

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

PÂMELA ROBERTA FRANCISQUETTI VENTURIN

**ANÁLISE DO APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS  
OBTIDO NA BIODIGESTÃO ANAERÓBIA DE MANIPUEIRA EM UMA  
FARINHEIRA DE MANDIOCA**

CAMPO MOURÃO

2017

PÂMELA ROBERTA FRANCISQUETTI VENTURIN

**ANÁLISE DO APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS  
OBTIDO NA BIODIGESTÃO ANAERÓBIA DE MANIPUEIRA EM UMA  
FARINHEIRA DE MANDIOCA**

Trabalho de Conclusão de Curso, do curso de Engenharia Ambiental, do Departamento Acadêmico de Ambiental (DAAMB), do Câmpus Campo Mourão, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Morgana Suszek Gonçalves

Coorientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Maria Cristina Rodrigues Halmeman

CAMPO MOURÃO

2017



Ministério da Educação  
**Universidade Tecnológica Federal do Paraná**  
Campus Campo Mourão  
Diretoria de Graduação e Educação Profissional  
Departamento Acadêmico de Ambiental - DAAMB  
Curso de Engenharia Ambiental



---

## TERMO DE APROVAÇÃO

ANÁLISE DO APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS OBTIDO NA  
BIODIGESTÃO ANAERÓBIA DE MANIPUEIRA EM UMA FARINHEIRA DE  
MANDIOCA

por

PÂMELA ROBERTA FRANCISQUETTI VENTURIN

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 19 de junho de 2017 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.

---

Profa. Dra. Morgana Suszek Golçalves

---

Profa. Dra. Maria Cristina Rodrigues Halmeman

---

Prof. Dr. Eudes José Arantes

---

Profa. Dra. Cristiane Kreutz

*O Termo de Aprovação assinado encontra-se na coordenação do curso de Engenharia Ambiental.*

Dedico este trabalho ao meu pai Edmilson, a  
minha mãe Vilma e ao meu irmão Juninho.

## **AGRADECIMENTOS**

Quero agradecer primeiramente a Deus, por ter me dado força e coragem para continuar na luta e não desistir. Aos meus pais e irmão pelo apoio e carinho de sempre, me fazendo persistir e não desistir do meu sonho. Ao meu namorado e minha família que sempre me apoiaram nas minhas decisões. Aos amigos que deixei na minha cidade natal pela amizade de sempre, e aos que fiz ao longo destes 5 anos, que hoje são minha família mourãoense, e que sem eles a caminhada seria mais difícil. As minhas orientadoras e aos demais professores que com toda sua dedicação me ajudaram e passaram muitos conhecimentos. Agradeço também a 3 estrelas que hoje brilham no céu e que com certeza se estivessem aqui estariam muito felizes com a minha conquista.

O meu muito obrigado a todos!

## RESUMO

O Paraná possui o 2º lugar no ranking nacional de produção de mandioca, estando mais concentradas nas regiões de Umuarama, Paranavaí, Toledo e Campo Mourão. No processo produtivo das farinheiras existem diversas etapas gerando diferentes efluentes, e um deles é a manipueira, resultante da prensagem da massa ralada da mandioca. A manipueira é um efluente altamente tóxico e deve passar por um tratamento prévio antes da destinação final. Uma alternativa que vem sendo utilizada é a biodigestão anaeróbia em biodigestores, que tratam o efluente e geram como subproduto o biogás, que pode ser queimado em caldeiras. Deste modo, o intuito desse trabalho foi analisar o aproveitamento energético do biogás obtido pela biodigestão anaeróbia em biodigestor alimentado pela manipueira de uma farinheira. O estudo foi realizado por meio de análises laboratoriais, visitas in loco e pesquisas bibliográficas. O resultado obtido para a quantidade de biogás gerado mensalmente foi de 28.920,68 m<sup>3</sup> e as emissões de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> equivalente evitadas, devido a queima do biogás na caldeira da empresa, foram de 723,017 m<sup>3</sup>/dia e 15.183,357 m<sup>3</sup>/dia, respectivamente. A empresa obteve economia de 52% com a compra de lenha após o aproveitamento energético do biogás em caldeira. Com isso pode-se concluir que o aproveitamento energético do biogás na queima em caldeira, é vantajoso para o proprietário, pois se obtém economia com a compra de lenha e ganhos ambientais devido ao não lançamento de efluente bruto em corpos hídricos e emissões de gases que são evitadas.

**Palavras-chaves:** Efluente. Biodigestor. Mandioca.

## ABSTRACT

The State of Paraná has the 2nd biggest production of cassava in the national ranking (Brazil), concentrated in the regions of Umuarama, Paranavaí, Toledo and Campo Mourão. In the production process of Flour factory there are several stages that generate different effluents, and one of them is cassava wastewater, resulting from the pressing of the grated mass of cassava. The cassava wastewater is a highly toxic effluent and must receive a previous treatment before final destination. As an alternative, anaerobic biodigestion can be used in biodigestors, which treat the effluent and generate biogas as a byproduct, the biogas can be burned in boilers. Thus, the purpose of this work was to analyze the energy usage of the biogas obtained by anaerobic biodigestion in a biodigestor fed by a Flour factory. This study was fulfilled through laboratory analyzes, on-site visits and bibliographical research. The result obtained for the amount of biogas generated monthly was 28.920,68 m<sup>3</sup> and the equivalent emissions of CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> avoided, due to the biogas burning in the company's boiler were 723,017 m<sup>3</sup>/day and 15,183,357 m<sup>3</sup>/day, respectively. The company obtained savings of 52% with purchase of firewood after using the energy of the biogas in the boiler. With this, it can be concluded that the energy usage of the biogas from the boiler is advantageous for the owner of the company, because he can obtain savings with the purchase of firewood, environmental gains due to not launching untreated effluent in the water and avoided gases emissions.

**Key-words:** Effluente. Biodigestor. Cassava.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Biodigestor modelo lagoa coberta.....	16
Figura 2 – Mapa de localização de São Geraldo, Araruna – PR.....	20
Figura 3 – Corpos de prova preparados para análises laboratoriais .....	21
Figura 4 – Esquema do processamento da mandioca em uma farinheira para obtenção de farinha.....	26
Figura 5 – Lavador mecânico da farinheira em estudo .....	27
Figura 6 – Retirada de cascas e películas que sobraram na lavagem e descascamento mecânico das raízes .....	27
Figura 7 – Picador mecânico da farinheira em estudo.....	28
Figura 8 – Triturador mecânico da farinheira em estudo .....	28
Figura 9 – Tanque de concreto onde a massa ralada fica armazenada.....	29
Figura 10 – Prensa mecânica da farinheira em estudo .....	29
Figura 11 – Massa prensada na prensa mecânica da farinheira em estudo .....	30
Figura 12 – Forno rotativo torrador da farinheira em estudo .....	30
Figura 13 – Caldeira da farinheira em estudo.....	31
Figura 14 – Peneiramento e empacotamento da farinha produzida na farinheira em estudo .....	31
Figura 15 – Biodigestor da farinheira em estudo .....	32
Figura 16 – Lagoa e biodigestor da farinheira em estudo.....	32
Figura 17 – Lenha utilizada como combustível da caldeira e ao fundo a caldeira da farinheira em estudo.....	33
Figura 18 – Mandioca que será processada .....	34



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição do Biogás.....	16
Tabela 2 – Equivalência entre o biogás e os outros combustíveis.....	17
Tabela 3 – Parâmetros analisados quanto ao consumo de lenha antes e após o uso do biogás	36
Tabela 4 – Quantidade de biogás e metano produzidos na farinheira .....	37
Tabela 5 – Quantificação e caracterização do biogás produzido na farinheira e quantidade de gases que deixam de ser emitidos com a queima do biogás na caldeira .....	38
Tabela 6 – Comparativo entre lenha e biogás consumidos na farinheira .....	40

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>2 OBJETIVOS.....</b>	<b>12</b>
<b>2.1 Objetivo geral .....</b>	<b>12</b>
<b>2.2 Objetivos específicos.....</b>	<b>12</b>
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>13</b>
<b>3.1 Processo de obtenção da farinha em uma farinheira de mandioca.....</b>	<b>13</b>
<b>3.2 Tratamento da manipueira por biodigestor anaeróbio .....</b>	<b>15</b>
<b>3.3 Preservação dos corpos hídricos .....</b>	<b>17</b>
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>20</b>
<b>4.1 Caracterização da área de estudo.....</b>	<b>20</b>
<b>4.2 Coleta de informações, análise da umidade média e do poder calorífico da lenha utilizada .....</b>	<b>21</b>
<b>4.3 Determinação da economia de lenha .....</b>	<b>23</b>
<b>4.4 Determinação da geração média de CH<sub>4</sub> e quantidade de CO<sub>2</sub> evitada de ser emitida .....</b>	<b>23</b>
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>26</b>
<b>5.1 Informações gerais sobre a empresa .....</b>	<b>26</b>
<b>5.2 Consumo de energia direta e economizada com o uso do biogás .....</b>	<b>34</b>
<b>5.3 Emissões de CO<sub>2</sub> equivalente evitadas com o uso do biogás na caldeira</b>	<b>37</b>
<b>5.4 Comparativo entre o consumo de lenha e o consumo de biogás.....</b>	<b>39</b>
<b>6 CONCLUSÃO .....</b>	<b>41</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>42</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional promoveu um aumento na produção alimentícia, principalmente dos produtos básicos, dentre eles a mandioca e seus derivados, que é a terceira cultura mais importante do Brasil (FEIDEN, 2001).

O Paraná possui o 2º lugar no *ranking* nacional de produção de mandioca, que vem crescendo ano a ano, sendo as regiões noroeste, centro-oeste e oeste paranaense as detentoras das maiores áreas de cultivo do produto com concentração maior nas regiões de Umuarama, Paranavaí, Toledo e Campo Mourão (GROXKO, 2011).

A produção de mandioca no Paraná tem como principal finalidade atender o setor industrial (cerca de 70% de toda produção) e com menor expressividade é destinada a alimentação animal e humana. Nos núcleos regionais de Umuarama, Paranavaí, Toledo e Campo Mourão, a produção é mais voltada para atender o comércio possuindo melhores tecnologias de produção (GROXKO, 2011).

As indústrias, em geral, são grandes consumidoras de energia elétrica, no entanto em muitos casos como na industrialização de frutas, carnes, cereais dentre outros, os resíduos da biomassa são tratados como rejeito e lançados indevidamente no meio ambiente, poluindo-o, enquanto poderiam ser utilizados como uma alternativa energética dentro da própria indústria. Muitas delas possuem caldeiras no processo produtivo, como é o caso das farinheiras, que poderiam ser alimentadas pela energia gerada dos resíduos oriundos do processo produtivo, ao invés de utilizar recursos escassos como a lenha, cujo consumo provoca desmatamento de grandes áreas reflorestadas e emissões de gases altamente poluidores (SGANZERLA, 1983).

Em uma farinheira de mandioca existem diversas etapas e procedimentos para obtenção do produto final, que é a farinha. Durante os processos produtivos são formados diferentes subprodutos e um deles é a manipueira. A manipueira é um efluente obtido em grande quantidade no processo de prensagem da massa ralada que possui substâncias altamente tóxicas e poluentes, como os cianetos e matéria orgânica. Devido a isso, as farinheiras são levadas a fazerem um tratamento prévio deste passivo ambiental antes de fazer sua destinação final, pois se não tratados podem ocasionar poluição de corpos hídricos, contaminação do solo, mau odor, proliferação de vetores, dentre outros impactos socioambientais.

Deste modo, vê-se a necessidade da instalação de equipamentos com a finalidade de tratar esses efluentes e ainda extrair energia para o aproveitamento na indústria, principalmente na substituição da lenha em caldeiras (SGANZERLA, 1983).

Para as farinheiras de mandioca, a instalação de um biodigestor anaeróbio seria o ideal, pois além de diminuir os níveis de substâncias tóxicas da manipueira, geram como subprodutos biogás e biofertilizantes que poderão ser utilizados para suprimento como fonte de energia e de adubos químicos, possuindo valor comercial agregado.

O tratamento da manipueira é essencial para a farinheira, pois o lançamento do efluente não tratado em corpo hídrico pode contaminar a água, estando o proprietário sujeito a sanções previstas na legislação ambiental brasileira.

O biofertilizante gerado na biodigestão anaeróbia tem alto poder de recuperação de solos tornando-o mais resistentes a erosão e restabelecendo suas propriedades físicas e biológicas, deixando-o ideal para o desenvolvimento de plantas (SGANZERLA, 1983). Este subproduto pode ser utilizado como fertilizante orgânico em lavouras ou ser comercializado, atribuindo ao proprietário renda extra.

Dentre todas as vantagens da utilização dos biodigestores para tratamento da manipueira, destaca-se ainda a redução de desmatamento vegetal para cultivo de eucalipto utilizado na fabricação de lenha, que leva a uma cadeia de vantagens tais como: aumento da cobertura vegetal, diminuição de erosão, diminuição de lixiviação aos corpos hídricos receptores, melhoramento da vida aquática, dentre outras.

Diante das informações supracitadas, destaca-se a necessidade de estudo sobre como as farinheiras manejam seus efluentes, principalmente nos núcleos regionais com maior produção de fécula de mandioca. Portanto, este estudo abrange uma farinheira de mandioca que trata seu efluente (manipueira) por meio de um biodigestor anaeróbio alimentado pela manipueira do processo produtivo, visando verificar o aproveitamento energético do biogás que é utilizado como combustível da caldeira juntamente com a lenha. A farinheira em questão está localizada em Araruna – PR, pertencente a região de Campo Mourão – PR.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Verificar o aproveitamento energético do biogás, obtido por meio de um biodigestor alimentado pela manipueira de uma farinheira de mandioca, na substituição da queima de lenha em caldeira.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Realizar levantamento de informações sobre a empresa;
- Calcular a vazão efluente e a quantidade de biogás gerados diariamente, de acordo com o processo produtivo;
- Analisar a umidade média e o poder calorífico da lenha utilizada;
- Determinar a economia de lenha com a substituição do biogás e o poder calorífico consumido por quantidade de mandioca processada antes e após o uso do biogás;
- Determinar a geração média de metano por quantidade de mandioca processada, e a quantidade das emissões de CO<sub>2</sub> evitadas pela queima do metano.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Processo de obtenção da farinha em uma farinheira de mandioca

O processamento da farinha de mandioca em uma farinheira é realizado da seguinte forma:

A mandioca é colhida em um período de 16 a 20 meses depois de plantada, que é quando as raízes apresentam o máximo rendimento. Após a colheita o processamento deve iniciar o quanto antes, podendo esperar no máximo 36 horas a fim de evitar perdas do produto. Deve-se ter cuidado no manejo das raízes após a colheita, pois caso haja atritos e esfolamento ocorrerá a fermentação das mesmas, resultando em um produto de qualidade inferior (SOUZA; BRAGANÇA, 2000).

Após a colheita, as raízes passam pelo processo de lavagem e descascamento que ocorrem simultaneamente no descascador mecânico. Com um fluxo contínuo de água, as raízes sofrem atrito entre si e com as paredes do equipamento, promovendo então o descascamento da mesma. Caso a farinheira não possua descascador mecânico, é utilizado então o descascamento manual com o auxílio preferencialmente de raspadores e luvas de aço, a fim de evitar acidentes, onde as raízes são lavadas antes e após o descascamento (ARAUJO; LOPES, 2009). Essa etapa do processo é importante, pois se bem executados, resultam na obtenção de farinha de qualidade superior (SOUZA; BRAGANÇA, 2000).

Com a raiz descascada e lavada, a próxima etapa é a de ralação das raízes, onde elas se transformam em massa (ARAUJO; LOPES, 2009). Esse processo é normalmente executado em cilindros com um eixo central provido de serrinhas em bom estado de conservação, a fim de não interferir no rendimento do produto final, deste modo, os cilindros devem sempre passar por manutenção e ajuste (SOUZA; BRAGANÇA, 2000).

Logo após a ralação das raízes, a massa ralada passará imediatamente pelo processo de prensagem, a fim de evitar a fermentação e/ou escurecimento da farinha. A etapa de prensagem da massa ralada tem por objetivo reduzir a umidade da massa para impedir fermentações indesejáveis, economizar tempo e combustível na torração e impedir a formação excessiva de grumos. Segundo Araujo e Lopes (2009), a raspa perde cerca de 20% de umidade durante a prensagem, atingindo o ponto ideal para a etapa seguinte de torração. A água que resulta da prensagem da

massa ralada é denominada manipueira e possui substâncias altamente tóxicas e poluentes. A manipueira é produzida em altas quantidades, em que uma tonelada de mandioca produz cerca de 300 litros de manipueira, deste modo, deve receber um tratamento adequado a fim de evitar contaminações do meio ambiente (SOUZA; BRAGANÇA, 2000).

A massa ralada ao sair da prensa encontra-se compactada, assim, passa pela etapa de esfarelamento que possibilita então a peneiragem. O esfarelamento pode ser realizado manualmente ou por meio de um esfarelador ou ralador. Logo após, a massa passa pela peneira, sendo a malha da peneira o determinante para a granulometria da farinha, onde fica retida as partículas grosseiras contida na massa, denominada de crueira crua, estas podem ser utilizadas na alimentação de animais (SOUZA; BRAGANÇA, 2000).

Depois da peneiragem, a massa é colocada (em bateladas) em um forno por aproximadamente 20 minutos para a retirada do excesso de água e gelatinar parcialmente o amido. Em farinheiras artesanais, há um responsável por revolver a massa com o auxílio de um rodo de madeira de cabo longo. Em seguida, a farinha é colocada em pequenas quantidades em outro forno para a torração final mantendo uma uniformidade da massa. O revolvimento ocorre de maneira uniforme até a secagem final da farinha, em torno de 13% de umidade. Esse procedimento é denominado de torração e tem muita influência sobre a qualidade do produto final, devendo ser realizado no mesmo dia da ralação das raízes (SOUZA; BRAGANÇA, 2000).

Após essas etapas, a farinha passa pela peneira para obtenção de um produto homogêneo com crivo ideal, atendendo as exigências do mercado. A farinha homogênea passa pelo empacotamento e armazenagem do produto, que deve ser mantido em local seco e ventilado (SOUZA; BRAGANÇA, 2000).

Entretanto, os trabalhos realizados nas farinheiras não terminam após a estocagem do produto, tem-se ainda um passivo ambiental a ser tratado, a manipueira, que por ser altamente tóxica e produzida em grandes quantidades, deve-se fazer um tratamento prévio deste efluente para então dar a destinação final correta.

### 3.2 Tratamento da manipueira por biodigestor anaeróbio

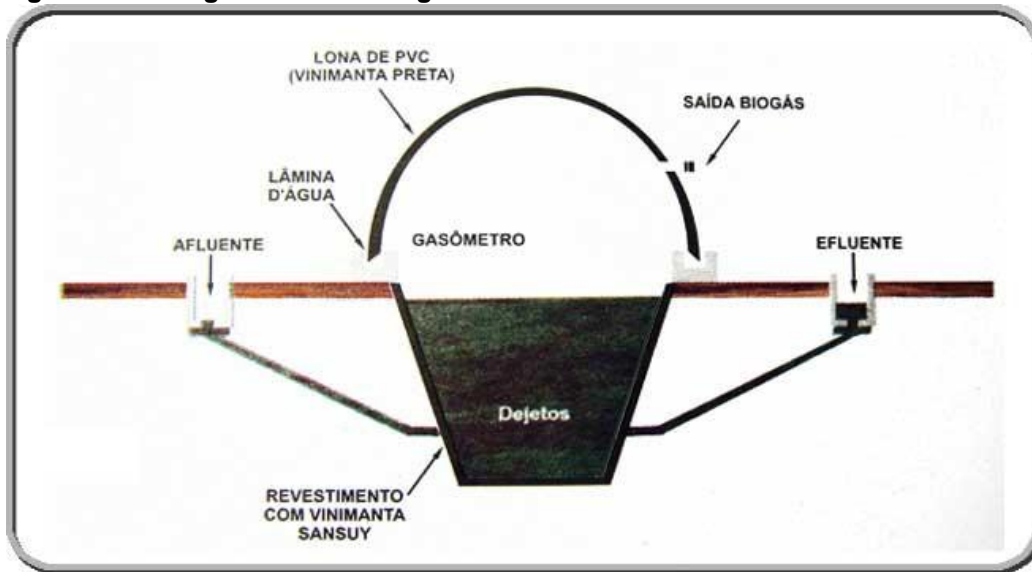
Uma alternativa em que vem sendo utilizada para o tratamento da manipueira é a utilização de biodigestores anaeróbios. Biodigestores são câmaras fechadas onde é adicionada matéria orgânica diluída em água que se deseja tratar, e neste ocorre o processo de fermentação anaeróbia, o qual gera como produtos o biogás e o biofertilizante (CIRINO; FARIA, 2013). Os biodigestores podem ser utilizados também para o tratamento de dejetos animais nas atividades suinícolas, avícolas e bovinocultura.

O processo dentro de um biodigestor é realizado por duas principais comunidades de bactérias, que são as formadoras de ácido (Acidogênicas) e as formadoras de metano (Metanogênicas). Durante o processo, a matéria orgânica sólida é convertida em líquido pelas formadoras de ácido, já as moléculas orgânicas solúveis são convertidas em biogás pelas bactérias formadoras de metano (HAMILTON, 2009).

Existem diferentes tipos de biodigestores, entretanto, o mais conhecido e utilizado é o biodigestor tipo lagoa coberta, por ser o que exige menor custo de instalação e operação. Este modelo é utilizado geralmente em regiões mais quentes, onde a temperatura externa ajuda a manter a temperatura interna do biodigestor (QUEIROZ et al., 2010). Neste, o gasômetro é construído por uma manta de PVC flexível sobre uma vala coberta de água circundando a base retangular construída em alvenaria. O biodigestor lagoa coberta opera em fluxo contínuo de alimentação e drenagem (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2016) (Figura 1).



**Figura 1 – Biodigestor modelo lagoa coberta**



Fonte: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA SUINOS E AVES, 2016

O material de entrada do biodigestor passa por uma biodegradação anaeróbica, e devido as diversas interações metabólicas entre diferentes grupos de microrganismos há a formação de biogás e biofertilizante.

O biogás é uma mistura de gases de alto poder calorífico, sua composição varia de acordo com a biomassa utilizada, mas sua maior parte é composta por metano e gás carbônico (SGANZERLA, 1983) (Tabela 1). No entanto, de acordo com Silva (1996) a composição do biogás depende do tipo de biomassa utilizada do biodigestor, do modelo do biodigestor e das condições de operação tais como, temperatura, pressão, pH e tempo de retenção.

**Tabela 1 – Composição do Biogás**

Gás presente no biogás	Porcentagem
Metano (CH <sub>4</sub> )	60 a 70
Gás Carbônico (CO <sub>2</sub> )	30 a 40
Nitrogênio (N)	Traços
Hidrogênio (H)	Traços
Gás Sulfídrico (H <sub>2</sub> S)	Traços

Fonte: Adaptado de Sganzerla (1983)

Seu poder calorífico varia de acordo com a quantidade de metano presente, podendo atingir de 5.000 a 6.000 Kcal/m<sup>3</sup> (SGANZERLA, 1983) e pode ser utilizado como substituto de diversas fontes de energia (Tabela 2).

**Tabela 2 – Equivalência entre o biogás e os outros combustíveis**

<b>Quantidade de Biogás</b>	<b>Equivalência</b>
1 Metro Cúbico	0,613 litros de gasolina comum
1 Metro Cúbico	0,579 litros de querosene
1 Metro Cúbico	0,553 litros de óleo diesel
1 Metro Cúbico	0,454 litros de gás GLP (gás de cozinha)
1 Metro Cúbico	1.538 kg de lenha (10% de umidade)
1 Metro Cúbico	0,735 kg de carvão vegetal
1 Metro Cúbico	0,790 litros de álcool hidratado
1 Metro Cúbico	1,428 kWh de energia elétrica

**Fonte: Adaptado de Sganzerla (1983)**

Oliveira (2009) e Coldebella et al. (2006), apontam que o teor de metano presente no biogás varia entre 50 a 80% e que o poder calorífico do biogás está diretamente relacionado com o teor de metano presente, podendo variar entre 4,95 a 7,92 kWh/m<sup>3</sup>.

O biogás pode ser utilizado para aquecimento em estufas, aquecedores de água, gás de cozinha, funcionamento de motores entre outros (SGANZERLA, 1983).

O biofertilizante é um adubo orgânico livre de pragas e doenças, é produto com alta qualidade para uso agrícola, pois segundo Oliver et al. (2008), possuem cerca de 1,5 a 2% de nitrogênio (N), 1 a 1,5% de fósforo (P) e 0,5 a 1% de potássio (K) que é essencial para o desenvolvimento da planta. Além disso, o biofertilizante contribui para o restabelecimento de húmus no solo, melhorando sua qualidade e influenciando na fixação de nitrogênio (OLIVER et al., 2008).

O biofertilizante possui vantagem frente ao adubo químico, pois é líquido e é absorvido mais rapidamente, no entanto deve ser diluído em cada aplicação de acordo com a necessidade da planta (BARROS, 2016).

### **3.3 Preservação dos corpos hídricos**

Os corpos hídricos são utilizados para fins de abastecimento doméstico e industrial, irrigação de lavoura, dessedentação de animais, preservação da fauna e da flora, navegação, lazer, geração de energia elétrica e diluição de dejetos (DERISIO, 2007). Devido aos seus múltiplos fins, os corpos hídricos devem ser

conservados e mantido o padrão de qualidade da água para atender todas suas necessidades de uso.

Uma das finalidades do corpo hídrico é fazer a diluição de efluentes domésticos ou industriais, no entanto, tais efluentes devem passar por um tratamento prévio antes da destinação final no corpo receptor, pois caso contrário pode haver poluição da água devido a suas altas cargas poluidoras.

Alguns problemas ocasionados pelo despejo inadequado são odor e sabor na água, mortandade da fauna e flora aquática, ameaças à saúde pública por ingestão de água contaminada (cólera, disenteria, febre tifoide) e ainda a água pode se tornar imprópria para o uso agrícola (IMHOFF; IMHOFF, 1996). Deste modo, a finalidade do tratamento do efluente industrial é manter os corpos hídricos livres de tais inconvenientes.

A resolução CONAMA nº 430 de 2011 (BRASIL, 2011), que complementa e altera a resolução CONAMA nº 357 de 2005, trata sobre os padrões de qualidade para o lançamento de efluente em corpos hídricos que estão definidos em seu Artigo 16, e que deve ser seguido para todos os tipos de empreendimentos que possuem geração de efluente em seu processo produtivo.

O não cumprimento do disposto nesta Resolução sujeitará o empreendedor às sanções previstas na Lei nº 9.605 de 1998 (Lei de Crimes Ambientais) e em seu regulamento (BRASIL, 1998).

Deste modo, as farinheiras de mandioca também devem seguir tais padrões, pois são fontes potenciais de geração de efluentes altamente poluentes, devido a grande quantidade de água que é utilizada durante o processamento da mandioca.

Em estudos realizados por Pinto e Cabello (2011), foi analisada a eficiência do tratamento da manipueira por biodigestor anaeróbio, por meio da análise da diminuição das cargas do efluente e comparando os valores dos parâmetros obtidos com a legislação a fim de saber se atende ou não aos padrões de lançamento. Neste estudo então, foi constatado redução de DBO, pH, temperatura, materiais sedimentáveis, dentre outros parâmetros exceto para nitrogênio amoniacal, que precisaria de um pós tratamento.

O biodigestor pode ser utilizado para o tratamento de efluente de diversos empreendimentos, tais como: avicultura de corte; bovinocultura de corte; bovinocultura de leite; caprinocultura; suinocultura; fecularias, etc.

Sendo assim, vê-se a vantagem na utilização do biodigestor para o tratamento de efluente, já que é um tratamento eficiente e de baixo custo operacional quando comparado com outras formas de tratamento.

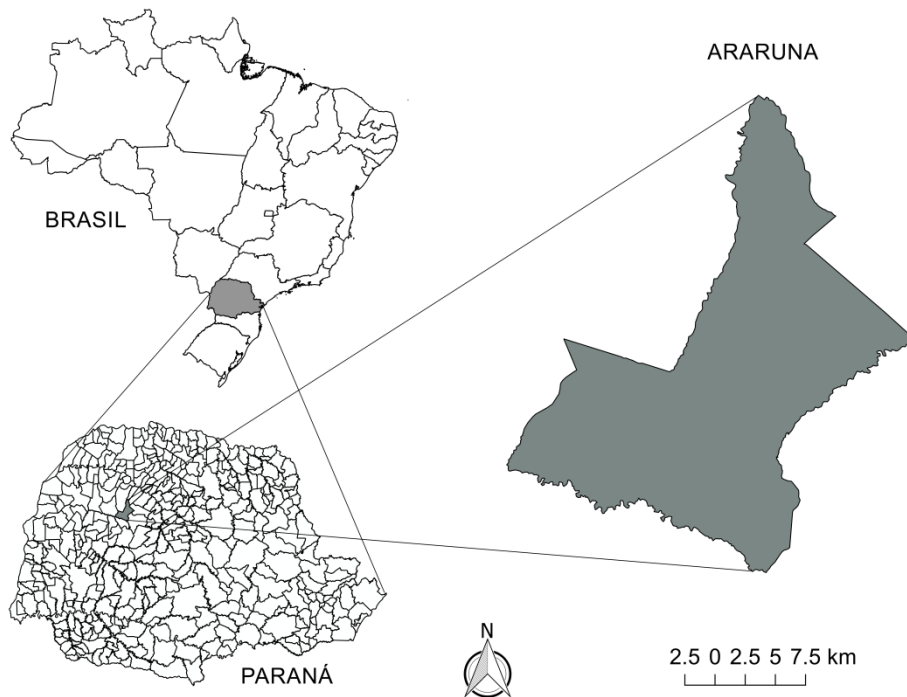
O uso de biodigestor pode ser utilizado para o tratamento de efluente de diversos empreendimentos, tais como avicultura de corte, confinamento de gado, suinocultura, tratamento de resíduos sólidos urbanos em aterros controlados, feculárias,

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Caracterização da área de estudo

O estudo foi desenvolvido em uma farinheira de mandioca localizada no município de Araruna – PR. O município faz parte da Mesorregião Geográfica Centro Ocidental Paranaense e da Microrregião Geográfica de Campo Mourão (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2012) (Figura 2).

**Figura 2 – Mapa de localização de São Geraldo, Araruna – PR**



**Fonte: Autoria própria**

O clima predominante na região segundo a classificação de Köppen é o Cfa caracterizado por clima subtropical úmido, com temperatura média anual variando entre 18 °C e 22 °C, geadas pouco frequentes e chuvas concentradas no verão (CAVIGLIONE et al., 2000).

Segundo dados do Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social (2017), a produção de mandioca no município em 2015 foi de 264.000 toneladas, representando a primeira cultura temporária mais realizada no município, seguida da produção de soja que em 2015 teve uma produção de 88.585 toneladas.

A empresa em estudo possui um biodigestor instalado para o tratamento dos efluentes gerados (manipueira) e realiza a queima do biogás produzido em caldeira.

#### 4.2 Coleta de informações, análise da umidade média e do poder calorífico da lenha utilizada

Foram realizadas 4 visitas *in loco* para coleta de informações, coleta de material lenhoso, afluente e efluente para análise e realização de registros fotográficos das instalações da fábrica.

A lenha coletada foi levada ao laboratório de Materiais e Estruturas da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Campo Mourão, onde foram preparados 3 corpos de prova retangulares (Figura 3), afim de que fosse possível medir seu volume por meio da Equação (1).

$$V = B * L * H \quad (1)$$

em que,

V = Volume (cm<sup>3</sup>)

B = Comprimento (cm)

L = Largura (cm)

H = Altura (cm)

**Figura 3 – Corpos de prova preparados para análises laboratoriais**



Fonte: Autoria Própria

Logo após, os corpos de prova preparados foram levados ao Laboratório de Saneamento da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Campo Mourão, onde foram enumerados, pesados em balança digital (peso inicial) e colocados na estufa à aproximadamente 100 °C, onde permaneceram por 5 dias. Após, foram pesados novamente, para então obter-se o peso seco dos corpos de prova, e assim calcular-se o teor de umidade e o poder calorífico da lenha.

A metodologia utilizada para determinação da umidade média da lenha foi adaptada de Couto (2014) a partir da Equação (2).

$$Tu = \frac{Pu - Po}{Po} * 100 \quad (2)$$

em que,

Pu = Peso inicial da madeira (g)

Po = Peso seco da madeira (g)

Tu = Teor de umidade (%)

Já para a determinação do poder calorífico, foi utilizada a equação modificada por Gatto (2002), demonstrada na Equação (3).

$$Pci = \rho_{bás} * \left[ 4500 - 52 * \left( \frac{Tu}{1 + \frac{Tu}{100}} \right) \right] * 0,001162294 \quad (3)$$

em que,

Pci = Poder calorífico inferior (kWh/m<sup>3</sup>)

$\rho_{bás}$  = Massa específica básica (Kg/m<sup>3</sup>)

Tu = Teor de umidade (%)

Para tanto, foi determinado também a massa específica, seguindo a metodologia adaptada de Gatto (2002), e utilizando a Equação (4).

$$\rho_{bás} = \frac{Po}{V} \quad (4)$$

em que,

Po = peso seco da madeira (Kg)

V = Volume (m<sup>3</sup>)

#### 4.3 Determinação da economia de lenha

Para determinar-se a economia de lenha com a substituição do biogás, foram realizadas estimativas a partir dos dados fornecidos pela empresa, de consumo médio mensal de lenha antes e após o aproveitamento do biogás e utilização simultânea do mesmo com a queima de lenha nas caldeiras. Além disso, foi calculado o poder calorífico consumido por quantidade de mandioca processada antes e após o uso do biogás, conforme metodologia citada por Guimarães (2014).

#### 4.4 Determinação da geração média de CH<sub>4</sub> e quantidade de CO<sub>2</sub> evitada de ser emitida

Para o cálculo da quantidade de CH<sub>4</sub> (metano) produzida, partiu-se da metodologia de DQO removida, levando em consideração a relação estabelecida por Metcalf e Eddy (2003), que relaciona a DQO removida com a produção de metano (CH<sub>4</sub>) em condições anaeróbias igual a 0,35 LCH<sub>4</sub>/gDQOremovida em condições normais de temperatura e pressão (0 °C e 1 atm).

No entanto, para condições diferentes da normal é necessário calcular o volume ocupado por um mol de CH<sub>4</sub> utilizando a Equação (5) (METCALF; EDDY, 2003).

$$V = \frac{nRT}{P} \quad (5)$$

em que,

V = volume ocupado pelo gás (L)

n = número de mol do gás (mol)

R = constante universal da lei dos gases (0,082057 atm.L/mol.K)

T = temperatura (K)

P = pressão absoluta (atm)



Para este cálculo, foi adotado uma temperatura média de 20 °C.

Partindo do pressuposto de Metcalf e Eddy (2003), de que a DQO de um mol de CH<sub>4</sub> é igual a 64 g, tem-se a Equação (6), para se obter a nova relação entre DQO removida e quantidade de CH<sub>4</sub> gerado, em condições diferentes da normal.

$$X = \frac{V}{64} \quad (6)$$

em que,

X = quantidade de metano produzida por quantidade de DQO removida (LCH<sub>4</sub>/gDQOremovida)

V = volume ocupado pelo gás (L)

Para a determinação da DQO removida, foram coletados 2 L de amostra de afluente (antes do biodigestor) e de efluente (depois do biodigestor). A amostra foi levada ao Núcleo de Pesquisas em Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Campo Mourão onde foi realizada a análise para a determinação da DQO conforme metodologia de Eaton et al. (2005).

Para o cálculo da carga de DQO removida diariamente, foi utilizada a Equação (7) determinada por Von Sperling (1996).

$$C = Q * DQOrem \quad (7)$$

em que,

C = carga de DQO removida diariamente (g/dia)

Q = vazão afluente diária (L/dia)

DQOrem = concentração de DQO removida (g/L)

Depois da obtenção da carga de DQO removida, este valor foi utilizado na nova relação entre DQO removida e produção de CH<sub>4</sub>, obtida por meio da Equação (6), para finalmente encontrar o valor de CH<sub>4</sub> gerado na farinha diariamente.

Com a determinação da quantidade de metano produzido diariamente na farinha, foi possível calcular a quantidade média de biogás que é gerado diariamente. Segundo Oliveira (2009) e Coldebella et al. (2006), o teor de metano presente no biogás varia de 50 a 80%, deste modo, neste estudo foi considerado que o biogás produzido na farinha possui 50% de metano em sua composição.

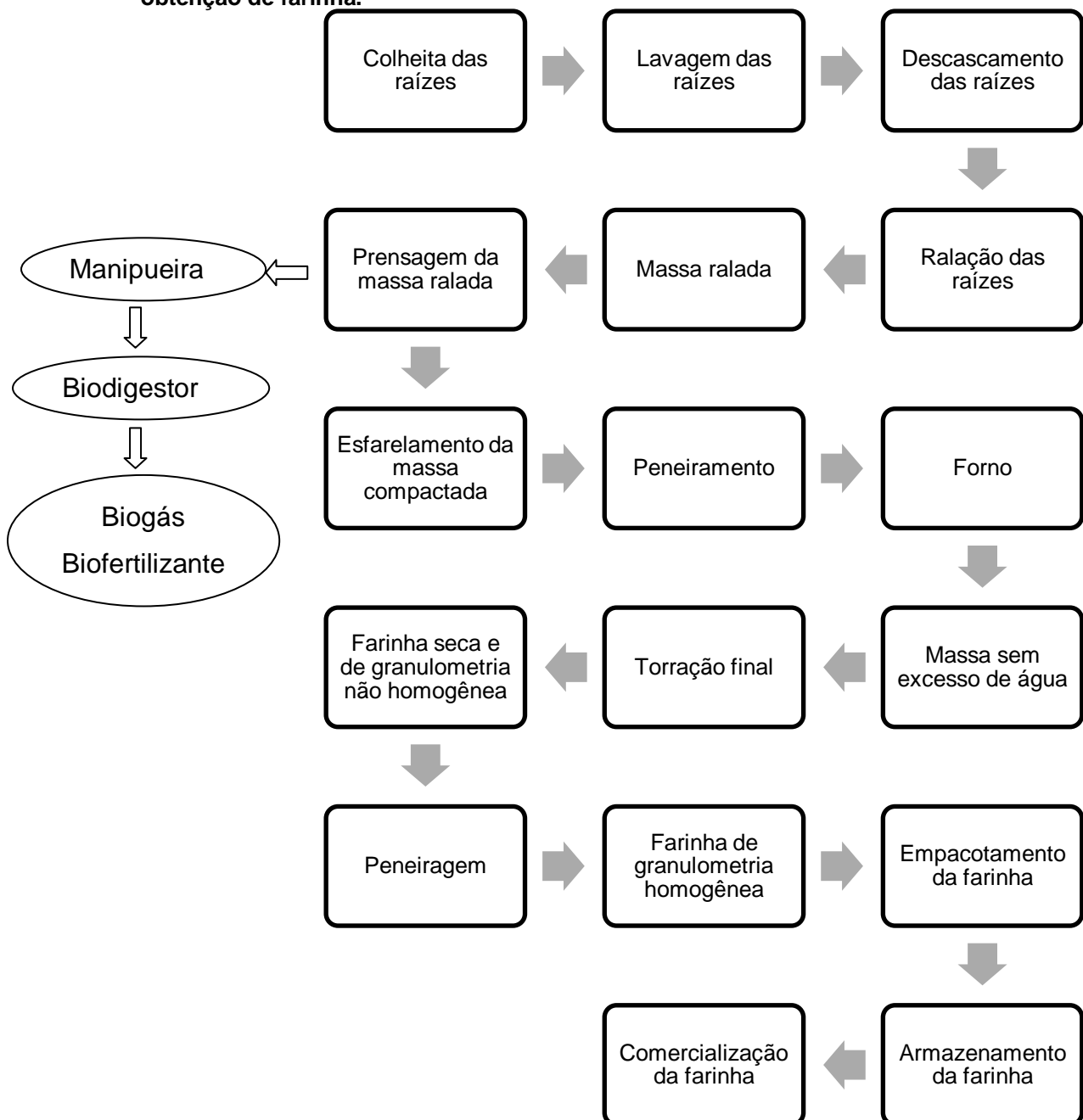
Já se tratando da quantidade de CO<sub>2</sub> evitada de ser emitida, temos que o poder de poluição do CH<sub>4</sub> é 21 vezes maior que a do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), sendo assim, é possível fazer o cálculo da quantidade de poluição evitada por tonelada de CO<sub>2</sub> equivalente que deixou de ser emitida pela queima do CH<sub>4</sub> (GUIMARÃES, 2014). Portanto, foi feito o cálculo multiplicando-se a produção média diária de metano (m<sup>3</sup> de metano/dia) por 21, para obter-se o resultado em m<sup>3</sup> de CO<sub>2</sub> equivalente por dia.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Informações gerais sobre a empresa

A atividade da empresa em estudo é o processamento da mandioca para a fabricação de farinha. A maior parte do processo produtivo desta fábrica é mecanizado, tendo apenas algumas atividades manuais (Figura 4).

Figura 4 – Esquema do processamento da mandioca em uma farinheira para obtenção de farinha.



Fonte: Autoria Própria

A raiz chega a fábrica e vai para um lavador mecânico (Figura 5), após isso, um funcionário é responsável por fazer a seleção da mandioca e retirada de cascas ou películas que restaram (Figura 6).

**Figura 5 – Lavador mecânico da farinha em estudo**



Fonte: Autoria própria

**Figura 6 – Retirada de cascas e películas que sobraram na lavagem e descascamento mecânico das raízes**



Fonte: Autoria própria

Ao ser selecionada manualmente, a raiz vai para o picador mecânico (Figura 7), que corta as raízes em pedaços menores, sendo encaminhadas para o triturador mecânico (Figura 8), para que se obtenha a massa ralada.

**Figura 7 – Picador mecânico da farinha em estudo**



Fonte: Autoria própria

**Figura 8 – Triturador mecânico da farinha em estudo**



Fonte: Autoria própria

A massa ralada é armazenada em tanques de concreto (Figura 9) e em seguida vai para a prensagem mecânica (Figura 10) onde é tirado o líquido da mandioca, formando uma massa compactada (Figura 11). É nesse processo de prensagem em que é gerado a manipueira, que alimenta o biodigestor.

**Figura 9 – Tanque de concreto onde a massa ralada fica armazenada**



Fonte: Autoria própria

**Figura 10 – Prensa mecânica da farinha em estudo**



Fonte: Autoria própria

**Figura 11 – Massa prensada na prensa mecânica da farinha em estudo**



Fonte: Autoria própria

A massa prensada é encaminhada mecanicamente para o forno rotativo torrador (Figura 12), onde será retirada toda umidade que ainda resta na massa. O forno torrador é alimentado com energia proveniente da queima do biogás e da lenha na caldeira (Figura 13).

**Figura 12 – Forno rotativo torrador da farinha em estudo**



Fonte: Autoria própria

**Figura 13 – Caldeira da farinha em estudo**



Fonte: Autoria própria

Após a torração no forno, a massa é esfarelada e segue para o peneiramento e empacotamento da farinha (Figura 14).

**Figura 14 – Peneiramento e empacotamento da farinha produzida na farinha em estudo**



Fonte: Autoria própria

A água residuária da lavagem das raízes e a manipueira da prensagem da massa ralada são canalizadas para o biodigestor (Figura 15) onde ocorre a digestão anaeróbia e a produção de biogás, que é levado para a caldeira por tubulações. O biofertilizante gerado na fermentação anaeróbia dentro do biodigestor vai para uma lagoa de armazenamento (Figura 16) e depois é lançado no solo.



A vazão afluyente diária foi determinada com base no estudo de Souza e Bragança (2000), levando em consideração que cada tonelada de mandioca processada produz cerca de 300 L de manipueira. Dessa forma, a vazão encontrada para o caso em estudo foi de 48.000 L/dia, com uma concentração de DQO afluyente de 41.309,84 mg/L e a concentração da DQO efluyente de 599,77 mg/L.

**Figura 15 – Biodigestor da farinha em estudo**



Fonte: Autoria Própria

**Figura 16 – Lagoa e biodigestor da farinha em estudo**



Fonte: Autoria Própria

O biodigestor da farinha é do tipo lagoa coberta, possui uma área de 1.600 m<sup>2</sup> (40x40), alimentado diariamente com 48.000 L e o valor total pago pela instalação do mesmo em 2015, foi de R\$ 180.000,00.

A quantidade de lenha consumida mensalmente na caldeira (Figura 17) antes da instalação do biodigestor era de 24 m<sup>3</sup> de lenha por dia, em 24 horas de trabalho. Após a instalação do biodigestor e aproveitamento do biogás, a quantidade de lenha consumida por dia passou a ser de 10 m<sup>3</sup>, em 21 horas de trabalho diário.

**Figura 17 – Lenha utilizada como combustível da caldeira e ao fundo a caldeira da farinha em estudo**



**Fonte: Autoria Própria**

A quantidade de mandioca (Figura 18) processada antes do uso do biogás era de 110 toneladas por dia com 24 horas diárias de funcionamento da fábrica. Após a instalação do biodigestor foram feitas mudanças nas máquinas da fábrica também, e assim, o processamento de mandioca com 21 horas de funcionamento diário passou a ser de 160 toneladas por dia.

Pode-se destacar que houve um aumento de 45,45% de produtividade da empresa, mesmo com a redução das horas trabalhadas diariamente. Além disso, passou-se a processar maior quantidade de mandioca, com menor quantidade de lenha, devido ao uso do simultâneo do biogás na caldeira.

**Figura 18 – Mandioca que será processada**



**Fonte: Autoria Própria**

A quantidade de farinha produzida mensalmente passou de 760 sacos por dia (24 horas de trabalho), para 1000 sacos por dia (21 horas de trabalho), após a instalação do biodigestor e troca de maquinário, o que representa um aumento de 31,57% de produção diária. A quantidade de horas trabalhadas diariamente mudou de 24 horas para 21 horas, pois segundo o proprietário, a empresa optou por desligar as máquinas no horário de pico, a fim de economizar energia elétrica.

## **5.2 Consumo de energia direta e economizada com o uso do biogás**

Com os resultados das análises realizadas com os corpos de prova, foi calculado a média das variáveis para cada coleta, e em seguida feito a média total das 3 coletas. Para o teor de umidade, foi encontrado uma média de 35,79%, para a massa específica básica encontrou-se 432,91 Kg/m<sup>3</sup> e para o poder calorífico inferior encontrou-se 1.610,20 kWh/m<sup>3</sup> que equivale a 1.384.530,47 Kcal/m<sup>3</sup>.

Em estudo realizado por Gatto et al. (2003), os autores encontraram o valor de teor de umidade para a lenha proveniente de eucalipto de 32,2%, considerado alto pelos mesmos. Considerando esta informação, o teor de umidade encontrado neste trabalho (35,79%) é um valor alto para o teor de umidade da lenha, o que indica menor poder calorífico devido a perda de energia no momento da queima.

Os valores da massa específica básica ( $0,43291 \text{ g/cm}^3$ ) e do poder calorífico ( $1.610,20 \text{ kWh/m}^3$ ) encontrados corroboram com os dados obtidos por Gatto et al. (2003). O valor encontrado pelos autores para massa específica básica foi de  $0,44 \text{ g/cm}^3$ , que segundo eles, demonstra boa qualidade da lenha para fins energéticos. Já para o poder calorífico inferior da lenha, Gatto et al. (2003) encontraram um valor médio de  $1.654 \text{ kWh/m}^3$ , valor muito próximo ao encontrado na lenha utilizada na farinheira em questão.

Com o uso do biogás na caldeira, a empresa obteve economia com a compra de lenha. Levando em consideração que a empresa trabalhava anteriormente com 24 horas de funcionamento e consumia  $24 \text{ m}^3$  de lenha por dia, tem-se que a empresa consome  $1 \text{ m}^3$  de lenha por hora trabalhada, sendo assim, em 21 horas de trabalho seria consumido  $21 \text{ m}^3$  de lenha por dia, no entanto, com a utilização simultânea do biogás e lenha na caldeira, a empresa passou a consumir  $10 \text{ m}^3$  de lenha diariamente (21 horas de trabalho) o que equivale a  $0,48 \text{ m}^3$  de lenha por hora trabalhada.

Deste modo, nota-se que a empresa teve uma economia de aproximadamente 52% no consumo de lenha. Guimarães (2014), fez um estudo similar a este com 3 farinheiras diferentes que utilizam biogás na caldeira. Neste estudo pode-se notar similaridade com a empresa Alimentos do Zé (Cianorte/PR), que segundo o autor teve uma redução de consumo de lenha de 50%.

Os dados mostram a vantagem em fazer uso do biogás na caldeira, pois além de ganhos ambientais o proprietário obtém vantagens monetárias sobre tal uso.

A empresa, depois da instalação do biodigestor e troca de equipamentos, passou a processar maior quantidade de mandioca diariamente e com isso produzir maior quantidade de farinha, consumindo menor quantidade de lenha (Tabela 3).

**Tabela 3 – Parâmetros analisados quanto ao consumo de lenha antes e após o uso do biogás**

<b>Parâmetro</b>	<b>Antes do uso do biogás</b>	<b>Depois do uso do biogás</b>
<b>Consumo médio diário de lenha (m<sup>3</sup>/dia)</b>	24	10
<b>Percentual de economia de lenha (%)</b>	-	52
<b>Quantidade média de mandioca processada diariamente (ton/dia)</b>	110	160
<b>Consumo médio diário de lenha por tonelada de mandioca processada (m<sup>3</sup>/ton.dia)</b>	0,22	0,07
<b>Poder calorífico da lenha (kWh/m<sup>3</sup>)</b>	1.610,20	1.610,20
<b>Poder calorífico consumido diariamente em lenha (kWh/dia)</b>	38.644,80	16.102,00
<b>Poder calorífico consumido em lenha por tonelada de mandioca processada (kWh/ton)</b>	351,31	100,63
<b>Economia em kWh por tonelada de mandioca processada (kWh/ton)</b>	-	250,68

Fonte: Autoria própria

Os dados expressos na Tabela 3 mostram que a empresa após o uso do biogás passou a processar diariamente 50 toneladas a mais de mandioca e obteve redução de 14 m<sup>3</sup> de lenha por dia, com isso o poder calorífico da lenha consumida diariamente por tonelada de mandioca processada diminui 250,68 kWh/ton o que corresponde a aproximadamente 71% de economia em kWh por tonelada de mandioca processada. Essa economia ocorreu porque a fábrica passou a utilizar simultaneamente a lenha e o biogás gerado na caldeira, o que significa a possibilidade de processar maior quantidade de mandioca com o menor gasto de energia proveniente da lenha.

Segundo o proprietário da farinha, o valor pago pela compra da lenha é de R\$ 90,00 por m<sup>3</sup>, deste modo a empresa teve uma economia diária de R\$ 1.260,00, levando em consideração que a farinha funciona de segunda a sexta-feira, a economia mensal com a compra de lenha corresponde a R\$ 25.200,00.

Tendo em vista que o valor pago pela instalação do biodigestor em 2015 (R\$ 180.000,00) é um valor relativamente baixo, pois fazendo um cálculo básico, tendo em vista que a empresa economiza mensalmente R\$ 25.200,00 com a compra de lenha, chega-se ao resultado de que com apenas 8 meses de aproveitamento do biogás o proprietário obtém o retorno do investimento. Portanto, nota-se que o investimento feito pelo proprietário foi vantajoso, pois obteve diminuição de compra de lenha, economizando monetariamente.

Estes dados mostram a vantagem do aproveitamento energético do biogás, pois a empresa foi capaz de economizar lenha com a utilização do biogás que seria desperdiçado e ainda está tratando um passivo ambiental que é o efluente da farinha.

### 5.3 Emissões de CO<sub>2</sub> equivalente evitadas com o uso do biogás na caldeira

O biogás é composto por diversos gases, segundo Sganzerla (1983), os mais abundantes são o metano (CH<sub>4</sub>) e gás carbônico (CO<sub>2</sub>). Estudos mais recentes apontam a presença de teor de CH<sub>4</sub> entre 50 – 80%, e para tal um poder calorífico inferior do biogás variando entre 4,95 e 7,92 kWh/m<sup>3</sup> (COLDEBELLA et al., 2006; OLIVEIRA, 2009).

Para tanto, neste estudo foi considerado o poder calorífico inferior do biogás igual a 4,95 kWh/m<sup>3</sup> e ainda que o teor de metano presente nesse biogás é de 50%, considerando a pior das hipóteses.

A quantidade de biogás produzida diariamente foi calculada de acordo com a metodologia de DQO removida, onde foi encontrado o valor da carga de DQO removida de 1.954,1 kg/dia. Os resultados da quantidade de metano e biogás obtidos estão dispostos na Tabela 4.

**Tabela 4 – Quantidade de biogás e metano produzidos na farinha**

<b>Biogás produzido (m<sup>3</sup>/dia)</b>	<b>Metano produzido (m<sup>3</sup>/dia)</b>	<b>Biogás produzido mensalmente (m<sup>3</sup>/mês)</b>	<b>Metano produzido mensalmente (m<sup>3</sup>/mês)</b>
1.446,034	723,017	28.920,68	14.460,34

Fonte: Autoria Própria

Vale ressaltar que a quantidade de biogás calculada é uma média, pois essa quantidade varia de acordo com a temperatura e com a quantidade de afluente no biodigestor. Em meses mais frios a produção de biogás diminui e, além disso, nem todos os meses do ano a farinha processa 160 toneladas devido a falta de mandioca. Deste modo, é importante reforçar que o valor de biogás calculado é uma média com base no processamento médio de 160 toneladas por dia e levando em consideração uma temperatura média de 20°C.

Tendo em vista que o poder de aquecimento global do gás metano (CH<sub>4</sub>) é 21 vezes maior que o do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), é possível fazer o cálculo da quantidade de poluição evitada por tonelada de CO<sub>2</sub> equivalente que deixou de ser emitida pela queima do CH<sub>4</sub> (GUIMARÃES, 2014) (Tabela 5).

**Tabela 5 – Quantificação e caracterização do biogás produzido na farinha e quantidade de gases que deixam de ser emitidos com a queima do biogás na caldeira**

Biogás produzido (m <sup>3</sup> /dia)	Teor de metano no biogás (%)	Poder calorífico do biogás (kWh/m <sup>3</sup> )	CH <sub>4</sub> evitado de ser emitido (m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /dia)	CO <sub>2</sub> equivalente evitado de ser emitido (m <sup>3</sup> CO <sub>2</sub> /dia)
1.446,034	50	4,95	723,017	15.183,357

Fonte: Autoria Própria

Para fins de comparação, levando em consideração o valor encontrado de CO<sub>2</sub> que deixou de ser emitido (15.183,357 m<sup>3</sup>/dia), e tomando como referência que 1 m<sup>3</sup> de gás CO<sub>2</sub> equivale a 1,85 kg (THE LINDE GROUP, 2017), então evita-se a emissão de 28,09 toneladas de CO<sub>2</sub> por dia com a queima do biogás na caldeira.

Segundo Derisio (2007), um veículo leve movido a gasolina emite 2,165 kg de CO<sub>2</sub> por litro de combustível. Sendo assim, a quantidade de CO<sub>2</sub> que deixou de ser emitida equivale ao consumo de 12.974,13 L de gasolina pelo mesmo veículo.

Deste modo, pode-se notar a significância da quantidade de CO<sub>2</sub> que deixou de ser emitida, a partir da comparação feita com outras fontes de emissão desse gás, que nesse caso foi o transporte veicular.

A queima do biogás evita a emissão de gases altamente poluentes e ainda diminui a emissão de fuligem que são emitidos na queima da lenha, tendo isso em vista, fica claro as inúmeras vantagens em se utilizar o biogás para geração de energia, pois assim, usa-se de um gás que poderia causar malefícios ao meio

ambiente e a população, para geração de energia e economia de um recurso natural, que neste caso é a lenha.

Segundo Guimarães (2014), na composição do biogás há também a presença de  $H_2S$  (gás sulfídrico) de odor desagradável, que em contato indireto com o homem pode causar irritações e se em contato direto pode ser mais prejudicial causando convulsão e até mesmo ser letal a homens e animais (FELLENBERG, 1980).

O  $CH_4$  é considerado o segundo maior contribuinte para o aumento do efeito estufa proveniente de atividades antrópicas, sendo o  $CO_2$  o primeiro dos grandes responsáveis pela retenção de calor na superfície terrestre (ALVIM; FERREIRA, VARGAS, 2006).

O gás metano presente no biogás e que é queimado na caldeira, poderiam causar danos ambientais, dentre eles o efeito estufa que é um processo natural, entretanto, pode ser acelerado com as ações antrópicas, deste modo, com a queima destes gases está havendo redução de emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE). Além do Metano e do Dióxido de Carbono são considerados GEE também o Óxido Nitroso, CFC-12, HCFC-22, Tetra fluoreto de carbono e Hexa fluoreto de enxofre (MATTOS, 2001).

#### **5.4 Comparativo entre o consumo de lenha e o consumo de biogás**

A partir dos resultados obtidos, pode-se fazer uma análise quantitativa e qualitativa entre a lenha e o biogás consumido na farinha, conforme a Tabela 6.



**Tabela 6 – Comparativo entre lenha e biogás consumidos na farinheira**

<b>Parâmetro</b>	<b>Lenha</b>	<b>Biogás</b>
<b>Consumo médio diário (m<sup>3</sup>/dia)</b>	10	1.446,034
<b>Consumo médio diário por tonelada de mandioca processada (m<sup>3</sup>/ton.dia)</b>	0,07	9,04
<b>Poder calorífico (kWh/m<sup>3</sup>)</b>	1.610,20	4,95
<b>Poder calorífico consumido diariamente (kWh/dia)</b>	16.102,00	7.157,87
<b>Poder calorífico consumido por tonelada de mandioca processada (kWh/ton)</b>	100,63	44,74

Fonte: Autoria própria

Nota-se que a quantidade de biogás produzido, não é suficiente para suprir a necessidade da fábrica, por esse motivo a queima da lenha ainda não pode ser totalmente extinta. No entanto, a queima do biogás juntamente com a lenha na caldeira é de suma importância, tendo uma proporção de 1 m<sup>3</sup> de lenha para cada 144,603 m<sup>3</sup> de biogás que é queimado.

Apesar do poder calorífico do biogás ser bem menor que a da lenha, ele é consumido em grande quantidade na farinheira, diminuindo os custos com compra de lenha, e evitando a poluição pela emissão de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> na atmosfera, bem como a poluição de corpos hídricos pelo despejo inadequado do efluente gerado na farinheira.

## 6 CONCLUSÃO

Como o tratamento do efluente é uma obrigação das farinheiras, neste estudo o tratamento é feito por meio da biodigestão anaeróbia em biodigestor, que diminuí as cargas poluidoras desse efluente permitindo que seja possível a disposição final adequada, além de gerar como subproduto o biogás que é utilizado simultaneamente na caldeira para aquecer o forno rotativo torrador.

A lenha utilizada na caldeira da farinha e que aquece o forno rotativo torrador, possui um teor de umidade de 35,79% e poder calorífico de 1.610 kWh/m<sup>3</sup>. Com o aproveitamento do biogás, o poder calorífico consumido em lenha por quantidade de mandioca processada, passou de 351,31 kWh/ton para 100,63 kWh/ton.

A quantidade de afluente gerado nesta farinha é em média de 48.000 L, com uma concentração de DQO de 41,31 g/L e a concentração DQO efluente ao biodigestor é de 0,599 g/L, deste modo, a concentração de DQO removida é de 40,71 g/L.

Já a quantidade de biogás gerado diariamente na farinha foi estimada em média 1.446,034 m<sup>3</sup>/dia, valor esse encontrado considerando a temperatura média local de 20 °C e vazão afluente ao biodigestor de 48.000 L/dia.

O aproveitamento energético do biogás obtido na biodigestão anaeróbia da água residuária da empresa, é vantajoso para o proprietário que obteve redução de 52% no consumo de lenha, o que equivale em uma redução de custos financeiros de R\$ 1.260,00 diariamente.

Deste modo, pode-se concluir que houveram benefícios econômicos e ambientais pois, o proprietário obteve vantagem monetária frente a esse aproveitamento energético do biogás e ainda houve a geração de ganhos ambientais com o não lançamento do efluente bruto nos corpos hídricos e com a quantidade de 723,017 m<sup>3</sup>/dia de CH<sub>4</sub> e 15.183,357 m<sup>3</sup>/dia de CO<sub>2</sub> equivalente que deixaram de ser emitidos na atmosfera, devido a queima do biogás na caldeira.

## REFERÊNCIAS

ALVIM, Carlos Feu; FERREIRA, Omar Campos; VARGAS, José Israel. **A Evolução da Concentração de Metano na Atmosfera**. 2006. *Enconomia & Energia*. Disponível em: <[http://ecen.com/eee55/eee55p/metano\\_na\\_atmosfera.htm](http://ecen.com/eee55/eee55p/metano_na_atmosfera.htm)>. Acesso em: 09 maio 2017.

ARAUJO, João Sebastião de Paula; LOPES, Clarindo Aldo. **Produção de farinha de mandioca na agricultura familiar**: Programa Rio Rural. 2009. Niterói. Disponível em: <<http://www.pesagro.rj.gov.br/downloads/riorural/13%20Producao%20de%20farinha%20de%20mandioca.pdf>>. Acesso em> 08 nov. 2016; 21:16:32.

BARROS, Talita Delgrossi. **Biofertilizantes**. 2016. AGEITEC. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agroenergia/arvore/CONT000fj1gh4ku02wyiv802hvm3jd85f37c.html>>. Acesso em: 05 set. 2016, 18:22:11.

BRASIL. **Lei nº 9.605** de 1998: Dispões sobre as sanções penais e administrativas derivadas de lei de crimes ambientais, condutas e atividade lesivas ao meio ambiente (Lei de Crimes Ambientais). 1998.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **CONAMA nº 430**. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011.

CAVIGLIONE, João Henrique; KIIHL, Laura Regina Bernardes; CARAMORI, Paulo Henrique; OLIVEIRA, Dalziza. **Cartas climáticas do Paraná**. Londrina: IAPAR, 2000.

CIRINO, Jader Fernandes; FARIA, Leonardo Viana Pache de. Biodigestor para geração de energia elétrica a partir da suinocultura: análise de viabilidade para um sítio em Coimbra - MG. **Revista de Ciências Humanas**, Viçosa, v. 13, n. 2, p.421-440, 2013.

COLDEBELLA, Anderson; SOUZA, Samuel Nelson Melegari de; SOUZA, Juliano; KOHELER, Ana Carolina. **Viabilidade da cogeração de energia elétrica com biogás da bovinocultura de leite**. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 6., 2006, Campinas. Disponível em: <[http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=MSC0000000022006000200053&lng=en&nrm=abn](http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022006000200053&lng=en&nrm=abn)>. Acesso em: 06 mai. 2017, 09:07:56.

COUTO, Carolina Meincke. **Estimativa do poder calorífico de madeiras de acácia-negra e eucalipto do Município de Pelotas - RS.** 2014. 55 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2014.

DERISIO, José Carlos. **Introdução ao controle de poluição ambiental.** 3. ed. São Paulo: Signus Editora, 2007. 192 p.

EATON, Andrew D; CLESCERI, Leonere S; RICE, Eugene W; GREENBERG, Arnold E. **Standard methods for the examination of water and wastewater.** 21. ed. Washington: American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environment Federation, 2005. p.1368.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA SUÍNOS E AVES. **Sistema de tratamento de dejetos Suínos:** Inventário tecnológico. 2016. Disponível em: <<http://www.cnpsa.embrapa.br/invtec/09.html>>. Acesso em: 21 ago. 2016, 19:34:56.

FEIDEN, Armin. **Tratamento de águas residuárias de indústria de fécula de mandioca através de biodigestor anaeróbio com separação de fases em escala piloto.** 2001. 80 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, Faculdade de Ciências Agrônômicas da Unesp, Botucatu-SP, 2001.

FELLENBERG, Günter. **Introdução aos problemas da poluição ambiental.** São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1980. 195p. Tradução da língua alemã: Juergen Heinrich Maar.

GATTO, Darci Alberto. **Avaliação Quantitativa e Qualitativa da Utilização Madeireira na Região da Quarta Colônia de Imigração Italiana do Rio Grande do Sul.** 2002. 108 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS, 2002.

GATTO, Darci Alberto; SANTINI, Elio José; HASELEIN, Clovis Roberto; DURLO, Miguel Antônio. Características da lenha produzida na região da Quarta Colônia de Imigração Italiana do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 13, n. 2, p.7-16, out. 2003.

GROXKO, Methodio. **Análise da Conjuntura Agropecuária Safra 2011/12:** Mandiocultura. 2011. Estado do Paraná Secretaria da Agricultura e do Abastecimento Departamento de Economia rural. Disponível em: <[http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/mandiocultura\\_2011\\_12.pdf](http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/mandiocultura_2011_12.pdf)>. Acesso em: 30 ago. 2016, 22:15:06.

GUIMARÃES, Celso Eduardo. **Avaliação do Desempenho Ambiental do Aproveitamento do Biogás em Fecularias de Mandioca no Estado do Paraná: Um Estudo de Casos Múltiplos**. 2014. 90 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Gestão Ambiental e Sustentabilidade, Programa de Pós-graduação em Administração, Universidade Nove de Julho, São Paulo, 2014.

HAMILTON, Douglas W. **Anaerobic digestion of animal manure: Understanding the basic processes**. Stillwater, OK: Oklahoma Cooperative Extension Service; 2009. OSU Factsheet BAE-1747.

IMHOFF, Karl; IMHOFF, Klaus R.. **Manual de tratamento de águas residuárias**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 1996. 301 p. Tradução da língua alemã: Max Lothar Hess.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Relação dos Municípios do Estado Ordenados Segundo as Mesorregiões e as Microrregiões Geográficas do IBGE**. 2012. Disponível em: <[http://www.ipardes.gov.br/pdf/mapas/base\\_fisica/relacao\\_mun\\_micros\\_mesos\\_para\\_na.pdf](http://www.ipardes.gov.br/pdf/mapas/base_fisica/relacao_mun_micros_mesos_para_na.pdf)>. Acesso em: 22 set. 2016, 12:21:32.

INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **Caderno estatístico: Município de Araruna**. 2017. Disponível em: <<http://www.ipardes.gov.br/cadernos/MontaCadPdf1.php?Municipio=87260>>. Acesso em> 23 jun. 2017, 11:34:21.

MATTOS, Laura Bedeschi Rego de. **A IMPORTÂNCIA DO SETOR DE TRANSPORTES NA EMISSÃO DE GASES DO EFEITO ESTUFA - O CASO DO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO**. 2001. 203 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências em Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.

METCALF & EDDY. **Wastewater Engineering: Treatment and Reuse**. 4. ed. New York: Mcgraw-hill, 2003. 1819 p.

OLIVEIRA, Rafael Deléo e. **Geração de energia elétrica a partir do biogás produzido pela fermentação anaeróbia de dejetos em abatedouro e as possibilidades no mercado de carbono**. 2009. 79 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

OLIVER, André de Paula Moniz; NETO, Aurélio de Andrade Souza; QUADROS, Danilo Gusmão de; VALLADARES, Renata Everett. **Manual de treinamento em biodigestão**. Salvador: WINROCK INTERNATIONAL BRASIL, 2008. 18 p.

PINTO, Paulo Henrique Mendonça; CABELLO, Claudio. Tratamento de manípueira de fecularia em biodigestor anaeróbio para disposição em corpo receptor, rede pública ou uso em fertirrigação. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 26, n. 3, p.127-140, 2011.

QUEIROZ, Cristina Machado de; PEREIRA, Diego Pace; PREARO, Gabriel de Alexandria e; VIEIRA, Luiza Margarido. **Geração de Energia Limpa com Biodigestão na Suinocultura**. 20120. 48 f. TCC (Graduação) - Curso de Tecnologia em Gestão Ambiental, Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2010.

SGANZERLA, Edilio. **Biodigestor: uma solução**. Porto Alegre: Agropecuária, 1983.

SILVA, Ennio Peres da. **Fontes Renováveis de Energia: Geração de Energia Para Um Desenvolvimento Sustentável**. São Paulo: Campinas, 1996.

SOUZA, Carmelinda Maria de; BRAGANÇA, Maria da Graça L.. **Processamento artesanal da fabricação da farinha de mandioca**: Agroindústria. 2000. EMATER-MG. Disponível em: <[http://emater.mg.gov.br/doc/site/serevicoseprodutos/livraria/Agroindústria/Processamento artesanal da fabricação da farinha de mandioca.pdf](http://emater.mg.gov.br/doc/site/serevicoseprodutos/livraria/Agroindústria/Processamento%20artesanal%20da%20fabricação%20da%20farinha%20de%20mandioca.pdf)>. Acesso em: 20 ago. 2016, 21:12:54.

THE LINDE GROUP. **Gas calculator**. 2017. Disponível em: <[http://www.linde-gas.pt/pt/news\\_and\\_media/tool/gas\\_calculator/index.html](http://www.linde-gas.pt/pt/news_and_media/tool/gas_calculator/index.html)>. Acesso em: 30 maio 2017, 11:13:23.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 1996. 243 p.