

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

CRISLAINE DE SOUZA PIMENTEL  
ERIK GABRIEL PEREIRA AGUIAR

TRATAMENTO DE EFLUENTE BRUTO DE ABATEDOURO DE AVES,  
BAGAÇO DE MANDIOCA E MANIPUEIRA POR DIGESTÃO ANAERÓBIA

PALOTINA

2022

CRISLAINE DE SOUZA PIMENTEL  
ERIK GABRIEL PEREIRA AGUIAR

TRATAMENTO DE EFLUENTE BRUTO DE ABATEDOURO DE AVES,  
BAGAÇO DE MANDIOCA E MANIPUEIRA POR DIGESTÃO ANAERÓBIA

Monografia apresentada como requisito parcial à  
obtenção do título de Bacharel, Curso de  
Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia, Setor  
Palotina, Universidade Federal do Paraná.

Orientadora: Profa. Dra. Dilcemara Cristina Zenatti

PALOTINA

2022



UNIVERSIDADE FEDERAL  
DO PARANÁ

### ATA DE REUNIÃO

Aos seis dias do mês de maio de dois mil e vinte e dois, às quinze horas e trinta minutos, na Sala 19 do Bloco Didático IV, Universidade Federal do Paraná, Setor Palotina, realizou-se a Defesa Pública e Oral do Trabalho de Conclusão de Curso intitulado "Tratamento de Efluente Bruto de Abatedouro de Aves, Bagaço de Mandioca e Manipueira por Digestão Anaeróbia" apresentado pelos discentes Crislaine de Souza Pimentel e Erik Gabriel Pereira Aguiar, orientados pela Profa. Dra. Dilcemara Cristina Zenatti, como um dos requisitos obrigatórios para conclusão do curso de graduação em Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia. Iniciados os trabalhos, a orientadora e Presidente da Banca concedeu a palavra aos discentes, para exposição do trabalho. A seguir, foi concedida a palavra em ordem sucessiva aos membros da Banca de Exame, os quais passaram a arguir os discente. Ultimada a defesa, que se desenvolveu nos termos normativos, a Banca de Exame, em sessão secreta, passou aos trabalhos de julgamento, tendo atribuído aos discentes as seguintes notas: Profa. Dra. Dilcemara Cristina Zenatti, nota: 95 (noventa e cinco), Profa. Dra. Raquel Stroher, nota: 95 (noventa e cinco), e Profa. Dra. Tania Sila Campioni Magon, nota: 95 (noventa e cinco). A nota final dos discentes, após a média aritmética dos três membros da banca de exame, foi 95 (noventa e cinco). As considerações e sugestões feitas pela Banca de Exame deverão ser atendidas pelos discentes sob acompanhamento da orientadora. Nada mais havendo a tratar foi lavrada a presente ata, que, lida e aprovada, vai por todos assinada eletronicamente.



Documento assinado eletronicamente por **RAQUEL STROHER, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 06/05/2022, às 17:12, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **TANIA SILA CAMPIONI MAGON, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 12/05/2022, às 08:58, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **DILCEMARA CRISTINA ZENATTI, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 17/05/2022, às 18:24, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida [aqui](#) informando o código verificador **4465901** e o código CRC **840A1CF8**.



UNIVERSIDADE FEDERAL  
DO PARANÁ

### ATA DE REUNIÃO

Aos seis dias do mês de maio de dois mil e vinte e dois, às quinze horas e trinta minutos, na Sala 19 do Bloco Didático IV, Universidade Federal do Paraná, Setor Palotina, realizou-se a Defesa Pública e Oral do Trabalho de Conclusão de Curso intitulado "Tratamento de Efluente Bruto de Abatedouro de Aves, Bagaço de Mandioca e Manipueira por Digestão Anaeróbia" apresentado pelos discentes Crislaine de Souza Pimentel e Erik Gabriel Pereira Aguiar, orientados pela Profa. Dra. Dilcemara Cristina Zenatti, como um dos requisitos obrigatórios para conclusão do curso de graduação em Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia. Iniciados os trabalhos, a orientadora e Presidente da Banca concedeu a palavra aos discentes, para exposição do trabalho. A seguir, foi concedida a palavra em ordem sucessiva aos membros da Banca de Exame, os quais passaram a arguir os discente. Ultimada a defesa, que se desenvolveu nos termos normativos, a Banca de Exame, em sessão secreta, passou aos trabalhos de julgamento, tendo atribuído aos discentes as seguintes notas: Profa. Dra. Dilcemara Cristina Zenatti, nota: 95 (noventa e cinco), Profa. Dra. Raquel Stroher, nota: 95 (noventa e cinco), e Profa. Dra. Tania Sila Campioni Magon, nota: 95 (noventa e cinco). A nota final dos discentes, após a média aritmética dos três membros da banca de exame, foi 95 (noventa e cinco). As considerações e sugestões feitas pela Banca de Exame deverão ser atendidas pelos discentes sob acompanhamento da orientadora. Nada mais havendo a tratar foi lavrada a presente ata, que, lida e aprovada, vai por todos assinada eletronicamente.



Documento assinado eletronicamente por **RAQUEL STROHER, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 06/05/2022, às 17:15, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **TANIA SILA CAMPIONI MAGON, PROFESSOR DOMAGISTERIO SUPERIOR**, em 12/05/2022, às 08:57, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **DILCEMARA CRISTINA ZENATTI, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 17/05/2022, às 18:21, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida [aqui](#) informando o código verificador **4465904** e o código CRC **1AF7B9F5**.

Aos pesquisadores da Universidade Federal do Paraná que, independentemente das adversidades, continuam provendo ciência.

## **AGRADECIMENTOS**

Expressamos gratidão aos docentes e discentes do Curso de Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia do Setor Palotina da Universidade Federal do Paraná. Agradecemos a nossa orientadora professora Dilcemara Cristina Zenatti em aceitar esse desafio e nos oferecer tantos aprendizados, reflexões e conselhos. Aos nossos familiares, que são a nossa base, aos amigos que nos apoiaram em nossa caminhada até aqui e a todos aqueles que contribuíram para a realização deste estudo.

“O insucesso é apenas uma oportunidade para  
recomeçar com mais inteligência.”

Henry Ford

## RESUMO

As agroindústrias são protagonistas em agregar valor, gerar renda, emprego, riqueza e alimento e possuem um papel imponente com uma elevada produção, que gera enormes montantes de resíduos líquidos e sólidos com potencial de aproveitamento quando devidamente tratados. À vista disso, o presente trabalho tem como objetivo o tratamento dos resíduos da mandioca e efluente bruto de abatedouro de aves em diferentes frações misturadas e inoculadas com fração fixa de dejetos suínos para digestão anaeróbia. Os três reatores para o tratamento estiveram com frações de 45, 40 e 35% de efluente bruto de abatedouro de aves e manipueira combinados, de forma respectiva, com 10, 20 e 30% de bagaço de mandioca. A metodologia procedeu com a caracterização quantitativa inicial dos parâmetros físico-químicos dos resíduos, o experimento seguiu com a homogeneização das misturas e correção do pH utilizando bicarbonato de sódio ( $\text{NaHCO}_3$ ) e caracterização das amostras destrutivas derivadas dos reatores. Com 13 e 20 dias de operação, averiguou-se a remoção dos sólidos de forma significativa, modificações no pH, na condutividade, acidez volátil e alcalinidade total. Após os 20 dias, os reatores apresentaram uma relação AV/AT que infere a etapa de acetogênese sem geração de biogás. Apesar disso, concebe-se o tratamento satisfatório das misturas dos resíduos da mandioca e efluente de abatedouro de aves.

Palavras-chave: Agroindústria. Mandioca. Avicultura. Tratamento e aproveitamento de resíduos.

## ABSTRACT

The agroindustry is the protagonist when it comes to adding value to products, generate revenue, jobs, riches and aliments. Therefore it possesses an extremely substantial role, that comes with an elevated amount of products made, and attached to that are an even bigger amount of solid and liquid waste that can be utilized when properly treated. Thereby, this research refers to the treatment of cassava waste and poultry waste in distinct fractions by mixing and inoculating it with a fixed portion of swine waste in reactors to anaerobic digestion, as well as the eventual production of biogas. The experiment was conducted by using there mixtures of 45, 40 and 35% of the liquid wastes combined with 10, 20 and 30% of cassava bagasse, respectively. The procedure was initiated with quantitative characterization of physicochemical parameters of wastes, the experiment with the hominization and pH correction of the mixture of each reactor with sodium bicarbonate ( $\text{NaHCO}_3$ ), followed by the characterization the reactor's destructive samples. After 13 and 20 days of operation, was noticed an expressive removal of solids, modifications to the pH, conductivity, alkalinity and acidity levels were also observed. By the twentieth day of operation, there still was no confirmation on the biogas production. Therefore, using the findings of this study about the total alkalinity and volatile acidity relation, presupposes that the rectors are still in the acetogenic stadium. Nevertheless, the waste utilized is being treated.

Key-words: Agroindustry. Cassava. Poultry farming. Waste treatment and use.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – MERCADO MUNDIAL DE CARNE DE FRANGO .....	18
FIGURA 2 – EXPORTAÇÕES BRASILEIRAS DE CARNE DE FRAGO POR PRODUTO EM 2020 .....	18
FIGURA 3 – FLUXOGRAMA DO PROCESSAMENTO DA MANDIOCA E RESÍDUOS .....	21
FIGURA 4 – FLUXOGRAMA DO PROCESSAMENTO DE AVES E RESÍDUOS .....	22
FIGURA 5 – FLUXOGRAMA DE DIGESTÃO ANAERÓBIA.....	24
FIGURA 6 - AMOSTRAS DESTRUTIVAS DOS REATORES .....	29
FIGURA 7 - REATORES DE DIGESTÃO ANAERÓBIA COM APARATO .....	29
FIGURA 8 – GRÁFICO DE pH DOS REATORES .....	33
FIGURA 9 – GRÁFICO DE CONDUTIVIDADE DOS REATORES .....	34
FIGURA 10 - GRÁFICO DE ACIDEZ VOLÁTIL DOS REATORES .....	34
FIGURA 11 - GRÁFICO DE ALCALINIDADE DOS REATORES.....	35
FIGURA 12 - GRÁFICO DE SÓLIDOS TOTAIS.....	37
FIGURA 13 – GRÁFICO DE SÓLIDOS TOTAIS VOLÁTEIS.....	37
FIGURA 14 – GRÁFICO DE SÓLIDOS TOTAIS FIXOS.....	38

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – CARACTERIZAÇÃO DO BAGAÇO DA MANDIOCA .....	20
TABELA 2 – CARACTERIZAÇÃO DA MANIPUEIRA.....	20
TABELA 3 – CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUO LÍQUIDO DE ABATEDOURO DE AVES.....	23
TABELA 4 – ANÁLISES, MÉTODOS E REFERÊNCIAS PARA CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS .....	28
TABELA 5 – FRAÇÕES DOS RESÍDUOS NOS REATORES .....	28
TABELA 6 – CARACTERIZAÇÃO DO BAGAÇO DA MANDIOCA .....	31
TABELA 7 – CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS LÍQUIDOS.....	32
TABELA 8 - CARACTERÍSTICAS DAS AMOSTRAS DESTRUTIVAS DOS REATORES .....	32
TABELA 9 - RELAÇÃO AV/AT DOS REATORES .....	36
TABELA 10 – REMOÇÃO DE SÓLIDOS DOS REATORES .....	38

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>14</b>
2.1	OBJETIVO GERAL.....	14
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>15</b>
3.1	AGRICULTURA E AGROINDÚSTRIA BRASILEIRA .....	15
3.2	MANDIOCA, PRODUÇÃO E INDÚSTRIA .....	16
3.3	FRANGO, PRODUÇÃO E INDÚSTRIA .....	17
3.4	RESÍDUOS DA PRODUÇÃO DE MANDIOCA .....	19
3.5	RESÍDUOS DA PRODUÇÃO DE FRANGO .....	21
3.6	DIGESTÃO ANAERÓBIA .....	23
3.7	PARAMÊTROS DO PROCESSO DE DIGESTÃO ANAERÓBIA.....	25
3.7.1	Temperatura .....	25
3.7.2	pH.....	26
3.7.3	Acidez volátil e alcalinidade total .....	26
3.7.4	Aspectos dos sólidos e concentração.....	26
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>27</b>
4.1	COLETA E ARMAZENAGEM .....	27
4.2	CARACTERIZAÇÃO.....	27
4.3	EXPERIMENTO.....	28
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>31</b>
5.1	pH e CONDUTIVIDADE.....	33
5.2	ACIDEZ VOLÁTIL E ALCALINIDADE TOTAL .....	34
5.3	PRESENÇA DE SÓLIDOS E CONCENTRAÇÃO .....	37
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>40</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>41</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o “celeiro do mundo”. O país é responsável pelas culturas mundiais mais importantes e sua lavoura é diversificada, entre os principais produtos da cadeia agrícola encontra-se a prestigiada mandioca. A mandioca é encontrada em todos os estados, sobretudo Pará e Paraná, devido à alta capacidade de adaptação em diferentes condições ambientais. Em 2020, o Paraná colheu aproximadamente 3,3 milhões de toneladas com um dos maiores rendimentos (toneladas/hectare) do país, outrossim é o maior detentor de agroindústrias especializadas no processamento da raiz de mandioca (FIORDA et al., 2013; GROXKO, 2020; IBGE, 2022).

Tal como a mandioca, o Brasil é um dos líderes mundiais na produção de carne de frango, possuindo um exponencial desempenho. Em 2020, houve o recorde de 13,8 milhões de toneladas e exportação de 4,2 milhões, mantendo assim o país na primeira posição dos maiores exportadores. A região Sul do país domina a produção de frango graças aos avanços tecnológicos dos últimos anos, sendo o Paraná responsável por mais de 35% do abate de frango nacional no ano em questão (TREMEA; SILVA, 2020; ABPA, 2021).

As agroindústrias da mandioca e de aves são poderosos instrumentos de estratégia econômica e influência social e cultural, representando uma importante fonte de alimento, renda e emprego direto e indireto. Contudo, as elevadas produções desses geram resíduos que podem causar impactos alarmantes no meio ambiente, caso não sejam devidamente destinados e/ou tratados, havendo alta geração em termos quantitativos de matéria orgânica com lenta degradabilidade e surgimento de subprodutos com caráter tóxico como é o caso da manipueira, resíduo líquido do processamento das raízes de mandioca (IPEA, 2012).

Nesse sentido, os tratamentos dos resíduos são necessários para evitar despejos brutos no meio ambiente. O efluente bruto de abatedouro de aves e os resíduos (líquidos e sólidos) provenientes do processamento da mandioca são fortes candidatos no quesito aproveitamento de resíduos. Ambos são competentes aliados na produção de biogás por meio da digestão anaeróbia, transformando tais resíduos em oportunidade como subprodutos e, deste modo, agregando valor à cadeia e solucionando os problemas ambientais (SAITO; CABELLO, FUKUSHIMA, 2006).

Nessa perspectiva, grandes são os esforços da comunidade científica e de iniciativas públicas e privadas para otimizar o processo de tratamento de resíduos e obtenção do biogás, incluindo ajustes nos parâmetros de controle e/ou a combinação de frações de diferentes modelos de rejeitos da agroindústria e biomassa.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

O objetivo do presente trabalho é avaliar os parâmetros físico-químicos do tratamento de efluente bruto de abatedouro de aves, bagaço de mandioca e manipueira combinados em diferentes frações e inoculados com fração fixa de dejetos de suínos em três reatores conduzidos em batelada.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Avaliar e comparar o comportamento do pH, da condutividade, da remoção de sólidos e da relação AV/AT (alcalinidade total/acidez volátil) das amostras destrutivas dos reatores em processo de digestão anaeróbia, bem como verificação da possível produção de biogás.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 AGRICULTURA E AGROINDÚSTRIA BRASILEIRA

A agricultura é conhecida pelas suas atividades produtivas integrantes do setor primário da economia e é vista pela produção decorrente do cultivo de plantas e criação de animais (SANDRONI, 1994). Atualmente, a “agricultura” perdeu sentido, uma vez que deixou de se caracterizar somente como uma atividade rural, agrícola ou primária e evoluiu em um nível que as propriedades não são mais autossuficientes, mas interdependentes. Nesse contexto, a agroindústria refere-se em um elemento empresarial que tange as etapas de beneficiamento, processamento e transformação de produtos agropecuários *in natura* até acabados prontos para comercialização (ARAÚJO, 2013).

O Brasil é considerado o “celeiro do mundo”. O país ostenta um extraordinário potencial e concentra as principais e mais variadas culturas. A agricultura é a base da economia brasileira do período da colonização (século XVI) até os dias atuais, passando por ciclos sucessivos de coleta e produção como é o caso do pau-brasil, do açúcar, do gado (época do couro), do ouro e café (FURTADO, 2002).

Até meados da década de 1970, o Brasil era um dos maiores importadores de alimentos básicos e era refém de um ou dois produtos em um cenário eufórico de industrialização forçada (*draft industrialization*) adotada pela política econômica que inclinava os produtores rurais ao êxodo rural. Em conjunção com a forte demanda por alimentos causada pelo rápido crescimento populacional, a modernização das culturas foi indiscutível e o cenário submeteu os produtores brasileiros a intensificar e mecanizar a agricultura, fato que tornou a produção e produtividade das lavouras satisfatórias e elevaram o país do patamar de importador para exportador mundial de alimentos (CONTINI et al.; 2010 FLOSS; 2013).

Atualmente, a agricultura brasileira é responsável pela geração de empregos, riqueza, alimentos, fibra e bioenergia. De 1975 a 2019, a produção de grãos saltou de 38,1 milhões de toneladas para 232,6 milhões, ou seja, um aumento próximo de 510%. A produção de carnes subiu de míseros 2,9 milhões de toneladas para 27,9 milhões, um aumento equivalente a 858%. A cafeicultura quadruplicou a produtividade nos últimos 25 anos e o leite aumentou de 14 bilhões de litros em 1990 para quase 35 bilhões em 2019. A projeção brasileira para 2030 é ambiciosa, os modelos

matemáticos apontam uma produção de grãos superior a 318 milhões de toneladas e estima-se que a carne bovina e de frango somarão 31 milhões de toneladas, considerando um cenário com crises mundiais (EMBRAPA, 2020).

O Brasil é o primeiro exportador de carne de frango, soja, suco de laranja, álcool e café e destaca-se pela exportação de carne bovina, milho, tabaco, celulose, cacau, madeira, carne suína e outros (FLOSS, 2013). É impossível abordar sobre agricultura brasileira sem mencionar a soja, a produção do grão alcançou mais de 135,4 milhões de toneladas na safra de 2020/21, sendo que todos os grãos somaram cerca de 252,3 milhões de toneladas. Contudo, salienta-se que existem outras lavouras com produções consideráveis como é o caso da uva, do feijão, do arroz e da mandioca (EMBRAPA, 2021).

Os arranjos agropecuários e agroindustriais refletem cerca de 22% do Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil, é fonte de segurança alimentar e potente geradora de renda e emprego para mais de 16 milhões de postos de trabalho. O complexo agroindustrial sustenta 25% da economia nacional e mais de 33% das ocupações da indústria de transformação. Embora o setor seja bastante heterogêneo e esteja presente na maioria dos estados brasileiros, principalmente nas regiões Sul e Sudeste com São Paulo, Paraná e Rio Grande do Sul liderando. O subsetor mais expressivo em termos de tamanho, geração de empregos e número de plantas é a agroindústria do gênero alimentício, seguido pelo têxtil e de madeira e móveis (SANTOS, 2014).

### 3.2 MANDIOCA, PRODUÇÃO E INDÚSTRIA

A mandioca (*Manihot esculenta Crantz*), o aipim ou ainda a macaxeira, é originada na América do Sul, provavelmente no Brasil, onde a tradição do consumo já existia antes da colonização. Os aborígenes, que dominavam o plantio, foram os responsáveis pela disseminação para toda a América e os portugueses, após as chegadas no Brasil, para outros continentes. Atualmente, a mandioca é cultivada em muitos países, principalmente nos tropicais, graças a sua alta capacidade de adaptação em condições adversas de clima e solo e tolerância a pragas e doenças (FIORDA et al., 2013; CONAB, 2017; SANTOS et al., 2018).

A mandioca é uma das principais fontes de amido, sendo um insumo industrial de caráter estratégico da economia e desempenhando forte influência social e cultural (FIORDA et al., 2013). A mandioca ganhou força em nível industrial no Brasil logo

após os anos 2000, quando os investidores elevaram o país à aquisição dos parques industriais mais modernos do mundo (FELIPE, 2018). Em 2015, a mandioca desfrutou de uma receita bruta de 8,2 bilhões de reais e ocupou o quinto lugar na cadeia das culturas permanentes, logo após soja, cana-de-açúcar, milho e arroz (CONAB, 2017). Em 2021, a estimativa da produção brasileira da mandioca foi de aproximadamente 19 milhões de toneladas, segundo o levantamento do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) publicado pela Companhia Nacional de Abastecimento (Conab).

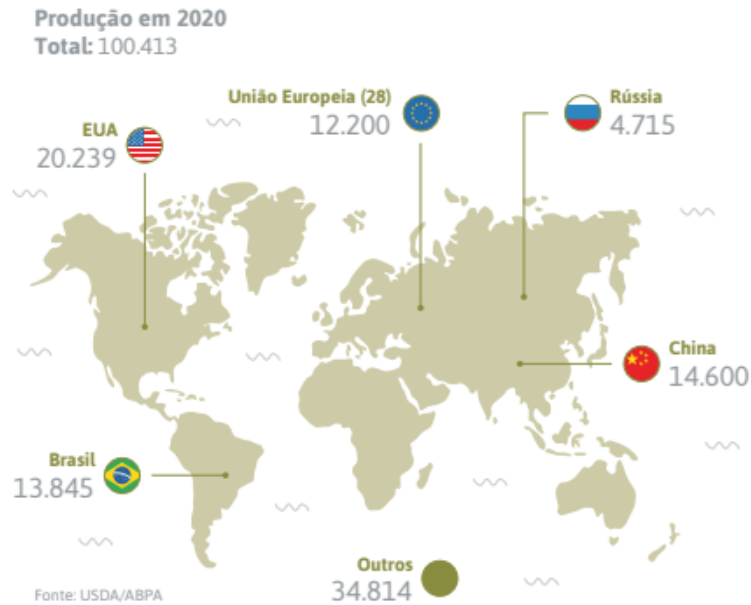
A farinha e a fécula de mandioca são os dois principais produtos obtidos do processamento da mandioca. Conhecida como amido e polvilho, a fécula, um pó branco sem sabor e cheiro, é comercializada tanto no varejo para consumo doméstico quanto para fins industriais. O processamento de raiz da mandioca na obtenção da fécula pode variar, mas é feita, basicamente, operações de recepção, lavagem e descascamento, seguindo para ralação, extração, peneiramento, concentração, filtração à vácuo, secagem, acondicionamento e finalizado no armazenamento (LOROTONDA, 2002; EMBRAPA, 2003).

Em 2018, a capacidade de moagem da mandioca no Brasil já era em torno de 21,4 mil toneladas/dia, sendo os maiores produtores localizados nos estados do Paraná, São Paulo e Mato Grosso do Sul (FELIPE, 2018). O estado do Paraná é o maior detentor de indústrias de fécula, ostentando 42 unidades de um total de 71 existentes no país. A concentração das indústrias se deu nos Núcleos Regionais de Paranavaí, Umuarama, Campo Mourão e Toledo. A fécula produzida no Paraná já representou mais de 68% do total brasileiro (SEAB/DERAL, 2017).

### 3.3 FRANGO, PRODUÇÃO E INDÚSTRIA

Rio de Janeiro, 1895, local e ano atribuído ao primeiro incentivo significativo no setor avícola do país através de estudos que tinham como objetivo selecionar as raças de aves importadas que pudessem proporcionar maior interesse econômico aos produtores brasileiros. Em 1913, ocorreu a formação da Associação Brasileira da Avicultura (ARASHIRO, 1989). A produção de aves de corte e seus derivados cresceu no país e expandiu e na década de 1970 alcançou seu maior êxito a entrada de empresas processadoras e especializadas na produção (CARVALHO et al., 2021).

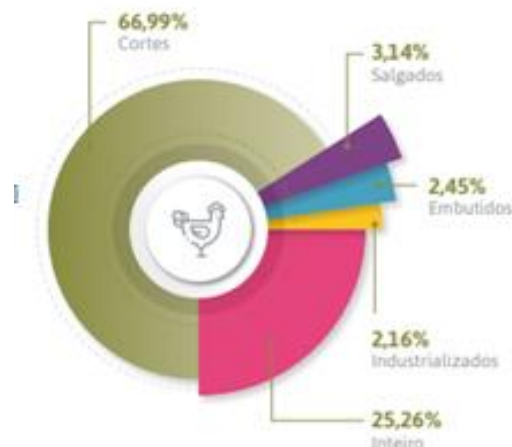
FIGURA 1 – MERCADO MUNDIAL DE CARNE DE FRANGO



FONTE: ABPA (2021).

É evidente a evolução do Brasil até os dias de hoje ao observar que ocupa a terceira posição entre os maiores produtores da *commodity* de carne de frango, somando 13,845 milhões de toneladas, perdendo apenas para as produções da China e Estados Unidos, conforme a FIGURA 1. Em 2020, o Paraná foi o maior contribuinte do país com um total de 35,47% da produção e exportação da *commodity*, seguido por Santa Catarina com 14,88% e Rio Grande do Sul com 14,02% (ABPA, 2021).

FIGURA 2 – EXPORTAÇÕES BRASILEIRAS DE CARNE DE FRANGO POR PRODUTO EM 2020



FONTE: ABPA (2021).

As agroindústrias podem gerar diversos produtos e agregar valor por meio do processamento da carne de frango como é o caso dos embutidos e industrializados,

além de realizar a comercialização do frango inteiro ou em cortes na carne. Como pode-se perceber na FIGURA 2, os produtos provenientes do frango descritos para exportação são, predominantemente, de cortes (66,99%), seguida das exportações do frango inteiro (25,26%), dos salgados (3,14%), dos embutidos (2,45%) e dos industrializados (2,16%) (ABPA, 2021).

Na contemporaneidade do Brasil, a parte majoritária de criação e abate de frango é realizada por grades indústrias que realizam periodicamente melhorias no animal e no processamento da carne para garantir maior qualidade no produto final. Em geral, o processo consiste inicialmente na operação de recepção da ave e pendura em suportes moventes e que são guiados às operações sequenciais de atordoamento, sangria, escaldagem em tanques com temperatura em torno de 52°C, depenagem, remoção de cabeça e pés, evisceração com a coleta de vísceras e separação dos miúdos, resfriamento, cortes, congelamento, acondicionamento e, por fim, armazenamento. As etapas são adaptáveis de acordo com o produto de interesse da empresa. Dessa maneira, as peças de carne cortadas podem seguir, por exemplo, para uma “sala de temperados” (CTP, 2014 *apud* PINTO et al., 2015).

### 3.4 RESÍDUOS DA PRODUÇÃO DE MANDIOCA

O processamento das raízes de mandioca resulta na geração de farinha e fécula, que ocasiona o surgimento de dois resíduos: o bagaço (resíduo sólido) e a manipueira (resíduo líquido). O bagaço é um material fibroso com elevado teor de amido residual não extraído. Já manipueira é um líquido de coloração amarelada proveniente do processo físico de separação. As características dos resíduos variam muito em decorrência de fatores como idade da planta, tempo após colheita e os tipos e ajustes de equipamentos industriais (CEREDA, 1994; CEREDA, 1996). Embora não sejam valores constantes, há caracterização do bagaço da mandioca e manipueira, respectivamente, conforme a TABELA 1 e TABELA 2

TABELA 1 – CARACTERIZAÇÃO DO BAGAÇO DA MANDIOCA

Parâmetros	Unidade	Saito, Cabello e Fukushima (2006)	Jasko et al. (2011)	Fiorda et al. (2013)
Umidade		86,2	-	-
Carboidratos		-	72,5	84,85
Proteínas	%	1,59	1,7	1,97
Lipídeos		-	0,11	2,35
Fibra bruta/total		15,41	18,8	60,35
Cinzas		2,1	2,1	1,81
pH	-	5,5	5,4	-

FONTE: Adaptado de Saito, Cabello e Fukushima (2006); Jasko et al. (2011); Fiorda et al. (2013).

TABELA 2 – CARACTERIZAÇÃO DA MANIPUEIRA

Parâmetros	Unidades	Almeida, Bueno e Bianchi (2010)	Garcia et al. (2014)	Amorim et al. (2021)
pH	-	3,45 - 4,58	5,6 - 6,8	4,5
Condutividade	mS/cm	-	1.014 - 1.375	-
Turbidez	NTU	30	-	-
Alcalinidade		735	-	-
Acidez		3.350	-	-
Cianeto		-	389,1 - 429,8	300
Sólidos totais (ST)	mg/L	-	-	43.600
DQO		88.000 - 100.000	617,3 - 877,5	24.100
DBO		-	-	19.200
Potássio		-	1715 - 1833	-
Nitrogênio total		-	612 - 686	-

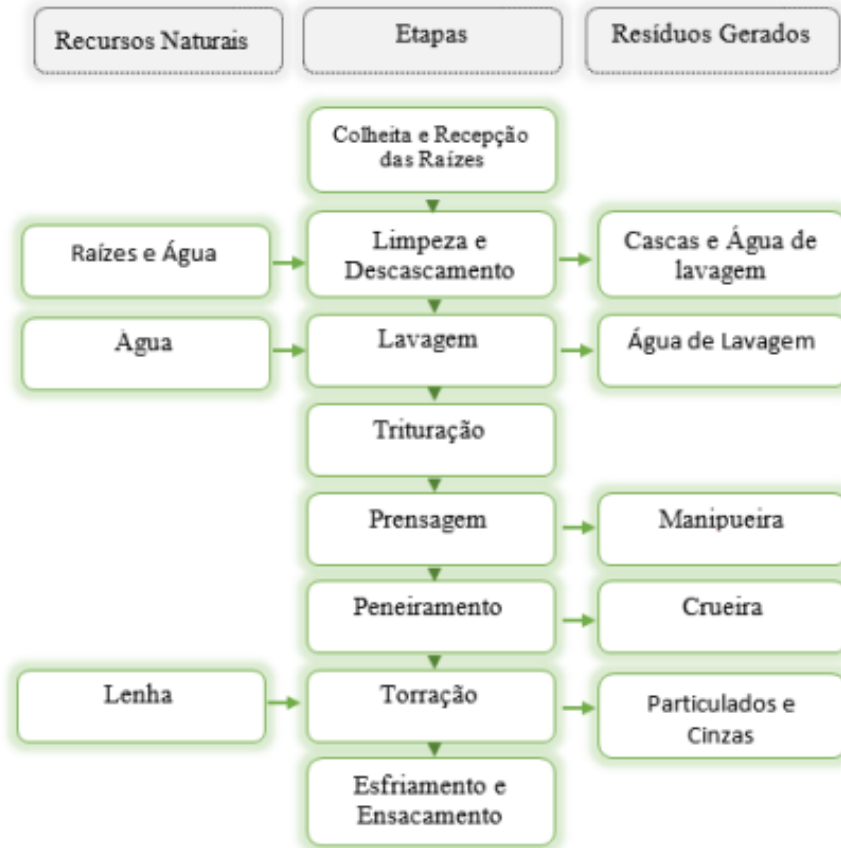
FONTE: Adaptado de Almeida, Bueno e Bianchi (2010); Garcia et al. (2014) e Amorim et al. (2021).

O bagaço é gerado na separação da fécula. A operação acontece adicionando água, motivo pelo qual apresenta alto teor de umidade e necessitando de secagem para transporte e armazenamento. Em média, uma agroindústria de fécula de mandioca gera cerca de 930 Kg de bagaço com 85 a 90% de umidade para cada tonelada de raiz processada, além de possuir uma concentração residual de amido (SAMPAIO et al., 1994; CEREDA, 1996; LEONEL et al., 2000; FIORDA et al., 2013).

A manipueira é formada em uma proporção média de 300 litros/tonelada de raiz processada, sendo poluente por conta da elevada quantidade de carga orgânica que leva às altas taxas de DQO e DBO, conforme a TABELA 2, e potássio, que estimula o processo de eutrofização de corpos hídricos. Além disso, a manipueira é tida como tóxica pela presença do glicosídeo cianogênico linamarina, hidrolisável a cianeto (BARANA, 2000; BARANA; CEREDA, 2000; RIBAS; BARANA, 2003).

Na FIGURA 3 estão representados as etapas do processamento da mandioca e seus resíduos em cada etapa do processo.

FIGURA 3 – FLUXOGRAMA DO PROCESSAMENTO DA MANDIOCA E RESÍDUOS

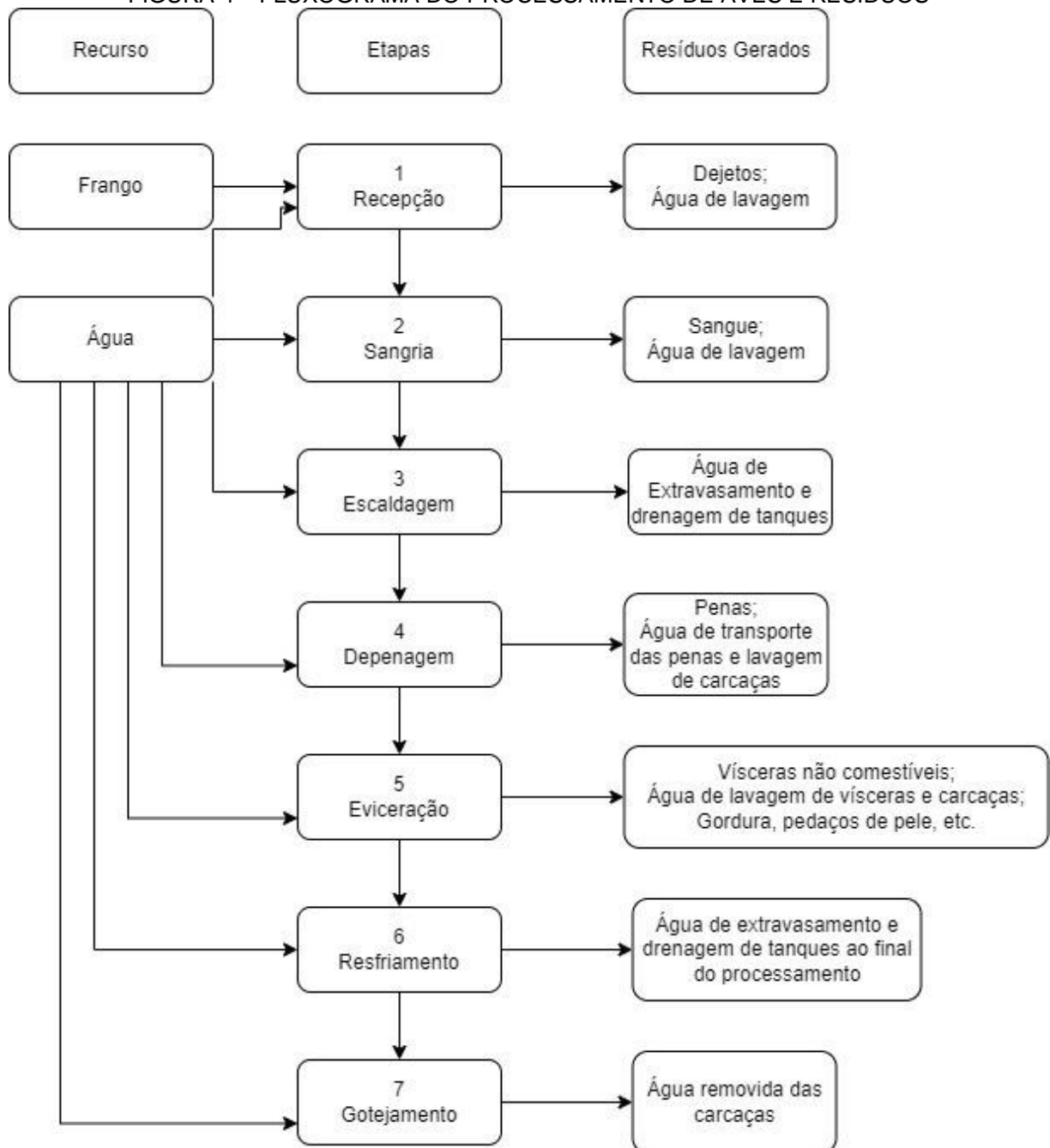


FONTE: Melo (2014).

### 3.5 RESÍDUOS DA PRODUÇÃO DE FRANGO

Os resíduos do abate de frango em agroindústrias são produzidos em decorrência das várias etapas do processo, ocasionando o surgimento de um elevado volume de efluente. As principais etapas do processo industrial do abate de aves estão exemplificadas na FIGURA 4.

FIGURA 4 – FLUXOGRAMA DO PROCESSAMENTO DE AVES E RESÍDUOS



FONTE: Adaptado de Teixeira (2015).

Os resíduos sólidos são utilizados em compostagem ou reaproveitados como subprodutos na produção de ração (SUNADA et al., 2015). Já os resíduos líquidos necessitam de tratamentos específicos para diminuir seu potencial poluidor antes do lançamento em corpos hídricos, porque sem o tratamento são muito danosos ao meio ambiente. A TABELA 3 ratifica isso através dos parâmetros físico químicos analisados e podem variar entre os autores por conta de fatores como, por exemplo, capacidade

do abate de frango na plana industrial, nível tecnológico dos equipamentos e o tipo de produto fabricado.

TABELA 3 – CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUO LÍQUIDO DE ABATEDOURO DE AVES

Parâmetros	Unidades	Schoenhals, Sena e Zadinelo (2006)	Lima (2010)	Zadinelo et al. (2013)
pH	-	6,7	7 - 7,7	6
Condutividade	mS/cm	-	1.314 - 1.930	-
Alcalinidade	mg/L CaCO <sub>3</sub>	60	218 - 315	-
Acidez	mg/L HAc	-	180 - 721	-
Sólidos totais (ST)		1.740	2.002 - 4.840	990
Sólidos totais voláteis (STV)		318	1.191 - 3.926	600
Sólidos totais fixos (STF)	mg/L	-	761 - 1.217	390
Nitrogênio total		16	100 - 337	-
Nitrogênio amoniacal		11,04	-	30

FONTE: Adaptado de Schoenhals, Sena e José (2006); Lima (2010); Zadinelo (2013).

O CONAMA estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes por meio da resolução nº 430/11 (BRASIL, 2011). Em sua maioria, as agroindústrias frigoríficas utilizam uma sequência de tratamentos físicos, químicos e biológicos para atender os parâmetros definidos pela legislação, sendo, usualmente, subdivididos em tratamentos preliminares, primários e secundários (GIORDANO, 2004). De acordo com Rodrigues et al. (2016), os efluentes industriais com elevada carga orgânica como as agroindústrias avícolas, podem passar por processo de tratamento anaeróbio pelo baixo consumo de energia, tempo de retenção hidráulica e baixo custo de implantação.

### 3.6 DIGESTÃO ANAERÓBIA

A digestão anaeróbia refere-se ao tratamento de matéria orgânica em um ambiente desprovido de oxigênio e com liberação de biogás, que é uma mistura de metano (CH<sub>4</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e outros gases em menores quantidades como ácido sulfídrico (H<sub>2</sub>S) e hidrogênio (H<sub>2</sub>). É uma opção energética com reconhecidas vantagens ambientais, consistindo na conversão competente de carga poluente em fonte de energia (OLIVEIRA; HIGARASHI, 2006; SALAMA et al., 2019).

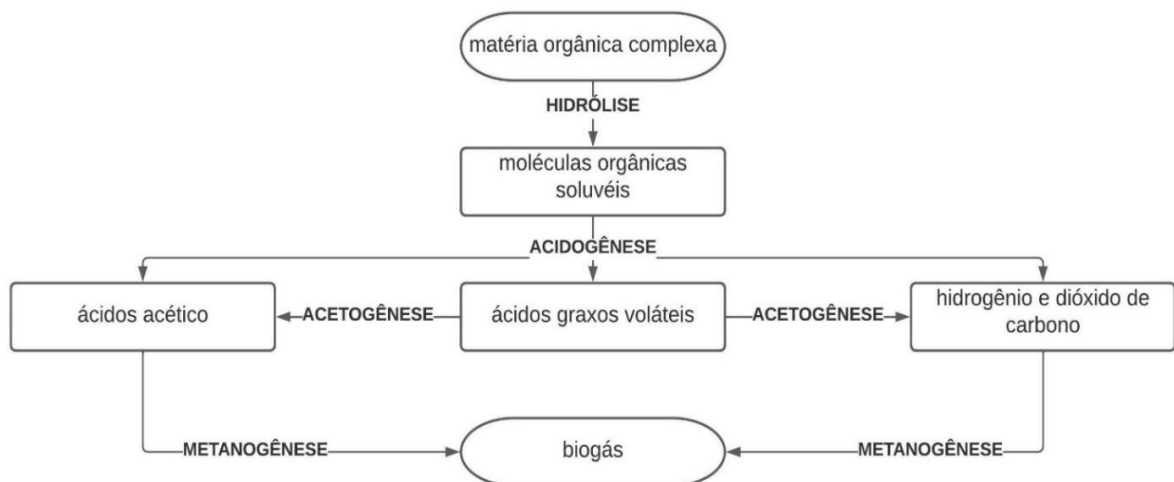
A digestão anaeróbia dispõe de microrganismos que atuam nas estruturas complexas de fibras, carboidratos, proteínas, lipídeos e outras, transformando-as em compostos mais simples por meio de várias vias microbianas e reações bioquímicas.

É um processo que envolve uma série de reações metabólicas para a conversão de matéria orgânica complexa em biogás e fertilizante orgânico. O processo completo é dividido em quatro estágios: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese (OLIVEIRA; HIGARASHI, 2006; SALAMA et al., 2019; KUMAR; SAMADDER, 2020).

O primeiro estágio da digestão anaeróbia consiste na hidrólise dos materiais complexos (fibras, polissacarídeos, proteínas e lipídeos) pelas enzimas bacterianas a produtos solúveis. A hidrólise é uma etapa limitante da velocidade de todo o processo de conversão, uma vez que a velocidade de hidrólise dos polímeros como a celulose e as gorduras é menor que a velocidade de catabolismo de seus produtos. As moléculas resultantes na hidrólise são aminoácidos, açúcares simples e ácidos graxos (NETO, 2004; SALAMA et al., 2019; KUMAR; SAMADDER, 2020).

Os próximos estágios acontecem com os produtos formados do estágio anterior de cada etapa do processo. No caso da acidogênese, os compostos orgânicos resultantes da hidrólise são fermentados em ácidos graxos de cadeia mais curta, álcoois, dióxido de carbono, hidrogênio e pode haver a formação de ácidos acético. A acetogênese é o próximo estágio e utiliza os ácidos graxos, álcoois e outros produtos formados para degradar e produzir ácido acético, dióxido de carbono e hidrogênio. Por fim, na metanogênese há a formação real do biogás com o principal composto, o metano, que é formado pela redução do hidrogênio e dióxido de carbono e pela oxirredução dos ácidos acéticos (NETO, 2004; KUMAR; SAMADDER, 2020).

FIGURA 5 – FLUXOGRAMA DE DIGESTÃO ANAERÓBIA



FONTE: Adaptado de Kumar e Samadder (2020).

A eficiência global do processo de digestão anaeróbia está relacionada majoritariamente às condições que propiciam a vida dos microrganismos, ou seja, o manejo dos parâmetros operacionais dos reatores anaeróbios é determinante no sucesso ou não do tratamento dos resíduos e produção de teores de metano. Os resultados decorrem dos parâmetros como composição do substrato, tamanho das partículas, temperatura, pH, alcalinidade, umidade, tempo de retenção hidráulica e disponibilidade de nutrientes como, por exemplo, relação a C/N. Caso esses parâmetros não estejam em condições adequadas, há um declínio na produção de biogás (DEUBLEIN; STEINHAUSER, 2008).

Vale ressaltar, entretanto, que a digestão anaeróbia com uma única fonte de substrato, geralmente, não é satisfatória devido ao menor rendimento do biogás e baixa estabilização. Alguns substratos de fonte única para digestão anaeróbia não produzem elevadas concentrações de biogás, porque não garantem todos os nutrientes necessários para um bom crescimento e desenvolvimento da microbiota (OLIVEIRA; HIGARASHI, 2006; KUMAR; SAMADDER, 2020).

À vista disso, surge a digestão pela combinação de um ou mais tipos de substratos, sendo muito perceptível o impacto na literatura e a sua popularização, oferecendo oportunidades em maior grau e melhor capacidade no tratamento de resíduos e produção de biogás. A combinação, por exemplo, de dois substratos com características diferentes pode oferecer equilíbrio de nutrientes, maior estabilização e efeito tamponante, refletindo na dinâmica do processo e, conseqüentemente, influenciando na qualidade e quantidade do biogás produzido (SALAMA et al., 2019; KUMAR; SAMADDER, 2020).

### 3.7 PARAMÊTROS DO PROCESSO DE DIGESTÃO ANAERÓBIA

#### 3.7.1 Temperatura

A temperatura tem uma significativa importância no êxito do processo de digestão anaeróbia, visto que os microrganismos são influenciados em sua velocidade de crescimento e metabolismo. Tal sua importância, que as bactérias envolvidas nas etapas do processo podem ser classificadas de acordo com a temperatura em que atuam, sendo as termofílicas com atuação ótima em torno de 60°C, as mesofílicas em 37°C e psicofílicas por volta de 15°C (KUNZ; STEINMETZ; AMARAL, 2019).

### 3.7.2 pH

O pH (potencial hidrogeniônico) é uma variável indicativa do caráter ácido ou básico nos efluentes, sendo muito importante para o sucesso da digestão anaeróbia, pois cada grupo de bactérias tem um valor ótimo de atuação. Na etapa, por exemplo, de acidogênese observa-se uma diminuição do pH em 5,0 para atuação e na etapa de metanogênese o pH é elevado para 7,0, havendo por fim uma estabilização (BARANA, 2000; SOARES et al., 2017; KUNZ; STEINMETZ; AMARAL, 2019).

### 3.7.3 Acidez volátil e alcalinidade total

A alcalinidade é, no caso da digestão anaeróbia, com frequência atribuída ao equilíbrio entre formação de ácido carbônico e dissolução do dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e é definida como a capacidade de tamponamento do sistema. Já a concentração de ácidos voláteis diz respeito a acidez e evidencia a capacidade dos microrganismos de resistir ao aumento do pH (KUNZ; STEINMETZ; AMARAL, 2019).

### 3.7.4 Aspectos dos sólidos e concentração

A caracterização de resíduos líquidos pela análise da concentração de sólidos é muito usual, pois esta pode oferecer informações sobre massa seca das células microbianas através dos resultados dos sólidos em suspensão e apresentar resultados de frações orgânicas e inorgânicas do efluente em questão por intermédio da quantificação de sólidos voláteis e fixos, os quais são informações pertinentes no processo de digestão anaeróbia (FORESTI et al., 2005).

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 COLETA E ARMAZENAGEM

Os resíduos da mandioca foram coletados em uma aminodaria localizada nos limites municipais de Maripá/PR. O processamento da agroindústria é especializado em produtos destinados à produção de adesivos, alimentação, panificação, maltodextrina e entre outros. O resíduo líquido bruto de abatedouro de aves foi obtido em um complexo agroindustrial localizado nos limites municipais de Palotina/PR. O complexo possui uma capacidade de abate de 600 mil aves/dia e 75 mil peixes/dia. No caso do inóculo de dejetos de suínos, a coleta foi realizada na saída de um biodigestor contínuo do tipo canadense em uma granja da empresa que foi recolhido o resíduo de abatedouro de aves.

O bagaço da mandioca foi acondicionado em potes de politereftalato de etileno (PET) e a manipueira em garrafas de 1 litro de polipropileno (PP) e em PET de 2 litros. O resíduo líquido do abatedouro de aves e os dejetos suínos foram manejados em galões de PP de 5 litros. Todos os resíduos foram armazenados em freezer horizontal para congelamento até as datas das análises e experimentos no Laboratório de Química Analítica e Análises Ambientais da Universidade Federal do Paraná, Setor Palotina.

### 4.2 CARACTERIZAÇÃO

As análises do resíduo sólido, ou seja, do bagaço da mandioca, foram realizadas para determinação da quantidade de umidade, das FDN (Fibras em Detergente Neutro), FDA (Fibras em Detergente Ácido), da lignina e das cinzas. Já para as análises dos resíduos líquidos, isto é, da manipueira, do efluente bruto de abatedouro de aves, do inóculo de dejetos suínos de biodigestor e dos tratamentos das misturas nas diferentes frações tanto no início quanto no processo de digestão anaeróbia nas amostras destrutivas dos reatores, foram avaliados quantitativamente o pH, a condutividade, a alcalinidade total, acidez volátil, sólidos totais (ST), sólidos totais fixos (STF) e sólidos totais voláteis (STV). No caso do inóculo, sucedeu-se com as análises complementares de sólidos suspensos totais (SST), sólidos suspensos fixos (SSF), sólidos suspensos voláteis (SSV), sólidos dissolvidos totais (SDT), sólidos

dissolvidos fixos (SDF) e sólidos dissolvidos voláteis (SDV). Na TABELA 4 é ilustrado os métodos empregados em cada análise para caracterização dos resíduos, das misturas e após cada tratamento nas amostras destrutivas.

TABELA 4 – ANÁLISES, MÉTODOS E REFERÊNCIAS PARA CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS

Análises	Métodos	Referências
pH	Potenciometria	APHA
Condutividade	Condutimetria	
Alcalinidade total	Potenciometria	
Acidez	Potenciometria	
Sólidos	Gravimetria	INCT – CA
FDN	Gravimetria	
FDA		
Lignina		
Cinzas		

FONTE: Adaptado de Foresti et al. (2005); Detmann et al. (2012).

NOTA: American Public Health Association; Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Ciência Animal.

#### 4.3 EXPERIMENTO

As três diferentes frações de misturas com efluente bruto de abatedouro de aves, bagaço de mandioca e manipueira para inocular com dejetos suínos de biodigestor são demonstrados na TABELA 5.

TABELA 5 – FRAÇÕES DOS RESÍDUOS NOS REATORES

Reatores	Efluente bruto (%)	Bagaço de mandioca (%)	Manipueira (%)
R1	45	10	45
R2	40	20	40
R3	35	30	35

FONTE: Os autores.

A digestão anaeróbia foi sucedida em reatores verticais de policloreto de vinila (PVC) conduzidos em batelada e com capacidade total de 4,6 litros, sendo 20% de *headspace* e 80%, isto é, 3,7 litros de volume útil, deste volume 20% destinado ao inóculo. Com isso, foi possível calcular os valores efetivos para a preparação das misturas dos resíduos.

Os resíduos foram então misturados e homogeneizados com adição pausadamente de pequenas quantidades de bicarbonato de sódio (NaHCO<sub>3</sub>) para atingir a neutralidade, pH em torno de 7. Logo após esses procedimentos, destinou-se 3,7 litros aos respectivos reatores e reservou-se 1,6 litros das misturas de cada reator, já que o volume restante foi calculado para três amostras destrutivas, que são

as amostras retiradas para análises em decorrência de diferentes dias, sendo 0,4 litros para análises das misturas sem tratamento. Portanto, neste experimento foram compreendidas três amostras destrutivas, totalizando em nove amostras destrutivas e mais um volume restante para análises das misturas brutas (sem o tratamento).

FIGURA 6 - AMOSTRAS DESTRUTIVAS DOS REATORES



FONTE: Os autores.

FIGURA 7 - REATORES DE DIGESTÃO ANAERÓBIA COM APARATO



FONTE: Os autores.

A vedação dos reatores foi realizada por meio de *oring* de borracha acoplado em tampão de PVC e adesivo monocomponente de poliuretano. No caso das amostras destrutivas, transferiu-se as misturas para garrafas de vidro autoclavadas (120 °C, 1h) e a vedação das garrafas de vidro foi feita através das mangueiras de borracha, ligadas às tampas de rosquear submersas em água para garantir a anaerobiose do processo (FIGURA 6). Os reatores e as amostras destrutivas foram deslocados para a incubadora com temperatura de operação mesofílica e todos os dias eram aferidos os monômetros digitais dos reatores para verificação de pressão resultante da possível geração de biogás. Um aparato com registro e seringa foram conectados aos reatores a fim de esvazia-los (FIGURA 7).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na TABELA 6 encontram-se os resultados obtidos da caracterização quantitativa dos parâmetros físico-químicos do bagaço da mandioca utilizada nos experimentos.

TABELA 6 – CARACTERIZAÇÃO DO BAGAÇO DA MANDIOCA

<b>Parâmetros</b>	<b>Bagaço da mandioca (%)</b>
Umidade	89,51
FDN	33,79
FDA	18,48
Lignina	0,02
Cinzas	0,9

FONTE: Os autores.

Os resultados das análises de umidade e cinzas do bagaço da mandioca são muito semelhantes aos dos autores da TABELA 1, confirmando os valores. Ronko, Travalini e Demiate (2020) encontraram um teor de 46% de fibras em detergente neutro (FDN), correspondendo à soma de celulose, hemicelulose e lignina do bagaço. As variações das características podem ocorrer por conta de vários fatores tais como manejo do bagaço, equipamentos utilizados e tecnologias empregadas na produção de fécula e afins, além de contar com a idade da planta, tipo de mandioca e outros, que são fatores influenciáveis na caracterização deste material residual.

Na TABELA 7 localiza-se os resultados obtidos na caracterização quantitativa dos parâmetros físico-químicos dos resíduos líquidos, ou seja, da manipueira, do efluente bruto de abatedouro de aves e dos dejetos suínos procedentes de biodigestor em funcionamento.

TABELA 7 – CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS LÍQUIDOS

Parâmetros	Unidades	M	E	I
pH	-	3,35	5,50	7,75
Condutividade	mS/cm	1,19	0,68	5,24
Alcalinidade total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	0	98,90	2.898,20
Acidez	mg/L HAc	1.901,82	197,16	161,57
Sólidos totais (ST)	mg/L	6.986	2.156	5.590
Sólidos totais voláteis (STV)		5.802	1.784	2.556
Sólidos totais fixos (STF)		1.184	372	3.034
Sólidos totais suspensos (SST)		-	-	2.206
Sólidos suspensos voláteis (SSV)		-	-	856
Sólidos suspensos fixos (SSF)		-	-	1.350
Sólidos dissolvidos totais (SDT)		-	-	3.384
Sólidos dissolvidos voláteis (SDV)		-	-	1.700
Sólidos dissolvidos fixos (SDF)		-	-	1.684

FONTE: Os autores.

NOTA: M - Manipueira; E - Efluente bruto de abatedouro de aves; I - Inóculo dos dejetos de suínos.

Conforme os dados, a manipueira apresentou o menor valor de pH e alcalinidade total e a maior quantidade de sólidos entre os resíduos. Enquanto o inóculo, nas análises da alcalinidade e teor de sólidos, apresentou valores muito superiores, o efluente, por sua vez, esteve com valores razoáveis e centrais, ou seja, intermediários em comparação ao inóculo e a manipueira. Os valores encontrados foram em torno aos dos autores da literatura conforme TABELA 2 e TABELA 3 para a manipueira e efluente, respectivamente.

Na TABELA 8 estão compilados os valores das análises dos parâmetros físico-químicos das amostras destrutivas dos três reatores conduzidos em batelada com diferentes frações de resíduos em três dias de tratamento (0, 13 e 20 dias).

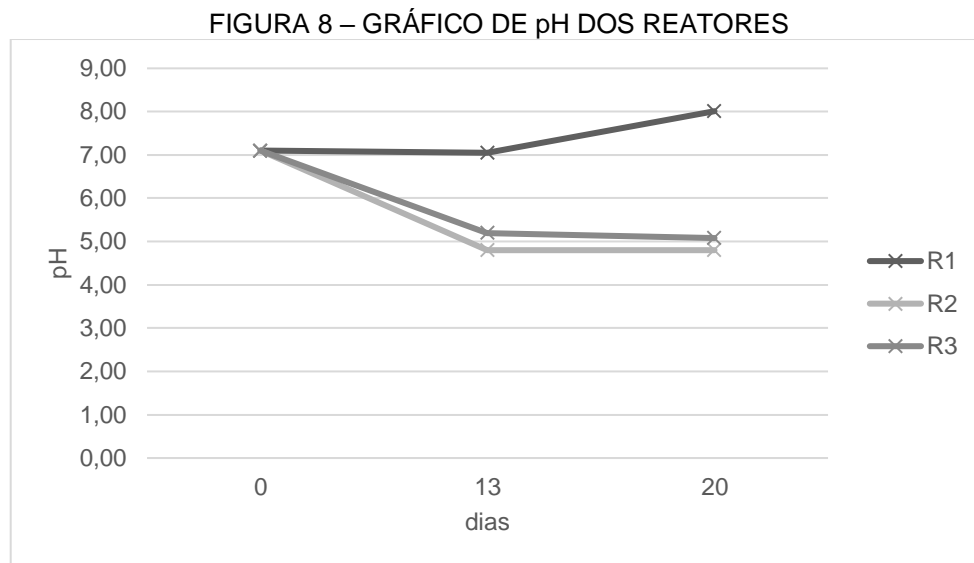
TABELA 8 - CARACTERÍSTICAS DAS AMOSTRAS DESTRUTIVAS DOS REATORES

Parâmetros	Unidades	R1D0	R2D0	R3D0	R1D1	R2D1	R3D1	R1D2	R2D2	R3D2
pH	-	7,10	7,10	7,10	7,05	4,80	5,20	8,01	4,80	5,08
Condutividade	mS/cm	4,04	4,49	5,12	3,48	3,94	4,53	3,56	3,71	4,26
Alcalinidade total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	1.685,6	2.150,0	1.597,5	1.685,1	1.483,2	2.406,1	4.165,6	3.556,8	5.415,3
Acidez	mg/L HAc	1.511,6	1.856,6	2.119,5	2.743,9	7.640,1	7.722,3	2.430,9	7.489,8	8.541,0
ST	mg/L	15.822	25.437	31.267	9.012	14.412	19.562	7.405	12.217	19.080
STV		12.537	20.925	23.847	6.030	10.185	12.840	4.577	8.122	12.565
STF		3.280	4.510	7.420	2.980	4.230	6.720	2.830	4.100	6.520
Tempo de retenção hidráulica	dias	0			13			20		

FONTE: Os autores.

NOTA: R1D0 – R1 sem tratamento; R2D0 – R2 sem tratamento; R3D0 – R3 sem tratamento; R1D1 – R1 com 13 dias de tratamento; R2D1 – R2 com 13 dias de tratamento; R3D1 – R3 com 13 dias de tratamento; R1D2 – R1 com 20 dias de tratamento; R2D2 – R2 com 20 dias de tratamento; R3D2 – R3 com 20 dias de tratamento.

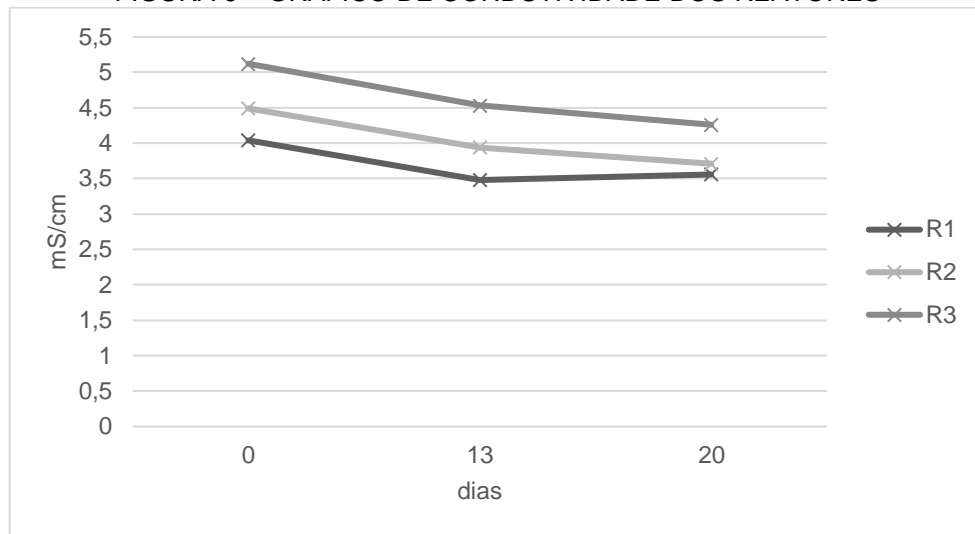
## 5.1 pH e CONDUTIVIDADE



FONTE: Os autores.

O pH inicial nos três reatores foi igual devido a correção com bicarbonato de sódio ( $\text{NaHCO}_3$ ), a partir disso foi possível observar que somente o R1 manteve um pH neutro aos 13 dias de tratamento e os R2 e R3 estiveram com pH reduzidos e aproximados, porém 7 dias depois (aos 20 dias de digestão anaeróbia), observa-se que pH do R1 aumentou para 8,01, enquanto o R2 teve seu pH mantido em 4,80 e o R3 uma pequena variação declinante. Nesse sentido, nenhum dos tratamentos chegou aos 20 dias com uma faixa de pH ótimo para as bactérias metanogênicas. Segundo Kunz, Steinmetz e Amaral (2019), a queda do pH é correlacionada ao acúmulo de ácidos voláteis e, estes, por serem espécies intermediárias, significam um problema na digestão pela inibição das bactérias responsáveis pela metanogênese.

FIGURA 9 – GRÁFICO DE CONDUTIVIDADE DOS REATORES

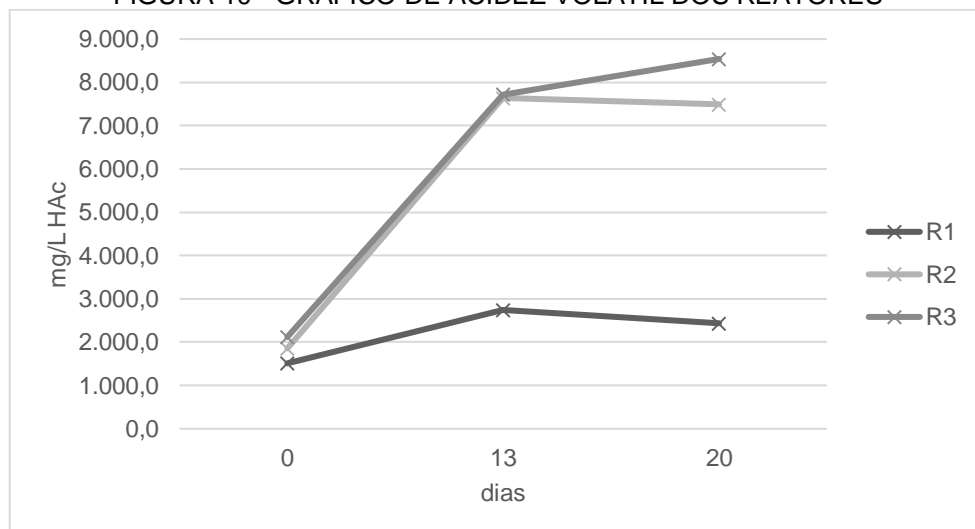


FONTE: Os autores.

Nota-se que a condutividade do R1 era a mais baixa entre os tratamentos, sofrendo um leve declínio aos 13 dias e mantendo-se com uma leve mudança aos 20 dias. Em comparação ao R2 e R3, ambos iniciaram em valores de condutividade ligeiramente mais altos e apresentou declínios conforme os dias com o mesmo perfil. A condutividade é relacionada com a concentração de íons e, como pode-se observar, por estarem com um perfil de decaimento iguais em decorrência dos dias é variado dependendo das frações dos resíduos nos reatores, sendo que o R3 tem maior quantidade de bagaço de mandioca.

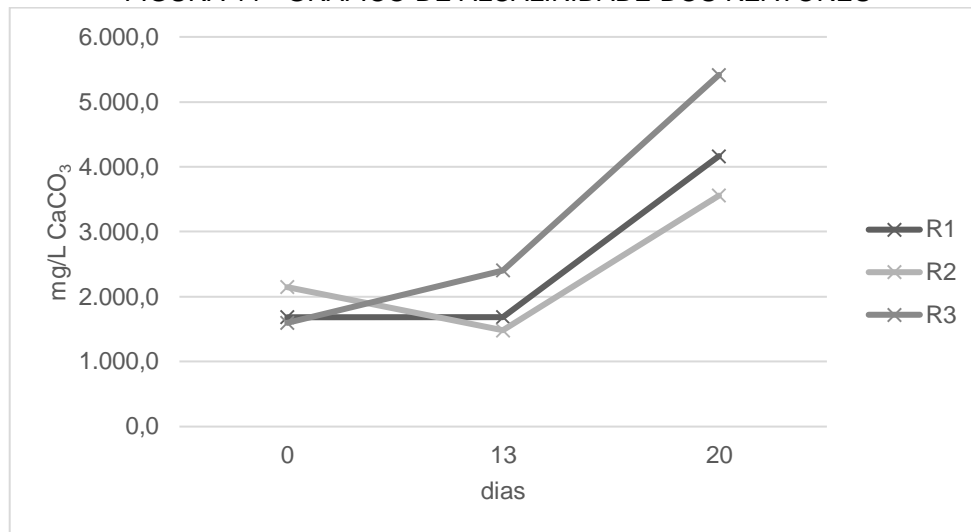
## 5.2 ACIDEZ VOLÁTIL E ALCALINIDADE TOTAL

FIGURA 10 - GRÁFICO DE ACIDEZ VOLÁTIL DOS REATORES



FONTES: Os autores.

FIGURA 11 - GRÁFICO DE ALCALINIDADE DOS REATORES



FONTE: Os autores.

Foram observados valores em torno de 1600 mg/L para alcalinidade total e acidez volátil no momento do início da digestão anaeróbia no R1. Aos 13 dias, a alcalinidade do reator quase não sofreu alteração, enquanto a acidez quase dobrou. Já aos 20 dias, a acidez sofreu uma queda e a alcalinidade um drástico aumento. Tal comportamento aliado ao pH (8,01), pode sugerir a etapa de acetogênese, uma vez que, consoante com Kunz, Steinmetz e Amaral (2019), o pH próximo de 8 revela a existência de ácidos acéticos e propiônicos, que são utilizados pelas bactérias acetogênicas para produção de acetato, propionato e outros compostos.

A alcalinidade total e a acidez volátil do R2 são iniciadas com valores equivalentes, conforme R1, porém com teores um pouco mais elevados, próximos a 1850 mg/L de acidez e 2150 mg/L de alcalinidade. Já 13 dias depois, a alcalinidade do reator decaiu ao mesmo tempo que a acidez disparou para 7640,1 mg/L, um aumento condizente com a queda de pH sofrida (4,8). Aos 20 dias foi observado um novo aumento brusco na alcalinidade e uma sucinta queda de acidez.

Observa-se o padrão análogo em relação aos valores iniciais para a mistura do R3, porém este apresentou uma alcalinidade total menor do que a acidez volátil. No décimo terceiro dia foi percebido um aumento em ambos os parâmetros, contudo muito mais expressivo para a acidez, por volta de 7000 mg/L. Até o vigésimo dia, a alcalinidade sofreu um novo e expressivo aumento, superando os valores encontrados em R1 e R2. Neste caso é indicativo de que as bactérias metanogênicas estariam produzindo alcalinidade na forma de amônia ou bicarbonato e, desta forma, combatendo o aumento da acidez volátil.

Segundo Amani e seus colegas de pesquisa (2010), uma digestão otimizada é aquela que a acidez volátil deve estar entre 50 e 500 mg/L e alcalinidade total entre 1300 e 3000 mg/L, porém pode operar com valores entre 500 e 2000 mg/L e 1000 a 5000 mg/L de acidez e alcalinidade, respectivamente. À vista disso, nota-se que todos os reatores não atingiram valores ótimos de acidez, embora R1 estivesse funcionando com limites ultrapassados de forma razoável. Os outros dois reatores ultrapassaram o limite nas duas análises. Quanto a alcalinidade, observou-se conformidade aos valores toleráveis, com exceção do R3. Ademais, é possível visualizar que na relação AV/AT (acidez volátil/alcalinidade total), R1 sempre esteve com os menores valores entre os outros reatores no decorrer dos dias, apresentando faixa ótima, que varia de 0,1 a 0,5, nos 20 dias de operação (TABELA 9).

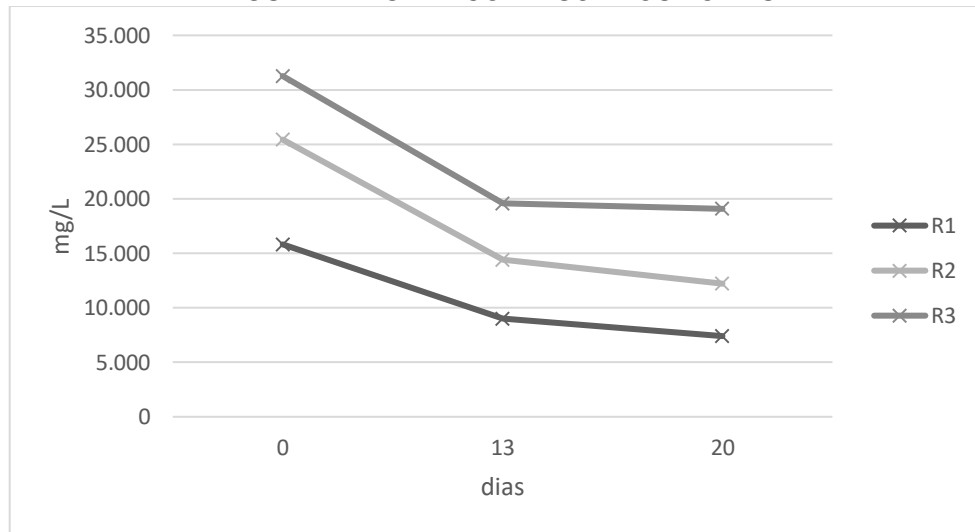
TABELA 9 - RELAÇÃO AV/AT DOS REATORES

	<b>AV/AT</b>
R1D0	0,9
R2D0	0,9
R3D0	1,3
R1D1	1,6
R2D1	5,2
R3D1	3,0
R1D2	0,3
R2D2	1,1
R3D2	0,8

FONTE: Os autores.

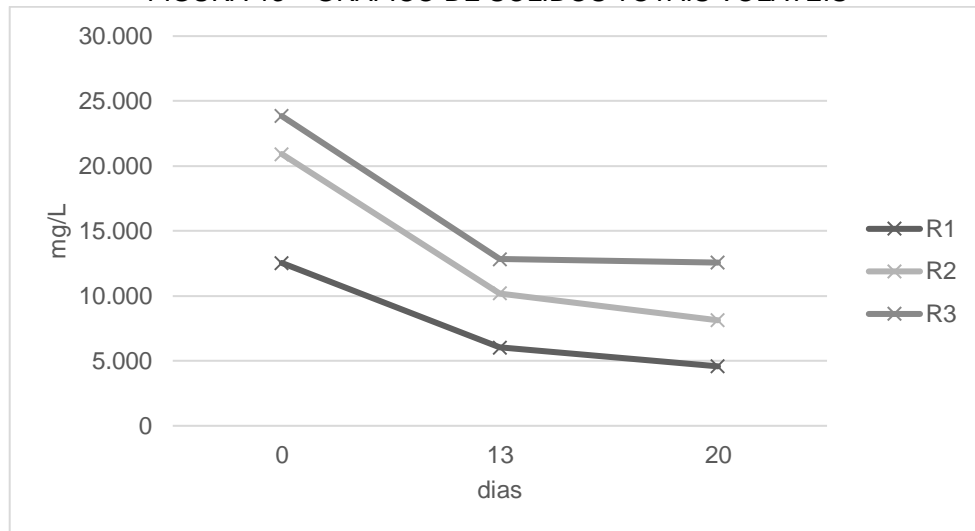
### 5.3 PRESENÇA DE SÓLIDOS E CONCENTRAÇÃO

FIGURA 12 - GRÁFICO DE SÓLIDOS TOTAIS



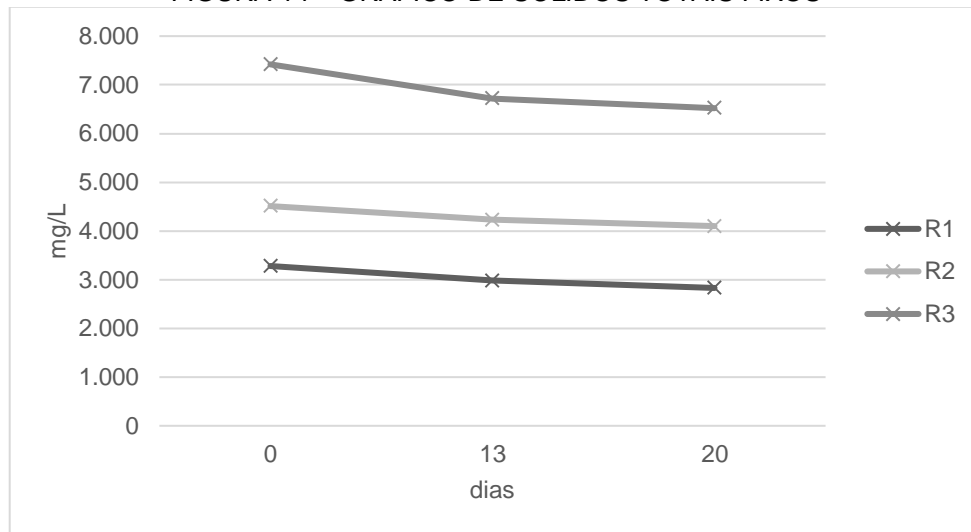
FONTE: Os autores.

FIGURA 13 – GRÁFICO DE SÓLIDOS TOTAIS VOLÁTEIS



FONTE: Os autores.

FIGURA 14 – GRÁFICO DE SÓLIDOS TOTAIS FIXOS



FONTE: Os autores.

Está representada a evolução ao decorrer dos dias da quantidade de sólidos totais, nota-se que a quantidade de sólidos é menor no R1 e maior no R3, condizente com a fração de bagaço de mandioca depositada em cada reator. Assim como observa-se no gráfico de sólidos totais, o padrão de remoção de sólidos totais voláteis (fração orgânica) e sólidos totais fixos (fração inorgânica) mostraram-se semelhante para todos os reatores.

TABELA 10 – REMOÇÃO DE SÓLIDOS DOS REATORES

	ST (%)	STV (%)	STF (%)
R1D1	43	52	9
R2D1	43	51	6
R3D1	37	46	9
R1D2	53	63	14
R2D2	52	61	9
R3D2	39	47	12

FONTE: Os autores.

Na TABELA 10 pode-se observar as porcentagens das remoções cumulativas do primeiro dia até o décimo terceiro e do primeiro dia ao vigésimo. As remoções entre o R1 e R2 foram muito semelhantes, removendo em torno de 50% de ST e é possível observar uma remoção de aproximadamente 50% de STV com 13 dias de retenção hidráulica e este valor aumentou similarmente por volta de 10% aos 20 dias, significando uma atividade contínua das bactérias responsáveis pela digestão. Os

valores de remoção de STV encontrados estão de acordo com os 60% encontrados por Pessuti et al. (2015), que utilizaram somente a manipueira como substrato. O R3 apresentou valores menos satisfatórios de remoção, conseguindo remover somente 37% de ST inicialmente e apenas mais 2% aos vinte dias de digestão. Enquanto a remoção de STV chegou a 47%, quase 10% menor em comparação com os outros reatores. É possível evidenciar uma sobrecarga do reator.

A remoção de sólidos, principalmente sólidos voláteis, é um fator importante na análise de eficiência do tratamento de efluentes via digestão anaeróbia, porque está diretamente relacionado com a porção biodegradável do resíduo e, conseqüentemente, a capacidade de produção de biogás (KUNZ; HIGARASHI; OLIVEIRA, 2014).

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Até os 20 dias de operação, os reatores não estavam demonstrando produção de biogás, presumindo que estavam em fase de acetogênese, fase que antecede a produção de biogás. Embora fosse posto três amostras destrutivas dos reatores com diferentes frações para avaliar e comparar a evolução e dinâmica do processo, o presente experimento delimitou para um período maior que o planejado para as últimas análises, uma vez que não há ainda produção de biogás. Em suma, através da investigação dos resultados, aos 20 dias, houve tratamento dos resíduos. A remoção de sólidos voláteis se mostrou condizente com a literatura, alcançando valores satisfatórios, com exceção do R3, com maior fração de bagaço de mandioca. Enquanto o pH do R1 apresentou uma elevação, o R2 e R3 estavam diminuídos. A relação AV/AT dos reatores iniciou um pouco acima do limite ótimo de operação, sendo aumentada para todos durante o decorrer de operação, expressivamente para R2 até os 13 dias, mas com declínio aos 20 dias, e R1 apresentou a melhor faixa.

Portanto, através do presente trabalho, pode-se concluir que o tratamento de resíduos agroindústrias, sobretudo efluente bruto de abatedouro de aves, manipueira e bagaço de mandioca inoculados com dejetos suíno em digestão anaeróbia configura-se como uma complexa atividade que envolvem vários parâmetros, sendo responsáveis pelo sucesso ou não do tratamento e produção de biogás. Embora haja resultados animadores na literatura, são necessários novos estudos para preencher lacunas em torno da digestão anaeróbia e estabelecer condições ótimas de operação de reatores com a combinação de diferentes frações de resíduos. Nessa perspectiva, os resultados demonstram uma oportunidade de compreender esses parâmetros adicionando frações de diferentes resíduos.

## REFERÊNCIAS

- ABPA – Associação Brasileira de Proteína Animal. **Relatório Anual 2021**. Disponível em: [http://abpa-br.org/wp-content/uploads/2021/04/ABPA\\_Relatorio\\_Anual\\_2021\\_web.pdf](http://abpa-br.org/wp-content/uploads/2021/04/ABPA_Relatorio_Anual_2021_web.pdf). Acesso em: 27 fev. 2022.
- ABPA – Associação Brasileira de Proteína Animal. **Exportações de carne de frango acumulam alta de 4,6% em 2021**. Disponível em: <https://abpa-br.org/exportacoes-de-carne-de-frango-acumulam-alta-de-46-em-2021/>. Acesso em: 23 fev. 2022.
- ALMEIDA, C. B. de; BUENO, G. F.; BIANCHI, V. L. D. Avaliação da influência da agitação no tratamento anaeróbio por leito fixo de manipueira. **Revista Raízes e Amidos Tropicais**, p. 11-18, 2010.
- AMANI, T.; NOSRATI, M.; SREEKRISHNAN, T.R. Anaerobic digestion from the viewpoint of microbiological, chemical, and operational aspects - a review. **Environmental Reviews**, n. 18, p. 255- 278, 2010.
- AMORIM, M. C. C. et al. Caracterização e potencial de degradabilidade natural da manipueira. **Revista Geama**, v. 7, n. 2, p. 4-12, 2021.
- ARASHIRO, O.; **Avicultura – a história da avicultura no Brasil**, 1989.
- ARAÚJO, M. J. **Fundamentos de agronegócios**. São Paulo: Atlas, 2013.
- BARANA, A. C. Estudo de carga de manipueira na fase metanogênica de reator anaeróbio de fluxo ascendente e leito fixo. Dissertação de Mestrado - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, 1996.
- BRASIL. **Resolução CONAMA nº 430 de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes**. Diário Oficial da União. República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 16 mai. 2011.
- CARVALHO, I. V. de.; et al. Docência, pesquisa e liderança em zootecnia. **A Evolução da Avicultura no Brasil**. Editora: Atena, Ponta Grossa. 2021.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Mandioca: raiz, farinha e fécula. **Conjuntura mensal, jan. 2017**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuario-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-mandioca/>. Acesso em: 24 fev. 2022.
- CONTINI, E. et al. Dinamismo da agricultura brasileira. **Revista Política Agrícola**, Edição Especial de Aniversário do Mapa – 150 anos, 2010.
- DERAL - Departamento de Economia Rural. **Prognóstico Mandioca 2017/18**. Disponível em: [https://www.agricultura.pr.gov.br/sites/default/arquivos\\_restritos/files/documento/2019-12/Mandioca%202020.pdf](https://www.agricultura.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/documento/2019-12/Mandioca%202020.pdf). Acesso em: 22 fev. 2022.

DEUBLEIN, D.; STEINHAUSER, A. **Biogas from waste and renewable resources: an introduction**. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2008.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Iniciando um pequeno grande negócio agroindustrial: processamento da mandioca. Informação Tecnológica, Brasília, Distrito Federal, 2003.

EMBRAPA. **VII Plano Diretor da Embrapa**, Brasília, DF. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/217274/1/VII-PDE-2020.pdf>. Acesso em: 17 abr. 2022.

FELIPE, F. I. Produção e consumo de fécula de mandioca no Brasil. **Opinião CEPEA. ESALQ-USP**, 2019.

FIORDA, F. A.; et al. Farinha de bagaço de mandioca: aproveitamento de subproduto e comparação com fécula de mandioca. **Revista Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 43, n. 4, p. 408-416, 2013.

FLOSS, E. L. **Agronegócio e desenvolvimento: “pontos de vista”**. Passo Fundo: Passografic Libri, 2013.

FORESTI, E. et al. Métodos de análises físico-químicas de rotina de águas residuárias tratadas biologicamente. **São Paulo: Universidade de São Paulo**, 2005.

FURTADO, R. **Agribusiness Brasileiro: a história**. São Paulo: Evoluir, 2002.

GARCIA, C. A. B. et al. Caracterização química do efluente do processamento de mandioca em Sergipe. In: **XIV CONGRESSO MUNDIAL DE SEGURANÇA, SAÚDE E MEIO AMBIENTE, CUBATÃO, BRASIL**. 2014. p. 62-65.

GIORDANO, G. et al. Tratamento e controle de efluentes industriais. **Revista ABES**, v. 4, n. 76, p. 1-84, 2004.

GROXKO, M. Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Governo do Estado do Paraná. **Prognóstico Cultura Mandioca Novembro de 2020**. Disponível em: [https://www.agricultura.pr.gov.br/sites/default/arquivos\\_restritos/files/documento/2021-09/progostico\\_mandioca\\_-\\_2020\\_21.pdf](https://www.agricultura.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/documento/2021-09/progostico_mandioca_-_2020_21.pdf). Acesso em: 26 fev. 2022.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Sistema de Recuperação Automático de Dados (SIDRA)**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/home/lspa/brasil>. Acesso em: 26 fev. 2022.

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Diagnóstico dos resíduos orgânicos do setor agrossilvopastoril e agroindústrias associadas**, Brasília, 2012. Disponível em: [http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/7687/1/RP\\_Diagn%C3%B3stico\\_2012.pdf](http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/7687/1/RP_Diagn%C3%B3stico_2012.pdf). Acesso em: 27 fev. 2022.

JASKO, A. C. et al. Caracterização físico-química de bagaço de mandioca in natura e após tratamento hidrolítico. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, Ponta Grossa, v. 5, p. 427-441, 2011.

KUMAR, A.; SAMADDER, S. R. Performance evaluation of anaerobic digestion technology for energy recovery from organic fraction of municipal solid waste: a review. **Energy**, v. 197, 2020.

KUNZ, A.; HIGARASHI, M.M.; OLIVEIRA, P. A. V. Tecnologias para o tratamento de resíduos animais: biodigestão e compostagem. **Embrapa**, p. 235-283, Brasília, 2014.

KUNZ, A.; STEINMETZ, R. L. R.; AMARAL, A. C. do. Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato. Concórdia: Sbera, 2019.

LAROTONDA, F. D. S. **Desenvolvimento de biofilmes a partir da fécula de mandioca**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Desenvolvimento de Processos da Indústria de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

LEONEL, M.; CEREDA, M. P. Extração de fécula retida no resíduo fibroso do processo de produção de mandioca. **Ciência e tecnologia de alimentos**. Campinas, v.20, n.1, p. 122- 127, 2000.

LIMA, D. P. A. **Avaliação da biodegradação anaeróbia de efluente de abatedouro de aves**. 2010. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

LUCYK, N. et al. Uso de coagulantes naturais no tratamento de coagulação/floculação de efluente proveniente de abatedouro de aves. **Revista de Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, p. 576-587, Florianópolis, 2015.

MELO, J. M. M. de. Agroindústria da Mandioca: mapeamento de resíduos e consumo de recursos naturais na produção de farinha de mesa. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Agrícola e Ambiental) – Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro, 2014.

NETO, C. O. de A. **Filtro anaeróbio aplicado ao tratamento de esgoto sanitário**. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2004.

OLIVEIRA, Arley Borges de Moraes et al. Biodigestão anaeróbia de efluente de abatedouro avícola. **Revista Ceres**, v. 58, n. 6, p. 690-700, 2011.

OLIVEIRA, P. A. V. de; HIGARASHI, M. M. Geração e utilização de biogás em unidades de produção de suínos. **Embrapa Suínos e Aves - Documentos**, Concórdia, 2006.

PANDEY, A. et al. Biotechnological potential of agro-industrial residues. II: cassava bagasse. **Bioresource technology**, v. 74, n. 1, p. 81-87, 2000.

PARANÁ. SECRETARIA DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO. Indústria paranaense produz 70% da fécula de mandioca do País. 2020. Disponível em: <https://www.agricultura.pr.gov.br/Noticia/Industria-paranaense-produz-70-da-fecula-de-mandioca-do-Pais>. Acesso em: 18 fev. 2022.

PESSUTI, C. A. A. et al. Remoção de sólidos e produção de metano na digestão anaeróbia de efluente de processamento de mandioca. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 4, p. 110-116, 2015.

PINTO, L. A. de M. et al. Aspectos ambientais do abate de aves: uma revisão. **Uningá Review Journal**, v. 22, n. 3, 2015.

RODRIGUES, L. S. et al. Tratamento de efluentes de abatedouro de frangos por meio de reator UASB seguido de filtro anaeróbio. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 68, n. 1, p. 97-103, fev. 2016.

RODRIGUES, W. O. et al. Evolução da avicultura de corte no Brasil. **Enciclopédia Biosfera**, v. 10, n. 18, 2014.

RONKO, L. Z.; TRAVALINI, A. P.; DEMIATE, I. M. Amido e bagaço de mandioca (*Manihot esculenta* C.): obtenção e caracterização de diferentes variedades. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, Ponta Grossa, v. 14, n.01, p. 2962-2982, 2020.

SAITO, I. M.; CABELLO, C.; FUKUSHIMA, R. S. Análise da fibra residual do farelo de mandioca após tratamento hidrotérmico. **Revista Raízes e Amidos Tropicais**, v. 2, p. 1-11, 2006.

SALAMA, El-S. et al. Recent trends in anaerobic co-digestion: fat, oil, and grease (FOG) for enhanced biomethanation. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 70, p. 22-42, 2019.

SAMPAIO, A. O.; FERREIRA J.; ALMEIDA, P. A. Cultivo consorciado de mandioca para alimentação animal. **Revista Brasileira de Mandioca**, Cruz das Almas, v. 13, n. 1, p. 89-99, 1994.

SANDRONI, P. **Novo dicionário de economia**. São Paulo: Best Seller, 1994.

SANTOS, G. R. dos. Agroindústria no Brasil: um olhar sobre indicadores de porte e expansão regional. **Instituto de Pesquisa Economica Aplicada--IPEA (Radar No 31)**, p. 7-20, 2014.

SANTOS, R. T. dos S. e; et al. Estudo prospectivo de documentos de patentes relacionados aos produtos e subprodutos alimentícios da mandioca. **Cadernos de Prospecção**, Salvador, v. 11, p. 316-327, 2018.

SCHOENHALS, M.; SENA, R. F.; JOSÉ, H. J. Avaliação da eficiência do processo de flotação aplicado ao tratamento primário de efluentes de abatedouro avícola. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 3. n. 2. p. 5-24, 2006.

SEAB - Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento/DERAL - Departamento de Economia Rural. **Prognóstico Mandioca 2017/18**. Disponível em: <[http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/Prognosticos/2018/Mandioca\\_2017\\_18.pdf](http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/Prognosticos/2018/Mandioca_2017_18.pdf)>. Acesso em: 15 abr. 2022.

SILVA, I. J. S. et al. Produção de metano a partir de manipueira e lodo de ETE. **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, v. 1, n. 2, p. 7199-7206, 2015.

SUNADA, N. da S. et al. Compostagem de resíduo sólido de abatedouro avícola. **Ciência Rural**, v. 45, n. 1, p. 178-183, 2014.

SUZUKI, A. B. P. et al. Utilização de manipueira juntamente com sólidos da cama de aviário em biodigestores para geração de biogás. **Ambiência**, v. 8, n. 3, p. 809-819, 2012.

TEIXEIRA, S. Frango de corte - tratamento de resíduos nos abatedouros. 2015. Disponível em: <https://www.cpt.com.br/cursos-avicultura/artigos/frango-de-corte-tratamento-de-residuos-nos-abatedouros>. Acesso em: 24 fev. 2022.

TREMEA, F. T.; SILVA, A. C. da. O setor avícola no Brasil e sua distribuição regional. **Economia & Região**, v. 8, n. 1, p. 183-200, 2020.

ZADINELO, I. V. et al. Potencial da produção de biogás a partir de efluente pré-tratado de abatedouro de aves da região do Oeste do Paraná. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 2, n. 1, 2013.