

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA AMBIENTAL  
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

ELIANE PEREIRA MACHADO

**ANÁLISE DE EFICIÊNCIA DE TRATAMENTO DE MANIPUEIRA EM  
REATOR ANAERÓBIO DE FLUXO VERTICAL COM SEPARAÇÃO  
DE FASES**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO  
2013

ELIANE PEREIRA MACHADO

**ANÁLISE DE EFICIÊNCIA DE TRATAMENTO DE MANIPUEIRA EM  
REATOR ANAERÓBIO DE FLUXO VERTICAL COM SEPARAÇÃO  
DE FASES**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado à coordenação de curso de Engenharia Ambiental - COEAM- da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, como requisito para a obtenção do título de Engenheira.

Orientador: Prof. Dr. José Hilton Bernardino de Araújo  
Co-orientadora: Lina Kesi Gusmão.

CAMPO MOURÃO  
2013



Ministério da Educação  
**Universidade Tecnológica Federal do Paraná**  
Campus Campo Mourão  
Diretoria de Graduação e Educação Profissional  
Coordenação de Engenharia Ambiental - COEAM  
Engenharia Ambiental



---

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

**ANÁLISE DE EFICIÊNCIA DE TRATAMENTO DE MANIPUEIRA EM REATOR  
ANAERÓBIO DE FLUXO VERTICAL COM SEPARAÇÃO DE FASES**

por

**ELIANE PEREIRA MACHADO**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 13 de setembro de 2013 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a banca examinadora considerou o trabalho **APROVADO**.

---

**JOSÉ HILTON BERNARDINO DE ARAÚJO**

---

**LINA KESI GUSMÃO**

---

**FLÁVIA VIEIRA DA SILVA MEDEIROS**

---

**MORGANA SUSZEK GONÇALVES**

*O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia Ambiental*

À Neide, minha querida mãe, que ao me trazer ao mundo e me ensinar a viver, voluntariamente, carrega parte da responsabilidade de todos os meus atos.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Dr. José Hilton Bernardino e à Lina Kesi Gusmão, pela respectiva orientação e co-orientação desta pesquisa, e conseqüentemente, pelos momentos de aprendizado.

À gerência da Pinduca LTDA, pela oportunidade de trabalhar o tema dessa pesquisa fazendo uso do efluente dessa indústria. Agradeço também ao gerente de produção Willian Teixeira, pela atenção, e tempo dispensados na colaboração dessa pesquisa, principalmente por tornar possível o fornecimento do efluente da Pinduca.

À UTFPR pela disponibilidade de espaço para o aparato experimental da pesquisa e também pela disponibilidade do laboratório, para a realização das análises químicas. Aos técnicos laboratoristas pela atenção e paciência dedicados durante o uso dos laboratórios.

Aos pesquisadores e professores da banca examinadora, pela atenção e contribuição dedicadas a este estudo. Aos meus mestres que, durante todo o curso de graduação, ao transmitirem seus conhecimentos, ajudaram na minha formação acadêmica, tornando possível a realização deste trabalho.

Enfim, agradeço o apoio da minha mãe e também da D. Terezinha e Damaris, que ao dividirem a casa comigo, se tornaram minha segunda família em Campo Mourão. À todos os amigos e colegas que fiz durante esses anos de graduação, gostaria de externar minha satisfação, em tê-los por perto.

## RESUMO

MACHADO, Eliane Pereira. Análise de eficiência de tratamento de manipueira em reator anaeróbio de fluxo vertical com separação de fases. 2013. 31 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Coordenação de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2013.

O potencial poluidor da manipueira deve-se, principalmente, a alta carga orgânica, sendo que os açúcares solúveis representam a maior parte da matéria orgânica existente. Por serem solúveis e de fácil fermentação, eles se degradam em ácidos orgânicos de forma muito rápida, viabilizando o tratamento biológico, em especial o tratamento biológico anaeróbio. Dessa forma, considerando a expansão da indústria de processamento da mandioca no Paraná, este trabalho teve por objetivo verificar a eficiência de um reator anaeróbio de duas fases no tratamento da manipueira de uma indústria localizada na região centro-oeste do estado do Paraná. Ao longo do período de funcionamento do biorreator, constatou-se que o não uso de um alcalinizante para neutralizar a acidez inicial do efluente, comprometeu a eficiência do sistema de tratamento como um todo. Os resultados da caracterização do efluente tratado mostraram que, mesmo acidificado e com desequilíbrio das reações, o reator estudado chegou a reduzir em mais de 90% os valores de turbidez, mais de 60% os valores de sólidos voláteis e em mais de 40% os valores de DQO e nitrogênio total. Dessa forma o reator anaeróbio de fluxo vertical com separação das fases, se mostrou com grande potencial para o tratamento da manipueira, podendo ter sua eficiência aumentada tomado-se o cuidado de usar dosagens de alcalinizantes para neutralizar a acidez natural da manipueira, principalmente no início da retenção hidráulica, ou durante a partida do reator, a fim de evitar a completa acidificação do efluente.

**Palavras chave:** Manipueira; Tratamento; Reator Anaeróbio.

## ABSTRACT

MACHADO, Eliane Pereira. Analysis of treatment efficiency of cassava in anaerobic vertical flow with phase separation. In 2013. 31 f. Completion of course work (undergraduate Environmental Engineering) – Coordination of Environmental Engineering, Federal Technological University of Paraná. Campo Mourao, 2013.

The pollution potential of cassava is due primarily to high organic load, and the soluble sugars account for most of the organic matter of cassava. Because they are easily fermentable soluble and they degrade organic acids very quickly, enabling biological treatment, in particular anaerobic biological treatment. Thus, considering the expansion of cassava processing industry in the Paraná, this study aimed to verify the efficiency treatment of cassava in anaerobic reactor of a two-phase in an industry located in the central-western of state of Paraná. Throughout the period of operation of the bioreactor, it was found that the use of an alkalizing not to neutralize the acidity of the initial effluent committed the efficiency of the treatment system as a whole, mainly because of the small time to the research. The results of the characterization of the treated effluent showed that even with imbalance reaction and acidification, the reactor studied reduce by more than 90% of the turbidity values, over 60% volatile solids values and 40% reduced the values of COD and total nitrogen, so the anaerobic vertical flow with phase separation, showed great potential for the treatment of cassava, only if taken care of using dosages of alkaline to neutralize the natural acidity of cassava, especially early in the hydraulic retention time or during start-up of the reactor, in order to prevent the acidification complete of the effluent.

**Keywords:** Manipueira, Treatment, Anaerobic Reactor

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	8
<b>2 OBJETIVO</b> .....	10
2.1 OBJETIVO GERAL.....	10
2.2 OBJETIVO ESPECÍFICOS.....	10
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	11
3.1 DIGESTÃO ANAERÓBIA.....	11
3.2 FATORES DE INTERFERÊNCIA NA DIGESTÃO ANAERÓBIA .....	12
<b>3.2.1 Temperatura</b> .....	12
<b>3.2.2 pH</b> .....	12
<b>3.2.3 Acidez e alcalinidade</b> .....	12
3.3 ALTERNATIVAS PARA O TRATAMENTO DA MANIPUEIRA.....	13
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA MANIPUEIRA.....	14
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	15
4.1 DESCRIÇÃO DA INDÚSTRIA.....	15
4.2 COLETA E ARMAZENAMENTO.....	16
4.3 CONSTRUÇÃO DO BIODIGESTOR.....	16
4.4 FUNCIONAMENTO DO REATOR ANAERÓBIO.....	17
4.5 CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE.....	20
4.6 DETERMINAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO TRATAMENTO .....	20
<b>5 RESULTADO E DISCUSSÕES</b> .....	21
5.1 CARACTERIZAÇÃO.....	21
5.2 EFICIÊNCIA DO REATOR.....	22
<b>6 CONCLUSÃO</b> .....	27
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	28



## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil contribui com cerca de 15% da produção mundial da mandioca, ocupando o segundo lugar no cultivo, que se estende por todo o território nacional, seja como lavouras de subsistência, seja como plantios para fins comerciais. Em nível nacional, o Paraná já se consolidou como o maior produtor de fécula de mandioca do Brasil (CORREIA e DEL BIANCHI, 2008).

Segundo análise da conjuntura agropecuária da safra 2011/12, feita pela Secretaria da Agricultura e do Abastecimento do Estado do Paraná (SEAB, 2011), em 2010 foram produzidas 404.260 toneladas de mandioca, o que representou 75% do total da produção nacional. Para atender a demanda de beneficiamento dessa produção, o estado possui por volta de 50 indústrias processadoras de mandioca para a retirada do amido e/ou farinha.

Paralelo ao crescimento desse ramo industrial aumenta também a ocorrência de problemas ambientais decorrentes da disposição inadequada do efluente destas indústrias, conhecido popularmente como manipueira.

De acordo com Barana (2000), o potencial poluidor da manipueira deve-se, principalmente, a alta carga orgânica. No entanto, Branco (1967) afirma que existe também o problema da toxicidade resultante das elevadas concentrações de ácido cianídrico.

Segundo Barana (2000), os açúcares solúveis representam a maior parte da matéria orgânica da manipueira. Por serem solúveis e de fácil fermentação, eles se degradam em ácidos orgânicos de forma muito rápida, viabilizando o tratamento biológico em detrimento ao físico-químico.

Dentre os tipos de tratamento de efluentes existentes na atualidade, o tratamento biológico possui grande aplicabilidade no tratamento de águas residuárias, sejam concentradas ou diluídas. Sendo que os sistemas existentes podem ser classificados, basicamente, em dois grandes grupos: tecnologias de sistemas simplificados ou mecanizados e processos aeróbios ou anaeróbios (MOTTA e CEREDA, 1985).

Os biodigestores anaeróbios, em especial, tem se mostrado como tecnologias de baixo custo econômico e energético, e de resposta satisfatória, devido à baixa produção de sólidos, tolerância a elevadas cargas orgânicas e possibilidade de operação com elevados tempos de detenção de sólidos (AQUINO e CHERNICARO, 2005).

Neste contexto, novos desenhos com diferentes configurações de reatores anaeróbios vêm sendo estudados, a fim de atender às necessidades das indústrias. O reator anaeróbio

compartimentado em duas fases é um exemplo de configuração de biodigestor que tem sido aplicado por vários autores ao longo dos últimos anos, no tratamento de efluentes de farinhas e fecularias (LACERDA, 1991; FERNANDES JR, 1995; SAMPAIO, 1996; BARANA, 2000; FEIDEN, 2001; CORDEIRO, 2006; CORREIA e DEL BIANCHI, 2008 e PINTO, CAMILI e CABELLO, 2010) .

Dessa forma, considerando a expansão da indústria de processamento da mandioca no Paraná, esta pesquisa teve por objetivo verificar a eficiência de um reator anaeróbio de duas fases no tratamento da manipueira de uma indústria localizada na região centro-oeste do estado do Paraná.

## **2 OBJETIVO**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Analisar a eficiência de tratamento da manipueira em biodigestor anaeróbio, de duas fases (acidogênica e metanogênica).

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Caracterizar a manipueira;
- Projetar e construir um protótipo de reator anaeróbio de duas fases;
- Colocar biorreator em funcionamento, realizando o tratamento da manipueira;
- Caracterizar o efluente tratado;
- Determinar a eficiência do tratamento.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 DIGESTÃO ANAERÓBIA

Devido à grande quantidade de estudos já realizados, existem hoje, inúmeros processos de tratamento e/ou aproveitamento de resíduos orgânicos, sendo o tratamento biológico uma técnica amplamente difundida.

Dentre os processos de tratamento biológico, a digestão anaeróbia tem se destacado com grande potencialidade de aplicação para efluentes orgânicos, principalmente pela baixa produção de lodo, cerca de 5 a 10 vezes inferior a que ocorre nos processos aeróbios. Pela geração de biogás, por dispensar a presença de aeradores e por apresentar baixa demanda de área, reduzindo os custos de implantação. (FERNANDES JR, 2001).

A digestão anaeróbia pode ser definida como um processo fermentativo microbiano, onde a matéria orgânica, na ausência de oxigênio livre, é convertida em gases, com predominância de metano e dióxido de carbono. A decomposição anaeróbia da matéria orgânica a metano é conduzida por vários tipos de microorganismos que agem simbioticamente, passando por diferentes fases (LACERDA, 1991).

A digestão anaeróbia de compostos orgânicos complexos é considerada um processo que compreende dois estágios. De acordo com Chernicharo (1997), no primeiro estágio (fase acidogênica), bactérias facultativas e anaeróbias, agem sobre os compostos orgânicos complexos como carboidratos, proteínas e lipídios, que acabam por ser hidrolisados, fermentados e biologicamente convertidos a compostos orgânicos mais simples (principalmente ácidos voláteis). Em uma segunda etapa (fase metanogênica), os ácidos orgânicos são convertidos em gás metano ( $\text{CH}_4$ ) e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) através da ação de bactérias estritamente anaeróbias, denominadas formadoras de metano.

### 3.2 FATORES DE INTERFERÊNCIA NA DIGESTÃO ANAERÓBIA

Sampaio (1996), ao estudar a viabilidade do processo de tratamento anaeróbio da manureira em duas fases, observou que trabalhando as etapas de biodegradação (acidogênica e metanogênica) separadamente, pode-se ter controle sobre elas de forma a aperfeiçoar o sistema.

Os microorganismos presentes na segunda fase (metanogênica) se reproduzem mais devagar e são mais sensíveis às condições do ambiente, em relação aos micro-organismos presentes na primeira fase (acidogênica) (SOUZA, 1984).

Devido a esta complexidade, sempre que possível, deve-se fazer o monitoramento das variáveis envolvidas, para posterior avaliação do processo.

#### 3.2.1 Temperatura

A temperatura é um fator ambiental de inquestionável importância para quaisquer processos biológicos, influenciando no metabolismo da produção bacteriana, de forma a inibir ou favorecer o bom desenvolvimento das populações. De acordo com Carrasco (1992), o processo anaeróbio é viável sob dois níveis distintos de temperatura. O mesofílico, cuja faixa de temperatura situa-se entre 10 e 42 °C e o termofílico, cuja faixa de temperaturas situa-se acima de 42 °C. No caso de reatores anaeróbios, as condições de temperatura, geralmente se encontram no nível termofílico.

#### 3.2.2 pH

O pH ótimo para as bactérias acidogênicas é entre 5,5 e 6,0 e para as metanogênicas entre 6,8 e 7,2. Se a taxa metanogênica é menor que a de hidrólise, e a alcalinidade do sistema não é suficiente, poderá ocorrer acúmulo de hidrogênio e ácidos graxos voláteis, levando a acidificação do biorreator e conseqüente falha do processo (MURTO et. al, 2004).

#### 3.2.3 Acidez e alcalinidade

Análises de acidez e alcalinidade são parâmetros importantes na determinação do desempenho de reatores. De acordo com Sampaio (1996), na fase acidogênica, a relação AV/AT (acidez volátil/alcalinidade total) costuma apresentar valores maiores que 1,0, por

conta da grande concentração de ácidos graxos. Dessa forma, o controle dessas variáveis permite prever a queda de pH, ajudando a mantê-lo no nível ideal.

O monitoramento da alcalinidade tem se mostrado mais importante que a avaliação do pH, por conta da sua escala logarítmica, onde uma pequena redução do pH implica em consumo elevado de alcalinidade, reduzindo a capacidade de tamponamento do meio (CHERNICHARO, 1997).

### 3.3 ALTERNATIVAS PARA O TRATAMENTO DA MANIPUEIRA

Por ser a manipueira um efluente que tem como característica a presença de compostos orgânicos complexos, muitos autores já se dispuseram a tratá-la em biodigestores anaeróbios com separação das fases metanogênicas e acidogênicas. Lacerda (1991), por exemplo, ao estudar a cinética da fase metanogênica da digestão anaeróbia da manipueira a fim de definir o melhor tempo de detenção hidráulica (TDH), dividiu o sistema em duas fases. Controlou a acidez da fase acidogênica aplicando solução de NaOH a pH entre 5,5 e 6,0, usando o efluente dessa fase como afluente da fase metanogênica.

Nas condições deste estudo, o autor concluiu que o tempo de detenção hidráulica mais eficiente para fase metanogênica foi de 3 dias, com produção de biogás de  $0,68 \text{ L g}^{-1}$  DQO reduzida, apresentando 75,5% de metano, carga orgânica reduzida em 80%, e remoção de 37,5% de cianeto. Foi constatado também que a eficiência do tratamento aumenta com TDH maiores e, o TDH crítico para o tratamento foi de 0,6193 dia (LACERDA, 1991).

Fernandes Jr (1995), em seu estudo da fase acidogênica da digestão da manipueira em reator de mistura completa, mostrou que o tempo de detenção hidráulico (TDH) é proporcional à redução da carga orgânica. Esse mesmo autor ainda afirma que, sem controle de pH, 24 horas é o período ideal para o efluente ser encaminhado para a fase metanogênica, por conta da maior velocidade de transformação de acidez volátil para ácido acético, que é o principal substrato para a metanogênese.

Cordeiro (2006) estudou o tratamento da manipueira em biodigestor compartimentado de bancada obtendo valores de eficiências superiores aos encontrados na literatura chegando a 91% até 95% para TDH de 3,5 e 5 dias respectivamente. O experimento também evidenciou a redução da acidez e conseqüente elevação do pH ao longo dos pontos amostrados e, uma redução considerável da turbidez.

Correia e Del Bianchi (2008) desenvolveram um estudo usando Reator Anaeróbio Compartimentado Horizontal (RACH) no tratamento do resíduo de processamento da

mandioca de uma indústria, localizada na cidade de Santa Maria da Serra, interior de São Paulo. Neste estudo, os autores obtiveram resultados eficientes na retenção da fração orgânica particulada, por terem separado em vários compartimentos as fases do catabolismo anaeróbio.

Pinto, Camili e Cabello (2010), ao avaliar a eficiência do tratamento do efluente da extração de fécula de mandioca, através de biodigestores anaeróbios de fluxo ascendente, com separação das fases, conseguiram resultados de redução da carga orgânica com eficiências médias de 89,8 e 80,9%, obtidos com os tempos de detenção hidráulica (TDH) de 8,17 e 5,44 dias, respectivamente. Neste estudo os autores não fizeram controle de temperatura ou adição de produtos químicos.

### 3.1 CARACTERÍSTICAS DA MANIPUEIRA

Segundo Lamo e Menezes (1979), as características da manipueira são altamente dependentes do nível de eficiência dos equipamentos utilizados nos processos de extração. Colin et al (2007) também afirmam que as características físico-químicas da manipueira variam dependendo da forma de processamento das raízes, principalmente em relação à matéria orgânica e potencial tóxico.

Outro fator que influencia nas características da manipueira é a junção deste efluente com a água de lavagem das raízes, que é originária dos lavadores e descascadores de mandioca e carrega em suspensão a terra e as cascas que podem ser separadas por decantação e peneiramento (CEREDA, 2001).

Por este motivo, o tratamento da manipueira deve ser adaptado às condições que esta apresenta de acordo com as particularidades do processo que a origina.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 DESCRIÇÃO DA INDÚSTRIA

A manipueira utilizada como substrato, foi obtida na fábrica de farinha de mandioca PINDUCA, localizada no município de Araruna na região noroeste do Paraná. O processo fabril utilizado pela empresa é mostrado pelo fluxograma da Figura 1. O efluente, em seu estado bruto, foi coletado na saída da prensagem.

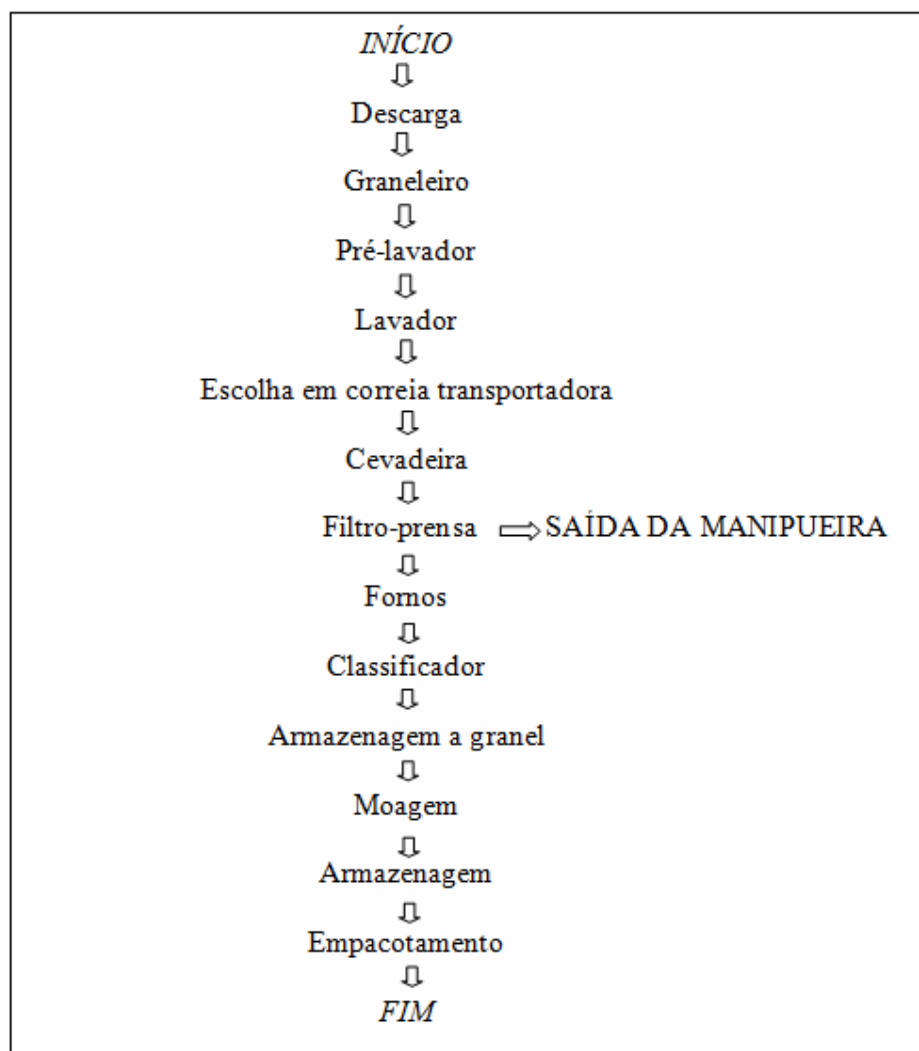


Figura 1: Fluxograma de processo de fabricação de farinha de mandioca na Indústria Pinduca LTDA localizada em Araruna – PR.



Como pode ser visto na Figura 1, a manipueira sai diretamente do processo de filtração da massa da mandioca, sendo que a separação da parte líquida é feita por um sistema de filtro prensa.

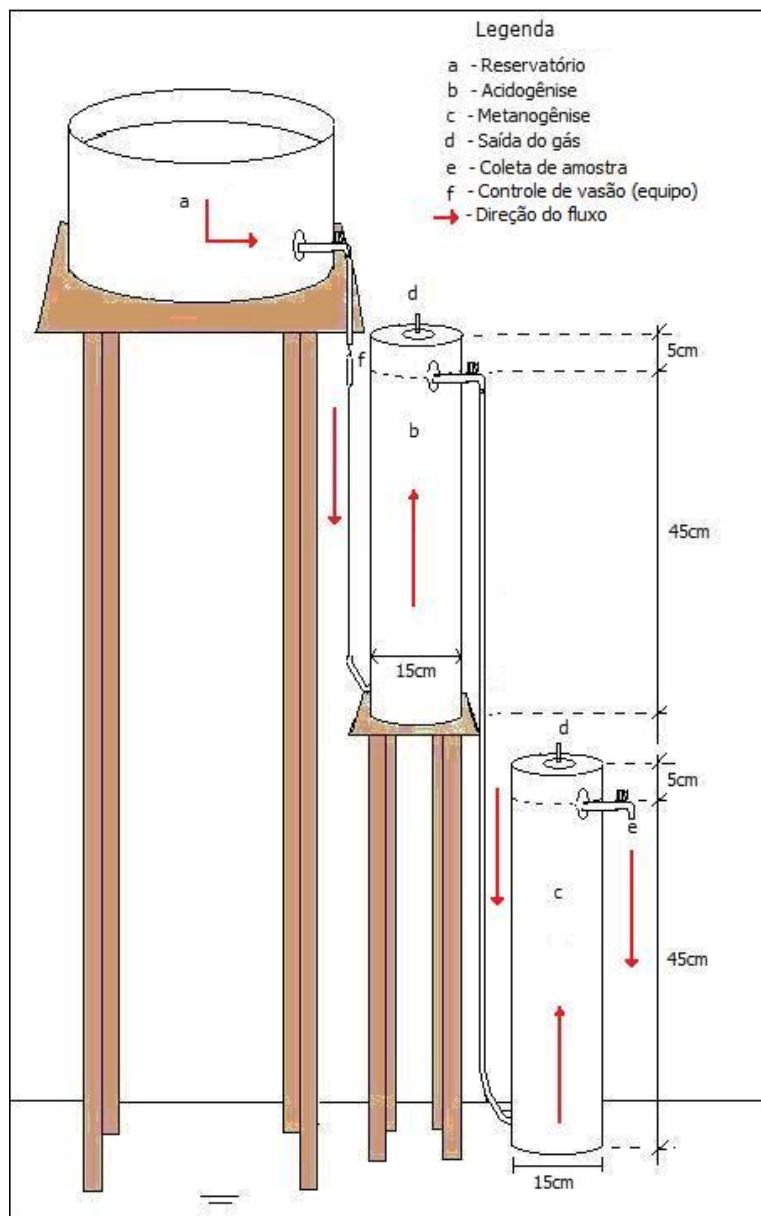
#### 4.2 COLETA E ARMAZENAMENTO

A coleta foi feita no dia 17 de abril de 2013, correspondendo a um volume aproximado de 150 litros de efluente, que foi transportado da indústria até o Câmpus da UTFPR, armazenado em bombonas de 50 litros (fornecidas pela indústria). Já no Câmpus da UTFPR, após homogeneizar o efluente e armazená-lo em galões de 5 litros, este foi congelado em um ultrafreezer, sendo retirado para abastecimento periódico do sistema de tratamento.

#### 4.3 CONSTRUÇÃO DO BIODIGESTOR

O biodigestor foi construído a partir de dois tubos de PVC com diâmetro de 15 cm e altura de 50 cm, totalizando um volume de aproximadamente 8 litros em cada fase, vedados em ambas as extremidades e conectados entre si (Figura 2).

Como mostra a Figura 2, os tubos (d) possuem um pequeno orifício na extremidade superior, para a saída de biogás. Também fez parte do sistema de tratamento um reservatório com capacidade de 15 litros (a), que foi colocado acima da primeira fase do biodigestor (b), e esta fase por sua vez, foi colocada em uma altura superior a da segunda fase do biodigestor (c), de modo que a gravidade fosse responsável pela movimentação vertical do efluente dentro do sistema.

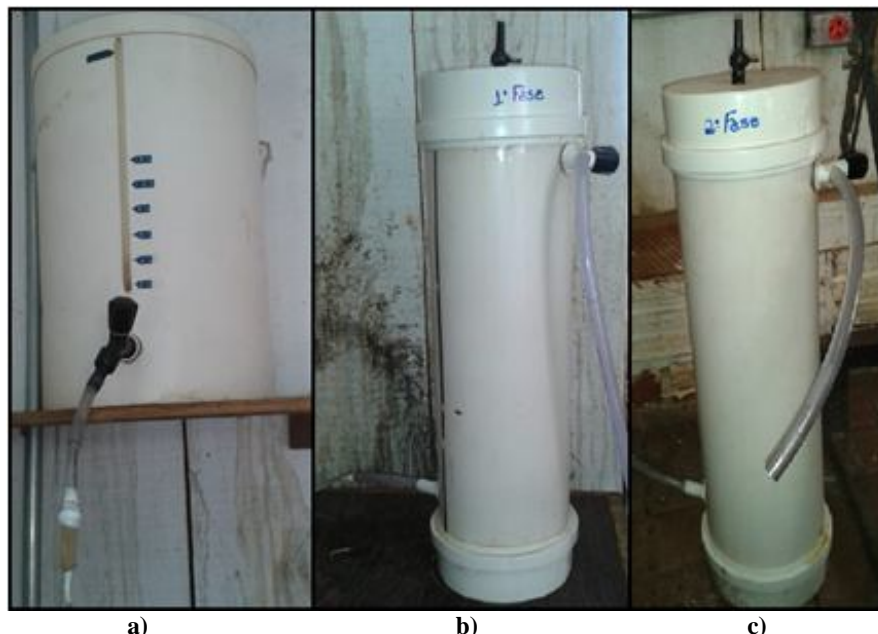


**Figura 2: Esquema para construção do biodigestor de duas fases**

A conexão entre o reservatório e as fases acidogênica e metanogênica, se fez por meio de mangueiras de PVC flexível. A alimentação do sistema digestor foi controlada pela torneira do reservatório, e a entrada e saída de efluente em ambas as fases, ocorreu pela lateral inferior e lateral oposta superior, respectivamente. Como meio suporte para os microorganismos foi utilizado espuma de poliuretano, colada nas paredes internas dos tubos do biodigestor. A partida do biorreator foi dada no dia 17 de abril de 2013, as Figuras 3 e 4 mostram o biorreator montado e em funcionamento.



Figura 3: Protótipo do sistema de tratamento de manipueira, montado e em funcionamento.



**Figura 4: Detalhe dos três principais componentes do sistema de tratamento: Reservatório (a), 1º fase ou fase acidogênica (b) e 2º fase ou fase metanogênica do biorreator (c).**

Como mostra a Figura 3, o protótipo de sistema de tratamento composto pelo biorreator anaeróbico de duas fases foi montado dentro do Campus da UTFPR de Campo Mourão, num espaço coberto e reservado, construído especialmente para abrigar reatores.

#### 4 FUNCIONAMENTO DO REATOR ANAERÓBIO

A princípio, parte do efluente foi mantida em condições ambientes para que descongelasse. Após descongelar, foi homogeneizado e despejado no reservatório do sistema (a). Na seqüência, o tubo da primeira fase do biodigestor (b) foi preenchido com o efluente descongelado, até que houvesse vazamento na torneira localizada na parte superior do mesmo tubo.

A partir de então, a vazão do fluxo foi controlada por meio de um equipo de soro conectado na mangueira entre o reservatório e a primeira fase, de modo que o efluente demorasse aproximadamente 7 dias para encher o tubo da segunda fase do biodigestor (vazão de 2 L/dia com desvio padrão de 200 ml)

Durante todo o estudo, o reservatório foi reabastecido com a menor quantidade necessária pra manter o fluxo do efluente constante. Ao final dos 7 dias, se fez a coleta para

realização de análises do efluente já tratado. A partir daí, a coleta para análise foi realizada novamente a cada 7 dias, por um período de 9 semanas.

#### 4.5 CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE

Após a coleta do efluente bruto, foram retiradas amostras para a realização de análises de DQO, Sólidos Voláteis, Nitrogênio e Turbidez. Dada a partida no sistema, periodicamente, também foram coletadas amostras da saída do reator para realização de análises dos parâmetros de controle (acidez, alcalinidade e pH) a fim de verificar as condições do tratamento.

Também foram feitas análises de DQO, nitrogênio, sólidos voláteis e turbidez das amostras do efluente tratado, coletado na saída do sistema biodigestor, ao final de cada tempo de detenção hidráulica estabelecido. Estas análises foram realizadas no laboratório de solos da UTFPR, de acordo com a metodologia do Standard Methods (APHA, 1991), e serviram para calcular a eficiência do tratamento no biorreator.

#### 4.6 DETERMINAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO TRATAMENTO

Os parâmetros utilizados pra verificação da eficiência do tratamento da manipueira no reator anaeróbio compartimentado em duas fases foram DQO, Sólidos voláteis, nitrogênio e turbidez. O cálculo da eficiência ( $\eta$ ) foi feito baseado na fórmula (1), sendo  $C_0$  a concentração do efluente bruto,  $C_f$  a concentração do efluente tratado e o resultado expresso em porcentagem (%).

$$\eta = \frac{C_0 - C_f}{C_0} \cdot 100 \quad (1)$$

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 CARACTERIZAÇÃO

Depois de realizada a coleta da manipueira foram realizadas análises de caracterização deste efluente. Os resultados de caracterização da manipueira em seu estado natural, após ser resfriada e também após ser congelada e descongelada, estão apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1: Caracterização da manipueira na condição do efluente em seu estado natural, resfriado e descongelado.**

<b>Característica</b>	<b>Manipueira em estado natural</b>	<b>Manipueira resfriada</b>	<b>Manipueira descongelada</b>
<b>Data da análise</b>	16/04/2013	17/04/2013	18/04/2013
<b>Temperatura C°</b>	21,8	15,2	11,7
<b>pH</b>	4,3	4,3	4,3
<b>Turbidez (NTU)</b>	15240,0	15060,0	15252,0
<b>Nitrogenio Total (g/L)</b>	3,3	3,6	3,4
<b>D.Q.O (mg/L)</b>	67782,8	66531,1	67230,6
<b>Alcalinidade (mg/L)</b>	0	0	0
<b>Acidez (mg/L)</b>	1330,0	1662,5	1 187,5

Na Tabela 1, observa-se que o valor da DQO do efluente bruto foi de 67.782 mg.L<sup>-1</sup>. Fernandes Jr (1995) obteve 69.000 mg.L<sup>-1</sup> na caracterização da manipueira usada em seu estudo, e Sampaio (1996) obteve 92.000 mg.L<sup>-1</sup> durante estudo de caracterização da manipueira. Se comparado a este último dado da literatura, o valor de DQO obtido da manipueira oriunda da Farinheira Pinduca se mostrou relativamente baixo. No entanto, Lacerda (1991) afirma que a DQO da manipueira gerada na fabricação de farinha geralmente varia de 30.000 a 70.000 mg.L<sup>-1</sup>.

Quanto ao nitrogênio total, a concentração encontrada na caracterização da manipueira usada no presente estudo foi de 3,30 g.L<sup>-1</sup> (Tabela 1). Este valor está próximo dos valores de Fernandes Jr (1995) e Barana (2000), que obtiveram, respectivamente, 2,00 g.L<sup>-1</sup> e 1,42 g.L<sup>-1</sup> de nitrogênio total presente na manipueira usada em seus estudos.

Em relação ao teor de sólidos, Silva (2009) em seu estudo que analisou o desempenho de um reator anaeróbio horizontal com chicanas e conchas sururu, ao caracterizar a manipueira utilizada, encontrou 58,0 g.L<sup>-1</sup> de sólidos totais e 42,9 g.L<sup>-1</sup> de sólidos voláteis.

Na Tabela 1 podemos ver que o valor encontrado no presente estudo foi de 22,4 g.L<sup>-1</sup> de sólidos totais e 11,923 g.L<sup>-1</sup> de sólidos voláteis na manipueira, sendo bem menor ao apresentado na literatura.

Essa característica de pouca quantidade de sólidos se deve provavelmente a separação da água da pré-lavagem e lavagem das raízes, o que diminui a quantidade de resíduos de solo presente no efluente. Esse valor também pode se justificar pelo bom desempenho do filtro-prensa, equipamento usado no processo de separação da massa de mandioca usada pra fabricação da farinha.

Também na Tabela 1, pode-se observar que o efluente congelado se aproximou mais do valor da DQO do efluente em seu estado natural, do que o efluente que foi resfriado. Além de ter sofrido maior redução da DQO que o congelado, também sofreu acidificação. Dessa forma, a fim de manter as características do efluente o mais próximo possível do seu estado natural, optou-se por armazenar o efluente congelado, para posterior descongelamento e abastecimento do protótipo de sistema de tratamento.

## 5.2 EFICIÊNCIA DO REATOR

O aparato experimental constituído de protótipo de reservatório e biorreator anaeróbio, de fluxo vertical, com separação das fases acidogênicas e metanogênicas, estudado para tratar a manipueira oriunda da Farinheira PINDUCA LTDA, foi montado, com sucesso. No entanto, dada a partida no sistema de tratamento montado, houve dificuldade em manter a precisão da vazão fazendo uso do equipo de soro, uma vez que não se dispunha de controlador de vazão elétrico. Apesar do desvio padrão existente na vazão, não se teve problemas com o tipo de material usado na construção, nem com a direção do fluxo e separação das fases.

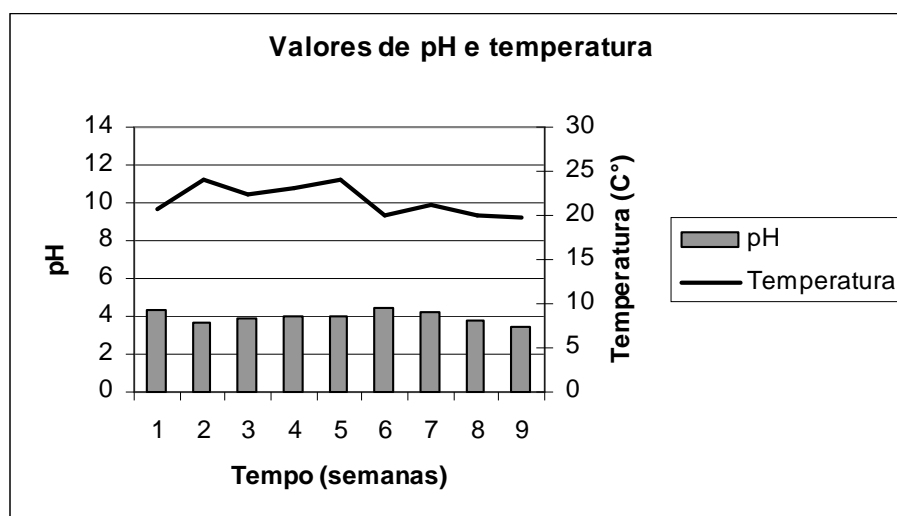
Durante o experimento, também foram realizadas análises para monitoramento do biorreator anaeróbio separado em duas fases. Os resultados das análises dos parâmetros de controle podem ser visto na Tabela 2.

**Tabela 2: Resultados semanais das análises de pH, alcalinidade e acidez da manipueira em tratamento no biorreator anaeróbico compartimentado em duas fases.**

Semana	pH	Temperatura (C°)	Alcalinidade (mg CaCO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup> )	Acidez (mg CaCO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup> )
1	4,3	20,7	0	1187,5
2	3,6	24,1	0	1472,5
3	3,9	22,3	0	2232,5
4	4,0	23,1	0	1995
5	3,9	24,0	0	2185
6	4,4	20,0	0	1852,5
7	4,2	21,3	0	1662,5
8	3,8	19,3	0	2280,0
9	3,5	19,6	0	1998,1

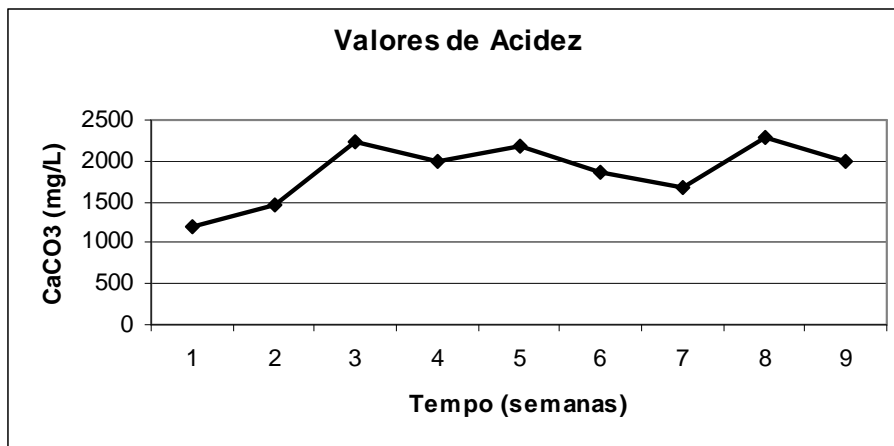
Os resultados apresentados na Tabela 2 mostram que durante todo o experimento, o pH se manteve numa faixa, que variou de 3,5 a 4,4, estando abaixo da faixa 5,5 a 6,0, nível de pH considerado ótimo para as bactérias acidogênicas (MURTO et. al, 2004). Na Figura 5 observa-se os valores de pH relacionados com os valores de temperatura do efluente.

A acidez apresentou valores altos, com oscilações, variando de 1.187,5 a 2.280 mgL<sup>-1</sup> de CaCO<sub>3</sub>. No entanto, não foi possível estabelecer a relação de acidez volátil pela alcalinidade total (AV/AT) para os resultados obtidos, pois a alcalinidade do efluente se apresentou nula durante todo o experimento, o que comprometeu de forma definitiva o equilíbrio das reações, por conta da falta de capacidade de tamponamento que levou a acidificação do efluente dentro do biorreator.



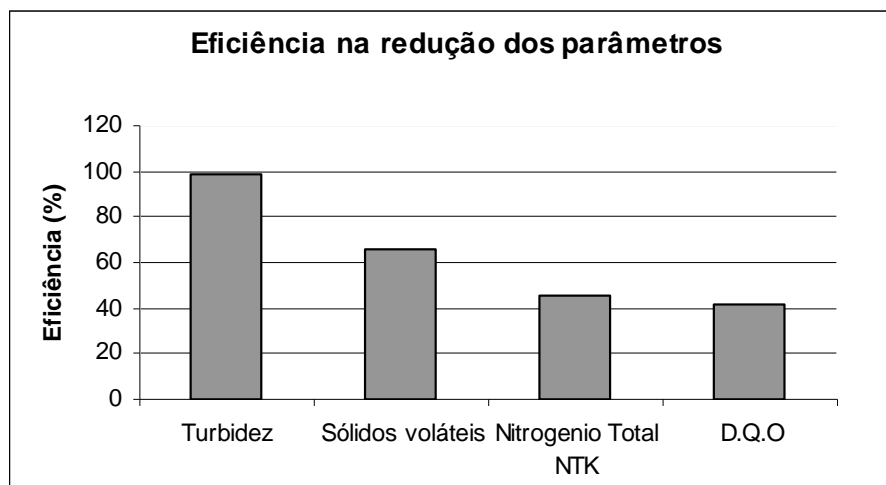
**Figura 5: Valores de pH e temperatura obtidos da análise semanal da manipueira em tratamento no biorreator anaeróbico compartimentado em duas fases.**





**Figura 6:** Valores de acidez obtidos da análise semanal da manipueira em tratamento no biorreator anaeróbio compartimentado em duas fases.

Além dos parâmetros de controle (alcalinidade, acidez e pH), também foram realizadas análises de turbidez, sólidos voláteis, DQO e nitrogênio para caracterização do efluente tratado. A Figura 7 mostra a eficiência do tratamento obtida na última semana de funcionamento do biorreator, para os parâmetros de turbidez, sólidos voláteis, DQO e nitrogênio.



**Figura 7:** Eficiência do biorreator na redução das concentrações de turbidez, sólidos voláteis, nitrogênio total e DQO durante a nona semana de funcionamento.

Como pode ser visto na Figura 7, a turbidez foi o parâmetro que o biorreator mostrou maior eficiência na redução de concentração (eficiência de 98,8% na última semana de funcionamento), provavelmente devido à degradação de alguns sólidos voláteis, parâmetro em

que houve a segunda maior eficiência do biorreator na redução de concentração (eficiência de 65,92 % na última semana de funcionamento).

Para o parâmetro de nitrogênio total, a eficiência de redução da concentração deste, na última semana de funcionamento do biorreator, foi de 45,17 %, não sendo satisfatória. Esse resultado se deve principalmente a acidificação do efluente dentro do biorreator, que pode ter comprometido a degradação de compostos mais complexos como os macro-nutrientes, do mesmo modo como pode ter comprometido a degradação da matéria carbonácea, tornando baixa a eficiência na redução da DQO, parâmetro este, em que o biorreator também não atendeu as expectativas, apresentando eficiência de 41,39 % na sua última semana de funcionamento.

Barana (2000) também estudou o processo de digestão da manipueira em sistema de duas fases, separados fisicamente, no qual observou que, sem a correção do pH no afluente do reator metanogênico, obteve-se um redução de DQO de até 75,24%, no entanto, neste estudo a autora controlou a carga de entrada no reator metanogênico, mantendo a  $9,45 \text{ gL}^{-1}\text{dia}^{-1}$  de DQO, enquanto que no presente estudo a carga orgânica do efluente inserido no reator foi maior que  $80 \text{ gL}^{-1}\text{dia}^{-1}$  de DQO. Ainda no estudo de Barana (2000), também foi observado que a redução de macro e micro nutrientes da manipueira durante o processo de digestão anaeróbia é pequena, por isso, após o tratamento, o afluente do sistema de tratamento ainda pode ser utilizado em fertirrigação.

Outro fator que teve influencia negativa no desempenho do sistema de tratamento foi o tempo de estudo. Uma vez que não foi possível o uso de lodo de manipueira disposto em lagoa de estabilização (ativado). Ao realizar o experimento em apenas dois meses, limitou-se o acúmulo de microorganismos ao meio e a capacidade de adaptação destes ao sistema de tratamento. Feiden (2001), estudando o tratamento de águas residuárias de fecularia através de biodigestor anaeróbio com separação de fases em escala piloto, concluiu que a biodigestão do efluente pode ser feita sem a correção prévia do pH nas fases acidogênica e metanogênica, porém o tempo de adaptação dos microorganismos do meio é mais lento em comparação quando se utiliza um agente de correção do pH como o NaOH.

No entanto, mesmo tendo ocorrido a acidificação do sistema de tratamento, ainda assim, os resultados de concentração dos parâmetros analisados mostraram uma tendência decrescente até o final da quarta semana, quando alguns dos parâmetros tiveram aumento na concentração. A Figura 8 mostra a evolução do tratamento da manipueira no biorreator anaeróbio compartimentado em duas fases, por meio das análises de DQO, sólidos voláteis,

nitrogênio e turbidez, realizadas semanalmente, ao final do tempo de retenção hidráulica do biorreator.

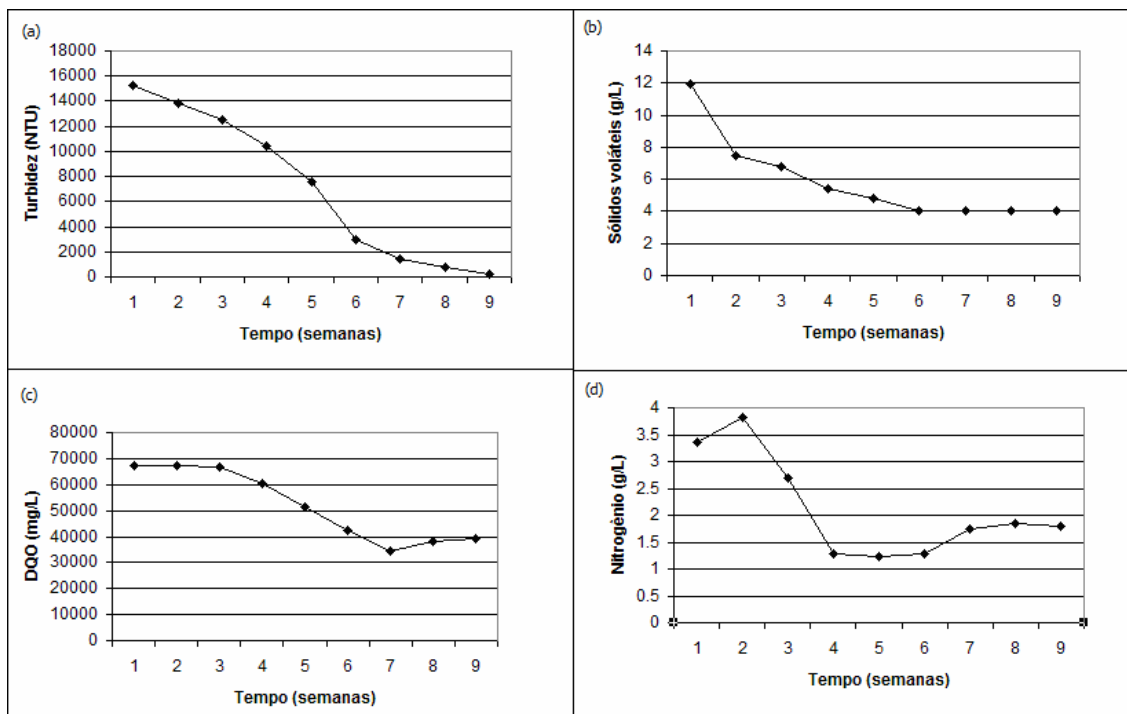


Figura 8: Valores de turbidez (a), sólidos voláteis (b), DQO (c) e nitrogênio (d) obtidos da manipueira tratada no biorreator anaeróbico compartimentado em duas fases, ao final do tempo de retenção hidráulica de 7 dias.

Como podem ser visto na Figura 8, os valores de turbidez mostram que, a partir da 5ª semana, o biorreator apresentou melhora de mais de 50% na eficiência da redução desse parâmetro, melhorando ainda mais nas semanas seguintes, até chegar a 98% de eficiência na 9ª semana. Os valores de sólidos voláteis também mostram uma redução significativa já na segunda semana, reduzindo gradativamente nas semanas seguintes.

Ainda na Figura 8, vê-se que a eficiência do biorreator na redução da DQO cresceu após a terceira semana, sendo que o menor valor de DQO foi obtido na sétima semana, a partir de quando começou a crescer novamente. Em relação ao parâmetro de nitrogênio total, houve uma redução significativa na segunda e terceira semana, no entanto a eficiência do biorreator diminuiu nas últimas quatro semanas quando a concentração de nitrogênio total voltou a crescer de forma gradativa.

## 6 CONCLUSÃO

Ao longo do período de funcionamento do biorreator, por meio das análises de monitoramento do sistema, concluiu-se que a decisão de não fazer uso de um alcalinizante para neutralizar a acidez inicial do efluente, comprometeu a eficiência do sistema de tratamento como um todo, principalmente por conta do pequeno tempo para a realização da pesquisa.

Entretanto, os resultados da caracterização do efluente tratado mostraram que, mesmo acidificado e com desequilíbrio das reações, o reator anaeróbio de fluxo vertical com separação das fases, chegou a reduzir em mais de 90% os valores de turbidez, mais de 60% os valores de sólidos voláteis e em mais de 40% os valores de DQO e nitrogênio total.

Por fim, o reator anaeróbio de fluxo vertical, com separação das fases, se mostrou com grande potencial para o tratamento da manipueira, somente tomando-se o cuidado de usar dosagens de alcalinizantes para neutralizar a acidez natural da manipueira, principalmente no início do tempo de retenção hidráulico, ou durante a partida do reator, a fim de evitar a completa acidificação do efluente.

Dada a importância de encontrar soluções para o problema de impacto ambiental ocasionado pela disposição inadequada da manipueira, seria interessante dar continuidade no presente trabalho, dedicando à pesquisa, um espaço temporal maior, que inclua o tempo de adaptação dos microorganismos no cronograma, antes da acúmulo de resultados de eficiência do tratam. Se possível, também se sugere o cuidado de controlar a temperatura do sistema, eliminando essa variável, para melhor entendimento dos resultados.

## REFERÊNCIAS

AQUINO, S. F., CHERNICHARO, C. A. L. *Acúmulo de ácidos graxos voláteis em reatores anaeróbicos sob estresse, com causas e estratégias de controle*. **Revista Engenharia sanitária e ambiental**, Rio de Janeiro, vol. 10, no 2, abr. 2005

APHA Standard methods for the examination of water and wastewater, 19th ed. Washington: American Public Health, 1991

BARANA, A C. *Avaliação de tratamento de manipueira em biodigestores fase acidogênica e metanogênica*. 2000. 95p. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura). Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu-SP, 2000.

BRANCO, S.M. A. *dinâmica de populações microbiológicas na estabilização aeróbica de resíduos orgânicos de fecularia de mandioca*. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v.1, n.2. p.140-162, 1967.

CARRASCO, K. I. A. *Balanço de Massa e Energia: Aplicação ao Tratamento de Esgotos Sanitários com Reatores Anaeróbios de Manta de Lodo (UASB) à Temperatura de 20°C*. 1992. 212p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos-SP, 1992.

CHERNICHARO, C.A.L. **Reatores Anaeróbios, Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias** v.05, Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, p.163, 1997.

COLIN, X.; FARINET, J. L.; ROJAS, O.; ALAZARD, D. *Anaerobic treatment of cassava starch extraction wastewater using a horizontal flow filter with bamboo as support*. **Bioresoursetechnology**, Cali, v. 98, p. 1602 - 1607, 2007.

CORDEIRO, G.Q; *Tratamento de Manipueira em Reator Anaeróbio Compartimentado*. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciências de Alimentos). Instituto Biociência, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, UNESP. São José do Rio Preto-SP, 2006.

CORREIA, G. T.; DEL BIANCHI, V. L. *Tratamento biológico de água residuária da produção de farinha de mandioca utilizando reator anaeróbico compartimentado vertical (RACOV)*. **Semina: Ciências Exatas e da Terra**, v. 29, n. 2, p. 159-166, 2008

FEIDEN, A. *Tratamento de águas residuárias de indústrias de fécula de mandioca através de biodigestores anaeróbios com separação de fases em escala piloto*. 2001. 90 p. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura). Faculdade de Ciências Agrônomicas da Universidade Estadual Paulista, Botucatu - SP, 2001.

FERNANDES JÚNIOR, A. *Digestão anaeróbia de manipueira em separação de fases: Cinética da fase acidogênica*. Botucatu, 1995. 140 p. Tese (Doutorado em agronomia). Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu - SP, 1995.

FERNANDES JÚNIOR, A. *Tratamentos físicos e biológicos da manipueira*. In: CEREDA, M.P. (Coord.) **Manejo, uso e tratamento de subprodutos da industrialização da mandioca**. São Paulo: Fundação Cargill, 2001. v.4, cap.10, p.138-50.

LACERDA, T. H. M. *Estudo cinético da fase metanogênica de substrato de manipueira*. 1991. 114p. Tese (Doutorado em Agronomia /Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu – SP, 1991.

LAMO, P.R; MENEZES, T. J. B. *Bioconversão das águas residuais do processamento da mandioca para a produção de biomassa*. ITAL, Campinas, v.10, p. 1-14, 1979.

MOTTA, L.C. & CEREDA, M.P. *Utilização de manipueira da mandioca em digestão anaeróbia*. 1985, 119 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura). Faculdade de ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu - SP, 1985.

MURTO, M.; BJÖRNSSON, L.; MATTIASSON, B. *Impact of food industrial waste on anaerobic co-digestion of sewage sludge and pig manure*. **Journal of Environmental Management**. v.70, p.101-107, 2004

PINTO, P. H. M. ; CAMILI, E. A. ; CABELLO, C. *Tratamento de manipueira de ecularia em biodigestor anaerobio para disposição em corpo receptor, rede pública ou uso em fertirrigação*. **Revista de Tecnologias (RETEC)**, v. 3, p. 63-72. Ourinhos - SP, 2010.

SEAB – Secretaria da Agricultura e do abastecimento do Estado do Paraná. *Análise da conjuntura agropecuária safra 2011/12 - Mandiocultura*. Departamento de economia rural. Economista Methodio Groxko, Outubro de 2011.

SAMPAIO, B. M. L. *Viabilidade do processo de tratamento anaeróbio de resíduos da industrialização da mandioca em sistemas de duas fases*. 1996, 176p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química)-Universidade Estadual de Maringá, Maringá - PR, 1996.

SILVA, J. de L. *Desempenho de reator anaeróbio horizontal com chicanas no tratamento da manipueira em fases separadas e estabilização do pH com conchas de sururu*. 2009, 99 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) Universidade Federal de Alagoas, Maceió – AL, 2009.

SOUZA, M. E. *Fatores que influenciam a digestão anaeróbia*. **Revista DAE**. v. 44, p.88-94, 1984.