande geradora de resíduos alimentares. Portanto, o enfoque desse trabalho é realizar um diagnóstico acerca da produção dos resíduos alimentares de RUs da UNIVASF por meio de um trabalho qualitativo, quantitativo e *in loco*, visando compreender o mecanismo de gerenciamento dos resíduos, aliado a um estudo de caracterização físico e bioquímica, avaliando como uma alternativa de destinação e tratamento dos mesmos, a biodigestão anaeróbia, visando o potencial de produção de biometano do biogás gerado como uma alternativa, ambientalmente sustentável.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Diagnosticar os resíduos alimentares (RAs) dos restaurantes universitários da Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF, e realizar uma avaliação do seu potencial para produção de gás metano.

1.1.2 Objetivos específicos

- Levantar informações acerca dos restaurantes universitários da UNIVASF por meio de aplicação de questionário;
- Caracterizar os resíduos e realizar ensaios de Potencial de Produção de Biometano;
- Contribuir com informações, para o gerenciamento sustentável dos resíduos sólidos alimentares da UNIVASF.

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

O presente trabalho compreende cinco capítulos:

- O Capítulo 1 aborda as considerações iniciais referentes ao cenário que engloba o estudo e as motivações para a determinação dos objetivos geral e específicos do TCC;
- O Capítulo 2 refere-se à revisão bibliográfica que relaciona as temáticas envolvidas com os resíduos sólidos alimentares de modo geral, e em específico, com os restaurantes universitários, tratando desde a geração até o potencial de produção de biometano e por fim, traz a justificativa do problema abordado no presente trabalho.
- O Capítulo 3 trata das metodologias adotadas para o estudo preliminar realizado nos restaurantes da Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF) por meio de descrições realizadas *in loco*. Além de abordar sobre a coleta, a caracterização dos resíduos e os parâmetros analisados das amostras para o experimento de Potencial Bioquímico de Metano (BPM);
- O Capítulo 4 revela e discute os dados obtidos durante a pesquisa.

- O capítulo 5 finaliza o presente trabalho de conclusão de curso, através dos resultados obtidos. Por fim, apresentam-se sugestões de propostas para futuras pesquisas a serem desenvolvidas no âmbito desse estudo.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 RESÍDUOS ALIMENTARES (RAs)

Os resíduos alimentares são contemplados pelos resíduos orgânicos e fazem parte, exclusivamente, da atividade humana. Viana et al. (2006) definem como:

O termo “resíduos alimentares” refere-se aos resíduos orgânicos originados do preparo da alimentação humana, seja ele na cozinha da residência ou em qualquer outro tipo de estabelecimento. Esses resíduos são fartamente encontrados nos resíduos sólidos domiciliares, em proporções de até 65% dos orgânicos totais; já os orgânicos “não alimentares” são compostos por folhas e galhos de árvores, restos de poda de jardim etc., e representam a menor porção dos orgânicos, ou seja, apenas 35% (VIANA et al. 2006, p. 204).

Sabe-se que os resíduos alimentares, em sua totalidade, são gerados a partir de serviços oriundos da limpeza, preparo e consumo do alimento. Porém, cabe destacar a sua participação na alimentação de animais, sendo que para Ferreira (2015) o reaproveitamento dos resíduos alimentares pela indústria é considerado atrativo, a destacar a produção de biogás, o qual é passível de aproveitamento energético.

2.2 RESÍDUOS SÓLIDOS ALIMENTARES GERADOS EM RESTAURANTES UNIVERSITÁRIOS.

Os resíduos sólidos alimentares fazem parte do âmbito das universidades, sendo que os restaurantes universitários merecem maior destaque por serem estabelecimentos possuidores de grande fluxo de pessoas e gerarem grande quantidade de resíduos orgânicos. Domingues et al. (2016) demonstram que pesquisas que se dispuseram a quantificar os restos de ingestão em restaurantes, tendem a encontrar valores elevados, já que relaciona-se com o número de pessoas que consumiram a refeição e não com a quantidade produzida.

Venzke (2006) aponta que, na cadeia produtiva dos alimentos, os RUs geram uma quantidade significativa de resíduos sólidos, principalmente no preparo de

refeições. Desse modo, cabe destacar que quando não há gerenciamento e tratamento adequado, tende a causar impactos negativos ao meio ambiente. Diante desse cenário, estudos que envolvem a quantificação, produção de biofertilizante, conversão da matéria orgânica em biometano e, aproveitamento energético aumentaram significativamente. Costa et al. (2006) ao analisarem um restaurante universitário em Campina Grande – PB constataram uma geração diária de 94,3 kg resíduos alimentares. Já Kinasz; Werle (2008) chegaram ao valor que variou entre 69,9% a 80,5% ao analisar sete restaurantes institucionais em Cuiabá – MT.

Carmo (2009) reciclou 35 kg/dia de resíduos alimentares do restaurante universitário do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais, alcançando um total de 12,6 toneladas no período de um ano, conseguindo por meio do processo de compostagem, produzir 123 kg/semana e 6,3 toneladas/ano de biofertilizante, atenuando o impacto do descarte inadequado dos resíduos alimentares.

Assis et al. (2016) realizam a biodigestão anaeróbia, através de um biodigestor de bancada, dos resíduos do RU do campus Bagé da Universidade Federal do Pampa, composto por restos de vegetais e frutas, provenientes do preparo das refeições, e também das sobras das bandejas. O processo de produção do biogás atingiu máximo produtivo dentro de cinco semanas e obteve relação entre a massa de resíduo, em quilos, e o volume de biogás, em metros cúbicos, em torno de 2,5:1.

Melo et al. (2016), utilizaram um quantitativo de 2,9 toneladas de restos de vegetais, cascas, sementes e restos de alimentos não consumidos pelos usuários, no período de uma semana, do restaurante universitário na Universidade Federal do Piauí para o reaproveitamento energético do biogás proveniente desses resíduos alimentares.

É importante salientar que o conhecimento das características físicas e químicas dos resíduos apresentam informações sobre as potencialidades, subsidiando a escolha do sistema de tratamento mais adequado (LIMA, 2004, p. 15). Nesse sentido, Albertoni (2013) diagnosticou, por uma semana, os resíduos do almoço e jantar do restaurante universitário da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Londrina, identificando que mais de 93% dos resíduos produzidos são de matéria orgânica, com peso específico de 0,481 kg/L. Essa conjuntura somente

reforça a necessidade de desenvolver estudos e práticas voltadas para o gerenciamento e tratamento desses resíduos.

2.3. BIOGÁS

O biogás é um dos subprodutos da decomposição anaeróbia da matéria orgânica que ocorre através da ação de microrganismos. Lima (2004) afirma que ele é composto em sua maior parte por metano (CH_4) e gás carbônico (CO_2), possuindo pequenas concentrações de NH_3 , H_2S , N_2 , H_2 , indol e mercaptanas. Além disso, o autor afirma que quando produzidos em sistemas fechados sua composição varia entre 25% – 35% de CO_2 e 65% – 75% de CH_4 . De acordo com Cassini, (2003) o biogás é um gás incolor, insolúvel e de fraca densidade, sendo que, de modo geral é inodoro, caso não contenha muitas impurezas, constituído por metano, gás carbônico e outros gases em pequenas concentrações.

Abaixo se encontram os compostos que formam o biogás, conforme Castanón (2002).

Tabela 1: Composição média do biogás

Componente	Concentração
Metano CH_4	40% – 75%
Dióxido de carbono CO_2	25 – 40 %
Ácido sulfídrico H_2S	0,1 – 0,5 %
Amônia NH_3	0,1 – 0,5%
Nitrogênio N_2	0,5 – 2,5%
Oxigênio O_2	0,1 – 1,0%
Hidrogênio (H)	1,0 – 3,0%
Monóxido de carbono (CO)	0,0 – 0,1%

Fonte: Castanón (2002).

Karlsson et al. (2014) afirmam:

Geralmente o biogás bruto é constituído por um terço de metano, um terço de outros gases, como: H_2S , O_2 , NH_3 e um terço de dióxido de carbono. Se o biogás é purificado, ou seja, constituído apenas por metano, pode ser utilizado para geração de energia e como combustível veicular (KARLSSON et al. 2014, p. 10).

Para Alves (2000) cerca de 90% do metano emitido para a atmosfera tem sua origem a partir da decomposição da biomassa. A outra parcela oriunda dos fósseis, como o petróleo. Porém, tão importante quanto ao processo de degradação é a composição do substrato, tendo em vista que para o volume e qualidade do biogás está intimamente, relacionada com o quantitativo de nutrientes e possíveis contaminantes (KARLSSON et al. 2014, p. 17).

2.4 POTENCIAL BIOQUÍMICO DE PRODUÇÃO DE BIOMETANO (BPM)

De acordo com Angelidaki et al. (2009), com aumento da procura por sustentabilidade energética, tem-se aplicado de forma gradativa tecnologias para a produção de bioenergia. No entanto, uma consequência desse processo é a necessidade de determinar o potencial teórico de biogás de substratos sólidos, onde 1 m³ de biogás equivale, energeticamente a 1,43 kW/h (COLDEBELLA et al., 2008, p 47), sendo um essencial parâmetro para a implementação de um digestor anaeróbio.

Os ensaios de potencial bioquímico de metano monitoram o volume do biogás gerado a partir dos substratos, avaliando o poder de degradação biológica dos resíduos por meio da produção total de biometano (SILVA et al. 2016, p 12) e tem sido utilizado em diversas pesquisas laboratoriais. De acordo com Brack (2012) a avaliação e quantificação do metano é uma ferramenta capaz de avaliar a eficiência de um determinado sistema em produzir esse composto que compõe o biogás. No entanto, segundo Angelidaki et al. (2009), apesar de nas últimas três décadas uma enorme contingente de artigos terem sido publicados, a comparação dos dados de biodegradabilidade na literatura ainda é muito difícil, devido à diversidade de equipamentos, condições e protocolos usados, não possuindo um padrão. Tratando-se de Brasil, Silva et al. (2016) afirmam que “para a obtenção do biogás encontra-se uma variedade de métodos, porém não há normas técnicas no país”.

Além disso, o processo de biodigestão anaeróbia é muito complexo, possuindo diversas etapas em que os resíduos orgânicos são, progressivamente, transformados em compostos orgânicos menores, através da atuação dos microrganismos (ESPOSITO et al. 2012, p. 1). Ademais, aspectos bioquímicos e físico-químicos fazem parte do processo, envolvendo a hidrólise dos carboidratos,

gorduras e proteínas em compostos de baixo peso molecular, como os ácidos graxos voláteis (ANGELIDAKI et al. 2009, p. 928).

Chen et al (2010) afirmam que os subprodutos gerados a partir da digestão anaeróbia contém muitos nutrientes que podem ser usados para fertilizar o solo e as plantas e o biometano produzido pode ser utilizado na geração de energia.

Santos et al. (2018) realizaram ensaios de avaliação do potencial de produção de biogás via biodigestor utilizando como substrato resíduos alimentares oriundos de restaurante universitário. Já Elbeshbishy et al. (2012) aplicaram ensaios de BPM em resíduos alimentares utilizando como inóculo lodo bruto,

Gueri et al. (2018) avaliaram o potencial bioquímico de produção de biometano a partir de gráficos de taxa de geração e volume acumulado ao longo do período de incubação dos reatores. Segundo o autor os resíduos alimentares possuem elevado potencial para a produção de biogás como pode ser observado na tabela a seguir.

Tabela 2: Potencial metanogênico dos substratos.

Resíduos	Potencial metanogênico (m ³ CH ₄ .kg/SV)	Fonte
Frutas	0,180 a 0,732	Gunaseelan (2014)
Vegetais	0,190 a 0,400	
Alimentares	0,410	Zhang et al. (2013)
Peixe	0,441 a 0,482	
Cervejaria	0,316	Kafte et al. (2013)
Pão	0,306	
Leiteiro	0,204	Kafte & Chen (2016)

Fonte: Gueri (2018) adaptado.

Valença (2017) afirma que o metano formado pelo processo de digestão anaeróbia necessariamente atravessa quatro fases importantes que ocorrem, sequencialmente devido às ações de microrganismos distintos. Além disso, Chernicharo (2007) afirma que:

Uma vez que os microrganismos não são capazes de assimilar a matéria orgânica particulada, a primeira fase no processo de degradação anaeróbia consiste na hidrólise de materiais particulados complexos (polímeros), em materiais dissolvidos mais simples (moléculas menores), os quais podem atravessar as paredes celulares das bactérias fermentativas (CHERNICHARO, 2007, p. 32).

Por fim, para Bouallagui et al. (2003) a conversão dos resíduos sólidos orgânicos em metano surge como uma alternativa energética, além de reduzir os impactos ambientais.

2.4.1 Fatores que influenciam a biodigestão anaeróbia

Segundo Valença (2017) para se ter eficiência na biodigestão anaeróbia é necessário possuir controle sobre alguns parâmetros, como o pH, temperatura, tamanho das partículas e a quantidade de nutrientes do substrato. De acordo com Lima (2004):

Há duas faixas de temperatura em que as bactérias anaeróbias podem desenvolver-se naturalmente. Estas faixas são denominadas de “estágio mesofílico” e “estágio termofílico”. As bactérias mesofílicas vivem no gradiente de 29 a 45 °C e as termofílicas na faixa de 45 a 70 °C.

A faixa termofílica, em sua maior parte, costuma apresentar maior potencial de metano em relação à faixa mesofílica. Entretanto, os microrganismos são mais sensíveis às alterações bruscas de temperatura, tendo em vista que eles não são capazes de controlar a temperatura interna da célula, estando suscetível a temperatura externa do sistema (CHERNICHARO, 2007, p. 80). Assim é importante evitar variações durante o processo de digestão (LUCENA, 2016, p. 38).

Cabe salientar que o pH também é diretamente afetado, pois com a queda de temperatura, o sistema pode tornar-se acidificado, o que por sua vez, inibe a produção de metano. Recomenda-se que haja a manutenção de lodo no reator (LIMA, 2004, p. 192). Oliveira (2009) afirma que o potencial hidrogeniônico funciona como indicador da alcalinidade ou acidez no interior do biodigestor.

Segundo Chernicharo (2007)

Os microrganismos produtores de metano têm crescimento ótimo na faixa de pH entre 6,6 e 7,4, embora se possa conseguir estabilidade, na formação

de metano, numa faixa mais ampla de ph, entre 6,0 e 8,0 (...) o pH ótimo depende do tipo de microrganismo envolvido no processo de digestão, como também do tipo de substrato.

2.5 JUSTIFICATIVA DO PROBLEMA

A motivação do trabalho referente a essa pesquisa surgiu a partir dos dados levantados no trabalho *Estimativa da Geração de Resíduos Alimentares por Restaurantes Universitários Brasileiros*, apresentado no 8º ISRMU (Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos em Universidades) na UFCG em Campina Grande – PB. De acordo com o conteúdo do estudo, a Universidade Federal do Vale do São Francisco foi diagnosticada como grande geradora de resíduos sólidos orgânicos provenientes dos RUs. Tendo em vista que, a sua estimativa de resíduos gerados foi de 2.210 kg/dia (OLIVEIRA et al. 2017, p. 168). Tal valor supera a estimativa de todas as universidades estudadas na Região Centro-Oeste e da Região Norte, além de ser o maior valor num comparativo individual.

Portanto, torna-se mister um estudo local e mais aprofundado que culmine na caracterização dos resíduos sólidos orgânicos gerados nos RUs da UNIVASF para compatibilizar os dados existentes, além de promover orientações quanto à melhor forma de manejá-los e de utilizá-los para o aproveitamento do biogás, o qual pode ser revertido para a própria universidade.

3.1 DESCRIÇÕES DOS LOCAIS DE ESTUDO

A Universidade Federal do Vale do São Francisco possui em sua totalidade três Restaurantes Universitários (RUs), conforme descrições a seguir:

3.1.1 RU1(Campus Petrolina CCA)

O Restaurante Universitário 1 está nas dependências da Universidade Federal do Vale do São Francisco no Campus de Ciências Agrárias (CCA), na zona rural de Petrolina, instalado no C-1, do Projeto de Irrigação Nilo Coelho, às margens da Rodovia BR-407, km 12, Lote 543, distante 13km do centro da cidade. Esse campus foi o primeiro a contar com os serviços de um restaurante universitário e foi inaugurado no dia 10/12/2014. Ele ocupa uma área de, aproximadamente, 2.500 m² e o local tem capacidade para 436 lugares. Seu funcionamento é das 06h00 às 08h00 com o serviço de café da manhã e das 11h às 14h00 referente ao serviço de almoço. A capacidade de atendimento é de 6.500 refeições/dia.

Figura 1: Localização RU Petrolina CCA.



Fonte: Google Maps.

3.1.2 RU2 (Campus Sede Petrolina)

O Restaurante Universitário 2 do Campus Sede Petrolina encontra-se em funcionamento desde o dia 15/12/2014. Localizado na Av. Pres. Tancredo Neves, 439 – Vila Mocó, Petrolina – PE. Suas atividades são realizadas no horário de 11h00 às 14h00 e 17h30 às 20h00 aos serviços de almoço e jantar, respectivamente, sendo que sua unidade funciona de segunda a sexta-feira. Esse Campus foi o segundo a contar com a infraestrutura de um RU.

Sua capacidade de fornecer refeições diárias gira em torno de 9.500 refeições/dia. No entanto, a demanda projetada pela Coordenação Geral dos Restaurantes Universitários é de 1.500 refeições/dia. Seu projeto é similar ao do Campus CCA e abrange uma área de 2.500m² com capacidade de ocupação individual para 436 pessoas.

Figura 2: Localização RU Sede Petrolina



Fonte: Google Maps.

3.1.3 RU3 (Campus Juazeiro)

O Restaurante Universitário 3 fica localizado na Av. Antônio Carlos Magalhães - Country Club, Juazeiro – BA e contempla o Campus Juazeiro da UNIVASF. Ele foi inaugurado no dia 19 de janeiro de 2015 e possui capacidade de atendimento de 2.400 refeições/dia em uma área de 2.500m² com o ambiente climatizado. O RU do campus de Juazeiro funciona nos mesmos dias e horários da

- a) Obter o quantitativo de refeições servidas;
- b) Identificar o dia na semana que apresenta picos e inflexões em relação ao consumo;
- c) O tipo e quantitativo de alimento consumido;
- d) Reconhecer os processos de descarte dos resíduos sólidos alimentares, incluindo a sua sistemática durante a sua produção dos alimentos até a geração do resíduo, propriamente dito.

3.3 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS

Como os resíduos alimentares apresentam uma composição heterogênea deve ser caracterizado da forma mais completa possível (ANGELIDAKI et al. 2009), com a finalidade de identificar o modo como a matéria orgânica e os compostos bioquímicos influenciam na geração do biometano, à medida que ocorre a degradação. Os substratos foram caracterizados após as etapas de coleta, quarteamento e trituração por meio de análises físico-químicas e bioquímicas, conforme descrições a seguir.

3.3.1 Coleta dos substratos

Através dos dados obtidos por meio de entrevistas com as nutricionistas responsáveis pelo gerenciamento dos restaurantes universitários, decidiu-se realizar a coleta no RU3 e utilizar três tipos de substrato, referentes à produção do almoço e jantar: resíduos da preparação dos alimentos (SR1); resíduos da sobra do buffet (sobra suja) e restos dos pratos (SR2) e mistura dos dois substratos anteriores (SR3), conforme figura 4.

Figura 4: Tipos de substratos estudados.



Fonte: Autor (2018).

Não foi necessário realizar análises gravimétricas tendo em vista que esse procedimento é realizado pela empresa que gerencia os restaurantes.

Figura 5: Coleta dos substratos.



Fonte: Autor (2018)

Foram coletados 23,5 kg do SR1 contendo, em sua maioria, cascas de cenoura, batata, laranja, abóbora e hortaliças e 115,1 kg do SR2 contendo restos de pães, arroz, feijão preto, macarrão, cuscuz e frango, ambas referentes ao almoço e jantar do dia 17/07/2018.

3.3.2 Quarteamento dos substratos

Os resíduos alimentares foram transferidos dos tambores, com tampas, fichas de coleta e capacidade para volume de 100 litros, para baldes de menor volume, a fim de facilitar o seu transporte para o local de trabalho. Em seguida misturados e quarteados em uma lona com o propósito de homogeneizar a amostra, estando assim, de acordo com a metodologia recomendada pela norma NBR 10.007 (ABNT, 2004), visto que essa ferramenta é utilizada para se obter uma amostra significativa do volume total.

Figura 6: Quarteamento dos substratos.



Fonte: Autor (2018).

Cabe destacar que, esse processo é essencial, pois foram encontrados e materiais inorgânicos nas amostras (Figura 7), sendo importante realizar uma observação aguda e uma triagem minuciosa do resíduo para não comprometer o estudo.

Figura 7: Presença de materiais inorgânicos nos substratos.



Fonte: Autor (2018).

Ademais, salienta-se que todos os restaurantes universitários da instituição possuem espaços exclusivos para o depósito dos materiais recicláveis e não recicláveis.

3.3.3 Trituração dos substratos

O tamanho das amostras pode ser um parâmetro muito importante na taxa de produção de biogás, a partir de um determinado substrato (ANGELIDAKI et al. 2009). Os resíduos quarteados foram conduzidos para a trituração (Figura 8) no moinho de facas do tipo Rotor Vertical com Facas Móveis e Fixas, marca Marconi, para obtenção de menor granulometria com o uso da peneira de 1,7mm de diâmetro, conforme as metodologias de Silva (2014), Esposito et al. (2012) e de Angelidaki et al. (2009) a fim de facilitar a degradação da matéria orgânica do substrato pelas bactérias devido ao aumento da superfície de contato e “para se garantir a homogeneidade do tamanho das partículas” (SILVA, 2014, p. 28).

Figura 8: Trituração dos substratos.



Fonte: Autor (2018).

3.3.4 Caracterização dos resíduos alimentares

Todos os parâmetros foram analisados em triplicatas e desenvolvidos no LEA - Laboratório de Engenharia Ambiental - localizado no Campus Juazeiro. Desse modo, as seguintes análises foram realizadas conforme quadro 1.

Quadro 1: Metodologias adotadas para análises laboratoriais.

Parâmetros Analisados	Referências Utilizadas
pH	Andreoli et al (1998)
Ácidos graxos voláteis (AGV)	Ribas et al. (2007)
Série de sólidos totais	APHA; AWWA; WEF (1998) (Método: 2540 – B; 2540 – E), Norma Técnica Interna SABESP (NTS 013) (1999) adaptado
Carboidratos	Dubois et al.; Gilles; Hamilton (1956)
Proteínas	Lowry, O. H. et al. (1951)
Lipídios	Postma e Stroes (1968)
Fósforo total	APHA; AWWA; WEF (1998), NBR 12772/1992
Nitrogênio amoniacal	APHA; AWWA; WEF (1998) (Método: 4500-NH ₃ A.)
Nitrogênio total Kjeldahl	APHA; AWWA; WEF (1998) (Método: 4500 – N A.) proposta por Kjeldahl em 1883
Teor de umidade	Andreoli et al (1998)

Fonte: Autor (2018).

3.4 ENSAIOS DE POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOMETANO

Essa fase do trabalho englobou os principais procedimentos para a execução dos ensaios de BPM.

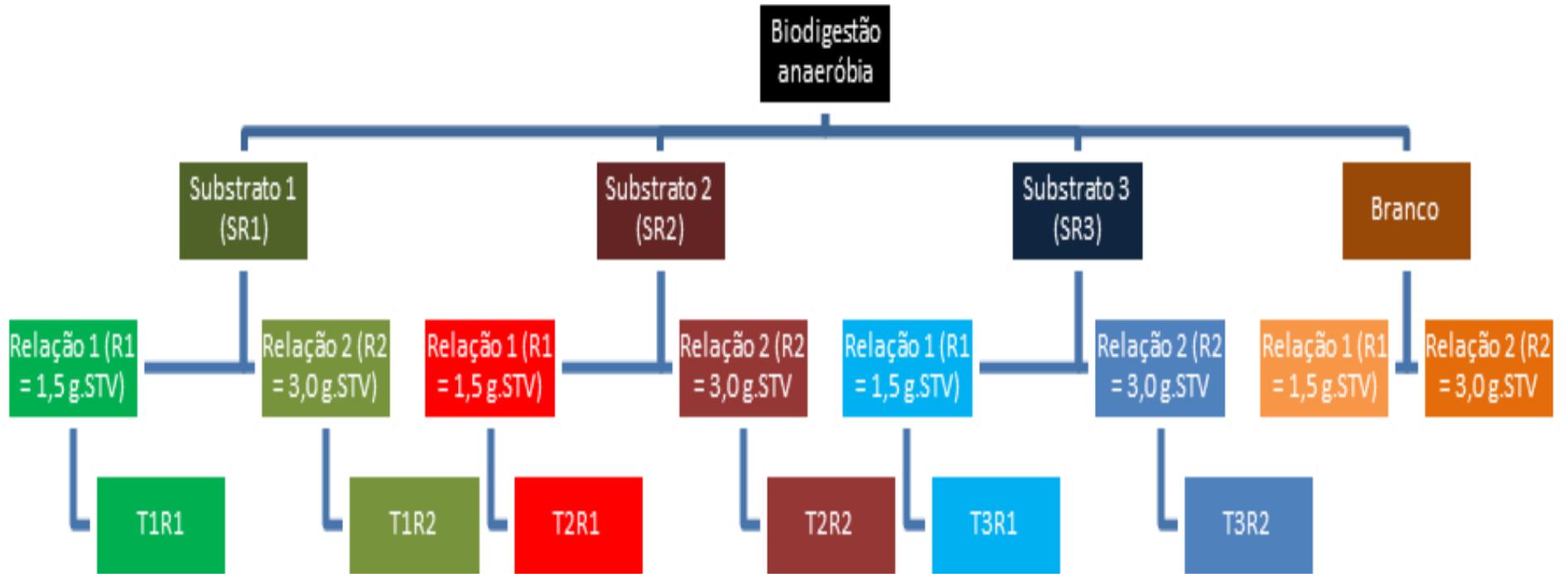
3.4.1 Montagem dos frascos reatores para avaliação do potencial de produção de biometano

A metodologia para a confecção dos tratamentos utilizados nos frascos reatores foi baseada nos estudos de Chen et al. (2010) com adaptações. Para as três amostras decidiu-se aplicar duas relações de inóculo distintas – relação 1 (R1) = 1,5 g.STV e relação 2 (R2) = 3,0 g.STV – a fim de determinar o melhor tratamento (CHEN et al, 2010). Aquino et al. (2007) afirmam que “partindo-se de uma concentração maior de biomassa, haverá uma menor relação alimento/microrganismos, resultando em degradação mais rápida do substrato disponível”. O inóculo utilizado foi o lodo bruto oriundo de estação de tratamento de esgoto (ETE). O ensaio de BPM durou 32 dias e todos os tratamentos foram realizados em triplicatas. No total, foram montados 20 reatores, conforme fluxograma da figura 9.

Os frascos reatores foram confeccionados em frascos de borossilicato com capacidade para 500 mL e 1 litro com cor âmbar e transparente, respectivamente. Todos os frascos continham tampas rosqueadas e borrachas em formato de anel para garantir uma melhor vedação com septos incluídos para a circulação do gás. Ademais, antes do início do experimento, todos os materiais foram testados com a finalidade de detectar possíveis vazamentos.

Por fim, os frascos foram envolvidos com papel alumínio para evitar a penetração de luz, tendo em vista que Deublein (2008) afirma que a luminosidade não é letal, porém prejudica a formação de metano. E devidamente etiquetados, conforme simbologia adotada, para não serem confundidos durante as análises, seguindo desse modo, metodologia de Silva et al. (2016).

Figura 9: Fluxograma dos ensaios da biodigestão anaeróbia.



Fonte: Autor (2018).

Respeitando o recomendado por Aquino et al. (2007) reservou-se 20% do volume total dos frascos para o headspace, tendo em vista que nesse espaço haverá o acúmulo do metano (ANGELIDAKI et al. 2009, p. 932). Definiu-se utilizar para o volume da solução nutritiva, 20% do volume total.

As relações volumétricas dos reatores foram determinadas com base na concentração de sólidos totais voláteis dos resíduos e do inóculo. Desse modo, para obter uma relação de substrato/inóculo (S/I) igual a 0,5 e 1,0, os reatores foram carregados com uma carga orgânica igual a 3,0 gSTV/L. Água destilada foi usada completar o volume. Todos os reatores foram homogeneizados, manualmente, 30 minutos antes da medição do peso dos frascos que continham o metano gotejado.

A partir dos valores obtidos, resolveu-se adaptar a metodologia proposta por Chen et al. (2010), por meio de uma extrapolação das cargas orgânicas, a fim de dar maior representatividade ao dia a dia de um restaurante universitário, tendo em vista que convive-se com altas taxas de geração de resíduos alimentares.

3.4.2 Medição da produção acumulada de metano

Conforme metodologia de Aquino et. al (2007), fez-se uso do método volumétrico de Medição Direta do Volume de Metano, onde lavou-se o biogás produzido nos reatores com solução de soda para ocorrer a absorção do gás carbônico (CO₂). Desse modo, o procedimento assume que os principais constituintes do biogás são o CO₂ e o CH₄ (AQUINO et al. 2007, p. 200). Portanto, para tal, diariamente aferiu-se o volume de metano produzido, através da pesagem dos frascos que recebiam o hidróxido pingado, em balança analítica de precisão BEL Engineering Mark 6500, além de medir a altura deslocada, com régua graduada, referente ao volume de solução de hidróxido deslocado pelo metano.

3.5 ANÁLISE E TRATAMENTO DOS DADOS

Para os resultados obtidos, baseado na metodologia de Domingues et al. (2016), utilizou-se estatística descritiva para a análise dos dados, calculando média \pm desvio padrão (DP) para os ensaios de caracterização dos substratos e para a

comparação dos frascos reatores no início e fim da digestão anaeróbia, por meio do programa computacional EXCEL® (versão 2010).

Em relação à produção acumulada diária de metano fez-se uso da estatística experimental por meio do delineamento fatorial, tendo em vista que buscou-se analisar o efeito dos fatores tipo de substrato e relações de inóculo, simultaneamente para os seis tratamentos. Para tal empregou-se o software R PROJECT FOR STATISTICAL COMPUTING (versão 3.5.1®) para manipular os dados obtidos. Destaca-se que os resultados obtidos foram comparados com a literatura existente.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 ESTUDOS PRELIMINARES DOS RESTAURANTES UNIVERSITÁRIOS E DIAGNOSTICO DOS RESÍDUOS GERADOS

A empresa responsável pelo gerenciamento dos resíduos alimentares divide-os em dois grupos: resíduos da preparação dos alimentos e a união da sobra suja (buffet que saiu da cozinha) com os restos (sobras dos pratos dos consumidores).

A empresa faz a pesagem e separação desses resíduos diariamente, antes de dispor para coleta, a qual ocorre em média quinze horas depois da disposição, em tambores próprios para os resíduos alimentares, os quais são separados dos recicláveis, armazenados em um saco destinado a esse propósito. Desse modo, não foi necessário realizar a análise gravimétrica das amostras. Diariamente, os resíduos são coletados por responsável contratado pela empresa.

Figura 10: Local de armazenamento dos resíduos.



Fonte: Autor (2018).

De acordo com os dados obtidos, via aplicação do questionário, identificou-se que o RU2 apresenta maior quantitativo de refeições servidas dentre os três restaurantes da universidade, com uma média diária de 1164 refeições (Tabela 3),

fator esse proveniente por estar localizado próximo ao Hospital Universitário e dentro do Campus que contém a Administração da UNIVASF. O RU3 apresentou valor próximo ao RU2 devido ao campus ofertar a maior quantidade de cursos em relação aos outros campi, concentrando desse modo, maior contingente de discentes e docentes. Por fim, o RU1 apresentou menor quantidade de refeições servidas, devido à localização do campus não favorecer maior contato com o público externo, ficando atrelado, em sua maior parte, à comunidade acadêmica.

Tabela 3: Média de refeições servidas por dia

RU 1	RU2	RU3
600	1164	1100

Fonte: Autor (2018).

Para realizar a coleta das amostras foi imprescindível determinar o dia da semana que apresenta picos e inflexões, visto que se buscou trabalhar no dia que houvesse maior quantidade de refeições servidas, e conseqüentemente, maior descarga de resíduos alimentares (Quadro 2), evitando semanas em que ocorressem eventos, entrada de calouros e recesso acadêmico.

Quadro 2: Dias e quantitativo de maior e menor consumo de refeições

	RU1		RU2		RU3	
	Café da manhã	Almoço	Almoço	Jantar	Almoço	Jantar
Maior	Quarta-feira: 165	Quarta-feira: 660	Terça-feira: 808	Segunda-feira: 400	Terça-feira: 750	Terça-feira: 320
Menor	Quinta-feira: 120	Sexta-feira: 550	Segunda-feira: 771	Sexta-feira: 350	Sexta-feira: 550	Sexta-feira: 250

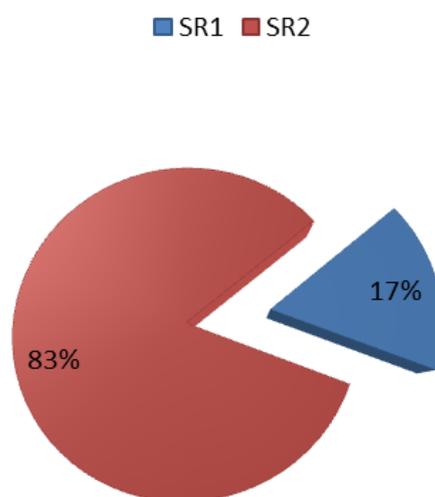
Fonte: Autor (2018).

O RU1 e RU3 foram os únicos que coincidiram os picos de consumo na semana para os períodos de serviço das refeições, porém devido à logística do trabalho e motivado pelo quantitativo ofertado, definiu trabalhar com o restaurante universitário do campus Juazeiro (RU3), sendo que os alimentos consumidos que mais se destacam são: arroz, feijão, cuscuz, macarrão e frango com um quantitativo diário de 30, 35, 20, 20 e 120 kg, respectivamente.

Durante a coleta obteve-se um quantitativo de 138,6 kg de resíduos alimentares (Figura 11). Em estudo semelhante Valença (2017) quantificou uma

média diária de 148 kg de resíduo alimentar orgânico, representando aproximadamente 6,5% da quantidade de alimentos produzidos. Já Ferreira et al. (2015) detectaram um valor mensurado em 400 kg/dia. Rocha (2016) ao verificar a potencialidade da produção de biogás, a partir de resíduos orgânicos alimentares provenientes do restaurante universitário da Universidade Federal de Juiz de Fora, encontrou uma média de 112 kg/dia de resíduos gerados. Por fim, Santos et al. (2018) ao realizarem estudo no restaurante universitário da Universidade Federal de Campina Grande, encontrou um quantitativo de 122 kg/dia.

Figura 11: Percentual de substrato coletado



Fonte: Autor (2018).

Os resíduos alimentares coletados nesse trabalho apresentaram uma predominância visual de arroz, feijão preto, cuscuz, torradas e frango para o substrato SR2 e de hortaliças, cascas de verduras e frutas para o substrato SR1, conforme cardápio do dia (ANEXO B).

4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS.

Os dados dos parâmetros analisados dos substratos encontram-se na tabela 4. Percebe-se que as amostras de resíduos alimentares SR1, SR2 e SR3 possuíam pH ácido. Tal acidez foi descrita em trabalhos publicados por autores que analisaram resíduos alimentares. Oliveira et. al. (2018), ao realizar o potencial de metanização da biodigestão anaeróbia de resíduos sólidos alimentares do restaurante universitário da UFPE encontrou pH igual a 6,29. Já Lucena (2016), em sua

dissertação de mestrado, obteve o valor de 5,4. Além disso, o Programa de Pesquisas em Saneamento Básico (PROSAB) (2003), em estudo de tratamento anaeróbio de resíduos sólidos orgânicos com alta concentração de sólidos encontrou valor médio de pH igual a 4,6. Destaca-se que a acidez encontrada nas amostras dificulta o processo de metanogênese, que segundo Chernicharo (2007) é ideal para pH que varia de 6,5 a 7,5.

Tabela 4: Caracterização dos substratos.

Parâmetros	Tipo de Substrato		
	SR1	SR2	SR3
pH	6,77	3,95	3,96
TU (%)	74,72	71,51	72,89
ST (g/L)	283,18 ± 33,80	780,99 ± 69,31	560,95 ± 82,73
STF (g/L)	10,64 ± 0,21	89,56 ± 12,49	38,07 ± 7,50
STV (g/L)	272,54 ± 34,01	691,43 ± 57,37	522,88 ± 86,29
PROT (g/L)	12,26 ± 0,1	19,49 ± 2,85	20,04 ± 2,72
CAR (g/L)	9,63 ± 0,6	55,97 ± 3,41	55,04 ± 1,68
LIP (mg/L)	1,60 ± 0,55	50,27 ± 2,08	34,89 ± 6,32
NH ₃ (mgNH ₃ /L)	5,60 ± 0,0	7,47 ± 3,23	16,80 ± 0,0
PT (mg/L)	751,55 ± 359,08	405,88 ± 147,87	527,54 ± 163,79

Fonte: Autor (2018).

Quanto ao teor de umidade, os resultados obtidos assemelham-se com a literatura, visto que entre autores que realizaram estudos com os resíduos orgânicos, o percentual de umidade encontra-se próximo ou acima de 70%. Conforme Andreoli et al. (2003), teor de umidade elevado do resíduo pode contribuir no processo de geração de biogás.

Tabela 5: Teores de umidade encontrados na literatura

Teor de umidade (%)	Referências
77,10	PROSAB (2003)
76,40	Ferreira (2015)
67,60	Firmo (2013)
73,28	Lucena (2016)

Fonte: Autor (2018).

Sobre os resultados obtidos com a série de sólidos obtiveram-se teores de Sólidos Totais Voláteis iguais a 96,24%, 88,53% e 93,21% para os substratos SR1, SR2 e SR3, respectivamente. Silva (2014) afirma que a biodegradabilidade do material está ligada com a composição, sendo imprescindível realizar a caracterização do substrato quanto ao teor de sólidos totais e totais voláteis (STV), sendo que esse parâmetro é recomendado como indicador primário do potencial biometanogênico. Desse modo, percebe-se que os resíduos alimentares provenientes do restaurante universitário possuem alto potencial de biodegradabilidade (VALENÇA, 2017, p. 26).

APHA (1998) indica que o uso de tratamento biológico quando os valores de sólidos totais voláteis superam os totais fixos, visto que os compostos orgânicos estão em proporção maior quando comparadas aos inorgânicos. Ao compatibilizar os dados de STV do presente trabalho na literatura (Tabela 6), percebe-se que possuem valores elevados.

Quanto aos resultados de proteínas e carboidratos e lipídios, constata-se que o substrato SR2 possui maior potencial para a produção de metano, pois resíduos biodegradáveis, que contém teor de lipídios e carboidratos maiores, espera-se que haja maior geração de energia (VALENÇA 2017, p. 28).

Entretanto, Deublein (2008) afirma que esse processo pode ser limitante, pois a sua degradação pode acidificar o sistema, visto que os lipídios são convertidos em ácidos graxos de cadeia longa e em glicerina. As proteínas se transformam em peptídeos e aminoácidos e os carboidratos em açúcares (ALVES, 2008, p. 12).

Tabela 6: Teores de sólidos totais voláteis obtidos na literatura.

Sólidos totais voláteis (%)	Referências
83,60	PROSAB (2003)
98,03	Filho et al. (2018)
75,30	Firmo (2013)
95,19	Lucena (2016)
95,40	Castro e Mateus (2016)

Fonte: Autor (2018).

Como os resíduos alimentares oriundos do buffet e das sobras dos pratos (SR2) continham carne, diferentemente do SR1, pode ter afetado no teor de nitrogênio encontrado, visto que esse ingrediente possui altas taxas de nitrogênio. Cho; Park; Chang (1995) verificaram que dos resíduos alimentares estudados, a carne cozida possuía o maior teor de nitrogênio, 10,5%.

4.3 AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOMETANO (BPM)

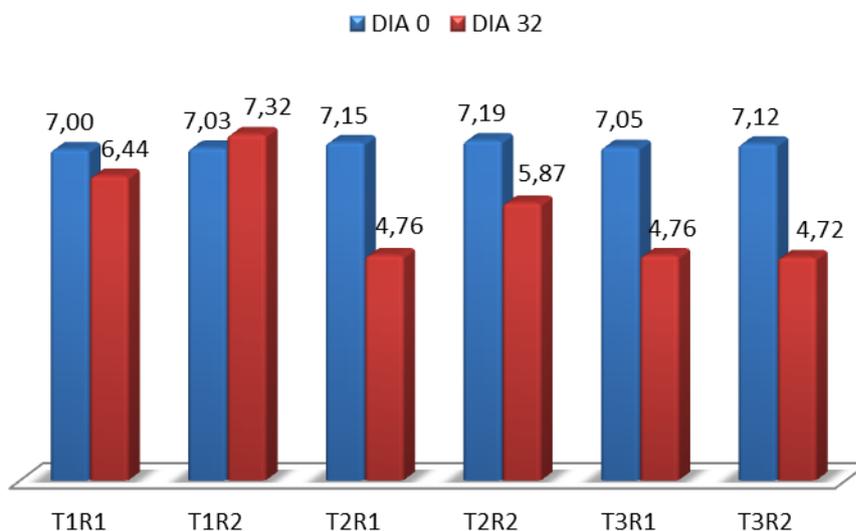
A discussão dos resultados acerca do ensaio para a determinação do potencial bioquímico de produção de biometano dos resíduos alimentares, realizado pelo método volumétrico de Medição Direta do Volume de Metano, a priori será em direcionada para as análises físico-químicas e bioquímicas realizadas no início e término do experimento. Por fim, explorar-se-á o gráfico da geração diária e do volume acumulado ao longo dos trinta e dois dias de digestão anaeróbia dos reatores em batelada.

4.3.1 pH

Como o substrato possui potencial hidrogeniônico com teor ácido, necessitou-se adicionar bicarbonato de sódio nos reatores inoculados com lodo bruto proveniente de ETE. Tendo em vista que, os microrganismos metanogênicos possuem crescimento ótimo na faixa de pH entre 6,6 e 7,4 (CHERNICHARO, 2007, p. 84). Ao fim do experimento, no decorrer dos 32 dias, a biomassa presente nos

reatores apresentou queda considerável do pH, em torno de 20%, quando analisados, imediatamente, após a interrupção da produção de biometano. Conforme o gráfico a seguir (Figura 12).

Figura 12: pH de entrada e saída dos reatores.



Fonte: Autor (2018).

Ao confrontar os dados obtidos na literatura, percebe-se que esse fenômeno foi comum a outros pesquisadores. Valença (2017) detectou pH final na faixa de 5,0, sendo que o menor valor encontrado para os cenários testados foi de 4,62. Os reatores abastecidos com lodo industrial ou lodo de ETE tiveram seu meio acidificado, prejudicando a formação de metano e evidenciando o potencial da biomassa em alterar o pH inicial.

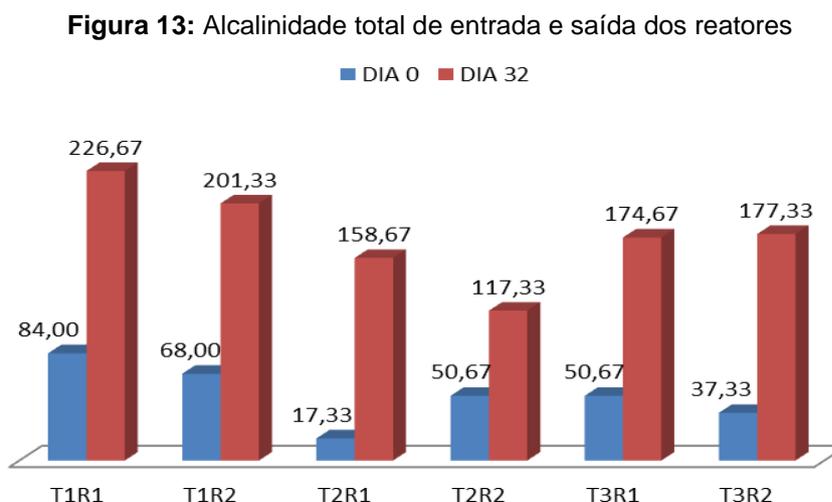
Oliveira et al (2018) constataram baixa produção de metano, sem a utilização de agente tamponante, para a configuração de lodo granular anaeróbio agroindustrial com resíduos alimentares, devido à queda do pH do sistema para 5,38.

Lucena (2016), após 65 dias de experimento, constatou que a solução alcalinizante de hidróxido de sódio utilizada não foi capaz de manter o pH na faixa ótima durante, obtendo valor em torno de 4,0. Valores baixos do potencial hidrogeniônico favorecem a produção de ácidos graxos voláteis no meio, tornando-se como um dos principais causadores do desequilíbrio do processo de digestão anaeróbia (WARD et al. 2008, p. 7). Por fim, Bouallagui et al. (2003) detectaram que

em apenas 10 dias de retenção hidráulica o pH caiu bruscamente e a conversão de substrato em biogás foi inibida devido ao aumento de AGV e redução do pH.

4.3.2 Alcalinidade total e AGV

Segundo Chernicharo (2007) o monitoramento de reatores anaeróbios quanto à alcalinidade, torna-se mais importante do que a avaliação do pH. Em todos os reatores detectou-se aumento da alcalinidade total, como pode ser observado no gráfico da figura 13. Todavia, de acordo com Chernicharo (2007), a reação da alcalinidade com os ácidos orgânicos voláteis converte a alcalinidade bicarbonato em alcalinidade dos ácidos voláteis, pois os ácidos voláteis são mais fortes, ocorrendo na faixa de pH entre 3,75 e 5,75, prejudicando a digestão anaeróbia. Felizola et al. (2006), afirmam que o aumento de alcalinidade ao fim da digestão anaeróbia está associado com a concentração de nitrogênio que contribui para a formação de alcalinidade pelo bicarbonato de amônia



Fonte: Autor (2018).

. Esse fenômeno pode ser relacionado com o item 4.3.6 visto que o nitrogênio degradado pode ter gerado amônia, aumentando a faixa de alcalinidade. De acordo com os resultados obtidos, média percentual de aumento foi em torno de 322%, sendo que o reator que teve maior elevação foi o T2R1.

Feng et al. (2017) detectaram desequilíbrio nos reatores devido ao aumento na produção de ácidos graxos voláteis oriundos do ácido propiônico. Já Mao et al.

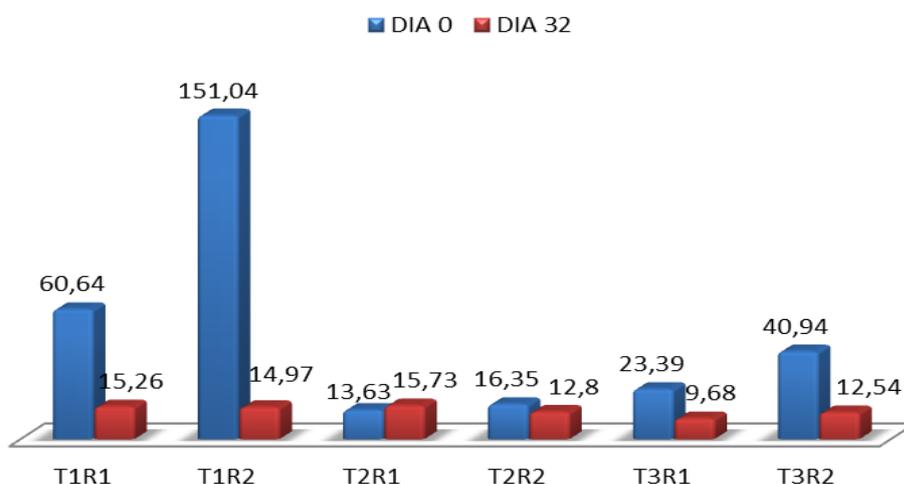
(2015) em seu estudo concluíram que os ácidos graxos voláteis são afetados diretamente pelo pH.

4.3.3 Série de sólidos

A concentração em termos de sólidos biodegradáveis é essencial para o tratamento anaeróbio (CHERNICHARO, 2007, p. 51). Os valores de STV obtidos na caracterização dos substratos indicaram grande potencial de biodegradabilidade, conforme item 4.2. Desse modo, para estimar a capacidade de volatilização da matéria orgânica presente no substrato durante a biodigestão, avaliou-se o seu comportamento para os reatores na entrada e saída.

A figura 14 traz os resultados referentes aos sólidos totais voláteis após a realização do experimento. Os valores encontram-se expressos em unidade de massa. Percebe-se que a massa de sólidos voláteis reduziu em todas as amostras devido ao processo de biodegradação ocorrida nos reatores, exceto para o tratamento T1R2, onde se detectou aumento próximo de 15 %.

Figura 14: Sólidos totais voláteis de entrada e saída dos reatores.



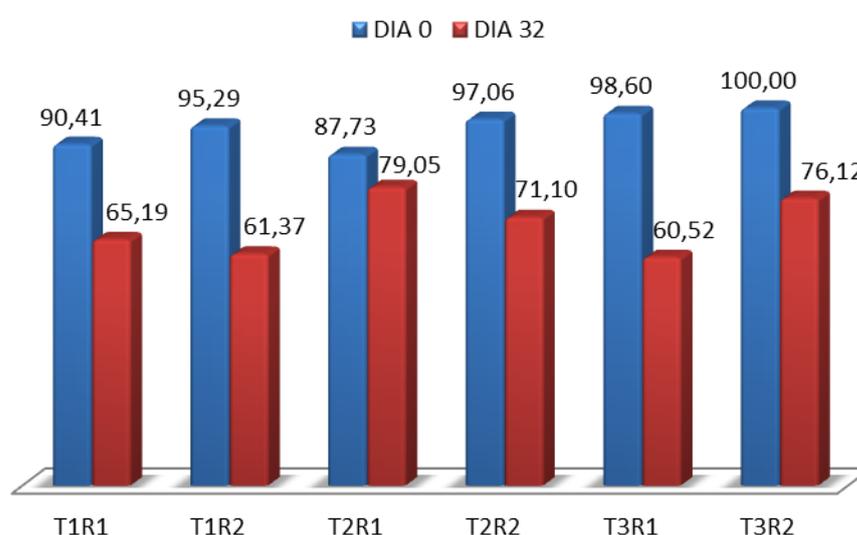
Fonte: Autor (2018).

No entanto, esse dado, induz ao erro, tendo em vista que o teor de sólidos voláteis reduziu em 8,69%, conforme o gráfico da figura 15. Oliveira et al (2018), em seu estudo, apresentaram redução de 18,1 e 27,9% em relação aos sólidos voláteis após a biodigestão, para as configurações de resíduos alimentares inoculados com lodo, sendo que o primeiro valor não possui solução tampão e o segundo sim.

Liu et al. (2012) obtiveram uma taxa de remoção de sólidos voláteis em torno de 65% utilizando lodo de esgoto desidratado como inóculo e resíduos alimentares oriundos do restaurante universitário da Universidade de Tsinghua, localizada em Pequim, China.

As reduções de SV sob condições mesofílicas e termofílicas do estudo de Chen et al. (2010) estiveram na faixa de 73% – 99% e 63% – 95%, respectivamente, características da digestão anaeróbica de resíduos alimentares. Já na pesquisa de Gueri et. al. (2018) a redução foi de 24,04 g/L no afluente para 14,05 g/L no efluente utilizando proporção 1:1 na relação substrato/inóculo.

Figura 15: Teor de sólidos voláteis de entrada e saída dos reatores



Fonte: Autor (2018).

Como os sólidos voláteis compreendem o material carbonáceo que será biodegradado e convertido em biogás, a remoção dos sólidos totais voláteis apresentou média de 62,9%. Destaque para o tratamento T1R2, que obteve alta remoção de STV em relação aos demais tratamentos, refletindo na produção acumulada de biometano, conforme item 4.3.6. De acordo com Campos et al. (2004) o desempenho na remoção de sólidos totais voláteis foi por ação da facilidade dos microrganismos em realizar a degradação em biocompostos como proteínas, açúcares e lipídios, conforme item 4.3.4.

Através dos resultados da série de sólidos registrados na tabela 4, nota-se que os substratos utilizados nos frascos reatores eram formados por material de

fácil degradação em consequência dos valores de STV comparados aos STF. Segundo Leite (2001), substratos que possuem maior percentual de sólidos totais voláteis, tendem a gerar quantidade significativa de gás CH₄, tornando essa alternativa de tratamento, economicamente viável.

4.3.4 Proteínas e Carboidratos

Os dados dos orgânicos complexos analisados nos reatores, referentes ao início e término dos tratamentos, por meio da digestão anaeróbia, encontram-se na tabela 7.

Tabela 7: Valores dos componentes bioquímicos de entrada e saída dos reatores.

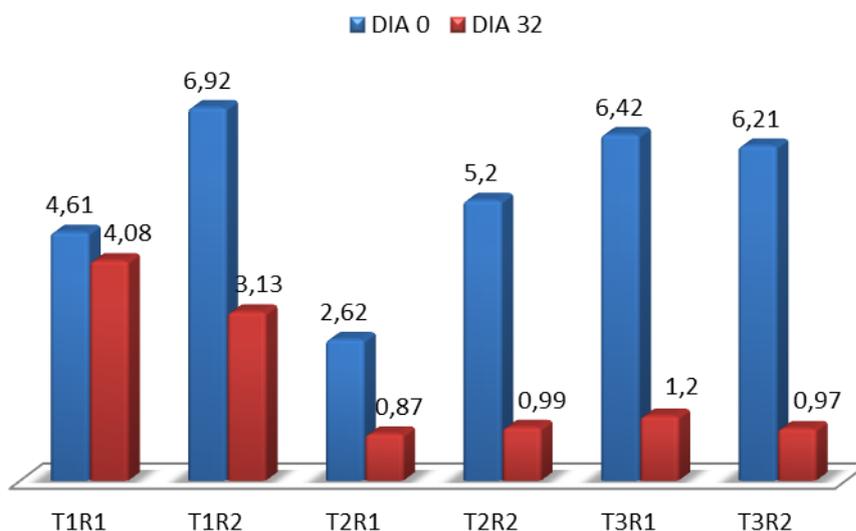
	Reatores	Proteínas (g/L)	Carboidratos (g/L)
DIA 0	T1R1	4,61 ± 0,53	4,89 ± 0,37
	T1R2	6,92 ± 0,66	1,02 ± 0,85
	T2R1	2,62 ± 0,55	0,06 ± 0,50
	T2R2	5,20 ± 2,03	1,35 ± 0,25
	T3R1	6,42 ± 3,00	2,65 ± 1,02
	T3R2	6,21 ± 2,06	1,83 ± 1,30
DIA 32	T1R1	4,08 ± 0,16	0,05 ± 0,00
	T1R2	3,13 ± 1,08	0,43 ± 0,10
	T2R1	0,87 ± 0,14	0,45 ± 0,39
	T2R2	0,99 ± 0,28	0,55 ± 0,07
	T3R1	1,20 ± 0,27	1,33 ± 0,20
	T3R2	0,97 ± 0,37	1,29 ± 0,24

Fonte: Autor (2018).

Todos os reatores reduziram de forma significativa os valores de proteínas, variando entre 11,5% – 84%. Conforme pode ser observado no gráfico da figura 17. Nos biodigestores as proteínas são reduzidas a aminoácidos, que por sua vez são convertidos em amônia e ácidos graxos voláteis (LIMA, 2004, p. 187). Cabe destacar que essa conversão em amônia ocasionada pela degradação biológica depende do pH, sendo a amônia livre a forma mais tóxica ou inibidora da atividade microbiana (CHEN et al, 2008). Portanto, a alta taxa de remoção de proteínas pode estar, diretamente relacionada com a redução do pH descrita no item 4.3.1 e com o aumento da amônia nos reatores, conforme descrição no item 4.3.5. Fato de tal relação é que as menores reduções de proteínas que ocorreram nos tratamentos

T1R1 e T1R2 se assemelham com a manutenção da faixa ótima do pH nesses reatores.

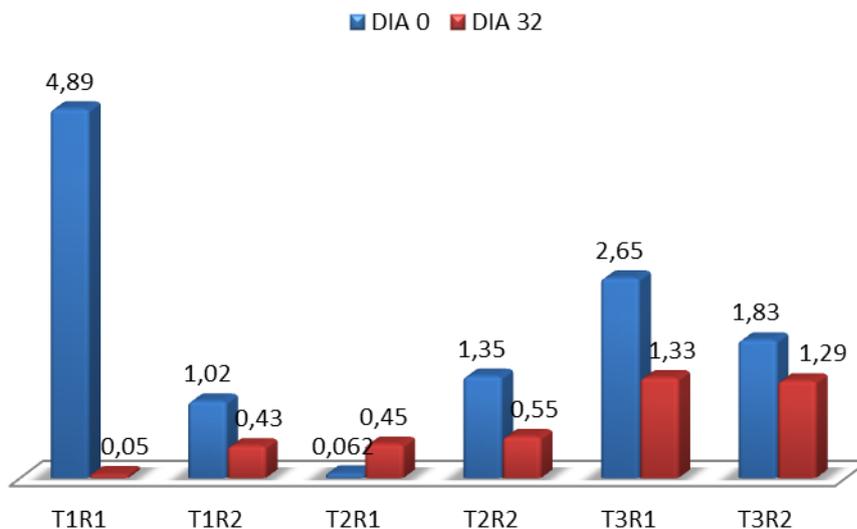
Figura 16: Proteínas de entrada e saída dos reatores



Fonte: Autor (2018).

Os reatores T1R1, T1R2, T2R2, T3R1 e T3R2 reduziram de forma significativa os valores de carboidratos, com média de redução de 59% entre os reatores mencionados. Destaque para o reator T1R1 que reduziu os carboidratos em 99%, conforme pode ser observado no gráfico da figura 17.

Segundo Karlsson et al. (2014) “As características da taxa de degradação dos carboidratos no processo de geração de biogás são bastante distintas”, sendo que durante o processo de degradação pelos microrganismos, não há formação de cátion como produto final, podendo resultar na depressão da alcalinidade, caso o bicarbonato de amônia presente seja utilizado como fonte de nitrogênio para a síntese biológica (CHERNICHARO, 2007, p. 87). Lima (2004) afirma que no processo de fermentação ácida dos carboidratos, o ácido acético, butírico e propiônico são produzidos, resultando na diminuição do pH. Isso conduz a instabilidade devido à quantidade de ácidos graxos que são formados. (KARLSSON et al. 2014, p. 25).

Figura 17: Carboidratos de entrada e saída dos reatores.

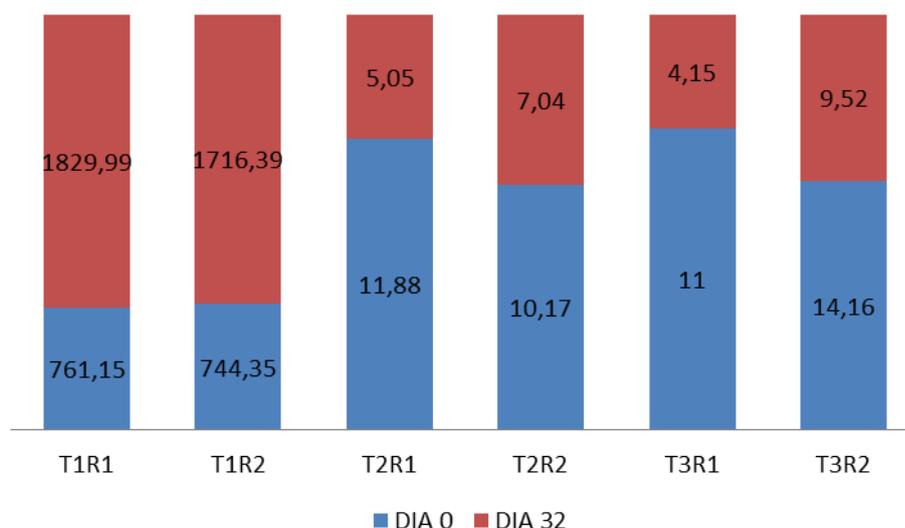
Fonte: Autor (2018).

Possa et al (2017) estudaram a influência dos orgânicos complexos na produção de metano e constataram que os reatores preenchidos com carboidratos produziram mais metano do que o reator preenchido com proteínas com valores iguais a 93,75% e 65%, de CH₄, respectivamente.

4.3.5 Fósforo Total, nitrogênio total Kjeldahl e amoniacal

As análises de fósforo total constataram que houve redução desse nutriente nos reatores T2R1, T2R2, T3R1 e T3R2. As taxas de remoção variam de 32% – 57% nesses tratamentos. Luna et al. (2003) obtiveram uma eficiência de remoção de 91%, associando esse fato a grande quantidade de fósforo solubilizada, mineralizada e descarregada no percolado.

Zhou et al. (2013) não detectaram alterações nas concentrações de fósforo total após o processo de digestão anaeróbia. No entanto, Duarte et al. (2001) obtiveram alta redução de fósforo total, creditando esse processo às reações de hidrólise que ocorrem nas primeiras fases do processo de bioestabilização anaeróbia

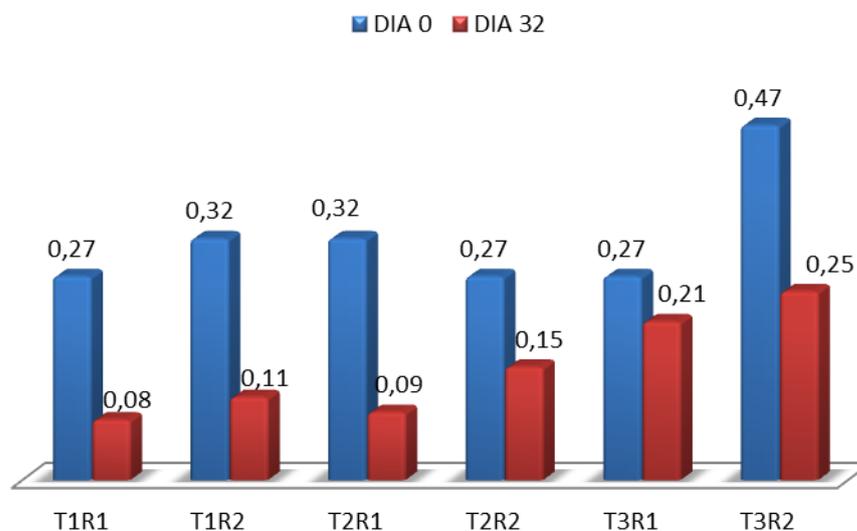
Figura 18: Comparativo do fósforo no início e fim do BPM.

Fonte: Autor (2018).

O tratamento que contém resíduos provenientes do substrato SR1 se comportou de forma oposta aos demais reatores, detectando maior concentração de fósforo no efluente do que no afluente. Bouallagui et al. (2003) constataram o fenômeno idêntico. Segundo o autor, as concentrações desses elementos tenderam a aumentar a partir da entrada para a saída devido à conversão de carbono em CH_4 e CO_2 .

As concentrações de nitrogênio foram reduzidas de forma significativas em todos os reatores. As maiores reduções ocorreram nos reatores T1R1 e T2R1 e a menor no reator T3R1, nas condições de anaerobiose. Segundo Chernicharo (2007), o nitrogênio é o nutriente requisitado em maiores concentrações para o aumento da comunidade bacteriana.

Já Duarte et al. (2001) observaram que as maiores quantidades de compostos hidrolisados foram referente as reações com o nitrogênio. As taxas de Silva et al. (2013) variaram de 0,65 a 2,15 g/L para os resíduos alimentares pesquisados.

Figura 19: Teor de nitrogênio de entrada e saída dos reatores.

Fonte: Autor (2018).

Luna et al. (2003) ao analisarem o comportamento do nitrogênio total ao fim do processo de digestão anaeróbia constatou uma variação de 728 mg/L a 1800 mg/L no afluente e, 610 mg/L a 935 mg/L no efluente, retendo 31,5 % de NTK no reator.

Quanto à amônia, sabe-se que ela é liberada durante o processo de degradação da biomassa sendo utilizada como fonte de nitrogênio pelos microrganismos (CHERNICHARO, 2007, p. 91). A estimativa desse parâmetro é essencial, pois pode beneficiar ou limitar a atividade metanogênica (LUNA et al. 2003, p. 6).

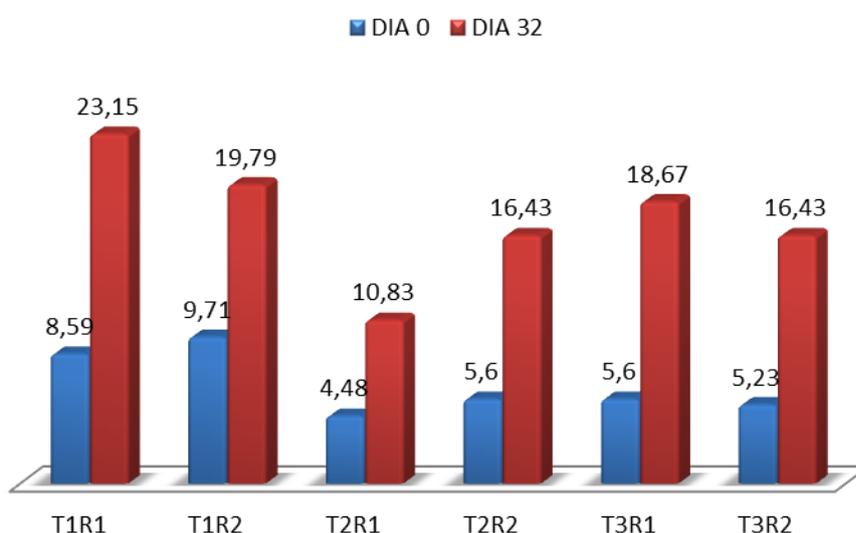
Quanto à toxicidade pela amônia, Chernicharo (2007) afirma que o composto resultante da digestão do substrato rico em proteína, NH_4^+ e NH_3 podem inibir a atividade metanogênica caso esteja em grande quantidade no sistema. No entanto o autor ratifica que concentrações acima de 150 mg/L tornam-se tóxicas. Observou-se que a maior concentração encontrada nos reatores efluente foi de 23,15 mg/L, valor extremamente inferior ao tóxico.

Ao correlacionar os dados de amoniacal obtidos no trabalho com a literatura, percebe-se que o aumento da concentração obtida nos reatores é um denominador comum. Nesse sentido, em sua pesquisa, Luna et al. (2003) notaram que a

concentração média de nitrogênio amoniacal no afluente do sistema foi de 150 mg/L e no efluente foi de 641 mg/L.

As taxas de Silva et al. (2013) variaram de 81,3 a 248,7 g/L para os resíduos alimentares pesquisados. Já Feng et al. (2017) encontraram valores que variam entre 2,49 a 2,73 g/L utilizando esterco bovino como inóculo dos resíduos orgânicos. Por fim, Mazarelli (2015) detectou aumento nas concentrações de nitrogênio amoniacal na proporção que aumentou os resíduos vegetais, disponibilizando para o sistema compostos proteicos para amonificação.

Figura 20: Nitrogênio amoniacal de entrada e saída dos reatores



Fonte: Autor (2018).

4.3.6 Produção de biometano

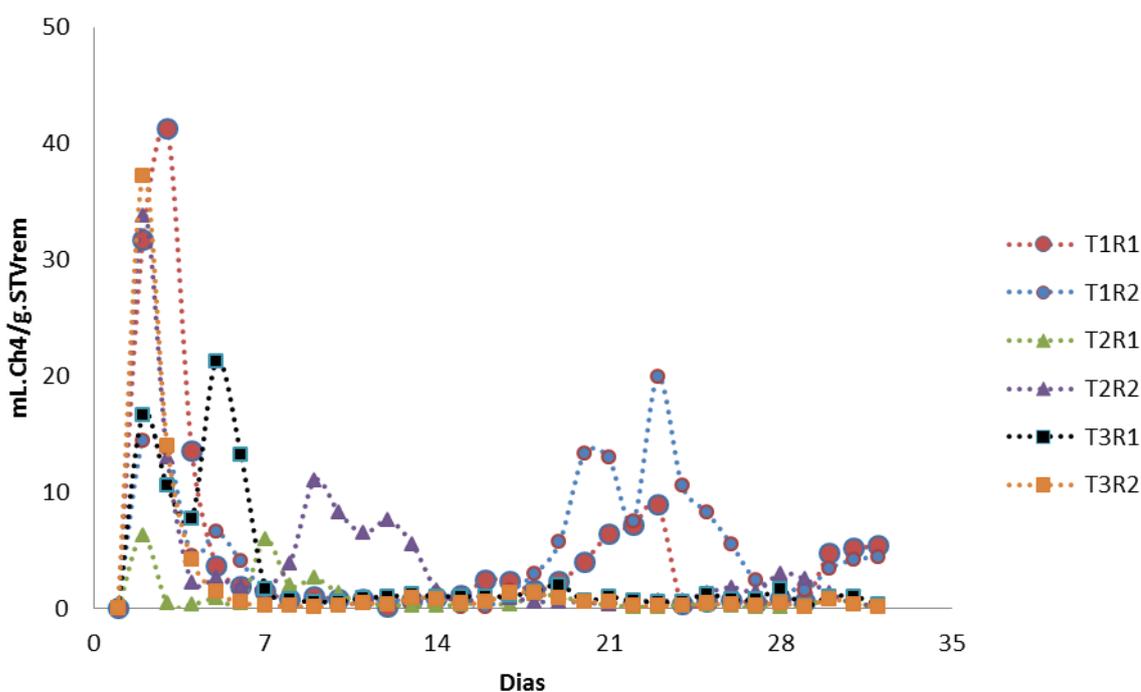
Os resultados da produção de metano realizada através dos ensaios de BPM foram avaliados a partir da geração diária de metano e do volume acumulado ao longo do período de incubação e estão dispostos nas figuras 21 e 22. Os dados representam a média das triplicatas.

Percebe-se, a partir da figura 21, que ocorreu um pico de produção nos primeiros dias, sendo que dentre os tratamentos o T1R1 atingiu a maior produção com um quantitativo de 41,23 mLCH₄/gSTV_{rem}. De acordo com Gueri et al (2018) esse fenômeno é proveniente da anaerobiose do sistema ao iniciar o experimento e devido à presença de substratos com alto potencial de biodegradabilidade. O que

torna esse ambiente favorável à evolução das bactérias metanogênicas (FIRMO, 2013, p. 166).

Ao observar os picos, nota-se que os três resíduos caracterizados apresentaram produções similares, evidenciando a capacidade dos microrganismos se desenvolverem de forma adequada na presença desses substratos, destacando também a influência da quantidade de inóculo introduzida, visto que os reatores que foram carregados com uma carga de 3,0 gSTV obtiveram mais picos do que os que continham 1,5 gSTV. Nos ensaios realizados por Gueri et al. (2018), os tratamentos que continham 20% a mais de inóculo obtiveram maiores picos.

Figura 21: Dados da produção diária de metano



Fonte: Autor (2018).

De modo geral, os picos, apresentados pelos reatores no início do experimento, assemelham-se com a literatura. Os ensaios de Chen et al. (2010), em temperatura mesófila e com relação S/I igual a 0,5 e 1,0, atingiram picos nos primeiros cinco dias de digestão, utilizando como substrato sopa processada, resíduos de café e resíduos de cozinha. Já Firmo (2013) obteve o auge da produção de biogás nos primeiros dez dias de ensaio, mesmo período que Lucena (2016) alcançou ao tratar os resíduos com lodo industrial e lodo de esgoto.

Sobre a produção acumulada de metano Espósito et al (2012) afirmam que os gráficos obtidos são os principais resultados do teste BPM e que de modo geral as curvas obtidas apresentam formato de L reverso ou em S.

De início realizou-se análise do delineamento fatorial, sendo que essa não identificou diferença significativa das relações de inóculos aplicadas nos substratos, daí adotou-se um delineamento inteiramente casualizado a fim de testar se é significativa a diferença entre os substratos utilizados para a produção de biometano.

O resultado do teste de Tukey obtido através do delineamento inteiramente casualizado demonstrou que existem diferenças significativas entre os substratos SR1 e SR2 para a produção de biometano, sendo que o substrato SR3 se assemelha com os anteriores, visto que os dados obtidos através da aplicação do teste de Tukey resultaram em valores significativos referentes ao p valor iguais a: 0,0492; 0,088; 0,967 para as diferenças entre os seguintes substratos: SR2 – SR1; SR3 – SR1; SR3 – SR2.

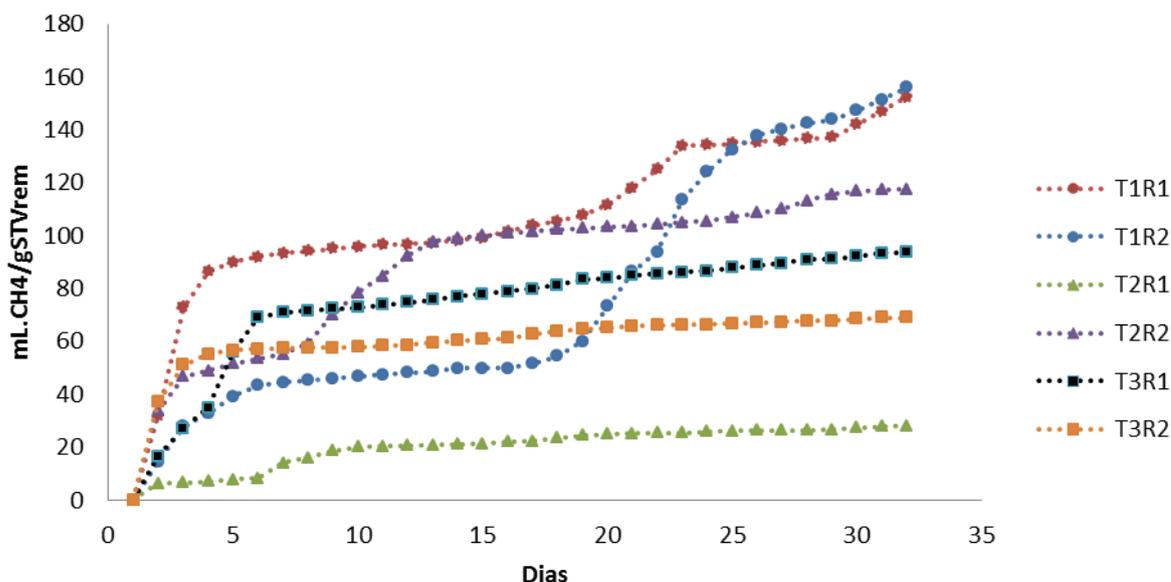
Tabela 8: Média de produção de metano por tipo de substrato.

Tipo de Substrato	mLCH ₄ /gSTV _{rem}
Substrato SR1	4,97a
Substrato SR2	2,35b
Substrato SR3	2,62ab

As letras identificam os tratamentos que são semelhantes. Médias seguidas de letras distintas diferem entre si, pelo teste de Tukey (P<0,05).

Como a análise estatística identificou que as relações de inóculo se assemelham, constata-se que o principal fator na produção de metano está relacionado com o tipo de substrato utilizado para o reator. Desse modo, o teste de Tukey apresentou o substrato SR1 como o maior produtor de metano, ratificado através do gráfico de geração acumulada durante os dias do experimento. Assim, os reatores carregados com os resíduos provenientes da preparação do alimento possuem maior potencial de produção de metano.

Figura 22: Produção acumulada de biometano



Fonte: Autor (2018).

As relações 0,5 e 1,0 de S/I utilizadas por Chen et al. (2010) obtiveram similaridade na produção acumulada de metano referentes aos substratos de sopa processada, resíduos de café e de cozinha. No entanto após vinte e oito dias de digestão anaeróbia, o quantitativo de biogás produzido foi mínimo.

Percebe-se que os tratamentos T2R1, T2R2, T3R1 e T3R2 tiveram produções acumuladas menores do que os tratamentos que continham substrato SR1. Tal fato pode estar relacionado com a inibição da comunidade microbiana às gorduras solubilizadas e aos produtos cárneos. (CHEN et al 2010).

Ao longo dos trinta e dois dias a média da produção acumulada em relação aos substratos foi igual a 94,30; 55,67 e 68,70 mLCH₄/gSTV_{rem} para o substrato SR1, SR2 e SR3, respectivamente. Os valores corroboram com os resultados de Valença (2017) que ao analisar a produção de resíduos alimentares com a adição de lodo de esgoto, obteve 79,81 NmLCH₄/gSSV.

Lucena (2016), ao verificar a digestão anaeróbia de resíduos alimentares com lodo de esgoto, em ensaios de BPM, sem a inserção de solução alcalinizante, obteve um potencial de 48,13 NmLCH₄/gSTV_{rem}.

Por fim, Elbeshbishy et al. (2012), ao testarem o potencial de produção de metano dos resíduos alimentares na presença de inóculo pré incubado e sem

incubação, obtiveram um quantitativo igual a 60 e 86 mLCH₄/gSTV_{rem-d}, respectivamente.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O quantitativo de resíduos alimentares gerados nos RUs da UNIVASF está dentro da média encontrada na literatura que é de 112 kg/dia a 400 kg/dia, porém cabe salientar que é importante adotar mecanismos de prevenção e/ou controle a fim de minimizar o desperdício efetuado pelos consumidores e pelas sobras do buffet, através de técnicas de planejamento e ações socioeducativas que tratem sobre o impacto ambiental oriundo do desperdício de alimentos.

As análises físico-químicas e bioquímicas permitiram dimensionar a grande diferença que existe entres os substratos estudados, destacando-se a alta taxa de carboidratos e lipídios, além da acidez de SR2 e SR3, em comparação com o SR1.

Sobre o processo de biodigestão anaeróbia salienta-se que redução dos sólidos totais voláteis e a remoção das proteínas foram bastante significativas nos frascos reatores. No entanto, deve-se ter maior controle do pH, para que o sistema não sofra com acidificação, visto que a caracterização do resíduo permitiu identificar elevada acidez.

Em termos de produção de biometano, observou-se que todos os substratos analisados possuem potencial de produção de biometano, pois apresentaram maiores picos nos primeiros dias, com quantitativo que variam entre 33,8 a 41,2 mLCH₄/gSTV_{rem}, estando dentro da média de produção encontrada na literatura. Entretanto, ao averiguar a produção ao longo dos trinta e dois dias de degradação nos reatores, verifica-se que o substrato SR1 teve maior geração acumulada de biometano ao gerar 154,2 mLCH₄/gSTV_{rem}, demonstrando desse modo, seu poder de conversão da matéria orgânica em energia.

Por fim, destaca-se que houve distinções entre os substratos analisados e que todos representam importante fonte alternativa para produção de metano. Ademais, trabalhos nessa linha são importantes, pois ratifica a promoção e desenvolvimento de pesquisas que envolvem a instituição de ensino superior, além de caminhar em consonância com a gama de pesquisas na área da digestão anaeróbia, via ensaio de produção bioquímico de metano, tendo em vista que essa

tecnologia é de baixo custo e passível de aproveitamento energético, estando em conformidade com a Política Nacional de Resíduos Sólidos.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Diante dos resultados obtidos e das discussões realizadas no presente trabalho, sugere-se os seguintes trabalhos futuros:

- Realizar ensaios com outros inóculos como rúmen e esterco a fim de verificar a eficiência desses inóculos e a neutralidade do pH com e sem adição de bicarbonato de sódio.

- Caracterizar e avaliar o biofertilizante gerado após a digestão anaeróbia a partir de sua qualidade, viabilidade e aplicação no meio agrícola.

- Dimensionar um biodigestor para testes preliminares em escala piloto que poderá ser implantado no restaurante universitário do campus da UNIVASF em Juazeiro, BA.

REFERÊNCIAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004. Resíduos sólidos: classificação.** Rio de Janeiro, 2004.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10007. Resíduos sólidos: classificação.** Rio de Janeiro, 2004.
- ALBERTONI, T. A. **Caracterização Física Dos Resíduos Sólidos Gerados Em Restaurante Universitário.** Londrina, 2013.
- ALVES, J.W.S. **Diagnóstico Técnico Institucional da Recuperação e Uso Energético do Biogás Gerado pela Digestão Anaeróbica de Resíduos.** Dissertação de Mestrado, PIPGE/USP, São Paulo, 2000.
- ALVES, I. R. F. S. **Análise experimental do potencial de geração de biogás em resíduos sólidos urbanos.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 2008
- American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) & Water Environment Federation (WEF). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.** Washington. Estados Unidos. 20^o edição. 1998.
- ANDREOLI, C. V.; BONNET, B. R. P. (org.) **Manual de métodos para análises microbiológicas e parasitológicas em reciclagem agrícola de lodo de esgoto.** Curitiba: SANEPAR/PROSAB, 1998.
- ANDREOLI, C. V. et al. **Secagem e higienização de lodos com aproveitamento de biogás.** In: CASSINI, S. T. (Coord.). *Digestão de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento do biogás.* Rio de Janeiro: ABES, Rima, p.121-165, 2003.
- ANGELIDAKI, I. et al. **Defining the biomethane potential (BMP) of solid organic wastes and energy crops: a proposed protocol for batch assays.** *Water Science & Technology.* Oxford, v. 59, n. 5, p. 927-934, 2009.
- Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE). **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2017.** 2018. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2017.pdf>> Acesso em: 01.10.2018.
- AQUINO, S. et al. **Metodologias para determinação da atividade metanogênica específica (AME) em lodos anaeróbios.** *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental,* Rio de Janeiro, v.12, n. 2, p. 192-201, 2007.
- ARAÚJO, A. P. C. **Produção de biogás a partir de resíduos orgânicos utilizando biodigestor anaeróbico.** Trabalho de conclusão de curso. Faculdade de Engenharia Química – UFU. Uberlândia. 2017.
- ASSIS, J. C. et al. **Produção de Biogás a Partir do Resíduo Orgânico do Restaurante Universitário da Unipampa, Campus Bagé.** *Salão de Ensino.* V8. No1. 2016.

BRASIL, Lei nº 12.305, de 2 de Agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências Diário Oficial da União. Brasília, DF, 3 ago. 2010. Disponível em: <http://F/www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em 15 Abril 2018.

BRACK, L. B. **Determinação da atividade metanogênica específica (AME) através da biodigestão anaeróbia de materiais colagênicos**. Porto Alegre, 2012.

BRASIL, **Compostagem doméstica, comunitária e institucional de resíduos orgânicos: manual de orientação**. Ministério do Meio Ambiente, Centro de Estudos e Promoção da Agricultura de Grupo, Serviço Social do Comércio. -- Brasília, DF: MMA, 2017.

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

BRITO, E. P. L. **Avaliação da biodegradação e geração de biogás de resíduos envelhecidos sob condições de reatores experimentais**. 2016. 130 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

CASTANÓN, N.J.B. **Biogás, originado a partir dos rejeitos rurais**. Material do Curso: Biomassa como Fonte de Energia - Conversão e utilização, Universidade de São Paulo, São Paulo (2002).

CARMO, T. V. B. **Aproveitamento de resíduos alimentares do restaurante universitário na produção de adubo orgânico para uso na arborização do campus**. *Revista Brasileira de Agroecologia*. Vol. 4 No. 2. Novembro, 2009.

CASSINI, T. S. (Coord). **Digestão de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento do biogás**. Rio de Janeiro: ABES, 2003.

CEMPRE IBGE. Disponível em:<<https://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/demografiaempresa/2015/default.shtm>> acesso em 20/04/2018

CHEN, Y; CHENG, J. J.; CREAMET, K. S. **Inhibition of anaerobic digestion process: A review**. *Bioresource Technology*, v. 99, n. 10, p. 4044-4064, 2008.

CHEN, X.; ROMANO, R.; ZHANG, R. **Anaerobic digestion of food wastes for biogas production**. *Int J Agric & Biol Eng* .Vol. 3, No. 4. 2010.

CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores Anaeróbios**. Belo Horizonte. Universidade Federal de Minas Gerais. 2007.

CHO, J. K.; PARK, S. C.; CHANG, H. N. **Biochemical methane potential and solid state anaerobic digestion of korean food wastes**. *Bioresource Technology*. Essex. v.52, n.03, p.245-253, 1995.

CÓDIGO penal Decreto Lei nº 2.848, de sete de dezembro de 1940, Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/Del2848.htm , Acessado em: 12 out 2018.

- COLDEBELLA, A.; SOUZA, S.N.M.; FERRI, P.; KOLLING, E.M.; **Viabilidade da geração de energia elétrica através de um motor gerador utilizando biogás da suinocultura**. Informe Gepec, v. 12, n. 2, p. 44-55, 2008
- COSTA, et al. **Estudo qualitativo e quantitativo dos resíduos sólidos do Campus I da Universidade Estadual da Paraíba**. Revista de Biologia e Ciências da Terra, Aracaju, v.4, n.2, 2º semestre. 2006.
- DEUBLEIN, D; STEINHAUSER, A. **Biogas from waste and renewable resources: An introduction**. WILEY VCH. Alemanha. 2008.
- DOMINGUES, C. F. S. et al. **Geração de resíduos orgânicos em um restaurante universitário de São Paulo/SP**. Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade, v.10, n.2 Curitiba – PR, 2016.
- ELBESHBIKH, E.; NAKHLA, G.; HAFEZ, H. **Biochemical methane potential (BMP) of food waste and primary sludge: Influence of inoculum pre-incubation and inoculum source**. Bioresource Technology. Essex. v. 110. p. 18–25. 2012.
- FAO. **Food and Agriculture Organization. Food wastage footprint: Impacts on natural resources**. Roma:Organization of the United Nations. 2013.
- FELIZOLA, C. S.; LEITE, V. D.; PRASAD, S. **Estudo do processo de digestão anaeróbia de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento do biogás**. Agropecuária Técnica, v.27, p.53-62, 2006
- FERREIRA, B. O. **Avaliação de um sistema de metanização de resíduos orgânicos alimentares com vistas ao aproveitamento energético do biogás**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais. 2015. 124f.
- FENG, L. et al. **Anaerobic co-digestion of cattle manure and meadow grass: Effect of serial configurations of continuous stirred tank reactors (CSTRs)**. Biosystems engineering. 2017.
- FIRMO, A. L. B. **Estudo numérico e experimental da geração de biogás a partir da biodegradação de resíduos sólidos urbanos**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 2013.
- GUERI, M.V. D. et al. **Digestão anaeróbia de resíduos alimentares utilizando ensaios BMP**. Biofix Scientific Journal. Cascavel, p. 08-16. 2018.
- JARDIM, N. S. (Org.); WELLS, C. **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado**. São Paulo: CEMPRE, 1995
- KARLSSON, T, et al. **Manual básico de biogás** - Lajeado : Ed. da Univates, 2014.
- KINASZ, T.R.; WERLE, H.J.S. **Geração de resíduos sólidos em unidades de alimentação e nutrição: composição física, influência do tipo de cardápio e tipo de serviço de distribuição**, Cuiabá, 2008. Dissertação de mestrado. Cuiabá: Universidade Federal do Mato Grosso, 2008.

- LEITE, V. D. **Bioestabilização anaeróbia de resíduos sólidos orgânicos em reatores de batelada.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.5, n.1, p.119-123, 2001.
- LIMA, L. M. Q. **Lixo: tratamento e biorremediação.** 3ª edição. 2004.
- LIU, X. et al. **Pilot-scale anaerobic codigestion of municipal biomass waste: Focusing on biogas production and GHG reduction.** Renewable Energy. v. 44. p. 463-468. 2012.
- LOWRY, O. H. et al. **Biol. Chem.** p.193 - 265 . 1951.
- LUNA, M. L. D. et al. **Comportamento de macronutrientes em reator anaeróbio compartimentado tratando resíduos sólidos orgânicos.** 22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Joinville - Santa Catarina. Setembro, 2003.
- LUCENA, T. V. **Avaliação da geração de biogás sob Diferentes condições de biodegradação de Resíduos alimentares.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 2016
- MAO, C. et al. **Review on research achievements of biogas from anaerobic digestion.** Renewable and Sustainable Energy Reviews. p. 540 – 555. 2015.
- MAZARELI, R. C. S. **Co-digestão anaeróbia de resíduos vegetais e águas residuárias de suinocultura em reatores horizontais de leito fixo e alta taxa.** Dissertação de mestrado. UNESP, Campus de Jaboticabal, 2015.
- MELO, R.A. et al. **Utilização energética de biogás proveniente de resíduos orgânicos de Restaurante Universitário na Universidade Federal do Piauí-UFPI.** 9º Simpósio Nacional de Biocombustíveis. Teresina. Abril, 2016.
- MCIDADES. Ministério das Cidades. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos – 2014.** Brasília: Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. 2016.
- 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.
- NEVES, G. N; CARNEIRO, T. F; BERNI, M. **Desempenho de reator anaeróbio mesofílico seco de resíduo alimentar como perspectiva de aproveitamento energético.** In: Congresso sobre Geração Distribuída e Energia no Meio Rural, 10., 2015, São Paulo. Anais. São Paulo. 2015
- OLIVEIRA, L. R. G. et al. **Estimativa Da Geração De Resíduos Alimentares Por Restaurantes Universitários Brasileiro.** Recife, 2017.
- OLIVEIRA, R. D. **Geração de energia elétrica a partir do biogás produzido pela fermentação anaeróbia de dejetos em abatedouro e as possibilidades no mercado de carbono.** Trabalho de conclusão de curso. Escola de Engenharia de São Carlos – USP. São Paulo, 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.

PIRES, N. J. **Biogás: o aproveitamento dos resíduos orgânicos**. Disponível em <http://www.esb.ucp.pt/~bungah/pires/index.htm>. Acesso em 19 abril 2018.

PISTORELLO, J et al, M. **Geração de resíduos sólidos em um restaurante de um Hotel da Serra Gaúcha, Rio Grande do Sul, Brasil** Eng. Sanit. Ambient. vol.20 n.3. Rio de Janeiro July/Sept. 2015.

POSSA, R. D. et al. **Influência dos nutrientes: carboidratos, lipídeos e proteínas na produção de metano**. II Congresso Internacional das Ciências Agrárias COINTER – PDVAgro. 2017.

POSTMA, T.; STROES, J. A. (1968), **Lipid screening in clinical chemistry**. Clin. Chim. Acta. 22, 569-78.

Programa de Pesquisas em Saneamento Básico (PROSAB). **Digestão Anaeróbia de Resíduos Orgânicos e Aproveitamento de Biogás**. Coordenador: Cassini, S. T. Rio de Janeiro. 2003.

REIS, A. S. **Tratamento de resíduos sólidos orgânicos em biodigestor anaeróbio**. – Recife: O autor, 2012.

RIBAS, M. M. F.; MORAES, E. M.; FORESTI, E. **Avaliação da Acurácia de Diversos Métodos para Determinação de Ácidos Graxos Voláteis e Alcalinidade a Bicarbonato para Monitoramento de Reatores Anaeróbios**. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental. Vol.12. Nº 3. 240-246. Jul/Set. 2007.

ROCHA, C. M. **Proposta de implantação de um biodigestor anaeróbio de resíduos alimentares**. Trabalho de conclusão de curso. UFJF - Juiz de Fora. 2016

SABESP. **Norma Técnica Interna SABESP NTS 004**. São Paulo. 1997.

SANCHES, M. J. S. et al. **Análise dos resíduos sólidos gerados no Restaurante Universitário do Instituto de Natureza e Cultura da UFAM**. VII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. IBEAS – Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais - Campina Grande – Paraíba. 2016

SANTOS, A. S. S. et al. **Análise energética dos resíduos orgânicos provenientes do Restaurante Universitário da Universidade Federal de Campina Grande**. Gestão Integrada de Resíduos: Universidade & Comunidade v.4. 2018.

SILVA, G. A.; MORAIS JUNIOR, J. A.; ROCHA, E. R. **Proposta de procedimento operacional padrão para o teste do Potencial Bioquímico do Metano aplicado a resíduos sólidos urbanos**. Nota Técnica. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental. v. 21. n.1. p. 11-16. 2016.

SILVA, M. C. P. **Avaliação De Lodo Anaeróbio E Dejeito Bovino Como Potenciais Inóculos Para Partida De Digestores Anaeróbios De Resíduos Alimentares**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio

Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. Belo Horizonte, 2014.

SILVA, W. R. et al. **Digestão Anaeróbia de Resíduos Vegetais com Baixa Concentração de Sólidos em Reator Compartimentado**. Gaia Scientia. p. 42-49. 2013.

SNIS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico dos serviços de água e esgoto**. Brasília, 2017. Disponível em: Acesso em: 29 de setembro de 2018.

SPINELLI, M. G. N.; CALE L. R. **Avaliação de resíduos em uma unidade de alimentação e nutrição**. Revista Simbio-Logias, v. 2, n. 1, p. 21-30, 2009.

VALENÇA, R. B. **Avaliação da geração de biometano em diferentes cenários de biodegradação de resíduos alimentares**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 2017.

VENZKE, C. S. **A geração de resíduos em restaurantes analisada sob a ótica da produção mais limpa**. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2001_tr104_0127.pdf>. Acesso em: 03 de outubro. 2018.

VIANA et al. **Resíduos alimentares do lixo domiciliar: Estudo do uso na alimentação de frangos de corte**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola, 2006.

VILHENA, André. **Guia de Coleta de Lixo**. São Paulo: CEMPRE, 1999.

WARD, J. A. et al. **Optimisation of the anaerobic digestion of agricultural resources**. *Bioresource Technology*, v. 99, p. 7928–7940, 2008.

WASTE & RESOURCES ACTION PROGRAMME – WRAP. **Understanding out of home consumer food waste**, 2013.

ZHOU, Y.; ELBESHBIHY, E.; NAKHLA, G. **Influence of substrate-to-inoculum ratio on the batch anaerobic digestion of bean curd refuse-okara under mesophilic conditions**. *Biomass and Bioenergy*, Barcelona, v. 35, p. 3251–3256, 2013.

ZVEIBIL, Victor Z. (Coordenação técnica). Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano da Presidência da República. **Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro, 2001. 200 p.

ANEXO A – QUESTIONÁRIO

Questionário sobre o gerenciamento dos resíduos sólidos alimentares em Restaurante Universitário da UNIVASF

Título da Pesquisa: DIAGNÓSTICO DA PRODUÇÃO DE RESÍDUOS ALIMENTARES DOS RESTAURANTES DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO

Pesquisador: RODRIGUES, Heitor de Santana.

Orientadora: AMORIM, Miriam Cleide Cavalcante.

Fomentador: PET Conexões de Saberes – Saneamento Ambiental.

Instituição: Universidade Federal Do Vale Do São Francisco.

----- IDENTIFICAÇÃO DA PESQUISA:

Finalidade: Levantar os dados de geração dos resíduos sólidos alimentares (RSA) dos restaurantes universitários da Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF, almejando colaborar com possíveis estratégias de gerenciamento dos resíduos e seu potencial para produção de gás metano.

A. Informações do Entrevistado:

Primeiramente, solicitam-se algumas informações da instituição e do entrevistado.

Q1: Identificação do RU:

RU1 CCA RU2 PETROLINA SEDE RU3 JUAZEIRO

Q2: Nome do responsável pelas informações:

Q3: Função do(a) responsável pelas informações:

Q4: E-mail do responsável pelas informações:

Q5: Nome da empresa que gerencia o restaurante universitário:

B. Caracterização do Restaurante Universitário:

As questões a seguir versam sobre o gerenciamento dos resíduos sólidos orgânicos no restaurante universitário, bem como seu funcionamento, estrutura, e quadro de pessoal.

- 1) Qual o dia da semana de maior consumo no almoço?
- 2) Qual o dia da semana de menor consumo no almoço?
- 3) Qual o dia da semana de maior consumo no jantar?
- 4) Qual o dia da semana de menor consumo no jantar?
- 5) Qual o dia da semana de maior consumo no café da manhã?

6) Qual o dia da semana de menor consumo no café da manhã?

7) Quantas refeições são realizadas no dia de maior e menor consumo?

C. Gerenciamento dos Resíduos Sólidos Alimentares no Restaurante Universitário:

8) Existe serviço de coleta dos resíduos sólidos e/ou coleta seletiva? Se sim, quais dias ocorrem à coleta?

9) Qual o tempo entre a produção dos resíduos alimentares e a coleta?

10) Como ou onde os resíduos sólidos alimentares são alocados antes da coleta?

11) Quais os cinco alimentos mais consumidos? Qual seu quantitativo?

ANEXO B – CARDÁPIO

ISM		ISM ALIMENTAÇÃO E SERVIÇOS		UNIVASF	
Alimentação e Serviços		RESTAURANTE UNIVERSITÁRIO - UNIVASF		VIVA PELO SEU BEM-ESTAR	
		CARDÁPIO SEMANAL - 16/07 a 20/07 DE 2018			
Bebidas	Café Leite	Café Leite	Café Leite	Café Leite	Café Leite
Pães/ Biscoitos	Suco de Manga Pão Francês Biscoito Salgado /Biscoito Doce	Suco de Caju Pão Seda Biscoito Salgado /Biscoito Doce	Suco de Goiaba Pão Francês Biscoito Salgado /Biscoito Doce	Suco de Acerola Pão de Forma Biscoito Salgado /Biscoito Doce	Suco de Caju Pão Seda Biscoito Salgado /Biscoito Doce
Frutas	Melancia	Mamão	Maçã	Laranja	Goiaba
Tubérculo ou Cuscuz	Cuscuz	Macaxeira Cozida	Cuscuz	Batata Doce	Cuscuz
Proteína	Carne Moída Ovos Mexidos	Frango ao Molho Queijo/ Presunto	Salsicha ao Molho Ovos Mexidos	Frango em Iscas Queijo/ Presunto	Carne do Sol Ovos frito
ALMOÇO	Segunda (16/07)	Quarta (18/07)	Quinta (19/07)	Sexta (20/07)	
Salada Crua	Alface, Beterraba, Cenoura e Manga	Alface, Tomate, Rúcula, Cebola	Acelga, Pepino, Tomate e Melão	Repolho Branco, Roxo, Beterraba ralada e Abacaxi	Vinagrete
Molho	Mostarda	Vinagrete	Limão	Tártaro	Agridoce
Salada Cozida	Batata Inglesa e Beterraba refogados com Salsinha	Batata Doce e Abóbora com Salsinha	Abobrinha, Cenoura e Vagem	Cenoura, Chuchu e Ervilha	Couve Manteiga refogado com Cenoura e Repolho Branco
Principal	Cubos bovinos com Calabresa	Peixe à Doré	Coxa e Sobrecoxa de Frango Assado	Torta Madalena*	Feijoada
	Coxa e Sobrecoxa de Frango Assado	Escalopinho de Carne	Fígado ao Molho de Vinho	Filé de Frango ao Molho Branco	Sobrecoxa ao Forno
Vegetariano	Soja à Portuguesa	Moqueca de Repolho com Grão de Bico	Fricassee Vegano	Ovos Fritos	Soja Tropical
Guarnição	Macarrão Parafuso com Calabresa	Farofa	Cuscuz Temperado	Farofa	Macarrão Espaguete
Acompanhamentos	Arroz Branco	Arroz Branco	Arroz Branco	Arroz Branco	Arroz Branco
	Arroz Integral	Arroz Integral	Arroz Integral	Arroz Integral com Cenoura	Arroz Integral
Suco	Feijão Carioca	Feijão Preto	Feijão Carioca	Feijão Corda	Feijão Corda
Sobremesa	Suco de Caju	Suco de Manga	Suco de Acerola	Suco de Goiaba	Suco de Caju
	Maçã/Doce de Goiaba	Doce de Leite*/Melão	Melancia/ Doce de Chocolate	Gelatina/Banana	Laranja/Mousse de Limão