

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

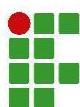
CÂMPUS GOIÂNIA

MESTRADO PROFISSIONAL EM TECNOLOGIA, GESTÃO E SUSTENTABILIDADE

FREDY ALEX TELLO IDME

Produção de carboxilatos na fermentação anaeróbica a partir de resíduos orgânicos

Goiânia, 2023



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☒ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☐ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Fredy Alex Tello Idme
Matrícula: 20212011280234

Título do Trabalho: **PRODUÇÃO DE CARBOXILATOS NA FERMENTAÇÃO ANAERÓBIA A PARTIR DE RESÍDUOS ORGÂNICOS**

Autorização - Marque uma das opções

1. ☒ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
2. ☐ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____ (Embargo);
3. ☐ Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

- ☐ O documento está sujeito a registro de patente.
☒ O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
☐ Outra justificativa: _____

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- i. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- ii. obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- iii. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Goiânia – GO
Local

06/12/2023
Data

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
CÂMPUS GOIÂNIA
MESTRADO PROFISSIONAL EM TECNOLOGIA, GESTÃO E SUSTENTABILIDADE

FREDY ALEX TELLO IDME

Produção de carboxilatos na fermentação anaeróbica a partir de resíduos orgânicos

Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em
Tecnologia, Gestão e Sustentabilidade do Insti-
tuto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de
Goiás - Dissertação de Mestrado Profissional.
Área de Concentração: Tecnologia de Sistemas de
Produção Limpa. Linha de Pesquisa: Tecnologia e
Gerenciamento de Resíduos.

Orientador: Prof. Dr. Joachim Werner Zang

Coorientadoras: Prof. Dr. Warde da Fonseca-
Zang e Profa. Dra. Regina Célia Bueno da Fonseca

Goiânia, 2023

I19p

Idme, Fredy Alex Tello.

Produção de carboxilatos na fermentação anaeróbia a partir de resíduos orgânicos / Fredy Alex Tello Idme – Goiânia: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Goiânia, 2023.
69 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Joachim Werner Zang.

Coorientadora: Profa. Dra. Warde da Fonseca Zang.

Coorientadora: Profa. Dra. Regina Célia Bueno da Fonseca.

Dissertação (Mestrado) – Mestrado Profissional em Tecnologia, Gestão e Sustentabilidade, Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Tecnologia, Gestão e Sustentabilidade, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Goiânia.

1. Ácidos carboxílicos – fermentação anaeróbia 2. Digestão Anaeróbia (DA) - carboxilatos. I. Zang, Joachim Werner (orientador). II. Zang, Warde da Fonseca (coorientadora). III. Fonseca, Regina Célia Bueno da (coorientadora). IV. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Goiânia. V. Título.

CDD 547

Ficha catalográfica elaborada pelo Bibliotecário Alisson de Sousa Belthodo Santos CRB1/ 2.266
Biblioteca Professor Jorge Félix de Souza,
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Goiânia.



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CÂMPUS GOIÂNIA

PARECER 6/2023 - GYN-CMTGS/GYN-GPPEX/CP-GOIANIA/IFG

SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
IFG CÂMPUS GOIÂNIA
MESTRADO EM TECNOLOGIA, GESTÃO E SUSTENTABILIDADE

FREDY ALEX TELLO IDME

PRODUÇÃO DE CARBOXILATOS NA FERMENTAÇÃO ANAERÓBIA A PARTIR DE RESÍDUOS ORGÂNICOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Gestão e Sustentabilidade do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Goiás como requisito parcial à obtenção do título de Mestre.

Área de Concentração: Tecnologia de Sistemas de Produção Limpa.

Linha de Pesquisa: Tecnologia e Gerenciamento de Resíduos

Aprovada em: 06/12/2023

Banca examinadora:

Prof. Dr. JOACHIM WERNER ZANG (*em memória*)

Prof.ª Dr.ª WARDE ANTONIETA DA FONSECA-ZANG - Presidente - IFG Câmpus Goiânia

Prof. Dr. WILSON MOZENA LEANDRO - Avaliador externo - UFG

Prof.ª Dr.ª CLAUDIA ADRIANA BUENO DA FONSECA - UEG

Prof. Dr. ALEX MOTA DOS SANTOS - Avaliador interno - UFSB/ IFG Câmpus Goiânia

Prof.ª Dr.ª REGINA CÉLIA BUENO DA FONSECA - Avaliador interno IFG Câmpus Goiânia

Prof. Dr. FERNANDO SCHMIDT - Suplente - IFG Câmpus Goiânia

Documento assinado eletronicamente por:

- Wilson Mozena Leandro, Wilson Mozena Leandro - Docente - Ufg (01567601000143), em 18/12/2023 04:57:57.
- CLÁUDIA ADRIANA BUENO DA FONSECA, CLÁUDIA ADRIANA BUENO DA FONSECA - Docente - Ueg (01112580000171), em 12/12/2023 21:04:00.
- Regina Celia Bueno da Fonseca, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 11/12/2023 08:55:16.
- Alex Mota dos Santos, Alex Mota dos Santos - Docente - Ufg (01567601000143), em 11/12/2023 08:42:40.
- Warde Antonieta da Fonseca Zang, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 11/12/2023 05:53:17.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 05/12/2023. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifg.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 485838

Código de Autenticação: 5c37b6f5ce



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Rua 75, nº 46, Centro, GOIÂNIA / GO, CEP 74055-110
Sem Telefones cadastrados

Dedicatória

Dedico este trabalho em memória do meu querido orientador, Dr. Joachim Zang, que gentilmente me guiou e apoiou ao longo desta jornada acadêmica. Suas palavras de incentivo e sabedoria continuam a inspirar meu trabalho, mesmo na sua ausência. Sua paixão pela pesquisa e dedicação aos seus alunos deixaram uma marca indelével em mim. Seu legado perdurará como uma fonte constante de inspiração e gratidão em minha carreira acadêmica. Que ele descanse em paz, sabendo que sua orientação e amizade moldaram profundamente o caminho que trilhei.

Agradecimentos

A Deus: Sua orientação e força inabalável me acompanharam ao longo desta jornada, iluminando meu caminho e me dando a confiança necessária para superar os desafios. Sou profundamente grato por Sua graça e bênçãos constantes.

Ao Instituto Federal de Goiás (IFG) e à Universidade Federal de Goiás (UFG) por fornecerem um ambiente acadêmico excepcional. Essas instituições desempenharam um papel vital na minha formação, oferecendo oportunidades de aprendizado significativas e moldando meu futuro de maneira inestimável.

A memória do meu estimado professor Prof. Joachim com carinho e gratidão. Seu legado e ensinamentos continuam a ser uma fonte de inspiração em minha jornada acadêmica. Sua dedicação à educação e sabedoria são inesquecíveis, e por isso, meu agradecimento é eterno.

Ao Projeto Carbox AiD: Participar desse projeto foi uma experiência transformadora que enriqueceu meu conhecimento e me permitiu colaborar com pesquisadores e acadêmicos de renome mundial.

As Professoras Warde e Regina: por sua orientação, apoio e compromisso com o meu desenvolvimento acadêmico. Sou grato por ter tido a oportunidade de aprender com duas profissionais tão dedicadas e inspiradoras.

Aos meus pais, Alejandro e Marina no Perú, seu amor incondicional, sacrifícios incansáveis e apoio constante foram o alicerce da minha jornada.

À minha amada Rosana, que está no céu. Sua presença e amor deixaram uma marca indelével em minha vida, sua memória e influência continuam a me inspirar a cada dia. Seu legado de amor e carinho perdurará para sempre em meu coração.

Aos colegas de mestrado, nossas interações, discussões e apoio mútuo tornaram essa fase da minha vida inesquecível e cheia de aprendizado.

"O aprendizado é a única coisa de que a mente nunca se cansa,
nunca tem medo e nunca se arrepende."

Leonardo Da Vinci

1452 – 1519

Resumo

Título: PRODUÇÃO DE CARBOXILATOS NA FERMENTAÇÃO ANAERÓBIA A PARTIR DE RESÍDUOS ORGÂNICOS.

Autor: FREDY ALEX TELLO IDME

Orientador: Prof. Dr. Joachim Werner Zang

Coorientadoras: Prof. Dr. Warde da Fonseca-Zang e Profa. Dra. Regina Célia Bueno da Fonseca

A bioprodução de ácidos carboxílicos (ACs), por digestão anaeróbica, a partir de recursos renováveis, tais como resíduos orgânicos de atividades agroindustriais, tem chamado atenção, pois contribui para a redução de impactos ambientais e de escassez de matérias primas, bem como altos preços do petróleo. Este trabalho teve como objetivo pesquisar e discutir o aproveitamento de resíduos orgânicos disponíveis no Brasil através da Digestão Anaeróbia (DA) para geração de produtos químicos de base para a indústria (*platform chemicals*), especialmente Carboxilatos. A dissertação foi desenvolvida em cooperação internacional entre o IFG e os institutos na Alemanha, UFZ: o Centro de Pesquisa de Meio Ambiente, em alemão Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung, abreviado UFZ e o DBFZ: Centro Alemão de Pesquisa de Biomassa, em alemão Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH, abreviado DBFZ. Esses institutos alemães lideram a pesquisa e conhecimentos sobre o tema carboxilatos e DA na literatura. Após da revisão bibliográfica, foram selecionados os resíduos agroindustriais para a pesquisa, sendo torta de filtro de processamento de cana-de-açúcar e resíduos de processamento de mandioca. Além disso foram adaptadas e testadas as rotas experimentais, sendo a determinação das propriedades físico-químicas importantes dos substratos e do inóculo, e os experimentos de digestão anaeróbia em 30 reatores divididos em duas rotas (Rota A: arqueas ativas e rota B: arqueas inibidas). Foi selecionado um método cromatográfico (CG) para a quantificação de ácidos carboxílicos gerados nos experimentos. Os ACs encontrados em maior quantidade foram na fermentação da torta de filtro. Os valores mais significantes foram observados para os teores de ácido acético e ácido butírico, aumentando no dia 4 do experimento na rota A para rota B no caso de ácido acético de 51 mg/g_{MSO} para 294 mg/g_{MSO}, e no caso de ácido butírico de 15 mg/g_{MSO} para 197 mg/g_{MSO}.

Palavras-Chave

ácidos carboxílicos; fermentação anaeróbia; biogás; plataforma química.

Abstract

Title: PRODUCTION OF CARBOXYLATES IN ANAEROBIC FERMENTATION FROM ORGANIC WASTE.

Author: FREDY ALEX TELLO IDME

Advisor: Prof. Dr. Joachim Werner Zang

Coadvisors: Prof. Dr. Warde da Fonseca-Zang e Profa. Dra. Regina Célia Bueno da Fonseca

The bioproduction of carboxylic acids (CAs), by anaerobic digestion, from renewable resources, such as organic residues from agro-industrial activities, has attracted attention, because it contributes to the reduction of environmental impacts and scarcity of raw materials, as well as high oil prices. This work aimed to research the use of organic waste available in Brazil through Anaerobic Digestion (AD) to generate basic chemical products for industry (platform chemicals), especially Carboxylates. The dissertation was developed in international cooperation between the IFG and the institutes in Germany, UFZ: the Center for Environmental Research, in German Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung, abbreviated UFZ and the DBFZ: German Biomass Research Center, in German Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH, abbreviated DBFZ. These German institutes lead the research and knowledge on the topic of carboxylates and AD in the literature. After the bibliographic review, agro-industrial residues were selected for the research, including filter cake from sugar cane processing and residues from cassava processing. In addition, the experimental routes were adapted and tested, with the determination of the important physicochemical properties of the substrates and the inoculum, and the anaerobic digestion experiments in 30 reactors divided into two routes (Route A: active archaea and route B: inhibited archaea). A chromatographic (CG) method was selected for the quantification of carboxylic acids generated in the experiments. The CAs found in greater quantities were in the filter cake fermentation. The most significant values were observed for the contents of acetic acid and butyric acid, increasing on day 4 of the experiment from route A to route B in the case of acetic acid from 51 mg/g_{MSSO} to 294 mg/g_{MSSO}, and in the case of butyric acid from 15 mg/g_{MSSO} to 197 mg/g_{MSSO}.

Keywords

carboxylic acids; anaerobic fermentation; biogas; platform chemicals.

Lista de Figuras

Figura 1 – Fluxograma simplificado do processo de digestão anaeróbia DA.	21
Figura 2 – Digestão anaeróbia tradicional e modificada.	22
Figura 3 - Representação gráfica das etapas da pesquisa na forma de fluxograma. ..	23
Figura 4 – Torta de filtro.	25
Figura 5 – Entrecasca de mandioca.	25
Figura 6: Fluxograma simplificado de processamento industrial de cana-de-açúcar e a geração da torta de filtro no Brasil.	26
Figura 7: Resíduos de processamento de cana de açúcar.	27
Figura 8: Etapas da produção de farinha e fécula de mandioca.	28
Figura 9: Fluxograma de preparação do inóculo.	31
Figura 10: Diluição do inóculo com água 1/1 e peneiramento < 2mm.	31
Figura 11: Fluxograma de preparação dos substratos	32
Figura 12: Fluxograma de determinação de matéria seca e matéria orgânica seca das amostras.	33
Figura 13: Fluxograma dos métodos experimentais de digestão anaeróbia comparando as duas rotas, sendo a rota A com foco no biogás com metanogênicas ativas; e a rota B para a produção preferencial de AC e com metanogênicas desativadas.	37
Figura 14: Reatores de 500 mL com tampa adaptada.	38
Figura 15: Inibição das arqueas metanogênicas e ajuste do pH para 6,6.	39
Figura 16: Reatores (I-O inóculo puro), (T-O inóculo + torta de filtro).	39
Figura 17: Reatores para a geração de AC com fermentação anaeróbia.	40
Figura 18: Preparo de amostras.	42
Figura 19: Fluxograma da preparação das amostras para análise no Cromatógrafo	44
Figura 20: Preparação e identificação dos tubos Eppendorf e nos vials.	46
Figura 21: Separação da fase sólida na centrifuga (15.000 g a 4 oC por 15 minutos).	46
Figura 22: Preparação nos vials para a análise.	47
Figura 23: Preparação nos vials para a análise.	47
Figura 24: Análise das amostras na Cromatografia Gasosa (GC), cromatógrafo Marca SHIMADZU, Modelo GC-2014, Serie C119451-00513, equipado com um detector de índice de refração RID-6A e uma coluna Nukleogel ION 300 OA com uma pré-coluna (Macherey-Nagel GmbH & Co. KG, Düren, Alemanha).	48
Figura 25: Cromatograma de análise das amostras de DA.	48
Figura 26: Ácidos carboxílicos na rota A com inóculo para a produção de biogás.	51
Figura 27: Ácidos carboxílicos na rota B com inóculo para a produção de AC.	51
Figura 28: Ácidos carboxílicos na rota A.	52
Figura 29: Ácidos carboxílicos na rota B.	53
Figura 30: Comparação de Produção de ACCs nas rotas A e B.	53

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Fórmulas moleculares, pontos de ebulição e constantes de dissociação ácida (K_a) de alguns ácidos carboxílicos	18
Tabela 2 - Aplicações de alguns ácidos carboxílicos e seus sais na indústria.	19
Tabela 3 - Análise de ácidos carboxílicos nas amostras da rota A (biogás) para torta de filtro	50
Tabela 4 - Análise de ácidos carboxílicos nas amostras da rota B (AC) para torta de filtro	50

Lista de Quadros

Quadro 1 - Características físico-químicas da torta de filtro.	26
Quadro 2 – Análise da massa seca MS e massa orgânica seca MOS dos substratos bagaço de cana e torta de filtro de cana.	34
Quadro 3 – Análise da massa seca inorgânica (cinzas) e MOS (SV) do bagaço de cana e torta de filtro de cana após calcinação	35
Quadro 4 - Descrição das rotas experimentais realizadas.	36
Quadro 5 - Procedimento experimental da fermentação anaeróbia para geração de AC.	41

Sumário

1 Introdução	15
1.1 Objetivos	16
2 Desenvolvimento	17
2.1 Referencial Teórico	17
2.2 Etapas da Pesquisa	23
2.2.1 Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS) sobre o tema	24
2.2.1.1 Revisão bibliográfica sistemática sobre rotas tecnológicas de transformação de biomassa para ácidos carboxílicos	24
2.2.1.2 Divulgação da pesquisa e seus resultados: Evento CarboxAiD 2022	24
2.2.2 Identificação de disponibilidades de matérias-primas	24
2.2.2.1 Resíduos de processamento de cana de açúcar	25
2.2.2.2 Resíduos de processamento de mandioca	27
3 Testes e experimentos laboratoriais	30
3.1 Parte Experimental – Ensaio	30
3.1.1 Preparo do inóculo (IN)	30
3.1.2 Preparo do substrato (SU)	31
3.1.3 Determinação Massa Seca e Matéria Orgânica Seca do inóculo e do substrato	32
3.1.4 Resultados de análise das propriedades físico-químicas das amostras e Testes de fermentação anaeróbia	34
3.2 Metodologia da fermentação anaeróbia	35
3.3 Experimentos de fermentação para geração de ácidos carboxílicos	38
4 Análise de produção de ácidos carboxílicos	43
4.1. Preparo das amostras para análise de carboxilatos	44
4.1.1 Materiais	44
4.2. Preparação das soluções	45
4.2.1 Procedimento	45
5 Discussão dos resultados	49
5.1 Produtos gerados durante a fermentação anaeróbia	49
5.2 Métodos e resultados	54
Conclusões	58
Perspectivas de continuação e desdobramento	58
Referências	59
Apêndice A: Preparação de substratos	63
Apêndice B: Revisão bibliográfica	68
Anexo A: Workshop internacional CARBOXAID no IFG em setembro de 2022	69
Anexo B: Site do UFZ (Alemanha) do projeto CARBOXAID, publicado pelo Centro Alemão de Pesquisa Ambiental UFZ/HELMHOLZ	70

CAPÍTULO 1

Introdução

O modelo energético baseado em combustíveis fósseis está finalizando, devido ao aumento da demanda global de energia. Biocombustíveis como etanol e butanol podem ser produzidos através da fermentação do gás de síntese por bactérias acetogênicas (RAMIÓ-PUJOL *et al.*, 2015).

Nossa sociedade está produzindo cada vez mais resíduos orgânicos e há necessidade de alternativas ao petróleo, extraindo combustíveis líquidos e/ou solventes industriais desses resíduos abundantes. Culturas mistas anaeróbicas podem lidar com a complexidade e variabilidade de resíduos orgânicos, produzindo carboxilatos que podem ser convertidos de forma eficiente em produtos biológicos úteis (AGLER *et al.*, 2011).

Devido ao clima tropical, a digestão anaeróbica no Brasil é amplamente utilizada e espera-se investimento na recuperação de produtos como metano e ácidos carboxílicos (AC) (GUSTAFSSON *et al.*, 2022). No Brasil existem 811 usinas de biogás, das quais 755 estão em operação e produzindo energia (93%), 44 estão em fase de implementação (5%), 12 estão em reforma (2%) e devem operar novamente em 2022, aumentando 20% em relação ao ano 2020 (675 usinas), indicando que o mercado continua em fase de expansão (CIBiogás 2022). Os substratos mais utilizados são os resíduos agrícolas e industriais, representando 47% e 34%, respectivamente, e em termos de biofábricas de ACs, no Brasil ainda não existe nenhuma planta (GUSTAFSSON *et al.*, 2022).

Há diferentes formas de processar os resíduos orgânicos no conceito de biorrefinarias: a plataforma de açúcar ou fermentação para combustíveis (indústria sucroalcooleira ou sucroenergéticas); a plataforma de pirólise e *syngas*, na qual os sistemas termoquímicos convertem biomassa em gás de síntese e outros produtos; e a plataforma de *carboxilatos*, onde matérias primas orgânicas são convertidas em produtos químicos de matéria-prima intermediária, usando hidrólise e fermentação sob condições anaeróbicas, considerada uma opção muito interessante para tratamento de resíduos complexos em larga escala. A "plataforma de carboxilatos" constitui uma combinação de vias biológicas e químicas para a conversão de resíduos em bioprodutos. Estudos foram feitos para lograr uma separação eficiente de carboxilatos do caldo de fermentação, inibição de metanógenos hidrogenotrópicos e direcionar o processo microbiano para gerar os carboxilatos em taxas suficientes (AGLER *et al.*, 2011).

Este trabalho pesquisou e experimentou biomassas em rotas de DA com inibição da metanogênese para produzir ácidos carboxílicos.

1.1 Objetivos

Objetivo Geral:

Testar rotas tecnológicas para o aproveitamento de resíduos orgânicos disponíveis no Estado de Goiás, Brasil, por meio da tecnologia de Digestão Anaeróbia (DA) para geração de produtos químicos de base (*platform chemicals*), especialmente carboxilatos.

Objetivos Específicos:

- Produzir Ácidos Carboxílicos na escala laboratorial a partir de substratos específicos, utilizando inóculos com arqueas metanogênicas desativadas em reatores anaeróbicos; e
- Elaborar um produto técnico com os resultados da pesquisa, em formato de uma publicação, implementando metodologias de biodigestão convencionais e modificadas para a produção de carboxilatos.

Esta dissertação está dividida em capítulos, sendo: Capítulo 1 Introdução e objetivos; Capítulo 2 Desenvolvimento/referencial teórico; Capítulo 3 Testes e experimentos laboratoriais; Capítulo 4 Análise da Produção de Ácidos Carboxílicos; Capítulo 5 Interpretação – discussão de resultados e divulgação; Conclusões.

CAPÍTULO 2

Desenvolvimento

2.1 Referencial Teórico

A Digestão Anaeróbia é um processo de produção de energia a partir de resíduos orgânicos, que requer a transformação por microrganismos em condições anaeróbias (ausência de oxigênio). Vários tipos de resíduos, incluindo resíduos domésticos, resíduos agrícolas, industriais e resíduos químicos, são processados para produzir biogás utilizando vários métodos (ALREFAI *et al.*, 2020).

A fermentação alcoólica ocorre em leveduras e outros microrganismos e produz álcool e dióxido de carbono. Tem diversas aplicações, incluindo a produção de alimentos e bebidas, como pão, cerveja e vinho (PANDA, 2022).

Os ácidos carboxílicos são os compostos orgânicos, cujas estruturas contêm um ou mais grupos carboxilas (COOH , que representa a união do grupo carbonila (C=O) e da hidroxila (OH)). Embora encontrem mercado pelo uso direto na indústria de alimentos, a capacidade dessa carboxila terminal de sofrer reações de redução, aminação, esterificação ou neutralização, caracteriza essa classe de compostos como intermediários importantes na indústria química, através dos quais se obtém uma série de outros produtos tais como álcoois, aldeídos, amidas ésteres, sais e polímeros (BELÉM *et al.*, 2020).

Os derivados dos ácidos carboxílicos são nomeados como halogenetos de acila, anidridos de ácidos carboxílicos (anidridos), alcanoatos de alquila, alcanamidas e alcanonitrilas, dependendo do grupo funcional. Estes derivados sofrem hidrólise (em meio ácido ou básico) gerando o ácido carboxílico correspondente, combinam-se com álcoois para dar ésteres e com aminas para dar amidas. Eles formam cetonas com reagentes de Grignard e outros organometálicos, e os ésteres podem reagir com uma segunda molécula de reagente para dar álcoois. A redução com hidretos leva a produtos em vários estágios de oxidação: aldeídos, álcoois ou aminas (VOLLHARDT *et al.*, 2013), ver Tabelas 1 e 2.

Tabela 1: Fórmulas moleculares, pontos de ebulição e constantes de dissociação ácida (K_a) de alguns ácidos carboxílicos.

Ácidos monocarboxílicos*			
Nome do ácido	Fórmula molecular	P.E. / °C	K_a
Fórmico (metanóico)	HCOOH	100,5	$1,80 \times 10^{-4}$
Acético (etanóico)	CH ₃ COOH	118	$1,75 \times 10^{-5}$
Propiônico (propanóico)	CH ₃ CH ₂ COOH	141	$1,34 \times 10^{-5}$
Butírico (butanóico)	CH ₃ CH ₂ CH ₂ COOH	164	$1,52 \times 10^{-5}$
Valérico (pentanóico)	CH ₃ (CH ₂) ₃ COOH	187	$1,44 \times 10^{-5}$
Capróico (hexanóico)	CH ₃ (CH ₂) ₄ COOH	205	-
Caprílico (octanóico)	CH ₃ (CH ₂) ₆ COOH	239	
Cáprico (decanóico, P.F. 31 °C)	CH ₃ (CH ₂) ₈ COOH	269	

Ácidos dicarboxílicos*			
Nome do ácido	Fórmula molecular	P.E. / °C	K_a
Succínico (butanodióico, P.F. 187 °C)	HOOC(CH ₂) ₂ COOH	235	$K_{a1} = 6,2 \times 10^{-5}$ $K_{a2} = 2,3 \times 10^{-6}$
Glutárico (pentanodióico, P.F. 98 °C)	HOOC(CH ₂) ₃ COOH	303	$K_{a1} = 4,6 \times 10^{-5}$ $K_{a2} = 3,7 \times 10^{-6}$
Adípico (hexanodióico, P.F. 153 °C)	HOOC(CH ₂) ₄ COOH	340	$K_{a1} = 3,8 \times 10^{-5}$ $K_{a2} = 3,8 \times 10^{-6}$

Fonte: Adaptado de ROGERIO *et al.*, 2002

Tabela 2: *Aplicações de alguns ácidos carboxílicos e seus sais na indústria.*

Aditivo	Função	Ação	Alimentos
Propionato de sódio ou cálcio	Conservante	Propionato de cálcio: previne o crescimento do mofo em pães. Propionato de sódio: usado em tortas e bolos, pois o cálcio altera a ação de fermentos químicos.	Pães, tortas e bolos.
Ácido cítrico/ citrato de sódio	Acidulante, aromatizante, agente quelante	Ácido cítrico: usado como ácido fraco, um aromatizante cítrico, e como antioxidante. Citrato de sódio: um constituinte de tampão que controla acidez de gelatina, geléia, sorvetes, balas e outros alimentos.	Sorvetes, sucos de frutas, balas, bebidas carbonatadas, fritas (batatas).
Ácido fumárico	Acidulante	Sólido à temperatura ambiente, barato, altamente ácido, é uma fonte ideal de acidez em gêneros alimentícios secos.	Bebidas energéticas, pudins, gelatinas, tortas.
Ácido láctico	Regulador de acidez	Inibe a deterioração de azeitonas espanholas, controla a acidez em queijos industrializados. Confere sabor picante a sobremesas congeladas, bebidas carbonatadas e aromatizadas com aromas de frutas, etc.	Azeitonas espanholas, queijos, sobremesas congeladas e bebidas carbonatadas.
Benzoato de sódio	Conservante	Indústrias o têm usado por mais de 70 anos para prevenir o crescimento de microorganismos em alimentos ácidos.	Sucos de fruta, bebidas carbonatadas e conservas.
Ácido sórbico/ sorbato de potássio	Antimofo	Ocorre naturalmente em plantas e em alimentos, previne o mofo.	Queijo, bolos, vinhos, frutas desidratadas, xaropes e geleias
Ácido ascórbico	Antioxidante, estabilizante	Previne a perda de cor e sabor por reagir com o “indesejável” oxigênio em alimentos; também evita a formação de nitrosaminas, que se formam do nitrito de sódio usado com inibidor de crescimento de microorganismos.	Carnes, sucos e alimentos enriquecidos
Tartarato ácido de potássio	Acidulante	Ingrediente ácido de fermentos em pó e controlador de acidez.	Fermentos em pó, massas assadas

Fonte: (ROGERIO *et al.*, 2002)

Os produtos químicos de plataforma (*platform Chemicals*) são intermediários químicos, a partir desses são gerados vários derivados com diferentes usos finais por meio de transformações físicas e químicas específicas. Devido ao seu amplo potencial

de aplicação, produtos químicos de plataforma podem fornecer alto valor comercial (ROCHA *et al.*, 2015).

Para a produção de carboxilatos, que são produtos químicos básicos valiosos e com amplo espectro de aplicação, pode ser realizada pela fermentação anaeróbica dos resíduos da cana-de-açúcar pela microbiota. Os carboxilatos produzidos podem ser usados diretamente na indústria química ou convertidos em produtos secundários por meio de processos (eletro) químicos ou biológicos, por exemplo, para produção de bioplásticos, combustíveis, aditivos alimentares e de rações, produtos farmacêuticos ou cosméticos. A produção de carboxilato também pode ser combinada com DA em um processo em cascata: Após a recuperação dos carboxilatos da etapa de fermentação anaeróbica, os produtos de fermentação indesejados restantes e os resíduos de substrato recalcitrantes são transformados em biogás na etapa subsequente de DA. Isto permite um material acoplado e o uso energético da biomassa que é mais sustentável do que a utilização energética exclusiva ou a compostagem (FORMANN *et al.*, 2020).

As melhores condições para a produção de Ácido Carboxílico (AC) são: pH próximo a 6,6; temperaturas mesofílicas (37 – 42 °C), pois proporciona maior estabilidade operacional; Pressão Parcial de Hidrogênio (PPH) próximo a 10^{-5} combinados com limitação de CO₂; Tempo de Retenção Hidráulica (TDH) de 4 a 8 dias para sistemas contínuos. No entanto, esses parâmetros têm efeitos inter-relacionados que exigem uma visão holística para definir as configurações ideais do processo. As condições mais eficientes são o uso de sistemas de dois estágios: baixo pH como inibidor da metanogênese e extração de Ácidos Carboxílicos (ACs) em linha, evitando a inibição por causa da toxicidade dos produtos (SILVA *et al.*, 2020).

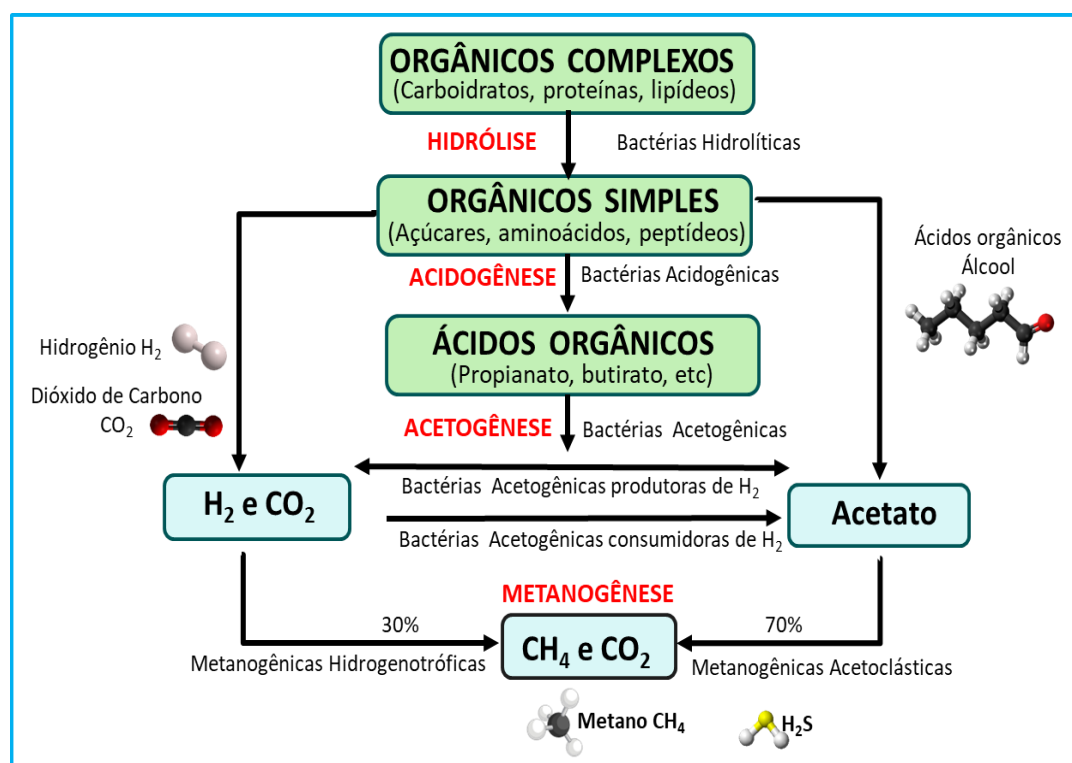
Um desafio da dissertação foi a inibição de micro-organismos metanogênicos para parar o processo de fermentação anaeróbia na fase de geração de carboxilatos.

A digestão anaeróbia é dividida em quatro etapas, iniciando-se com a hidrólise até a metanogênese, como a seguir:

1. Hidrólise,
2. Acidogênese;
3. Acetogênese; e
4. Metanogênese.

Na Figura 1 pode-se observar que no processo, o substrato complexo é transformado, principalmente, em metano, dióxido de carbono, gases traços, bem como digestado líquido na forma de uma suspensão do material menos ou não digerível.

Figura 1 – Fluxograma simplificado do processo de digestão anaeróbia DA.

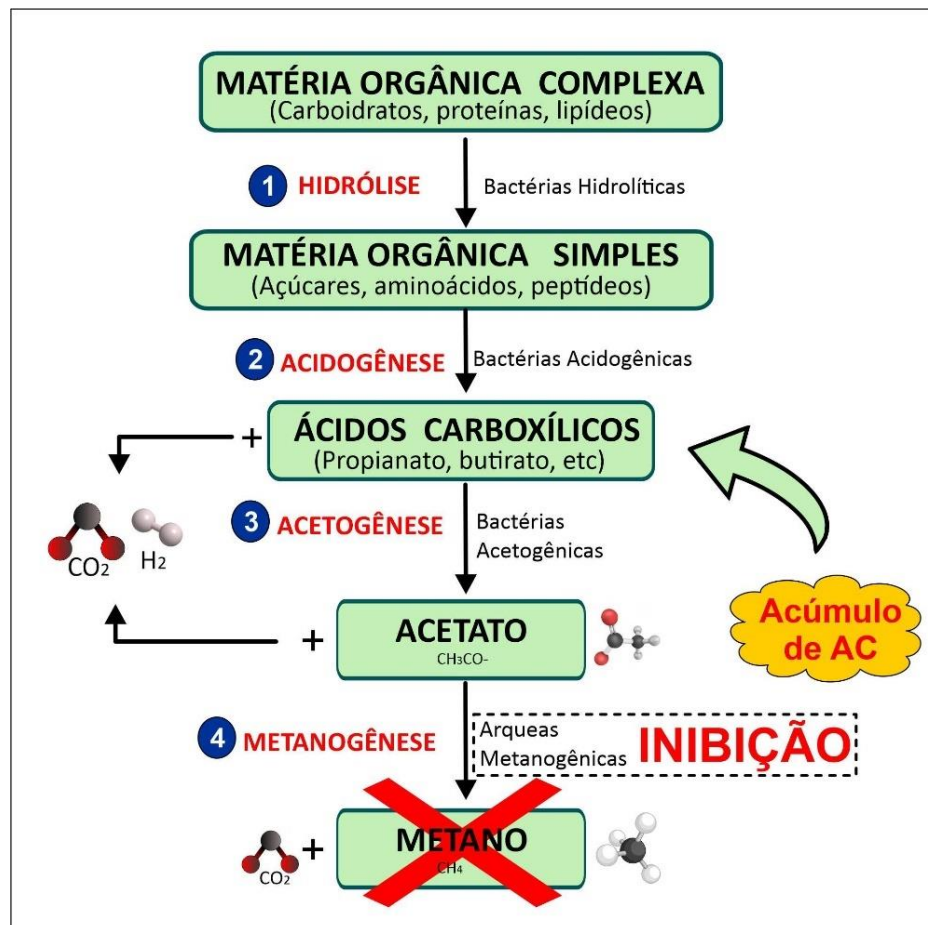


Fonte: Adaptado de GIZ, Alemanha, 2010.

Na Figura 2, o foco é a produção de compostos intermediários, como os ácidos carboxílicos (ACs), as etapas posteriores à acidogênese devem ser inibidas (GROOTSCHOLTEN *et al.*, 2013).

Nesse processo, a hidrólise é a etapa mais lenta da digestão anaeróbia, é limitante na degradação de resíduos orgânicos, em que os polímeros complexos (como lipídeos, proteínas e carboidratos), são transformados em compostos orgânicos solúveis menores (ácidos graxos, aminoácidos e glicose). Por isso, é necessário melhorar a taxa de hidrólise para aumentar a disponibilidade de matéria orgânica na fração solúvel, facilitando sua posterior bioconversão a AC (PHAM VAN *et al.*, 2018). Dessa forma, são estratégias para acelerar o processo de hidrólise a otimização de fatores operacionais (que serão discutidos a seguir) e a aplicação de pré-tratamento aos resíduos orgânicos antes da fermentação.

Os métodos adotados para o pré-tratamento são: químicos (ácidos e alcalinos), físicos (térmicos, micro-ondas e ultrassom) e biológicos (enzimas) (FDEZ-GÜELFO *et al.*, 2011).

Figura 2 – Digestão anaeróbia tradicional e modificada.

Fonte: Adaptado de (SILVA *et al.*, 2020).

A segunda etapa, apresentada na Figura 2 (acidogênese), é responsável pela formação dos ACs e, por isso, é uma etapa muito importante que precisa ser melhor entendida. A fermentação acidogênica ocorre a partir de vias metabólicas coexistentes em processos anaeróbios, que determinam os produtos formados pelo direcionamento do ácido pirúvico, o qual pode ser bio-convertido a uma ampla gama de produtos, tais como acetato, propionato, butirato, etanol, propanol, butanol, hidrogênio e dióxido de carbono. O direcionamento da via metabólica está relacionado com os parâmetros operacionais adotados na fermentação acidogênica, como tipo de inóculo e substrato, pH, temperatura e o Tempo de Retenção Hidráulica-TRH (SILVA *et al.*, 2020).

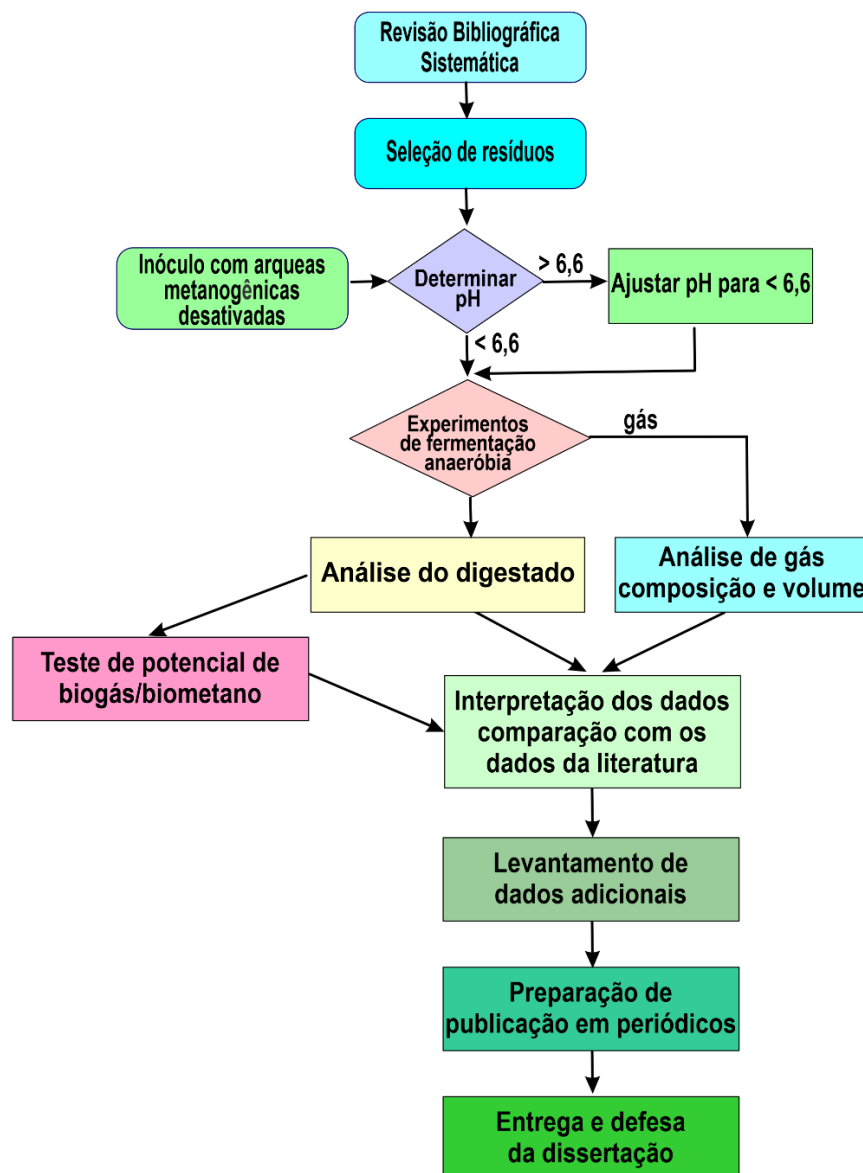
Inóculos de origem anaeróbia com inibição de microrganismos metanogênicos, pH próximo de 7,0 e temperatura acima de 30°C são fatores que geralmente aceleram a cinética da reação de acidogênese, resultando na mais rápida produção de acetato, ácido que

se forma em maiores quantidades durante o processo de digestão anaeróbia (ZHOU *et al.*, 2018).

2.2. Etapas da pesquisa

O fluxograma da Figura 3 mostra o desenvolvimento da pesquisa e suas diferentes fases, incluindo levantamento de informações e revisão bibliográfica. O fluxograma orienta o caminho seguido neste trabalho para alcançar seus objetivos.

Figura 3 - Representação gráfica das etapas da pesquisa na forma de fluxograma.



2.2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SISTEMÁTICA (RBS) SOBRE O TEMA

2.2.1.1 Revisão bibliográfica sistemática sobre rotas tecnológicas de transformação de biomassa para ácidos carboxílicos

Na primeira fase da pesquisa foi realizada uma seleção de referências mais representativa da área da Digestão Anaeróbia (DA) publicados entre os anos 2000 e 2021. Essa seleção foi realizada mediante qualificação de periódicos disponível no Portal de Periódicos da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), *Scientific Electronic Library Online* – SciELO, biblioteca eletrônica; optou-se por buscar artigos da área de ciência e tecnologia, com as palavras chaves: biogás, digestão anaeróbia, e biorrefinaria, encontrando-se mais de 20 referências.

Na etapa seguinte da pesquisa optou-se por analisar apenas os artigos que contêm os termos “carboxilatos, ácidos carboxílicos, análise de ácidos graxos, ácidos carboxílicos de cadeia curta, caracterização da mandioca e torta de filtro de cana de açúcar”, utilizando o *software* Mendeley para a organização das referências e sua formatação. O Quadro (no Apêndice A) mostra as diferentes referências bibliográficas selecionadas.

2.2.1.2 Divulgação da pesquisa e seus resultados: Evento internacional CarboxAiD 2022

Os procedimentos analíticos desenvolvidos foram apresentados e discutidos antes de serem iniciados no *Workshop* Internacional CarboxAiD realizado em Goiânia nos dias 22 ao 26 de setembro de 2022, junto com os parceiros do projeto da Alemanha, Turquia, Equador, Alemanha e Brasil. No Anexo B, a Figura (foto) mostra os participantes do workshop, e a Figura no Anexo C mostra o site do projeto CarboxAiD.

2.2.2 Identificação de disponibilidades de matérias-primas

Após a fase da revisão da literatura sistemática (RBS) foram selecionados dois resíduos ou subprodutos de processamento de plantas agrícolas devido às propriedades favoráveis para a geração de biogás, indício para uma boa digestibilidade no processo de fermentação anaeróbia, índices relativamente baixas de um aproveitamento economicamente e ecologicamente interessante, bem como as quantidades significantes disponíveis no Brasil. Para os resíduos de processamento de cana-de-açúcar, foram selecionados neste

caso, a torta de filtro e resíduos de processamento de mandioca, material “entre casca”. Ver Figuras 4 e 5.

Figura 4 – *Torta de filtro.*



Fonte: Fredy Tello

Figura 5 – *Entrecasca de mandioca.*

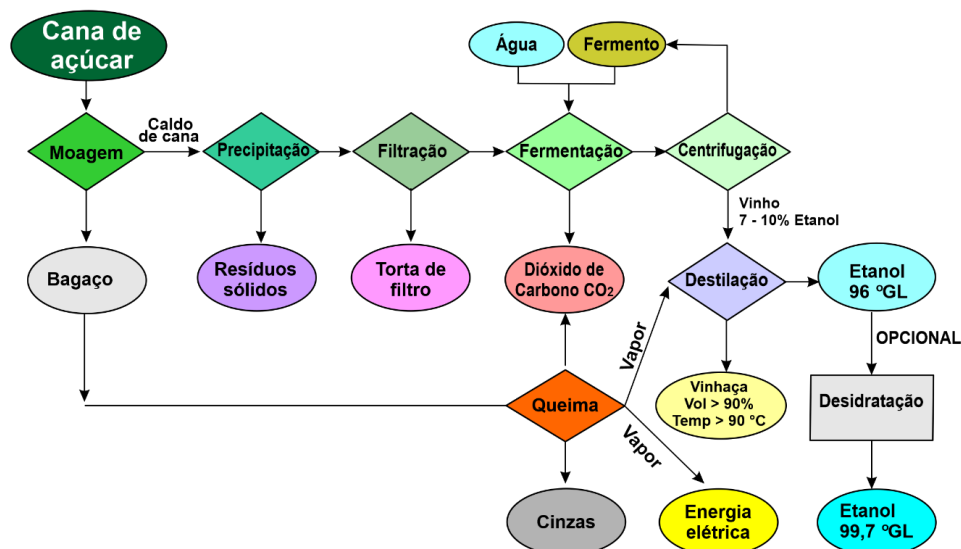


Fonte: Fredy Tello

2.2.2.1 Resíduos de processamento de cana de açúcar

O Brasil é o maior produtor de cana de açúcar (*Saccharum officinarum* L.) e além de ser exportador mundial de açúcar refinado, também utiliza o etanol como combustível de veículos. A torta de filtro é um resíduo composto da mistura de bagaço moído e lodo da decantação, sendo proveniente do processo de clarificação do açúcar (BERNARDINO *et al.*, 2018). A Figura 6 apresenta o fluxograma simplificado de procedimento industrial de cana-de-açúcar e a geração da torta de filtro no Brasil.

Figura 6 - Fluxograma simplificado de processamento industrial de cana-de-açúcar e a geração da torta de filtro no Brasil.



Fonte: (ZANG *et al.*, 2018) (modificado)

A torta de filtro pode ser incorporada a mistura da vinhaça tendo ganho de biomassa podendo ser aproveitada para geração de metano. A quantidade de sólidos constantes nesta mistura, podem interferir no resultado e impedir o bom funcionamento dos biodigestores. Estes dados variam devido as diferenças na composição da cana-de-açúcar e as condições aplicadas em processos da destilação do etanol (FRICK, 2018). O Quadro 1 demonstra a composição básica da torta de filtro.

Quadro 1: Características físico-químicas da torta de filtro.

Parâmetros	Unidades	Maior	Setembro	Novembro
TS	%	22,85	22,02	23,7
VS	% TS	75,86	81,43	75,33
Celulose	%	29,51	33,25	30,39
lignina	%	24,31	27,13	28,48
hemicelulose	%	26,32	29,15	30,23
extrativos	%	19,86	10,47	10,89
carboidratos e lignina	%	77,02	80,03	83,19
proteínas brutas	%	17,99	14,33	11,89
gordura bruta	%	4,99	5,64	4,92

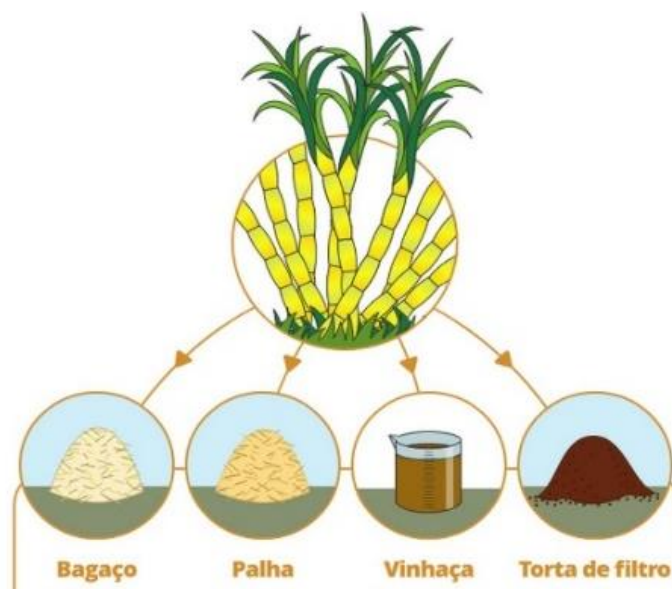
Fonte: (LEITE *et al.*, 2015) (traduzido)

O processamento de cada tonelada de cana de açúcar (Figura 7) determina cerca de 40 kg de torta de filtro como resíduo, e deste modo,

- 68 milhões de toneladas/ano de torta de filtro mundialmente;
- 21,5 milhões de toneladas/ano no Brasil; e
- 2,9 milhões de toneladas/ano em Goiás com composição de 85,1% de matéria orgânica, sendo 11% de lignina, 34% de hemicelulose e 38% de celulose (LEITE *et al.*, 2015 e BERNARDINO *et al.*, 2018).

Na safra 2022 - 2023 a previsão é de um acréscimo de 3,13% na produção de cana de açúcar, equivalente a 539 milhões de toneladas, gerando 21,56 milhões de toneladas de torta de filtro (ÚNICA, 2023).

Figura 7: Resíduos de processamento de cana de açúcar.

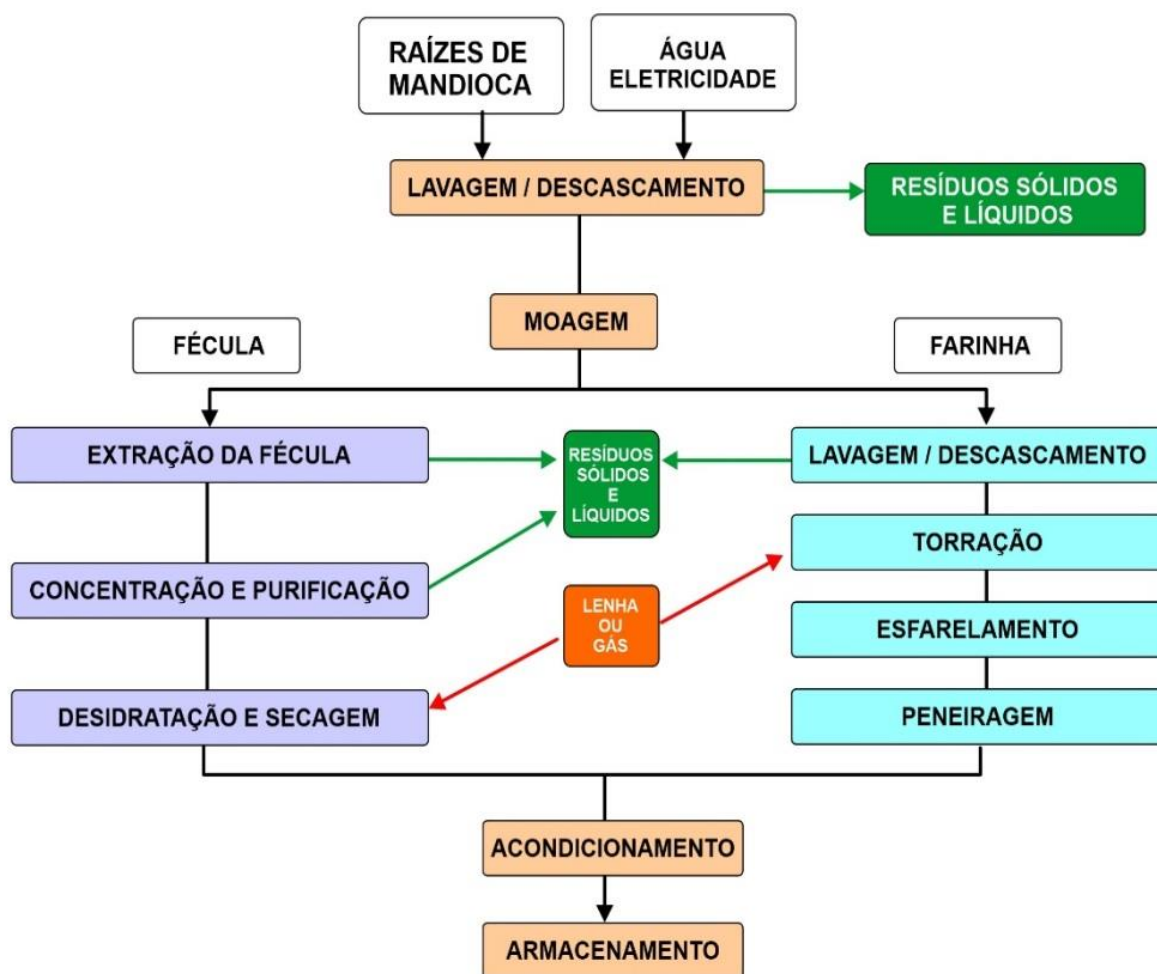


Fonte: GLOBO, 2023¹

2.2.2.2 Resíduos de processamento de mandioca

A mandioca (*Manihot esculenta Crantz*) é rica em matéria orgânica biodegradável, assim como os efluentes e resíduos industriais. A produção de biogás através da digestão anaeróbia, associa tratamento de resíduos e geração de energia e digestado (MCTI, 2020). A Figura 8 mostra as etapas do processamento de mandioca e os resíduos gerados.

¹ Globo, 2023. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/agronegocios/agro-a-industria-riqueza-do-brasil/noticia/2021/07/17/de-onde-vem-o-que-eu-como-e-uso-residuos-da-cana-de-acucar-geram-o-biogas-que-vira-energia-eletrica-e-combustivel-substituto-do-diesel.ghml> , Acesso em 06 de 08 2023.

Figura 8: Etapas da produção de farinha e fécula de mandioca.

Fonte: Adaptado: Embrapa (2022).

A casca e entrecasca da mandioca, resíduos sólidos gerados durante o processamento da mandioca na fabricação de farinha e fécula, apresentam um elevado teor de umidade, sendo propícia a fermentação; apresenta aproximadamente 5% do peso total das raízes, possuindo baixa quantidade de proteínas e grande quantidade de fibra e amido. Portanto, utilizar a casca da mandioca como inóculo no processo de digestão, é uma solução para diminuir os impactos ambientais e agregar valor a esse resíduo (NEVES *et al.*, 2019).

A fibra de mandioca e a casca de mandioca, consideradas como resíduos, elas têm um potencial de biometano mais elevado em comparação com a serragem e são por tanto mais adequados para a produção de biometano (MABECUA *et al.*, 2021).

Em condições experimentais, o bagaço de mandioca apresentava um conteúdo de amido com uma média de 64%, tornando-o como uma matéria-prima eficiente para o processo de produção de segunda geração de etanol, com um potencial médio de produção de etanol de 0,25 m³/t de bagaço de mandioca (MARTINEZ *et al.*, 2018).

Há estudos que indicam a viabilidade ecológica, energética, econômica e eficiência na produção de biogás reaproveitando os resíduos do processamento da mandioca (SACHO *et al.*, 2022).

A **produção de Mandioca no mundo** é 293 milhões de toneladas de mandioca, e no Brasil produz 19,8 milhões de toneladas (CONAB, 2020), sendo que nas:

- Regiões Norte e Nordeste com 61,18%;
- Região Sul com 22,1%;
- GOIÁS 10,9% (187,1 mil toneladas) (EMBRAPA, 2020).

Para a **produção de casca e entrecasca de mandioca**:

- 14,65 milhões de toneladas no mundo;
- 1,5 milhões de toneladas no Brasil;
- 9,3 mil toneladas em Goiás.

A casca e entrecasca representam cerca 5% do peso total possuem baixa quantidade de proteínas, e grande quantidade de fibra e amido, podendo utilizar-se como substrato no processo de digestão (NEVES *et al.*, 2019).

CAPÍTULO 3

Testes e experimentos laboratoriais

A parte experimental da pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Química do Instituto Federal de Goiás (IFG), situado na Rua 75, 46, Centro, Goiânia - GO, 74055-110, com a colaboração do Técnico Responsável: Químico e Mestre em Tecnologia de Processos Sustentáveis Marcus Vinícius Ramos.

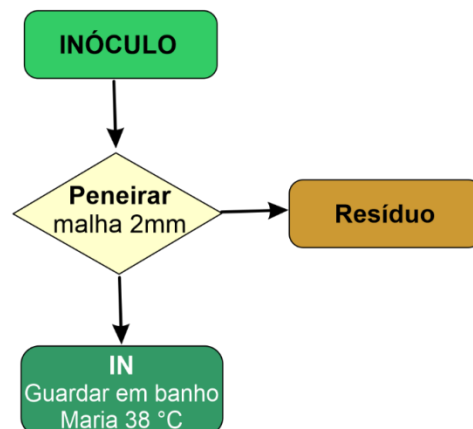
3.1 PARTE EXPERIMENTAL – ENSAIOS

Os experimentos de fermentação anaeróbia foram desenvolvidos em reatores de vidro de 500 mL na forma de batelada. Para realizar os ensaios, antes o inóculo e os substratos tiveram de ser preparados. O inóculo selecionado foi o esterco fresco de vaca, os substratos selecionados após a revisão bibliográfica sistemática foram a torta de filtro de uma indústria de processamento de cana-de-açúcar Nova Gália em Paraúna-GO, e resíduos de processamento de mandioca da cooperativa mista dos pequenos produtores de polvilho e derivados da mandioca da região do cara, Cooperabs, situada na Rodovia GO-020, SN, KM 45, Zona Rural - Bela Vista de Goiás - GO CEP 75240 - 000.

Como substância de referência foi empregada a celulose microcristalina P.A da Labsynth Produtos para Laboratórios LTDA. O Apêndice A complementa com imagens da pesquisa e experimentos.

3.1.1 Preparo do inóculo (IN):

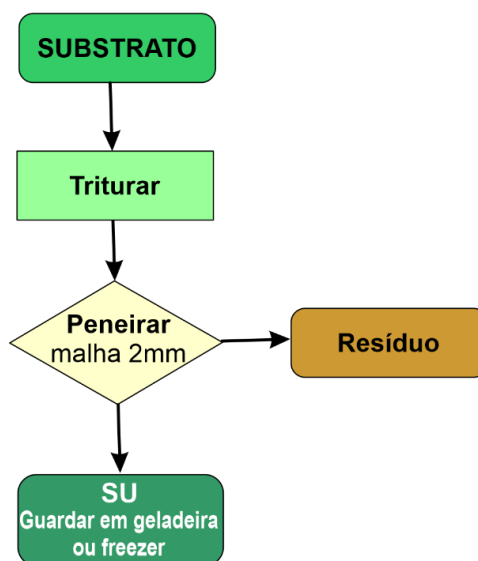
O inóculo de esterco fresco foi coletado num criadouro de gado bovino no município de Aparecida de Goiânia (cerca 1,5 Kg). Foi feita a diluição 1/1 com água sem Cloro para depois peneirar (peneira com malha de 2 mm), e finalmente guardar em Banho Maria (38°C). O resíduo que ficou na peneira foi reservado em um recipiente para fermentação aeróbia (compostagem) e finalmente será utilizado como adubo na forma diluído com um fator de diluição de 10. A Figura 9 mostra o fluxograma de preparação do inóculo. A Figura 10 mostra os passos de 1 a 3 da diluição do inoculo com água 1/1 e peneiramento < 2mm.

Figura 9 - Fluxograma de preparação do inóculo.**Figura 10:** Diluição do inóculo com água 1/1 e peneiramento < 2mm.

Fonte: Fredy Tello.

3.1.2 Preparo do substrato (SU):

A torta de filtro coletada, já esmagada pelo processo de moagem na usina de álcool, não precisava ser triturada, foi peneirada com peneira de malha até < 2 mm (Figura 11). A parte fina peneirada foi conservada congelada no freezer até o experimento de fermentação por cerca duas semanas ($T = -8^{\circ}\text{C}$). Os resíduos que ficaram na peneira tiveram como destino a compostagem.

Figura 11- Fluxograma de preparação dos substratos

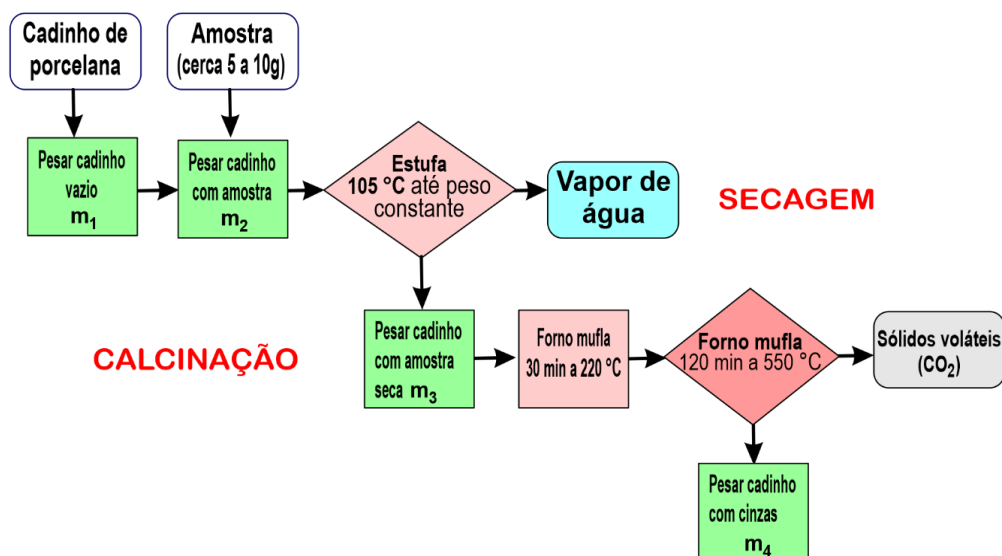
3.1.3 Determinação Massa Seca e Matéria Orgânica Seca (MOS ou SV) do inóculo e do substrato

A matéria seca (MS) é determinada após a secagem de uma amostra em uma estufa com temperatura de 105°C (QUEVEDO, 2021). A quantidade de MS é definida pela diferença entre as massas, antes e após da secagem da amostra.

Para a determinação da matéria orgânica seca (MOS) é necessário a calcinação da amostra seca em um forno mufla a uma temperatura de 550°C por 4 horas (QUEVEDO, 2021), resultando apenas cinzas (matéria mineral inorgânica), correspondendo à fração de sólidos fixos totais (SFT).

A diferença entre a massa de matéria seca (MS) e a massa de matéria inorgânica (SFT) corresponde ao valor de matéria orgânica seca (MOS) que estava presente no substrato. A fração volátil assim determinada representa a quantidade de matéria orgânica disponível para ser biodigerida em uma amostra (QUEVEDO, 2021).

O fluxograma da Figura 12 mostra a sequência dos procedimentos, equações (1) e (2) os cálculos necessários.

Figura 12 - Fluxograma de determinação de matéria seca e matéria orgânica seca das amostras

(Fonte: Andrade e Zang, 2022).

O cálculo do teor de **sólidos totais** (ST ou MS) é dado de acordo com a equação 1:

$$ST = 100 \cdot \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \quad (1)$$

no qual,

ST	Sólidos totais	%
m ₁	Massa do cadinho vazio	G
m ₂	Massa do cadinho com a amostra	G
m ₃	Massa do cadinho após a secagem	G

O cálculo dos **sólidos voláteis** (SV ou MOS) é dado conforme a equação 2:

$$SV = 100 \cdot \frac{m_3 - m_4}{m_2 - m_1} \quad (2)$$

no qual,

SV	Conteúdo de sólidos voláteis	%
		ST
m ₁	Massa do cadinho vazio	g
m ₂	Massa do cadinho com a amostra	g
m ₃	Massa do cadinho após a secagem	g
m ₄	Massa do cadinho após calcinação	g

3.1.4 Resultados de análise das propriedades físico-químicas das amostras e testes de fermentação anaeróbia.

As análises de sólidos totais ST ou massa seca MS foi realizado por pesagem antes e depois da secagem das amostras em estufa marca MED CLAVE, modelo MOD1 em 105 °C por 24 horas. Os resultados são mostrados no Quadro 2.

Para as análises das amostras dos experimentos futuros todos os procedimentos serão repetidos em triplicata.

Obs.: se for tabela, abrir as laterais. Se for quadro, deixar as laterais e mudar o de tabela para quadro.

Quadro 2 – Análise da massa seca MS e massa orgânica seca MOS dos substratos bagaço de cana e torta de filtro de cana.

Amostra	Cadinho vazio m_1 [g]	Cadinho com amostra m_2 [g]	Cadinho com amostra seca m_3 [g]	ST [% m/m]
Bagaço de cana	98,879	102,573	102,049	85,814
Torta de filtro	97,231	114,445	104,371	41,447

O cálculo do teor de **sólidos totais** (ST ou MS) é dado de acordo com a equação (1), e no caso, para:

$$\text{Bagaço de cana} \quad ST = 100 \cdot \frac{102,049 - 98,879}{102,573 - 98,879} = 85,814\%$$

e

$$\text{Torta de filtro} \quad ST = 100 \cdot \frac{104,371 - 97,231}{114,445 - 97,231} = 41,447\%$$

Para a determinação da massa orgânica seca (MOS) foi realizado por pesagem antes e depois da calcinação das amostras em forno mufla marca EDG, modelo EDG3P-S em 550 °C por 4 horas. Os resultados são mostrados no Quadro 3.

Para as análises das amostras dos experimentos todos os procedimentos foram repetidos em triplicata.

Quadro 3 – *Análise da massa seca inorgânica (cinzas) e MOS (SV) do bagaço de cana e torta de filtro de cana após calcinação.*

Amostra	Cadinho vazio m1 [g]	Cadinho com amostra m2 [g]	Cadinho com amostra seca m3 [g]	Cadinho após calcinação m4 [g]	SV [% m/m]
Bagaço de cana	13,207	13,961	13,891	13,242	86,074
Torta de filtro	13,495	15,516	14,891	14,147	36,813

O cálculo dos **sólidos voláteis** (SV ou MOS) é dado conforme a equação (2), e no caso, para:

$$\text{Bagaço de cana} \quad SV = 100 \cdot \frac{13,891 - 13,242}{13,961 - 13,207} = 86,074\%$$

$$\text{Torta de filtro} \quad SV = 100 \cdot \frac{14,891 - 14,147}{15,516 - 13,495} = 36,813\%$$

3.2 METODOLOGIA DA FERMENTAÇÃO ANAERÓBIA

Para os testes de fermentação anaeróbia foi selecionado um método em batelada adaptado de STRÄUBER *et al.*, 2018.

Duas rotas experimentais foram realizadas, para comparar a produção de Biogás e Ácidos Carboxílicos (AC) em experimentos de digestão anaeróbia. A primeira foi realizada na forma de ensaios convencionais com condições boas para todos os tipos de micro-organismos do processo com pH =7,0; e a segunda rota em condições desfavoráveis com pH < 6,6 para os micro-organismos metanogênicos, por exemplo, as arqueas. Os metanogênicos foram desativados parcialmente por um aquecimento do inóculo para 90 °C por 60 minutos. As duas rotas são demonstradas na Figura 11, utilizando à rota A com inóculo sem inibição das arqueas metanogênicas, e a rota B com inibição das arqueas metanogênicas.

Com relação às misturas fermentadas nos reatores foram:

1. Inóculo puro;
2. Inóculo com celulose micro cristalina;
3. Inóculo com torta de filtro;
4. Inóculo com mandioca; e
5. Entrecasca de mandioca.

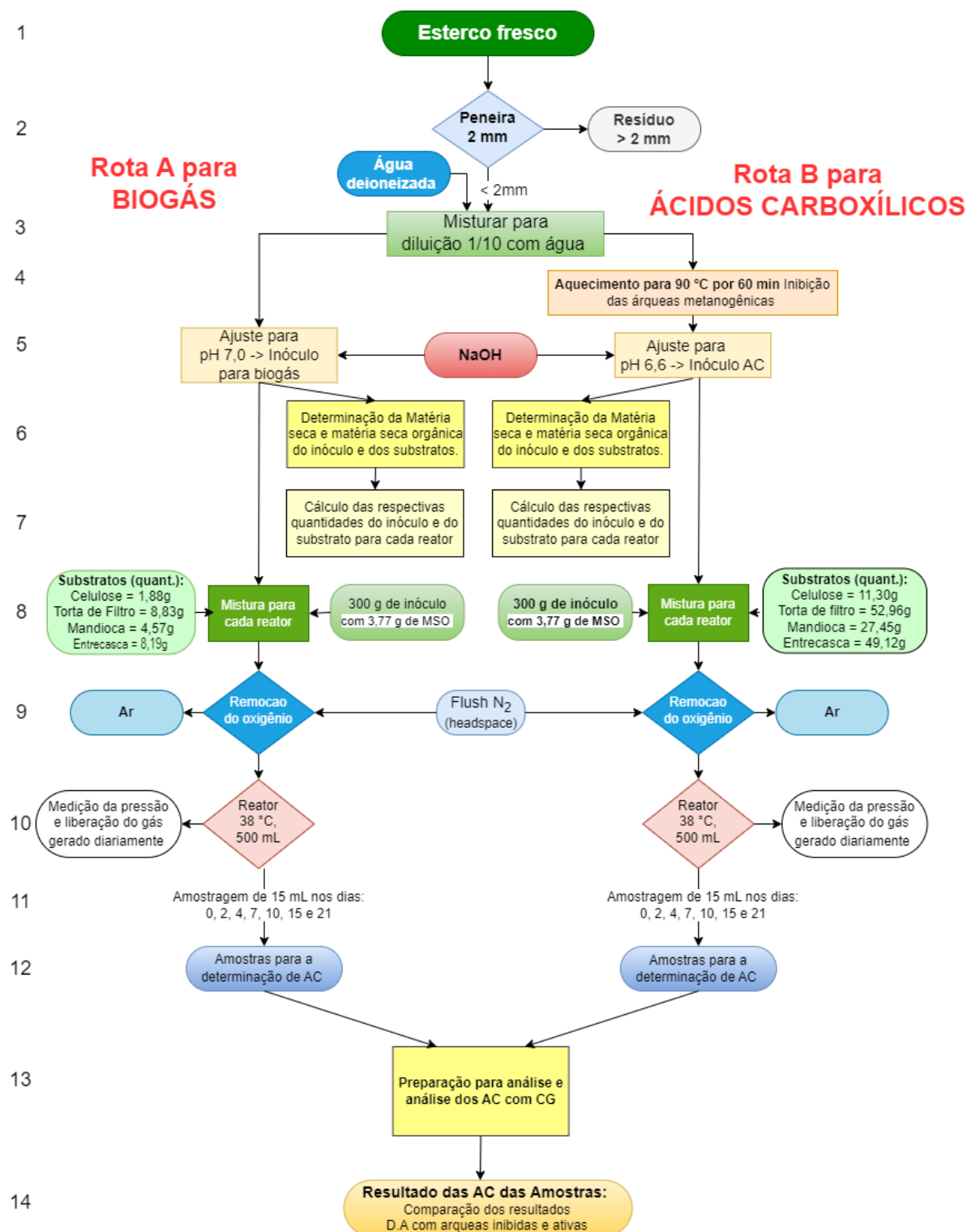
Obs.: Foram realizadas simultaneamente, em triplicata, nas duas rotas.

A sequência analítica é explicada no fluxograma na Figura 13 e com procedimento descrito no Quadro 4.

Quadro 4 - Descrição das rotas experimentais realizadas.

ROTA A	ROTA B
1 e 2: Como base para os experimentos foi utilizado esterco fresco de vaca, peneirado com peneira de 2 mm.	
3: Diluição com água deionizada pelo fator de 10.	
4 A: Sem tratamento adicional.	4 B: Com tratamento térmico de aquecimento para 90 °C por 1 hora.
5 A: Ajuste de pH com NaOH para 7,0	5 B: Ajuste de pH com NaOH para <6,6
6: Determinação da Matéria Seca MSO (sólidos totais) e da matéria seca orgânica MS (sólidos voláteis) do inóculo de dos substratos.	
7 A: Cálculo das quantidades do inóculo necessário, observando que pelo menos dois terços do MSO no reator têm de ser fornecidos pelo inóculo. Quantidade do inóculo necessário calculada: 1,88 g	7 B: Cálculo das quantidades do inóculo necessário, observando que pelo menos três quartos do MSO no reator têm de ser fornecidos pelo substrato. Quantidade do inóculo necessário calculada: 11,30 g
8 A: Mistura de 300 g do inóculo com 3,77 g de MSO com a quantidade adequada do respectivo substrato para cada reator, sendo: Celulose = 1,88 g Torta de Filtro = 8,83 g Mandioca = 4,57 g Entrecasca = 8,19 g	8 B: Mistura de 300 g do inóculo com 3,77 g de MSO com a quantidade adequada do respectivo substrato para cada reator, sendo: Celulose = 11,30g Torta de filtro = 52,96g Mandioca = 27,45g Entrecasca = 49,12g
9: Remoção do oxigênio por purga flush com nitrogênio, para garantir condições anaeróbias	
10: Medição de pressão diária, liberação da pressão.	
11: Amostragem da fase líquida nos dias 0, 2, 4, 7, 10, 15 e 21.	
12: Armazenamento das amostras na forma congelada.	
13. Preparação das análises cromatográficas.	
14. Interpretação dos resultados.	

Figura 13 - Fluxograma dos métodos experimentais de digestão anaeróbia comparando as duas rotas, sendo a rota A com foco no biogás com metanogênicas ativas; e a rota B para a produção preferencial de AC e com metanogênicas desativadas.



Fonte: Tello e Zang, 2023

3.3 EXPERIMENTOS DE FERMENTAÇÃO PARA GERAÇÃO DE ÁCIDOS CARBOXÍLICOS

Baseado no sistema de experimentos de fermentação em batelada utilizado pelos parceiros na Alemanha foram desenvolvidos reatores anaeróbios de frascos de vidro de 500 mL de volume, vedados com tampa de borracha para frasco penicilina, permitindo assim a amostragem de gás e líquidos depois por seringa com cânula (tipo septo). As tampas de borracha foram fixadas com tampa de PVC com rosca como segue nas imagens da Figura 14.

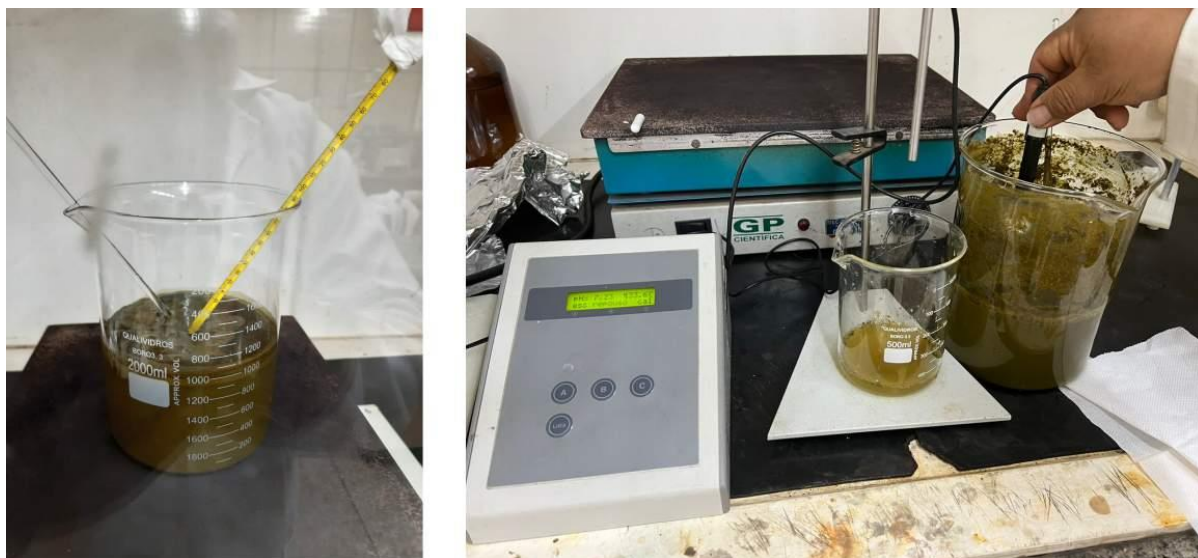
Figura 14- *Reatores de 500 mL com tampa adaptada.*



Fonte: Fredy Tello.

Para realizar os procedimentos foram realizados uma série de experimentos preliminares. O inóculo fresco (esterco bovino diluído com água sem cloro 1/1), passou pelo processo de inibição das arqueas metanogênicas em aquecimento constante de 90 °C por um período de 60 minutos seguindo os procedimentos de Sträuber *et al.*, 2018. Posteriormente pela adição de ácido clorídrico HCl de concentração 1M um pH=6,6 foi ajustado. Finalmente o inóculo foi guardado por sete dias em Banho Maria em 38 °C, como se mostram nas Figuras 15, 16, 17. Todo o procedimento experimental da fermentação anaeróbia para geração de AC, está resumido no Quadro 5.

Figura 15 - Inibição das arqueas metanogênicas e ajuste do pH para 6,6.



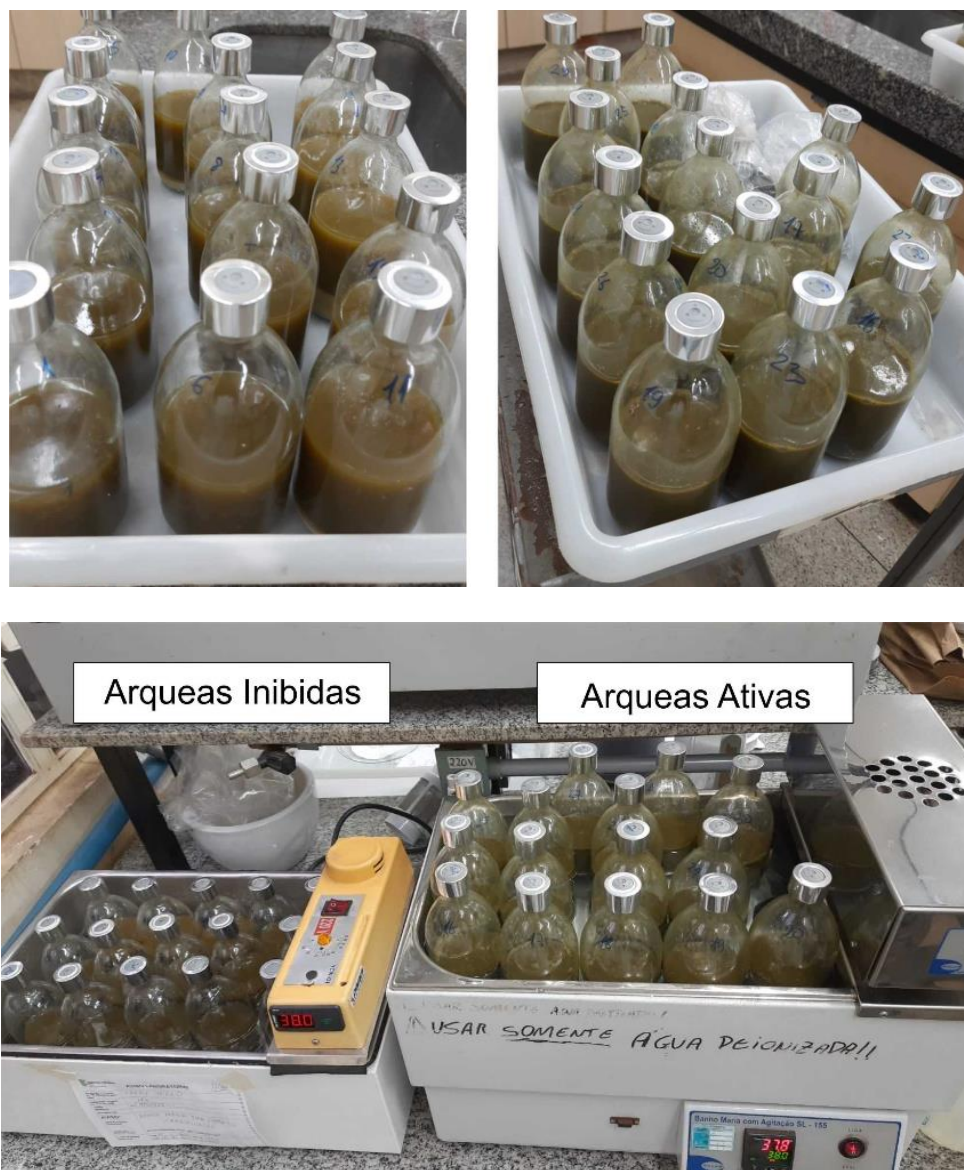
Fonte: Fredy Tello, 2022.

Figura 16 - Reatores (I-o inoculo puro), (T-o inoculo + torta de filtro).



Fonte: Fredy Tello.

Figura 17 - Reatores para a geração de AC com fermentação anaeróbia.



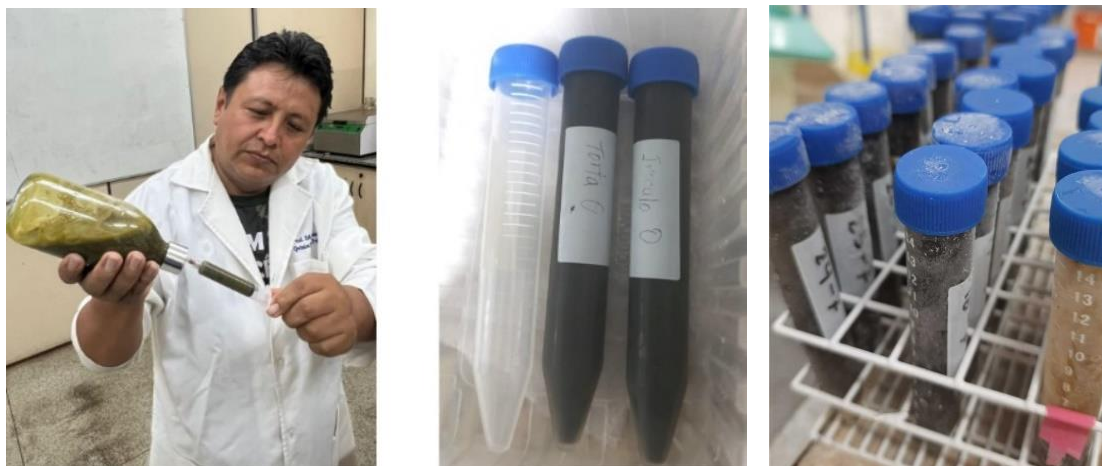
Fonte: Fredy Tello.

Quadro 5 - *Procedimento experimental da fermentação anaeróbia para geração de AC.*

PROCEDIMENTOS	DETALHES
Inoculo	Diluição 1 / 10 de água Em cada reator se colocaram 300mL do volume total.
Pesagem de substratos e mistura com inóculo nos reatores	Reatores 1 a 3---- Inoculo puro Reatores 4 a 6---- Celulose = 11,30g Reatores 7 a 9---- Torta de Filtro = 52,96g Reatores 10 a 12- Mandioca = 27,45g Reatores 13 a 15- Entrecasca = 49,12g
Ajuste pH	Até 6,6 pH com HCl de concentração 1M, pHmetro digital.
Flush com nitrogênio N₂	Injetar N ₂ no reator por 20 segundos, expulsando o ar (oxigênio) para garantir condições anaeróbias, depois lacrar os reatores.
Banho Maria 38°C	Colocar os 15 reatores no banho maria e tampar.
Coleta de Amostra Dias: 0, 2, 4, 7, 10, 15 e 21	Utilizar 1 seringa e agulha (a mais grossa) para cada 3 reatores Coletar 15 mL guardar no <i>vial</i> bem fechado e numerado *Guardar as coletas no freezer (-8°C).
Pressão dos reatores	Utilizando manômetro portátil, com agulha fina. Primeiro conferir a pressão atmosférica fora do reator, depois no interior do reator, para todos os casos.

Seguindo os procedimentos de Sträuber *et al.*, 2018, foram determinados realizar sete coletas nos dias **0, 2, 4, 7, 10, 15 e 21**, para depois fazer a análise dos carboxilatos presentes nas amostras coletadas e testar a eficiência do método analítico. As amostras coletadas foram guardadas no freezer (-8°C), como mostra a Figura 18.

Figura 18 - *Imagens do preparo de amostras.*



Fonte: Fredy Tello.

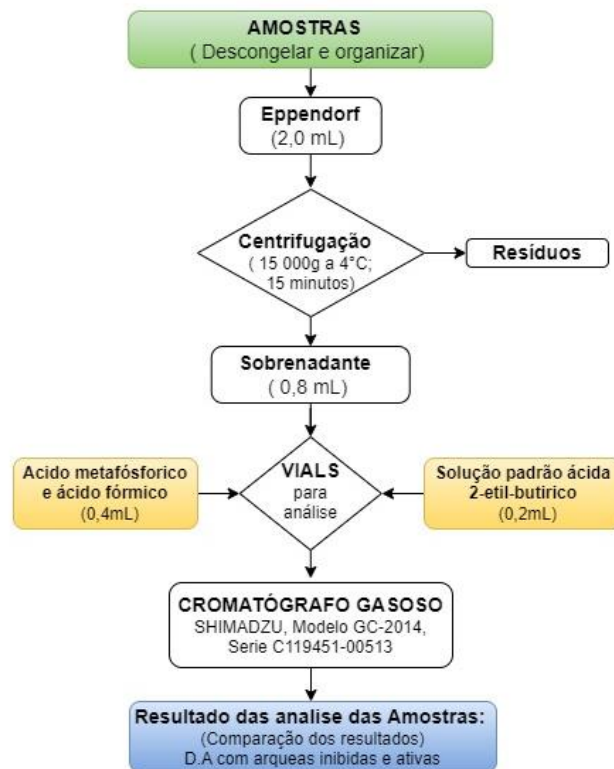
Os dados recolhidos dos experimentos de DA, (30 reatores: 15 com arqueas ativas e 15 com arqueas inibidas), foram colocados numa planilha Excel para organizar os dados de forma estruturada, permitindo uma visualização clara das informações coletadas, para fazer a análise e interpretação dos resultados dos experimentos.

CAPÍTULO 4

Análise de produção de Ácidos Carboxílicos

As análises foram realizadas no laboratório de nutrição animal do Departamento de Zootecnia da UFG (DZO-UFG), situado na Rodovia Goiânia - Nova Veneza, km 8, Campus Samambaia CEP 74690-900, Goiânia, Goiás – Brasil, com a colaboração do técnico Responsável Químico e Mestre em Tecnologia de Processos Sustentáveis Miron de Paiva Menezes, utilizando a cromatografia gasosa e um método já validado com um detector de ionização de chama (*Flame Ionization Detector -FID*) para quantificar os AGCC (Ácidos Graxos de Cadeia Curta) nas amostras (SILVA *et al.*, 2021).

O Teste de seletividade será aplicado segundo a *Validação laboratorial de Métodos quantitativos cromatográficos para a determinação de Ácidos Graxos de Cadeia Curta* de SILVA *et al.* 2021. Foi possível analisar quantitativamente os ácidos acético, propiônico, butírico, isobutírico, valérico e isovalérico. A linearidade foi determinada a partir da relação matemática entre o sinal do analito e a concentração obtida através da equação da reta: $y=ax+b$ (curva analítica). Também se aplica o teste Cochran para verificar a homogeneidade das variâncias (método linear). O limite de detecção (LD) e o limite de quantificação (LQ) detectam e determinam os AGCC nas amostras. A Figura 19 apresenta o fluxograma da preparação das amostras para análise no CG.

Figura 19: Fluxograma da preparação das amostras para análise no Cromatógrafo

Fonte: Tello e Zang, 2023

4.1 PREPARO DAS AMOSTRAS PARA ANÁLISE DE CARBOXILATOS

O seguinte processo é a Marcha Analítica para extração e determinação de Ácidos Carboxílicos de Cadeia Curta (ACCC) do Laboratório de Bromatologia e Reprodução Animal (ESALQ/USP) do Departamento de Zootecnia, situado na Av. Pádua Dias, 11. Piracicaba, SP – CEP 13418-900, tendo como responsável o Prof. Alexandre Vaz Pires, que consiste no seguinte:

4.1 Materiais:

- Amostras congeladas em tubo Falcon 15mL;
- Balão volumétrico de 100 mL;
- Béquer de 50mL;
- Tubos de micro centrifuga Eppendorf;
- Vial de vidro incolor rosca 9mm volume 2 ml com tampa e septo;
- Micropipetas; e
- Pontas para micropipeta.

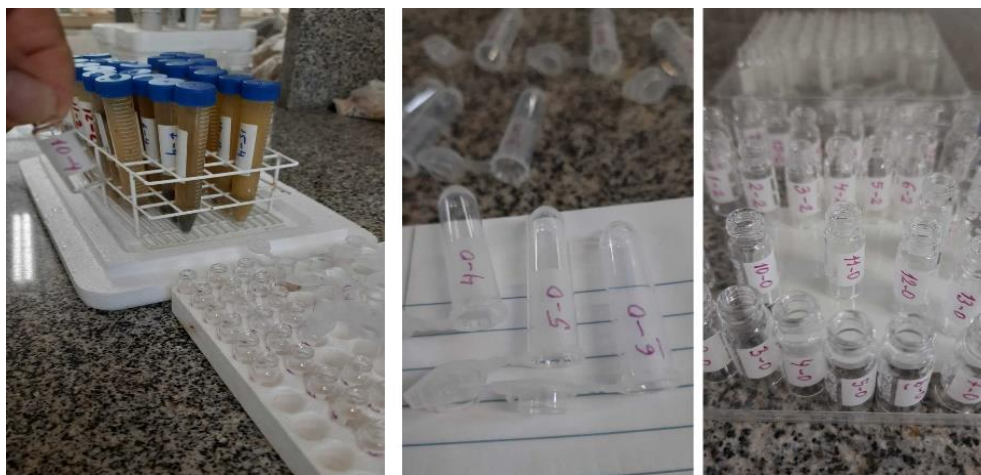
4.2 PREPARAÇÃO DAS SOLUÇÕES:

1. Ácido Metafosfórico 25%. Dissolver 25 g de ácido metafosfórico em 100 mL de H₂O. Retirar 25 mL da solução e adicionar 25 mL de ácido fórmico.
2. Padrão Interno. Pesar 1,1815 g de ácido 2 – etil butirico num balão volumétrico de 100 mL e completar o volume com H₂O.

4.2.1 Procedimento:

1. Organizar as amostras congeladas 15 mL, por datas e dias de coleta;
2. Descongelar a amostra a temperatura ambiente;
3. Identificar e organizar os *Vials* e micro tubos para centrifugação (*ependorf*). (Figura 20);
4. Após o descongelamento, separar a fase sólida por sedimentação (centrifugação). (Figura 21);
5. Para a determinação de Carboxilatos se utiliza 2,0 mL da parte líquida da amostra, centrifugada a 15.000 g durante 15 minutos e a 4 °C (Figura 21). Em seguida 0,8 mL do sobrenadante será transferido para o *vial* cromatográfico adicionando 0,4 mL de solução ácida 3:1 de metafosfórico (25%) com ácido fórmico (98 - 100%) e 0,2 mL de solução de ácido 2-etil-butírico 100 mM - padrão interno (Figuras 22 e 23). Desse extrato 1 µL será injetado no cromatógrafo gasoso Marca SHIMADZU, Modelo GC-2014, Serie C119451-00513, equipado com um detector de índice de refração RID-6A e uma coluna Nukleogel ION 300 OA com uma pré-coluna (Macherey-Nagel GmbH & Co. KG, Düren, Alemanha);
6. A amostra preparada, no *vial*, é introduzida no Cromatógrafo Gasoso (CG) onde envolve as etapas: Injeção da amostra, Separação dos componentes, Detecção dos componentes e Análise de dados. A concentração dos Carboxilatos (mM/L) será determinada com base em uma curva cromatográfica de calibração externa. Para análise estatística, os dados utilizados serão transformados para proporção molar (mM/100mM), ou seja, a relação entre a quantia de um determinado carboxilato e o total observado (Figuras 24 e 25).

Figura 20: *Preparação e identificação dos tubos Eppendorf e nos vials.*



Fonte: Fredy Tello.

Figura 21: *Separação da fase sólida na centrífuga (15.000 g a 4 °C por 15 minutos).*



Fonte: Fredy Tello.

Figura 22 - *Preparação nos vials para a análise.*

Fonte: Fredy Tello.

Figura 23 - *Preparação nos vials para a análise.*

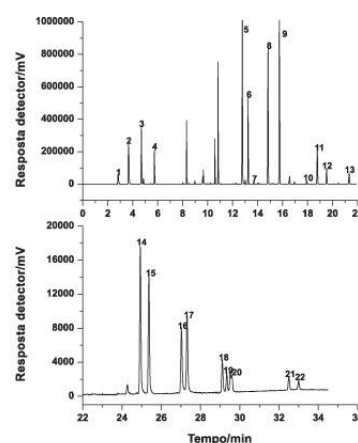
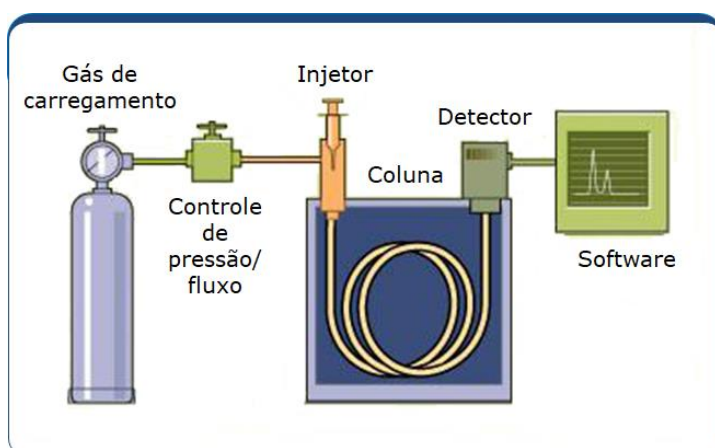
Fonte: Fredy Tello.

Figura 24 - Análise das amostras na Cromatografia Gasosa (GC), cromatógrafo Marca SHIMADZU, Modelo GC-2014, Serie C119451-00513, equipado com um detector de índice de refração RID-6A e uma coluna Nukleogel ION 300 OA com uma pré-coluna (Macherey-Nagel GmbH & Co. KG, Düren, Alemanha).



Fonte: Fredy Tello.

Figura 25: Cromatograma de análise das amostras de DA.



Fonte: DCTECH, 2023.²

² DCTECH. Disponível em: <https://www.dctech.com.br/entendendo-um-sistema-de-cromatografia-gasosa-cg/>. Acesso em 14 de 08 de 2023.

CAPÍTULO 5

Discussão dos resultados

5.1 Produtos gerados durante a fermentação

A determinação dos ACCCs para as cinco amostras foi realizada em sete momentos, sendo no dia zero (início) e nos dias 2, 4, 7, 10, 15 e 21 para as duas rotas experimentais.

Os cinco experimentos, realizados em triplicata, foram com inóculo puro, inóculo mais celulose microcristalina, inóculo mais torta de filtro, inóculo mais dois tipos de resíduos do processamento de mandioca.

Os ACCCs identificados nas amostras foram: Ácido Acético, Ácido Propiônico, Ácido Isobutírico, Ácido Butírico, Ácido Isovalérico e Ácido Valérico. Seguindo a sequência analítica descrita no item 5.1, as concentrações dos ácidos carboxílicos Ácido Acético, Propiônico, Isobutírico, Butírico, Isovalérico e Valérico foram verificadas. As análises foram apresentadas após cromatografia em concentrações de milimol por litro [mMol/L] e foram transformadas para miligramas do respectivo AC gerado a partir de uma grama da matéria seca orgânica (MSO) do substrato, também denominado como sólidos voláteis [mg/g_{MSO}].

As tabelas 3 e 4 mostram as médias das análises em triplicata para a torta de filtro da indústria de processamento de cana-de-açúcar para as duas rotas experimentais distintas. Rota A com processo de fermentação anaeróbia com inóculo para biogás, e a rota B com o mesmo inóculo com metanogênicas desativadas e a maior proporção de MSO do substrato no experimento, ver figuras 26 e 27. Esse resíduo mostrou os melhores resultados de produção de AC.

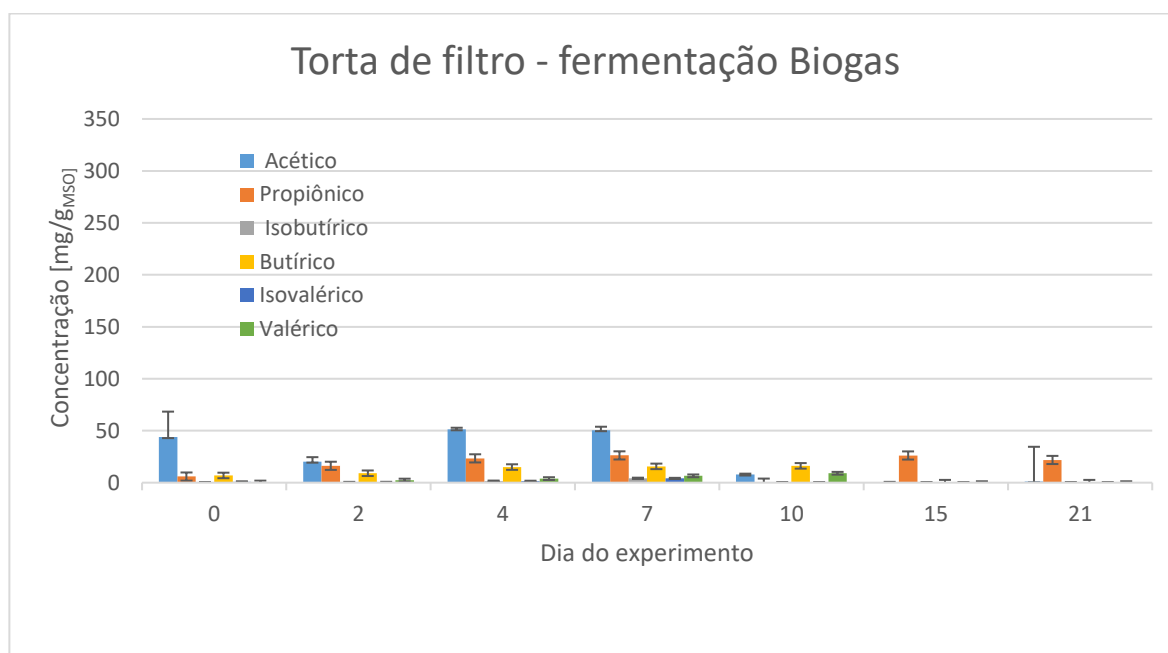
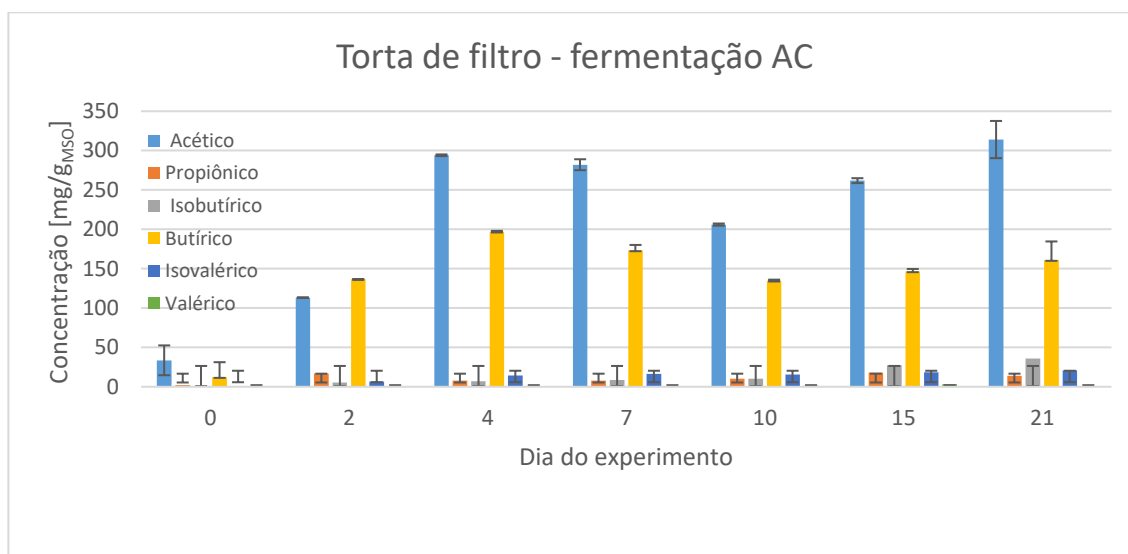
Tabela 3 - *Análise de ácidos carboxílicos nas amostras da rota A (biogás) para torta de filtro*

Torta de filtro	[mg/g _{MSO}]														
Dias de Coleta	0	□	2	□	4	□	7	□	10	□	15	□	21	□	
Ácido Acético	44	24	20	33	51	33	51	16	8	5	0	3	1	2	
Ácido Propiônico	6	4	16	6	23	6	26	7	0	7	26	9	22	7	
Ácido Isobutírico	0	1	0	1	1	1	4	5	0	4	0	2	0	2	
Ácido Butírico	7	3	9	5	15	5	16	4	16	6	0	5	0	0	
Ácido Isovalérico	1	1	0	1	1	1	4	5	0	7	0	1	0	5	
Ácido Valérico	1	1	2	1	4	1	7	4	9	11	0	0	0	0	

Tabela 4 - *Análise de ácidos carboxílicos nas amostras da rota B (AC) para torta de filtro*

Torta de filtro	[mg/g _{MSO}]														
Dias de Coleta	0	□	2	□	4	□	7	□	10	□	15	□	21	□	
Ácido Acético	34	19	113	24	294	16	282	47	206	35	262	13	314	33	
Ácido Propiônico	2	0	17	1	8	9	8	9	10	1	18	5	14	3	
Ácido Isobutírico	1	1	5	2	7	1	9	1	10	1	27	9	36	12	
Ácido Butírico	12	7	137	41	197	8	173	20	135	22	147	23	161	35	
Ácido Isovalérico	0	1	6	3	14	1	16	2	15	3	18	2	21	3	
Ácido Valérico	0	3	0	2	0	0	0	3	2	1	3	2	0	4	

As representações gráficas nas figuras 26 e 27 auxiliam na interpretação visual dos resultados.

Figura 26 - Ácidos carboxílicos na rota A com inóculo para a produção de biogás.**Figura 27** - Ácidos carboxílicos na rota B com inóculo para a produção de AC.

A concentração de ácidos carboxílicos aumentou de forma significativa nas amostras da rota B, onde houve uma inibição dos microorganismos metanogênicos por uma esterilização parcial através de um aquecimento para 90 °C por 1 hora, um pH abaixo de 6,6 e uma proporção de MSO fornecido pelo inóculo e pelo substrato de 1:3, quando o inóculo da rota A não recebeu esse tratamento térmico, o pH era 7,0 e a MSO fornecido pelo inóculo e pelo substrato era de 2:1. Os valores mais significantes foram observados para os teores de ácido acético e de

ácido butírico, aumentando no dia 4 do experimento na rota A para rota B no caso de ácido acético de 51 mg/g_{M_{SO}} para 294 mg/g_{M_{SO}}, e no caso de ácido butírico de 15 mg/g_{M_{SO}} para 197 mg/g_{M_{SO}}.

Depois dessa data os teores do ácido acético ficam na mesma faixa, e do ácido butírico ficaram mais baixos.

Os outros ácidos não foram observados em concentrações tão significantes, com exceção de ácido isobutírico que foi observado com um aumento de 0 mg/g_{M_{SO}} (rota A) para 36 mg/g_{M_{SO}} (rota B) no dia 21 do experimento, e o ácido isovalérico que aumentou de 0 mg/g_{M_{SO}} (rota A) para 21 mg/g_{M_{SO}} (rota B) no dia 21 do experimento.

Isso mostra que o processo de fermentação foi pelo menos parcialmente inibido antes da fase de metanização. Seria interessante otimizar o processo tendo em vista a adaptação do microbioma para esse substrato, a variação dos parâmetros físico-químicos do processo e realizar experimentos de fluxo contínuo.

Uma primeira estimativa com os resíduos de uma indústria de cana-de-açúcar, com um processamento de cerca de 2.000.000 t/ano de cana, deixando cerca 80.000 t/ano de torta de fil-tro que poderia ser aproveitado para a transformação para AC, biogás e adubo.

O teor de matéria seca orgânica encontra-se na faixa de 13% (LEITE et al., 2015), resultando em 10.400 t de MSO por ano, dos quais cerca 50% poderiam ser transformadas para ácidos carboxílicos nesse processo relativamente simples.

Os gráficos 28 e 29 mostram a produção dos ACCCs (Ácido Acético, Ácido Propiônico, Ácido Isobutírico, Ácido Butírico, Ácido Isovalérico e Ácido Valérico) com a respectivas concentrações em porcentagens (%) nas rotas A e B:

Figura 28 - Ácidos carboxílicos na rota A

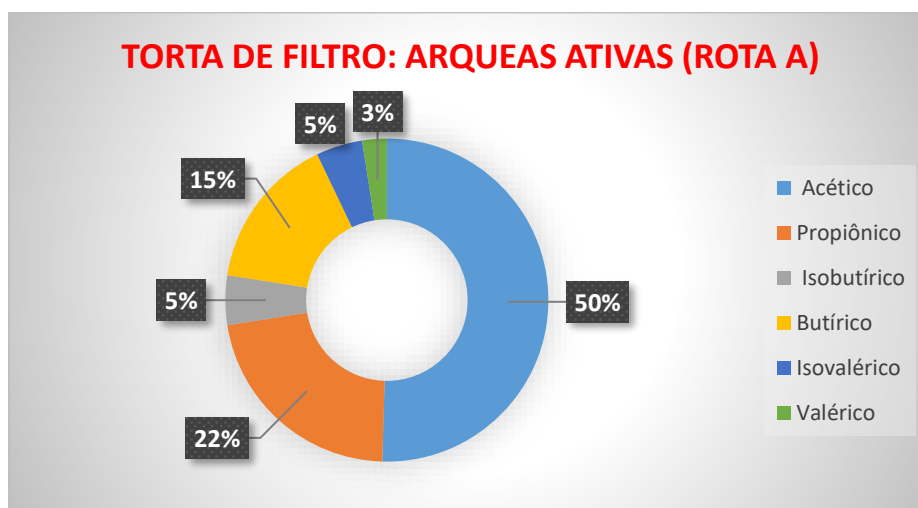
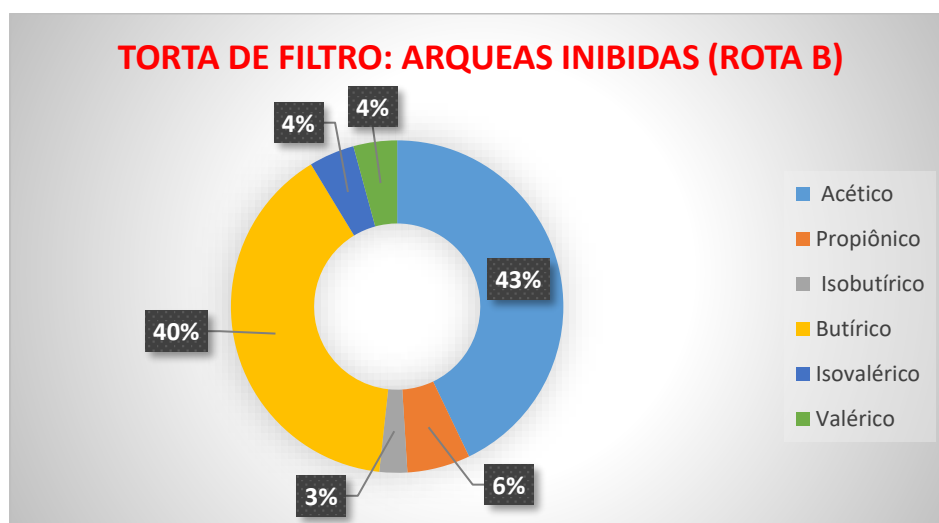
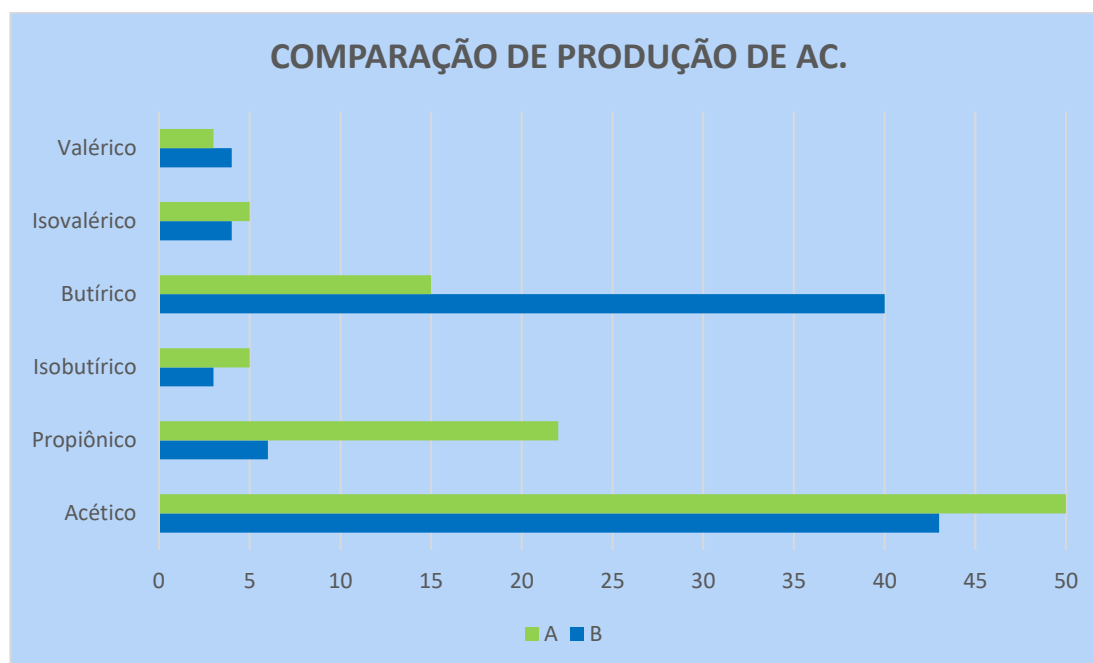


Figura 29 - Ácidos carboxílicos na rota B

O gráfico da figura 30 compara os resultados nas duas rotas (A e B), podendo-se observar a eficácia da inibição das arqueas metanogênicas na produção do Ácido Acético e Ácido Butírico na rota B.

Figura 30 - Comparação de Produção de ACCs nas rotas A e B.

5.2 Métodos e resultados

5.3

Os procedimentos foram realizados em triplicata e os resultados iniciais mostram a viabilidade dos experimentos, mas ainda potenciais para melhorias nos procedimentos experimentais, entre eles, os seguintes:

- i. Os ajustes de pH com ácido clorídrico HCl das misturas para os experimentos de fermentação precisam de um apoio de um agitador automático (magnético) – que já foi empregado após uns pré-testes para os procedimentos experimentais;
- ii. Os métodos analíticos para os carboxilatos desenvolvidos na Escola de Veterinária da UFG foram testados, mas como o método é bem estabelecido e validado para outros produtos de fermentação anaeróbia oriundo de rúmen bovino, essa foi aprovado pelo grupo internacional dos pesquisadores deste projeto;
- iii. Os resultados mais relevantes em relação com a produção de ACCCs foram obtidos utilizando a torta de filtro como substrato.

O método de análise das amostras deste trabalho de fermentação, anaeróbia coincide com as características de desempenho de um método de análise, que envolvem qualidades funcionais e medidas estatísticas que indicam a confiabilidade do método em condições operacionais específicas. As qualidades funcionais incluem seletividade, aplicabilidade e confiabilidade, expressa nos estudos de: AOAC Guidelines for Single Laboratory Validation Dietary Supplements and Botanicals (AOAC, 2002).

Na validação de métodos cromatográficos, são avaliados parâmetros analíticos, incluindo seletividade, linearidade, precisão, exatidão, faixa linear, robustez, limite de detecção e limite de quantificação. Estes são referidos como parâmetros de desempenho analítico, características de desempenho ou, ocasionalmente, figuras analíticas de mérito, segundo ARAGÃO; VELOSO; ANDRADE (2009). Validação De Métodos Cromatográficos De Análise-Um Experimento De Fácil Aplicação Utilizando Cromatografia Líquida De Alta Eficiência (CLAE) e Os Princípios Da “Química Verde” na Determinação De Metilxantinas Em Bebidas.³

³ In *Quim. Nova* (Vol. 32, Issue 9).

No processo de análise das amostras, a validação, com ênfase nas características de desempenho, assegura a relevância das diferenças identificadas nas amostras, enquanto controles de qualidade corroboram a estabilidade do método. Os resultados esclareceram os limites de detecção, sugeridos por EURACHEM GUIDE (2014)⁴.

A validação de procedimentos analíticos destina-se a garantir a identidade de uma substância a analisar numa amostra. Isto é normalmente conseguido através da comparação de uma propriedade da amostra (por exemplo, espectro, comportamento cromatográfico, etc.) com a de um padrão de referência (ICH-HARMONISED TRIPARTITE GUIDELINE, 2005).⁵

No processo de análise das amostras, os parâmetros de validação que devem ser avaliados incluem a: seletividade, linearidade, precisão, exatidão, limite de detecção e limite de quantificação. O responsável pelo laboratório registrou os resultados obtidos, o procedimento utilizado para a validação e uma declaração de que o método é ou não adequado para o uso pretendido, determinado por INMETRO - Instituto Nacional de metrologia (INMETRO, 2016).⁶

A validação laboratorial utilizando a cromatografia gasosa (GC) para a determinação de ácido graxos de cadeia curta em amostra de líquido ruminal, demonstrou resultados eficientes e produtivos revelando a qualidade do método através de testes estatísticos, segundo SILVA; De PAIVA; REZENDA, (2021).⁷

Outro método de produção de ácidos carboxílicos ocorre pelo tratamento eletrolítico em um fluxo de oxidação constante ou variável, possibilitando a extração e isolamento eficientes dos ácidos carboxílicos desejados contidos nos referidos líquidos de produto. Este método procura a recuperação eficaz de líquidos de produto

⁴ *The fitness for purpose of analytical methods: a laboratory guide to method validation and related topics* (2nd ed.).

⁵ *International conference of technical requirements for registration of pharmaceuticals for human use tripartite guideline validation of analytical procedures: text and methodology* q2(r1).

⁶ Coordenação Geral de Acreditação ORIENTAÇÃO SOBRE VALIDAÇÃO DE MÉTODOS ANALÍTICOS DOQ-CGCRE-008.

⁷ Validação laboratorial de Métodos quantitativos cromatográficos para a determinação de Ácidos Graxos de Cadeia Curta em amostras de Líquido Ruminal. Instituto de Química, Departamento de Zootecnia Da UFG (DZO-UFG), Goiânia- GO.

contendo ácidos carboxílicos, proporcionando uma solução integral para a produção desses compostos orgânicos, com potenciais aplicações em diversos setores industriais (HARNISCH *et al.*, 2015. Mencionando a norma WO 2016/012279 para preparo de compostos orgânicos.

Para produzir os compostos orgânicos desejados, os ácidos carboxílicos de cadeia curta e média com comprimento de cadeia de 2 a 16 átomos de carbono podem ser produzidos pelo método através da fermentação da biomassa para obter líquidos de produto que contenham misturas de ácidos carboxílicos de cadeia curta e média. Em seguida, esses líquidos de produto são submetidos a um tratamento eletrolítico (HARNISCH *et al.*, 2016. Mesmo a patente alemã DE102014214582A120160128 – *de processo de produção de compostos orgânicos*.

A determinação da produção de ACCC por cromatografia gasosa neste trabalho foi idêntica ao utilizada por STRÄUBER *et al.*: Os produtos formados durante a fermentação acidogênica da silagem de milho como modelo de substrato em um processo de leito de lixiviação foram determinados por cromatografia líquida e de gás. Concluindo que a composição do metabólito resultante da acidogênese afeta o desempenho metanogênico subsequente, o controle do processo deve se concentrar na hidrólise/acidogênese quando os substratos sólidos são digeridos (STRÄUBER; SCHRÖDER; KLEINSTEUBER, 2012)⁸.

Para a produção de Ácidos Graxos fizemos a inibição das arqueas metanogênicas, visando controlar o pH, já STRÄUBER *et al* adicionou aditivos alcalinos de ferro e manganês, para melhorar o desempenho da comunidade microbiana. A adição de Fe(OH)₃ ou Mn(OH)₂ puro levou a rendimentos menores, mas aumentou a produção de AGCM promovendo a presença de bactérias dessa função metabólica (STRÄUBER *et al.*, 2018).⁹

Pesquisas paralelas a nossa, utilizam conversões microbianas e eletroquímicas, o processo proposto converte ácidos carboxílicos (CAs) provenientes da biomassa em

⁸ *Energy, Sustainability and Society*, 2(1), 13. <https://doi.org/10.1186/2192-0567-2-13>. Metabolic and microbial community dynamics during the hydrolytic and acidogenic fermentation in a leach-bed process.

⁹ *Engineering in Life Sciences*, 18(7), 447–458. <https://doi.org/10.1002/elsc.201700186>

alcanos densos em energia. Eficiências coulômbicas de até 80% foram alcançadas, destacando a viabilidade do processo. A conversão eletroquímica é mais rápida do que a fermentação, permitindo eletrólise intermitente durante excesso de energia elétrica. O produto final é adequado como combustível drop-in, sem necessidade de processamento adicional (URBAN *et al.*, 2017).¹⁰

Em outros estudos realizados, o potencial de duas culturas de enriquecimento lignocelulolíticas tolerantes a álcalis para aprimorar a fermentação anaeróbica da palha de trigo pré-tratada com $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Observou-se um aumento de 36% no potencial de biometano da palha pré-tratada em comparação com a não tratada. Em fermentadores acidogênicos, houve um aumento significativo na produção de ácidos graxos voláteis (AGV) e CO_2 , ao usar palha pré-tratada em comparação com a não tratada. A substituição do inóculo padrão por uma das culturas de enriquecimento resultou em aumentos adicionais de 36% na produção de AGV e 110% na produção de gás, principalmente CO_2 (STRÄUBER *et al.*, 2015).¹¹

Os biorreatores utilizados na nossa pesquisa imitam o sistema intestinal de animais, devido às suas semelhanças com processos biotecnológicos em lignocelulose, pode servir como um modelo ideal para uma avançada biorrefinaria de degradação de lignocelulose. Segundo OZBAYRAM *et al.* (2020)¹², as propriedades do intestino, sua estrutura físico-química, oferecem um guia para o projeto do processo, enquanto o consórcio microbiano pode ser empregado como recurso genético em biorreatores em grande escala.

¹⁰ *Energy & Environmental Science*, 10(10), 2231–2244. <https://doi.org/10.1039/C7EE01303E>

¹¹ *Bioengineering*, 2(2), 66–93. <https://doi.org/10.3390/bioengineering2020066>

¹² *Applied Microbiology and Biotechnology*, 104(2), 489–508. <https://doi.org/10.1007/s00253-019-10239-w>

Conclusões

- i. Foram testadas rotas tecnológicas para o aproveitamento de resíduos orgânicos disponíveis no Estado de Goiás, Brasil, por meio da tecnologia de Digestão Anaeróbia (DA) para geração de produtos químicos de base (*platform chemicals*), especialmente carboxilatos.
- ii. Os resíduos orgânicos para a produção de Ácidos Carboxílicos na escala laboratorial, foram a torta de filtro e a entrecasca de mandioca; utilizando esterco bovino fresco como inóculo, com arqueas metanogênicas desativadas em reatores anaeróbicos.
- iii. Os resultados relevantes de produção de ACCCs foram obtidos utilizando a torta de filtro como substrato, sendo identificados o Ácido Acético (43%), Ácido Propiônico (6%), Ácido Isobutírico (3%), Ácido Butírico (40%), Ácido Isovalérico (4%) e Ácido Valérico (4%);

Perspectivas de continuação e desdobramento

- As metodologias experimentais de fermentação anaeróbia em batelada podem ser desdobradas para outras pesquisas, incluindo experimentos em reatores de fluxo semi-contínuo;
- Os resultados alcançados poderiam servir como base para o desenvolvimento de tecnologias futuras no âmbito de conceito de bioeconomia;
- Foram identificadas biomassas promissoras no Brasil para a produção de alguns produtos químicos de base (*platform chemicals*) e poderiam servir como base para o desenvolvimento de novas cadeias de valor; e
- Um exemplo é a solicitação de uma empresa de gases técnicas (Supergasbras), que está interessada na continuação desse projeto com o intuito de produzir por exemplo butano a partir de torta-de-filtro de cana de açúcar ou outros resíduos, baseado no processo de fermentação pesquisado, que mostrou possibilidades para a geração de ácido butírico em grande quantidade na forma sustentável.

Referências

- ALREFAI, A. M., ALREFAI, R., BENYOUNIS, K. Y., & STOKES, J. (2020). Impact of starch from cassava peel on biogas produced through the anaerobic digestion process. *Energies*, 13(11). <https://doi.org/10.3390/en13112713>
- AGLER, M. T., WRENN, B. A., ZINDER, S. H., & ANGENENT, L. T. (2011). Waste to bioproduct conversion with undefined mixed cultures: The carboxylate platform. In *Trends in Biotechnology* (Vol. 29, Issue 2, pp. 70–78). <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2010.11.006>
- AOAC Guidelines for Single Laboratory Validation Dietary Supplements and Botanicals. (2002).
- ARAGÃO, N., VELOSO, M., & ANDRADE, J. (2009). Validação De Métodos Cromatográficos De Análise-Um Experimento De Fácil Aplicação Utilizando Cromatografia Líquida De Alta Eficiência (CLAE) E Os Princípios Da “Química Verde” Na Determinação De Metilxantinas Em Bebidas. In *Quim. Nova* (Vol. 32, Issue 9).
- BELÉM, D. de L. BRAGA, M. ALMEIDA, J. R. M. de. Análise evolutiva dos ácidos carboxílicos de base biológica na indústria internacional. ENCONTRO DE PESQUISA E INOVAÇÃO DA EMBRAPA AGROENERGIA, 6., 2020, Brasília, DF. Anais... Brasília, DF: Embrapa, 2020. p. 246-253. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1127036>. Acesso em 03/11/2022.
- BERNARDINO, C. A. R.; MAHLER, C. F.; VELOSO, M. C. C.; ROMEIRO, G. A.; & SCHROEDER, P. (2018). Torta de Filtro, Resíduo da Indústria Sucroalcooleira-Uma Avaliação por Pirólise Lenta Filter Cake, Residue of the Sugarcane Industry-A Evaluation by Slow Pyrolysis. In *Rev. Virtual Quim* (Vol. 10, Issue 3). <http://rvq.sbq.org.br>.
- CIBIOGÁS – Centro Internacional de Energias Renováveis - Biogás. (2022). *PANORAMA DO BIOGÁS NO BRASIL - 2021*. <https://cibiogas.org/wp-content/uploads/2022/04/NT-PANORAMA-DO-BIOGAS-NO-BRASIL-2021.pdf>. Acesso em 03/06/2023.
- DE GROOF, V.; COMA, M.; ARNOT, T.; LEAK, D.J.; LANHAM, A.B. (2019) Medium Chain Carboxylic Acids from Complex Organic Feedstocks by Mixed Culture Fermentation. *Molecules*, v. 24, n. 3, p. 398. <https://doi.org/10.3390/molecules24030398>.
- EURACHEM GUIDE.; MAGNUSSON, B; ÖRNEMARK, U. (2014.) The Fitness for Purpose of Analytical Methods – A Laboratory Guide to Method Validation and Related Topics, (2nd ed. 2014). ISBN 978-91-87461-59-0. Available from www.eurachem.org
- FDEZ-GÜELFO, L.A.; ÁLVAREZ-GALLEGO, C.; SALES, D.; ROMERO, L.I. (2011) The use of thermochemical and biological pretreatments to enhance organic matter hydrolysis and solubilization from organic fraction of municipal solid waste (OFMSW). *Chemical Engineering Journal*, v. 168, n. 1, p. 249-254. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2010.12.074>.
- FORMANN, S., HAHN, A., JANKE, L., STINNER, W., STRÄUBER, H., LOGROÑO, W., & NIKOLAUSZ, M. (2020). Beyond Sugar and Ethanol Production: Value Generation

Opportunities Through Sugarcane Residues. *Frontiers in Energy Research*, 8 (November), 1–21. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2020.579577>

FRICK, F. M. (2018). Efeito da adição fracionada de Torta de Filtro na digestão anaeróbia da vinhaça. Dissertação (mestrado), Programa de Pós-Graduação em Bioenergia - Universidade Federal de Paraná, Palotina, PR.

GRESES, S., TOMÁS-PEJÓ, E., & GÓNZALEZ-FERNÁNDEZ, C. (2020). Agro-industrial waste as a resource for volatile fatty acids production via anaerobic fermentation. *Biore-source Technology*, 297, 122486. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122486>

GROOTSCHOLTEN, T.I.M.; STEINBUSCH, K.J.J.; HAMELERS, H.V.M.; BUISMAN, C.J.N. (2013) High rate heptanoate production from propionate and ethanol using chain elongation. *Biore-source Technology*, v. 136, p. 715-718. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.02.085>

GUSTAFSSON, M., & AMMENBERG, J. (2022). (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY BIOENERGY - IEA) *Bioenergy Task 37-A perspective on the state of the biogas industry from selected member countries*. Disponível em: http://task37.ieabioenergy.com/country-reports.html?file=files/daten-redaktion/download/publications/country-reports/Summary/IEA_T37_CountryReportSummary_2021_neu.pdf
Acesso em: 01/11/2022

HARNISCH, F., MORGADO, F., STRÄUBER, H., KLEINSTEUBER, S., DOS SANTOS, T. R., & SCHRÖDER, U. (2015). *WO 2016/012279 A1 Method for preparing organic compounds*.

HARNISCH, F., ROSA, L., MORGADO, F., STRÄUBER, H., KLEINSTEUBER, S., ZECHENDORF, M., DOS SANTOS, T. R., & SCHRÖDER, U. (2016). *DE102014214582A120160128 - Verfahren zur Herstellung von organischen Verbindungen*. (Patente)

ICH-HARMONISED TRIPARTITE GUIDELINE. (2005). *International conference of technical requirements for registration of pharmaceuticals for human use tripartite guideline validation of analytical procedures: text and methodology q2(r1)*.

INMETRO - Instituto Nacional de metrologia. (2016). *Coordenação Geral de Acreditação ORIENTAÇÃO SOBRE VALIDAÇÃO DE MÉTODOS ANALÍTICOS DOQ-CGCRE-008*.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY BIOENERGY (IEA BIOENERGY). (2017) *IEA Bio-energy Task 37–Country Reports Summary 2016*. [s.l.: s.n.].

LEITE, A. F., JANKE, L., HARMS, H., ZANG, J. W., FONSECA-ZANG, W. A., STINNER, W., & NIKOLAUSZ, M. (2015). Assessment of the Variations in Characteristics and Methane Potential of Major Waste Products from the Brazilian Bioethanol Industry along an Operating Season. *Energy and Fuels*, 29(7), 4022–4029. <https://doi.org/10.1021/ef502807s>

MABECUA, F., SCHWEDE, S., LUCAS, C., & KLINTENBERG, P. (2021). Agro-waste, a solution for rural electrification? Assessing biomethane potential of agro-waste in

inhambane province, southern mozambique. *Water (Switzerland)*, 13(7). <https://doi.org/10.3390/w13070939>

MARTINEZ, D. G., FEIDEN, A., BARICCATTI, R., & ZARA, K. R. DE F. (2018). Ethanol production from waste of cassava processing. *Applied Sciences (Switzerland)*, 8(11). <https://doi.org/10.3390/app8112158>

MCTI - Ministério da Ciência e Tecnologia e Inovações. (2020). Indústria de processamento de mandioca: da raiz ao biogás. In *Global Environmental Facility (GEF Brasil): Projeto Aplicações do Biogás na Agroindústria Brasileira*. (pp. 1–32). Centro Internacional de Energias Renováveis (CIBiogás).

NEVES, C. DA S., & SOUZA, F. P. (2019). Caracterização da água residual do processamento da mandioca (*Manihot esculenta*) visando a produção de biogás. In *Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA* (pp. 1–72). Energias Renováveis e Meio Ambiente.

OZBAYRAM, E. G., KLEINSTEUBER, S., & NIKOLAUSZ, M. (2020). Biotechnological utilization of animal gut microbiota for valorization of lignocellulosic biomass. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 104(2), 489–508. <https://doi.org/10.1007/s00253-019-10239-w>

PANDA, I (2022, May 12). *Anaerobic Respiration and Its Applications*. <https://ivypanada.com/essays/anaerobic-respiration/> Acesso em: 13/12/2023

PHAM VAN, D.; HOANG, M.G.; PHU, S.T.P.; FUJIWARA, T. (2018) Kinetics of carbon dioxide, methane and hydrolysis in co-digestion of food and vegetable wastes. *Global Journal of Environmental Science and Management*, v. 4, n. 4, p. 401-412. <https://doi.org/10.22034/gjesm.2018.04.002>

QUEVEDO DE LIMA, HELENO. *Qual é a importância do teor de sólidos para produção de biogás? - Parâmetros Da Digestão Anaeróbia*, Energia e Biogás. 05 janeiro de 2021. Seção Ilustrada. Disponível em: <https://energiaebiogas.com.br/qual-e-a-importancia-do-teor-de-solidos-para-producao-de-biogas>. Acesso em: 13/11/2022

RAMIO-PUJOL S, GANIGUÉ R, BAÑERAS L, COLPRIM J, *How can alcohol production be improved in carboxydophilic clostridia?* *Process Biochemistry* (2015), <http://dx.doi.org/10.1016/j.procbio.2015.03.019>

ROGERIO, F.A., BARBOSA, S. M., GOMES, C. E., Ácidos orgânicos: dos Primórdios na Química experimental a sua presença em nosso cotidiano. São Paulo – SP, Química na Nova escola N° 15, maio 2002.

SACHO DUARTE, S., ZANG FONSECA, W. A., ZANG JOACHIM, W., & RIBEIRO HORA, K. E. Produção científica sobre o biogás dos resíduos do beneficiamento da mandioca no Brasil: características e abordagens. (2022). <https://doi.org/10.5902/2236117068531>

SILVA, A. DE S. E, MORAIS, N. W. S., PEREIRA, E. L., & SANTOS, A. B. DOS. (2020). Fatores que influenciam a produção de ácidos carboxílicos a partir de resíduos agroindustriais. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 25(5), 655–666. <https://doi.org/10.1590/s1413-4152202020190174>

SILVA, A., de PAIVA, M., & REZENDA, V. (2021). Validação laboratorial de Métodos quantitativos cromatográficos para a determinação de Ácidos Graxos de Cadeia Curta em amostras de Líquido Ruminal. *Instituto de Química, Departamento de Zootecnia Da UFG (DZO-UFG), Goiânia- GO*.

STRÄUBER, H., SCHRÖDER, M., & KLEINSTEUBER, S. (2012). Metabolic and microbial community dynamics during the hydrolytic and acidogenic fermentation in a leach-bed process. *Energy, Sustainability and Society*, 2(1), 13. <https://doi.org/10.1186/2192-0567-2-13>

STRÄUBER, H., BÜHLIGEN, F., KLEINSTEUBER, S., & DITTRICH-ZECHENDORF, M. (2018). Carboxylic acid production from ensiled crops in anaerobic solid-state fermentation - trace elements as pH controlling agents support microbial chain elongation with lactic acid. *Engineering in Life Sciences*, 18(7), 447–458. <https://doi.org/10.1002/elsc.201700186>

STRÄUBER, H., BÜHLIGEN, F., KLEINSTEUBER, S., NIKOLAUSZ, M., & PORSCHE, K. (2015). Improved Anaerobic Fermentation of Wheat Straw by Alkaline Pre-Treatment and Addition of Alkali-Tolerant Microorganisms. *Bioengineering*, 2(2), 66–93. <https://doi.org/10.3390/bioengineering2020066>

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR E BIOENERGIA (Unica) Moagem de cana registra crescimento de 3% na safra 22/23. Disponível em: (<https://unica.com.br/noticias/moagem-de-cana-registra-crescimento-de-3-na-safra/>). Acesso em: 17/03/2023.

URBAN, C., XU, J., STRÄUBER, H., DOS SANTOS DANTAS, T. R., MÜHLENBERG, J., HÄRTIG, C., ANGENENT, L. T., & HARNISCH, F. (2017). Production of drop-in fuels from biomass at high selectivity by combined microbial and electrochemical conversion. *Energy & Environmental Science*, 10(10), 2231–2244. <https://doi.org/10.1039/C7EE01303E>

VOLLHARDT, Peter. Química orgânica (recurso eletrônico): estrutura e função. Tradução Flávia Martins (*et al.*). 6ª edição. Porto Alegre: Ed. Bookman, 2013.

ZHOU, M.; YAN, B.; WONG, J.W.C.; ZHANG, Y. (2018) Enhanced volatile fatty acids production from anaerobic fermentation of food waste: A mini-review focusing on acidogenic metabolic pathways. *Bioresource Technology*, v. 248, parte A, p. 68-78. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.06.121>

Apêndice A:

Preparação De Substratos

Imagens e fotos dos processos, materiais e equipamentos necessários para a preparação dos substratos utilizados na pesquisa.

Figura A1- Amostras de torta de filtro e de bagaço de cana de açúcar “in natura”.



Figura A2- Calcinação inicial da torta de filtro e de bagaço de cana de açúcar.



Figura A3- Calcinação completa da torta de filtro e de bagaço de cana de açúcar a 550°C por 4 horas.



Figura A4- *Determinação de massa seca inorgânica (cinzas) da torta de filtro e do bagaço de cana de açúcar após a calcinação.*



Figura A5- *Preparação dos resíduos de mandioca: Entrecasca de mandioca.*



Figura A6- *Mandioca in natura.*



Figura A7- *Entre-casca da mandioca (resíduo a ser investigado).*



Testes de fermentação anaeróbia:

Nas fotos a seguir detalhamos os procedimentos da produção de ACCC, que inclui a coleta do inóculo, controle de pressão interna e externa nos reatores e coleta das amostras

Figura A8- *Coleta do Inóculo (esterco fresco bovino).*



Figura A9- *Reatores em banho maria a 38°C / Primeira coleta dia 0.*



Figura A10- *Coleta de dados cada 24 horas (Pressão e Temperatura). Geração de biogás.*



Figura A11- Última Coleta de dados (Pressão do reator com Inoculo e Torta de filtro).



Figura A12- Coleta Amostra dia 5 (Inóculo – Torta de filtro).



Apêndice B:

Revisão Bibliográfica Sistemática

Apêndice B- Artigos selecionados na revisão bibliográfica sistemática RBS.

Library Notebook				
FREDY TELLO				
(Groups) Fredy Tello Carboxylates				
AUTHORS	YEAR	TITLE	SOURCE	ADDED
Agler M,Wrem B,Zinder S, Angenent L	2011	Waste to Bioproduction Conversion undefined mixes cultures:The Carboxylate Platform	Trends Biotechnologic	14/05/2023
Aisien F, Aisien E	2002	Biogas from cassava pees wasle	Detritus	10/11/2022
alleraí A, Alleraí R,Benyounis K, Stokes J	2020	Impact starch from cassava peel on biogas produced through the anaerobic digestion process	Energies	10/11/2022
AOAC Guidelines_for_single_Laboratory	2014	Guidelines for single laboratory validation Dietary Supplements and botanicals		16/11/2022
Bernardino C, Mahler C, Veloso M, Rogeiro C, Schroeder P	2018	Torta de filtro,Residuo Da Indústria sucralcooleira -Uma Avaliação por Pirólise Lenta finter,	Rev Virtual quim	15/11/2022
CIBlogás -Centro Internacional de Energía Renovaveis -Biogas	2016	PANORAMA DO BIOGAS NO BRASIL -2021	Bioresourse Technology	07/06/2021
Eurachem Guide	2005	The fitnes for purpose of analytical methods:a laboratory guide to method validation	Energy & Environmental Science	23/03/2023
Fdez.-Guello L, Alvarez-Gallego C,Sales D, Romero L	2011	The use thermochemical and biological pretreatments to enhance organic matter hydrolysis	Chemical engineering journal	15/11/2022
Frick F	2018	Efeito da adição frasionada de tora de filtro na digestão anaerobia da binhaça		15/11/2022
Grootscholten T, SteinbushK, Hamelers H, Buisman C	2013	Hi rate heptanoate production from propionate and ethanol using chain elongation	Bioresourse Technology	15/11/2022
Gustafsson M, Ammerberg J	2022	IEA Bioenergy Task 37-A perspective on the state of the biogas industry form selected		15/11/2022
Harnisch F, Morgado F, Sträuber H, Kleinsteuber S,	2010	WO 2016012279 A1 Metod for Preparing organic compounds		23/03/2023
Harnisch F, Rosa L, Morgado F, Sträuber	2016	DE 102014214582A120160128 Verfaßern zue stellung Von Orgnishen Verbindungen	Applied microbiology and Biotechnology	23/03/2023
ICH HARMONISED TRIPARTITE GUIDELINE	2005	International Conference on harmonisation of Technical Requirements for Registration		16/11/2022
Huang L, Zhang X, Xu M, An S, Li C, Huang	2018	Enhaced volatile fatty acids productions form anaerobics fermentation of food waste	Bioresourse Technology	15/11/2022
INMETRO Instituto Nacional de Metrologia	2016	Coordenação Geral de Acreditação Orientação sobre validação de Metodos		20/11/2022
Kouadio Francis K, Levouau Y, Agboue A	2020	Determinação do potencial metanogênico dos resíduos de mandioca	International Journal of Ecosystem and eco	10/11/2022
Lanshe J, Awiszus S, Latif S, Müller J	2020	Potential of biogas production from processing rsidues to reduce	Applied Sciences (Switzerland)	10/11/2022
Leite a, Janke L, Harms H, Zang J,	2015	Assesment of the Variations in characteristics and Methanel Potential	Energy and fuels	15/11/2022
Lerdlataporn R	2021	Implemeting circular economy concept by conveting cassava pulp and wastewater		10/11/2022
Machado de Aragão N, Bittercourt De Andrade J	2012	Validação de metodos cromatograficos de analise um experimento de facil		16/11/2022
Martinez D, Feiden A, Baricatti R, Zara K	2018	Ethanol production from waste of cassava processing	Applied Sciences (Switzerland)	10/11/2023
Mabecua F,schwede S, Lucas C, Klittenberg P	2021	Agro waste, a solution for rural electrification Assessing biomethane potential	Water (Switzerland)	10/11/2023
MCTI -Ministerio de Ciencia y Tecnología e Inovacoes	2020	Indústria e procesamiento de mandioca :da raiz ao biogas.		
Neves C Souza F	2019	Caracterização da agua residual do procesamiento da mandioca (manihot esculenta)	Universidades federal Rural Da Amazonia L	10/11/2022
Ozbayram E, Kleinsteuber S, Nicolausz M	2018	Biotechnological utilization of animal gut microbiota for valorization of lignocellulosic biomass		
Ozbayram E,Kleinsteinuber S, Nicolauzs M	2013	Biotechnological utilization of animal gut microbiota for valorization of lignocellulosic biomass		
Pham Van D,Hoang G,Pham Pu S, Fujiwara T	2018	Kinetics of carbon dioxide, methane anda hydrolysis in co-digestion of food and vegetable wastes	Global journal of Enviromental Science and	15/11/2022
Plajun R, Wanapat M	2018	Chemical Composition and in vitro gas production of fermeted cassava pulp with	Journal of applied Animal Research	10/11/2023
PROBIOGAS	2018	Guia pratico de Biogas -Geração e utilização		
QUEVEDO DE LIMA H	2021	Qual a e importancia do teor de solidos para produção de biogas?-Parametro da		15/11/2022
Ramió Pujol S, Ganigué R, Bañeras L, Colprim j	2015	Incubation at 25° prevents acid crash and enhances alcohol productions in clostridium		15/11/2022
Rocha M,Araújo D,Vitor J, Martins B	2018	Desenvolvimento de Plataformas Tecnológicas:O Caso das plataformas Químicas		
Rosariastuti R, Sumani S, Supriyadi S,	2017	The utilization of Modified cassava flour (Mocaf) Industrial Waste and Peat as Carrier of N	Microbioly Indonesia	10/11/2022
Sacho Duarte S, Zang Fonseca W, Zang Joachim W,	2018	Produção científica sobre biogas do resíduos do beneficiamento da mandioca no Brasil		
Sacho Duarte S, Zang Fonseca W, Zang Joachim	2021	Produções científica sobre biogas do resíduos do beneficiamento da mandioca no Brasil		
Sawyerri N, Trois S, Workneh T, Oyeboode O, Babatunde O.	2020	Desing of a household biogas digester using co-digested cassava, vegetable and fruit waste	Energy reports	10/11/2022
Serrano A, Siles J, Gutierrez, Hod C, Babu R,	2020	Calculation of Metane Production from volumetric measuremts		
Serrano A, Siles J, Gutierrez, Hod C, Babu R,	2020	Calculation of Metane Production from volumetric measuremts		
Silva A, Morais M,Pereira E, Santos A.	2020	Factores que influenciam a produção de acidos carboxilicos a partir de residuos	Engenharia Sanitaria e Ambiental	15/11/2022
Souza L, Zamboni M, Goundt S, Pasquolotto M,	2015	Composição química e degradabilidade ruminal de forragense subproduto	Biosense Journal	10/11/2022
Sträuber H, Bühligen F, Kleinsteinuber S,	2018	Produção de ácido caboxílico a partir de culturas ensiladas em fermentação anaerobiA	Engeneering in life sciences	15/11/2022
Sträuber H, Bühligen F, Kleinsteinuber S,	2015	Improved Anaerobic Fermentation of Wheat Straw by Alkaline Pre-Treatment		
Sträuber H, Bühligen F, Kleinsteinuber S,	2018	Carboxilyc acid production from ensiled crops in anaerobic solid state		
Sträuber H, Schröder M, Kleinsteinuber S	2017	Metabolic and microbial community dinamycs during the hydrolytic and acidogenic		
Urban C, Xu J, Sträuber H, dos Santos	2012	Production of drop infuel from biomas at high selectivity by combined microbial		
Wattanasilp C,Songrakorn R,	2021	Techno-Cost- Benefit Analysis of Biogas Production from Indusria Cassava Starch	Energies	10/11/2022
Weinnirch S, Schäfer F, Liebetreau J, BochmannG,		Value of bach test for biogas potential analysis method challenges of substrate		15/11/2022
Xo X, Soung W	2013	Aplication of full mesophilic anaerobic effluent recycling to ver high gravity	asian Journal of Chemistry	10/11/2022
Zang J, Markins K, Da Fonseca-Zang W	2018	Lyfe Cycle inventory for biomthane af a diesel substituto for the Brazilian	energy Procedia	12/11/2022
Zeoula L, Neto S, Branco A, Prado I,	2002	Mandioca e reissous das farinheiras na alimentação de ruminantes	Revista Brasileira de Zootecnia	10/11/2022
Zhou M, Yan B, Wong J, Zhang Y	2018	Enhaced volatile fatty acids productions form anaerobics fermentation of food waste	Bioresourse Technology	15/11/2022

Anexo A:

Workshop Internacional CarboxAiD no IFG em setembro de 2022, publicado pelo IFG.

Da esquerda: Joachim Zang (IFG), Marcell Nikolausz (UFZ, Alemanha), Orhan Ince (Universidade Tecnológica de Istanbul, Turquia), Adriana do Reis Ferreira (Diretora do campus Goiânia, IFG), María de Lourdes Mendoza Solórzano da Polytechnic University, Guayaquil, e Pablo Anthony Villa Alvarez, da Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), ambos do Equador, Fredy Tello Alex Idme (IFG), Warde A. da Fonseca-Zang (IFG).



Fonte: IFG, 2022. Disponível em: <https://ifg.edu.br/component/content/article/161-ifg/campus/goiania/noticias-campus-goiania/31496-visita-pesquisadores-carboxaid>

Anexo B:

Site do UFZ (Alemanha) do projeto CarboxAid, publicado pelo Centro alemão de pesquisa ambiental UFZ/HELMHOLTZ.

UFZ HELMHOLTZ
Centre for Environmental Research

Valorização de resíduos agrícolas via digestão anaeróbica: do biogás aos carboxilatos

Imprimir Dados privados PT Procurar ...

Visão geral Parceiros do projeto Publicações Eventos

Lar

carboxAiD

Aproximadamente um terço das emissões de gases com efeito de estufa está associada à agricultura, desde o fabrico de fertilizantes, ao tratamento inadequado de resíduos agrícolas até ao armazenamento e embalagem de alimentos. O tratamento inadequado dos resíduos agrícolas é considerado um factor importante.

A digestão anaeróbica (AD) é considerada uma excelente tecnologia para estabilização/tratamento de resíduos agrícolas e produção de energia renovável. No entanto, o valor económico global do metano produzido é bastante baixo, especialmente quando comparado com o valor potencial dos fluxos de resíduos. Neste projeto serão investigados vários resíduos agrícolas e diferentes estratégias para permitir uma mudança no processo de tratamento da AD para a fermentação anaeróbica, o que levará à produção de carboxilatos com maior valor económico.

A transição da DA convencional para a produção estável de carboxilato por meio de fermentação anaeróbica requer a abordagem de vários desafios, ou seja, inibição da metanogénese, recalcitrância do substrato, especificidade do produto e inibição do produto; que será o foco principal do projeto **carboxAiD**. A biomimética do sistema intestinal de animais especializados em dietas ricas em fibras, como ruminantes e insetos, incluindo formas de pré-tratamento da lignocelulose, fornecerá dicas e soluções adicionais para o conceito de biorrefinaria do **carboxAiD**.

Contato

Coordenador:
Marcell Nikolausz
Telefone +49 341 243 45 66
marcell.nikolausz@ufz.de

Notícias

Informações sobre novidades do projeto, como conferências, publicações,

Nossa mini-revisão foi publicada recentemente em Applied Microbiology and Biotechnology

Ozbayram, EG, Kleinstuber, S. & Nikolausz, M. Utilização biotecnológica da microbiota intestinal animal para valorização da biomassa lignocelulósica. Appl Microbiol Biotechnol 104, 489–508 (2020).
<https://doi.org/10.1007/s00253-019-10239-w>

Artigo na página inicial da revista

Acessos: 504 | modificado: 06.02.2020 | Resp.: - | webmaster

Visão geral Parceiros do projeto Publicações Eventos

Fonte: <https://www.ufz.de/carboxaid/index.php?en=46916>