

Izabela Regina Costa Araujo

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE
BIOGÁS EM UMA FECULARIA NO OESTE DO PARANÁ**

Monografia apresentada como requisito parcial para a obtenção do grau de Especialista em Energias Renováveis, com Ênfase em Biogás.

**Orientador:
Prof. Msc. Felipe Souza Marques**

**Foz do Iguaçu
2013**

533.73 A663a	<p data-bbox="496 1368 858 1397">Araujo, Izabela Regina Costa</p> <p data-bbox="496 1429 1046 1489">Avaliação do potencial de produção de biogás em uma fecularia no oeste do Paraná</p> <p data-bbox="496 1520 1166 1581">/ Izabela Regina Costa Araujo. -- Foz do Iguaçu, 2013. 54 f.: il.</p> <p data-bbox="496 1612 1506 1673">Monografia (Especialização em energias renováveis com ênfase em biogás) – Universidade Federal da Integração Latino Americana, Foz do Iguaçu, PR, 2013.</p> <p data-bbox="539 1704 1023 1765">Bibliografia. Orientador: Msc. Felipe Souza Marques</p> <p data-bbox="496 1861 1278 1921">1. Biogás. 2. Energia renováveis. 3. Tratamento de efluentes . I. Título.</p>
-----------------	--

Agradecimentos

Agradeço ao meu orientador, o professor Felipe e ao tutor Thiago pela sua dedicação. Agradeço à minha família, aos meus amigos e aos meus colegas pelo apoio.

RESUMO

O Brasil vive atualmente um dos melhores momentos econômicos das últimas décadas. Seguindo as tendências de expansão do agronegócio, as cooperativas agroindustriais têm investido na industrialização. Esta tendência traz à tona a preocupação com o tratamento de efluentes e a sustentabilidade econômica deste processo, que pode ser promovida pelo aproveitamento energético do biogás proveniente do tratamento. Este trabalho teve por objetivo avaliar o potencial de produção de biogás em uma unidade industrial de processamento de mandioca – UIM, cooperativista, localizada na região oeste do Paraná, bem como o potencial energético do biogás produzido e além disso, avaliar tecnologias para a produção e aproveitamento do biogás. Como resultados estimou-se o potencial de produção de biogás em 2,6 milhões de m³ por ano na unidade. A análise demonstrou que a produção estimada de biogás seria suficiente para atender até 33% das demandas totais de energia na unidade. Em relação à energia térmica, que é a demanda com maior criticidade na região, concluiu-se que é possível substituir até aproximadamente 83% do consumo previsto de lenha. Como principais tecnologias levantadas e dimensionadas para este trabalho destacam-se o (i) sistema de biodigestão, composto decantador, um biodigestor tubular de 33.600 m³ com tempo de retenção hidráulica de 10 dias, com sistema de agitação e transporte do biogás. (ii) a unidade de tratamento de biogás para retirada de gás sulfídrico, com capacidade de filtragem de 633,8 m³ de biogás/hora, (iii) sistema de queimadores de segurança (flares), composto por três unidades de queima com vazão de 300 m³ de biogás/hora cada um (iv) um sistema de queima do biogás para ser instalado na caldeira, com capacidade de queima de 650 Nm³/hora e/ou (v) grupo moto gerador para geração de energia elétrica, com potência instalada superior a 1030 kwh. Conclui-se deste trabalho que os sistemas de tratamento de efluentes por biodigestão anaeróbia podem contribuir positivamente para o balanço econômico do saneamento ambiental proporcionando a possibilidade do aproveitamento do biogás como fonte de energia.

Palavras-chave: Energias renováveis – manipueira – tratamento de efluentes – biogás.

Lista de abreviaturas e siglas

°C	Grau centígrado
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CH ₄	Gás metano
cm	Centímetro
CO ₂	Gás carbônico
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
DBO ₅	Demanda Bioquímica de Oxigênio a cinco dias
DQO	Demanda Química de Oxigênio
DQOc	Demanda Química de Oxigênio consumida
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
g	Gramma
GLP	Gás Liquefeito Petróleo
h	Hora
ha	hectare
H ₂ S	Gás sulfídrico
HCN	Acido cianídrico
kcal	Quilocaloria
kg	Quilograma
kgf cm ⁻²	Quilograma força por centímetro quadrado
kJ	Quilojoule
kWh	Quilowatt hora
L	Litro
L r d ⁻¹	Litro de reator por dia
m	Metro
m ³ r d ⁻¹	Metro cúbico de reator por dia
min	Minuto
mL	Mililitro
mm	Milímetro
Mcal ano ⁻¹	Megacaloria por ano
NH ₃	Gás amônia
Nm ³	Newton metro cúbico
O ₂	Gás oxigênio
PEAD	Polietileno de alta densidade
pH	Potencial hidrogeniônico
PVC	Policloreto de vinila
SF	Sólidos Fixos
ST	Sólidos totais

SV	Sólidos voláteis
SVc	Sólidos voláteis consumidos
TRH	Tempo de retenção hidráulica
UASB	Upflow Anaerobic Sludge Blanket
UIM	Unidade industrial de processamento de mandioca
St	Estéreo

Lista de figuras

Figura 1 - Fluxograma geral do processo de fecularias	16
Figura 2 - Sistema Alfa Laval para extração de fécula de mandioca.....	17
Figura 3 - Esquema da biodigestão anaeróbia, mostrando as sequências metabólicas e grupos microbianos	22
Figura 4 – Alternativas para aproveitamento do biogás	27
Figura 5 – Vista superior da unidade industrial de processamento de mandioca (1) e seu conjunto de lagoas de tratamento(2)	30
Figura 6 – Curva de consumo de energia elétrica na unidade em 2012	32
Figura 7 – Consumo de lenha em 2012 na UIM.....	33
Figura 8 – Sistema proposto para produção e aproveitamento do biogás	38
Figura 9 – Comparativo entre o potencial de produção de biogás e as demandas por energia elétrica convertidas em demandas por biogás	40
Figura 10 – Consumo de lenha em 2012 na UIM.....	41
Figura 11 – Estimativa de demanda total de biogás na unidade versus a estimativa de potencial de produção de biogás.....	42
Figura 12 – Biodigestor modelo canadense	43
Figura 13 – Unidade de tratamento de biogás – Condomínio de Agroenergia da Sanga Ajuricaba, em Marechal Cândido Rondon.....	45
Figura 14 – Flare	45
Figura 15 – Queimador industrial para caldeira	46
Figura 16 – Grupo Moto-gerador	47

Lista de tabelas

Tabela 1 – Equivalência energética do biogás em relação à outros combustíveis	28
Tabela 2 – Características do efluente na UIM no processamento de mandioca	31
Tabela 3 – Características do biodigestor, de acordo com o projeto.....	31
Tabela 4 – Parâmetros de cálculos para estimativa de produção de biogás ...	36
Tabela 5 – Parâmetros para comparativo – energia térmica.....	37
Tabela 6 – Parâmetros para cálculo de área de florestas	37
Tabela 7 – Estimativa do potencial de produção de biogás na UIM.....	39

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS	13
2.1	Objetivo geral	13
2.2	Objetivo específicos	13
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1	Fécula de mandioca	15
3.2	Efluentes e sistemas de tratamento	17
3.3	Produção de biogás	21
3.4	Biodigestores	23
3.5	Estimativa de produção de biogás	26
3.6	Aproveitamento energético do biogás	27
4	MATERIAIS E METODOLOGIA	29
4.1	Caracterização da área de estudo	29
4.2	Dados de operação da UIM	31
4.2.1	Energia elétrica	32
4.2.2	Energia térmica	32
4.3	Estimativa para produção de biogás	33
4.4	Estimativa de consumo potencial de biogás	36
4.4.1	Energia elétrica	36
4.4.2	Energia térmica	37
4.5	Descrição de tecnologias para a produção e aproveitamento do biogás	37
5	RESULTADOS	39
5.1	Estimativa de potencial de produção de biogás	39
5.2	Aproveitamento energético do biogás	40
5.2.1	Energia elétrica	40
5.2.2	Energia térmica	41
5.2.3	Potencial de produção versus demanda total de biogás	42
5.3	Descrição de tecnologias para a produção e aproveitamento do biogás	43
5.3.1	Sistema de biodigestão	43

5.3.2	Unidade de tratamento do biogás	43
5.3.3	Sistema de queimadores de segurança.....	45
5.3.4	Sistemas de queima.....	45
5.3.5	Grupo Motogeradores	46
6	CONCLUSÃO	48
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

1 INTRODUÇÃO

O Brasil vive um dos melhores momentos econômicos. O agronegócio brasileiro registrou expansão acima da média na safra 2011/2012 batendo recorde na produção de grãos e na área de plantio. Seguindo as tendências de expansão do agronegócio, as cooperativas agroindustriais têm investido na industrialização desde a década de 1990. Neste contexto, o agronegócio paranaense cresce em importância no cenário econômico nacional.

Diante do exposto, surge uma preocupação com a sustentabilidade deste segmento, principalmente sob os aspectos ambiental e energético. Atualmente, grande parte da matriz energética no agronegócio cooperativista é sustentada pelo uso da lenha como fonte de calor, para movimentação de processos industriais e secagem de grãos. Porém, a perspectiva de produção de lenha não supera as perspectivas em relação ao crescimento das demandas correspondentes principalmente na região Oeste do Paraná.

A madeira, que vem dos reflorestamentos, apesar de ser um recurso renovável, ainda apresenta áreas de plantio inferiores às áreas necessárias para garantir a sustentabilidade dos processos que dela dependem. Grande parte das agroindústrias terceiriza a produção dos produtos madeireiros utilizado em aplicações térmicas.

A outra preocupação que cresce ao passo que aumentam os níveis de industrialização dos produtos da agricultura é o tratamento dos efluentes industriais. Existem diversas formas de se tratar estes efluentes e a decisão do pelo tipo processo depende de variáveis como volume, característica do efluente, área disponível, entre outras. Na agroindústria os sistemas de

tratamento mais usuais são os biológicos, em função da sua eficiência em relação aos custos. Nestes processos, microrganismos são utilizados para sintetizar a matéria orgânica, diminuindo seus níveis nos efluentes até níveis aceitáveis de acordo com a legislação.

O processo de transformação de mandioca e milho para a produção de fécula, amido e amido modificado, não foge à esta perspectiva: demanda grandes quantidades de energia térmica e elétrica. Por outro lado, gera milhares de litros de efluentes carregados de compostos orgânicos, que, quando tratados em lagoas anaeróbias ou em biodigestores produzem o biogás. O biogás produzido pode ser convertido em energia, contribuindo para um balanço energético mais positivo na unidade. Nesse contexto, surge a oportunidade de utilização do biogás produzido nas lagoas de tratamento de efluentes já existentes na unidade para obtenção de energia.

O foco deste trabalho é a estimativa da produção de biogás a partir do tratamento dos efluentes de uma fecularia, por meio de reatores anaeróbios e a estimativa do seu potencial energético.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Este trabalho tem por objetivo avaliar o potencial de produção de biogás em uma unidade industrial de processamento de mandioca cooperativista - UIM, localizada na região Oeste do Paraná, bem como o potencial energético do biogás produzido.

2.2 Objetivo específicos

São objetivos específicos deste trabalho:

- a) Estimar a produção potencial de biogás a partir do processo de biodigestão dos efluentes de uma unidade industrial de processamento de mandioca;
- b) Estimar o potencial energético do biogás e descrever as suas possíveis aplicações.
- c) Identificar tecnologias para a produção e aproveitamento do biogás;

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O ritmo de expansão da economia brasileira de 2007 até 2009 foi superior a 5% e saltou para 7,5% em 2010, que foi também o décimo sexto ano de maior estabilidade monetária em toda a sua história (MINISTÉRIO DA FAZENDA, 2012). Em relação ao agronegócio, o Brasil alcançou os 157,8 milhões de toneladas na produção de grãos na safra 2011/2012. Esta produção foi obtida em uma área de plantio de cerca de 51 milhões de hectares. (CONAB, 2012)

O Paraná é um dos estados mais representativos no agronegócio brasileiro e tem a sua organização agrícola baseada no cooperativismo. Das 204 cooperativas paranaenses, 68 são do agronegócio e representam 55% do PIB agrícola do estado. Do total da produção recebida pelas cooperativas paranaenses, são industrializados mais 42%. A ideia é aumentar a receita a partir da comercialização de produtos de maior valor agregado (OCEPAR, 2011).

Neste cenário, a grande preocupação do segmento agroindustrial se refere à sustentabilidade dos processos, principalmente no que tange aspectos ambientais e de energia. A madeira, tão utilizada como fonte de energia na indústria, é um recurso de produção de longo prazo, que apresenta escassez, principalmente na região Oeste do Paraná, uma região com vocação predominantemente agrícola, que abrange apenas 3% do total de florestas produtivas do estado (ABRAF, 2006).

Além da preocupação com a sustentabilidade econômica do negócio, estritamente ligada a disponibilidade de custo da energia, há ainda a questão do tratamento dos efluentes industriais. Conforme Dias (2006), as empresas socialmente responsáveis, preocupadas com a preservação e interessadas em

competir no mercado externo, trabalham cada vez mais para se adaptarem à produção mais limpa.

3.1 Fécula de mandioca

De acordo com Barreto *et al.* (2005), a mandioca é uma cultura tropical que é cultivada em mais de 80 países, constando como a sexta cultura para produção de alimentos mais importante no mundo. Conforme define Oliveira (2007), trata-se de um dos alimentos básicos da população brasileira, principalmente de baixa renda, consistindo em fonte de carboidratos para a alimentação humana e animal. Também, é utilizada na indústria, para o processamento da farinha de mandioca e a extração do amido, matéria-prima para inúmeras indústrias alimentícias e não alimentícias.

Segundo Scuroff (2005), as espécies de mandioca são divididas em mansas e bravas. As espécies bravas são classificadas desta forma em função da sua toxicidade. Estas espécies possuem substâncias que ao hidrolisarem-se por ação enzimática, convertem-se em ácido cianídrico (PANTAROTO; CEREDA, 2000). Borges *et al.* (2002), descrevem como as espécies que apresentam até 100 mg de ácido cianídrico (HCN) por kg de polpa de raiz fresca.

Entre os derivados da mandioca destaca-se a fécula, principalmente em função do maior retorno econômico em comparação com os outros produtos. Além disso, conforme Vilpoux (2008) a fécula apresenta uma infinidade de aplicação dentre as quais se podem citar a produção de alimentos, usos na indústria química, metalúrgica, têxtil, papelaria, em lamas para perfuração de poços de petróleo, entre outras. A fécula destaca-se ainda como o único derivado da mandioca com mercado internacional estabelecido. De acordo Schuroff (2005), os maiores compradores da fécula de mandioca brasileira são os Estados Unidos, a Argentina, a Colômbia, a África do Sul, o Chile, o Uruguai, a Bélgica e o Canadá.

O processo de produção de fécula de mandioca, qualquer que seja o grau de tecnologia empregada, compreende as etapas de lavagem e de

descascamento das raízes, desintegração das células e liberação dos grânulos de amido, separação das fibras e do material solúvel e finalmente, a secagem. Durante o processamento é gerado o bagaço, massa ou farelo, resíduo fibroso que contém parte da fécula que não foi extraída no processamento. (LEONEL,1998).

Segundo Oliveira (2007), a extração da fécula é essencialmente um processo físico de separação. A Figura 1 apresenta um fluxograma simples do processo, descrito por Cereda e Vilpoux (2003) adaptado por Oliveira (2007).

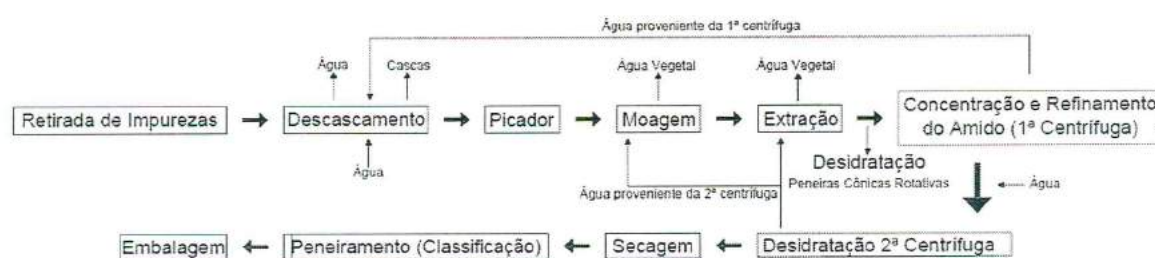


Figura 1 - Fluxograma geral do processo de fecularias (CEREDA; VILPOUX *apud* OLIVEIRA, 2007)

De acordo com Feiden (2001), no oeste do Paraná, a maior parte das fecularias tem uma capacidade de esmagamento variando de 100 a 300 toneladas de raízes por dia. O autor descreve os principais processos para obtenção de fécula aplicados na região, representados na Figura 2:

As raízes de mandioca, após pesagem e avaliação do teor de amido, em balança hidrostática, são encaminhadas às moegas. Destas, seguem para o lavador, onde a lavagem é efetuada com água, em contracorrente, enquanto as raízes são movimentadas e reviradas por um sistema de pás de aço revestidas de borracha. No início da lavagem é empregada água limpa, seguida de água vegetal reciclada (mais ou menos 40%) e, no final do lavador, é novamente utilizada água vegetal. Neste processo, só é retirada a película externa da raiz, a pele ou casquinha. A parte interna da casca, que representa de 8 a 15% do peso da raiz, apresenta amido, embora com um teor de cerca da metade do encontrado na polpa. Após a lavagem, as raízes passam por um operador que retira, manualmente, o pedúnculo das raízes (FEIDEN, 2001, p.11).

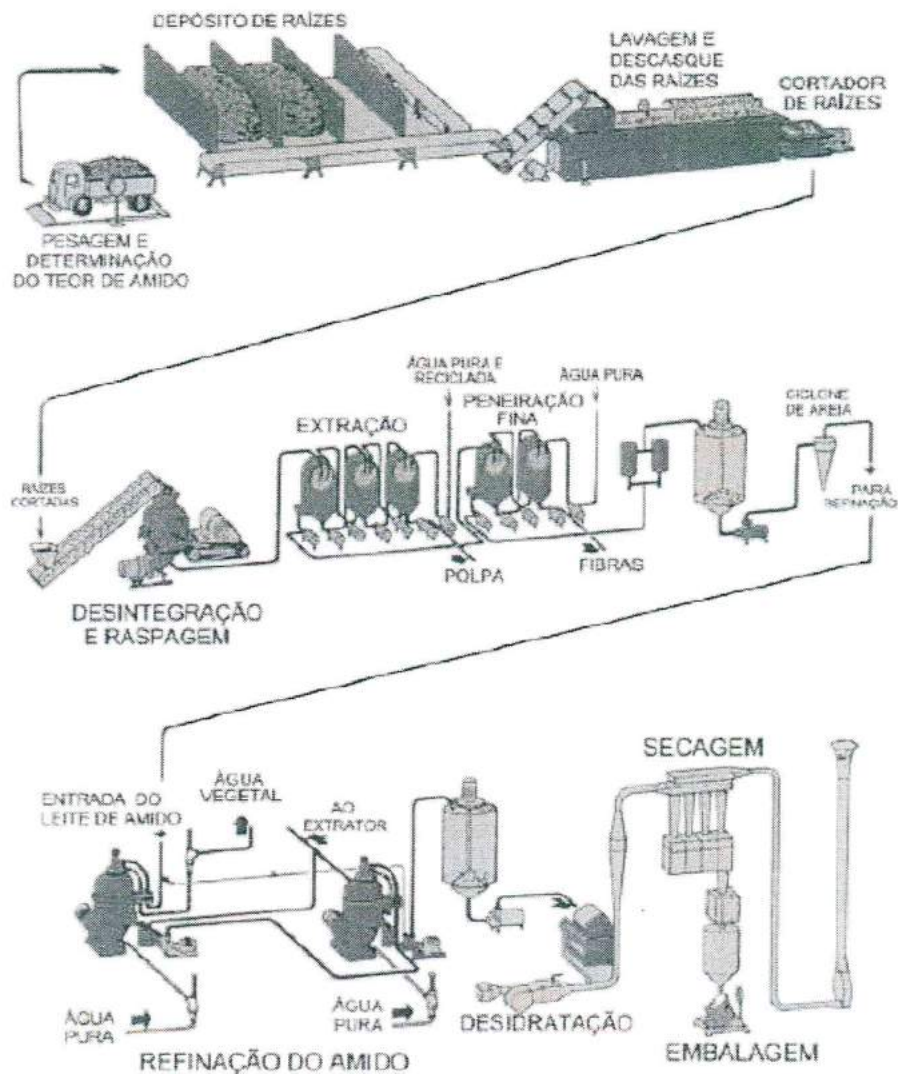


Figura 2 - Sistema Alfa Laval para extração de fécula de mandioca, (ANRAIN,1983 *apud* FEIDEN, 2001)

3.2 Efluentes e sistemas de tratamento

Braile e Cavalcanti (1993) determinam como efluentes industriais ou “águas residuárias industriais” os resíduos líquidos que têm origem na indústria, e de “esgotos sanitários” quando estes resíduos líquidos são originados a partir da atividade humana cotidiana, como descargas de banheiro, banho e lavagem de roupas.

De acordo com Cavalcanti (2009), os principais impactos ambientais decorrentes do despejo de águas residuárias da agroindústria sem o tratamento prévio nos corpos hídricos é a elevação da demanda bioquímica de Oxigênio - DBO da água, que provoca diminuição do oxigênio dissolvido no meio, à alteração da temperatura do meio hídrico e o aumento da concentração de sólidos solúveis totais (SST). A elevada carga desses sólidos provoca aumento da turbidez e mudança na cor da água, podendo vir a provocar a eutrofização dos corpos hídricos e a mudanças de pH da água.

Conforme Cetesb (1988), quando a carga de esgotos lançados excede a capacidade de autodepuração do corpo de água, o corpo d'água fica sem oxigênio, provocando problemas estéticos e impedindo a existência de seres aquáticos. A quantidade de despejos lançados aos corpos de água deve ser proporcional à sua vazão ou seu volume, isto é, à sua disponibilidade de oxigênio dissolvido (BRANCO, 1983).

Nos processos de industrialização da mandioca são gerados resíduos sólidos que consistem em partes lenhosas e deterioradas das raízes, crueira, porções fibrosas retidas em peneiras, bagaços e resíduos líquidos da água de lavagem das raízes e manipueira (FERNANDES JÚNIOR; CEREDA, 1996).

A manipueira é a fração líquida resultante da prensagem da massa ralada utilizada para a produção de farinha e do processo de extração e purificação da fécula (TAKAHASHI, 1986). Ela representa, em média, 30% da matéria-prima processada, no caso de produção de farinha de mandioca. Na fabricação de amido, a este montante deve ser computada a água agregada ao processo, que pode representar 60% ou mais do peso da matéria-prima processada. (WOSIACKI; CEREDA, 2002).

Este resíduo, manipueira, é o mais problemático por possuir elevada carga de poluente e efeito tóxico, devido ao glicosídeo cianogênico linamarina, causando sérios problemas ao ambiente quando lançado em cursos d'água (BARANA; CEREDA, 2000). A ingestão ou a inalação do ácido cianídrico (HCN) pode levar à morte, porque este composto interfere com a oxidase terminal, na cadeia respiratória. Isto ocorre devido à sua afinidade com o ferro, combinando-se com a hemoglobina do sangue para formar a ciano-hemoglobina (CEREDA, 1994).

A região oeste do Paraná tem enfrentado graves problemas ambientais devido à concentração dessas indústrias e dos efluentes gerados por elas. As principais características físico-químicas destes efluentes, conforme Feiden e Cereda (2003) são carga orgânica de Carbono Orgânico Total (COT) em torno de 2.604 mg L^{-1} , Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) de 11.484 mg L^{-1} e pH de 6,18.

De acordo com Fernandes (2001), são relatados inúmeros processos de tratamento e/ou aproveitamento de resíduos orgânicos, destacando os processos biológicos, sejam os aeróbios (lodo ativado, lagoas de estabilização aeróbia, etc.), sejam os anaeróbios (biodigestores, lagoas de estabilização anaeróbia, etc.) para o tratamento de efluente.

Oliveira (2007) cita como mais comum, o tratamento que consiste na disposição do efluente líquido em valas de deposição e lagoas de decantação. Descreve estes sistemas como insuficientes para a degradação da manipueira, cujos resíduos do tratamento podem infiltrar no solo, causando contaminação do lençol freático ou dos corpos hídricos. Nestes sistemas de tratamento há uma intensa exalação de odores desagradáveis que atraem insetos e vetores causando desconforto à população das adjacências da indústria.

De acordo com Von Sperling (1995) os tipos de tratamento podem ser divididos em métodos físicos, químicos ou biológico. Nos métodos físicos predominam forças físicas como gradeamento, mistura, floculação, sedimentação, flotação, centrifugação e filtração, são os métodos mais simples, mais baratos e, geralmente, são empregados antes dos demais. Nos métodos químicos, a remoção ou conversão dos contaminantes ocorre pela adição de produtos químicos ou devido às reações químicas, como precipitações, coagulações, adsorção e desinfecção. Nos métodos biológicos a remoção de contaminantes ocorre por meio de atividade biológica, como a remoção da matéria orgânica carbonácea e a desnitrificação.

As alternativas sugeridas por Aguilar (2002), para o tratamento de efluentes em fecularia seriam a coagulação e floculação com a quitosana (polieletrólito natural), o uso de centrífugas decantadoras, filtro prensa e o tratamento com membranas, principalmente micro e ultra filtração.

Feiden (2001) descreveu como alternativas de tratamento de resíduos líquidos:

- I. tratamento preliminar que se destina a remover sólidos grosseiros e areia, utilizando mecanismos de ordem física, como peneiramento e sedimentação;
- II. tratamento primário destina-se a remoção de sólidos em suspensão sedimentáveis e sólidos flutuantes, utilizando processos físicos, como sedimentação e flotação;
- III. tratamento secundário destina-se a remover a matéria orgânica que está na forma dissolvida ou em suspensão, e cuja remoção não foi possível nas etapas anteriores, baseia-se em processos mais complexos, concebidos de forma a acelerar processos naturais existentes na natureza; corresponde ao tratamento biológico utilizando reações bioquímicas através de microrganismos; e
- IV. tratamento terciário, que se destina a remover componentes poluentes específicos, não removidos nas etapas anteriores, como metais pesados, produtos tóxicos e contaminantes diversos, utiliza processos sofisticados e muito caros, só utilizados em casos muito específicos.

No caso específico da manipueira, os estudos efetuados para o tratamento das águas residuárias são, predominantemente, de processos biológicos anaeróbios, embora trabalhos isolados tenham sido efetuados utilizando outros processos.

Os sistemas de tratamento biológico em anaerobiose apresentam diversas vantagens em relação aos outros sistemas de tratamento, como baixo custo de implantação, manutenção e operação; redução do volume dos resíduos, sua estabilização e possibilidade de uso para o condicionamento de solos; poucos requerimentos nutricionais; possibilidade de aplicação de elevadas cargas orgânicas; degradação de certos compostos tóxicos (tais como compostos halogenados e azoicos recalcitrantes à degradação aeróbia), habilidade em preservar a atividade do lodo por longos períodos sob ausência de alimentação; baixo ou nenhum gasto de energia e a recuperação do biogás produzido na forma de metano (OLIVEIRA, 2007).

De acordo com Parizotto (1999) *apud* Feiden (2001), um dos problemas referentes ao tratamento de efluentes é a sazonalidade do processamento de mandioca. A maior produção ocorre entre os meses de abril e agosto, que é considerado o período de safra. Nesta época há uma intensa geração de resíduos coincidindo com as menores temperaturas médias do ano, o que pode agravar a situação em função da menor taxa de atividade dos microrganismos.

Em relação à eficiência dos sistemas na redução de DQO, em experimento, Pinto e Cabello (2011) obtiveram para tratamento de efluentes de fecularia em biodigestor anaeróbio de fluxo ascendente, redução na ordem de 84%. Comparativamente, Barana (2000) obteve uma redução de DQO até 85,61% sem correção do pH e de 75,24% com correção do pH para cargas de entrada no reator metanogênico de $6,16\text{g DQO.l}^{-1} .\text{d}^{-1}$, respectivamente. Sampaio (1996) obteve redução de DQO na ordem de 94%. A redução do teor de sólidos voláteis (SV) e sólidos totais (ST) foi 70% e 62%, respectivamente.

Pontello *et al* (2005) avaliaram o uso de cobertura plástica em lagoa anaeróbia tratando o efluente de fecularia. Sua conclusão, comparando duas lagoas de dimensões idênticas, alimentadas da mesma forma, uma coberta e outra não, foi que a cobertura auxilia na manutenção da temperatura. A remoção de DQO foi em média 49% para a lagoa coberta, enquanto o mesmo sistema descoberto removeu 34% de DQO.

3.3 Produção de biogás

Na digestão anaeróbia, os compostos orgânicos complexos como carboidratos, proteínas e lipídios são hidrolisados, fermentados e convertidos em materiais orgânicos mais simples, principalmente ácidos voláteis. No segundo estágio, ocorre a conversão de ácidos orgânicos, gás carbônico e hidrogênio, em metano e gás carbônico, conforme descreve Chernicharo (2001). O processo de digestão anaeróbica envolve uma primeira fase acidogênica e uma segunda, em separado, metanogênica, que em conjunto acarretam uma redução do DQO da ordem de 85% e de cianeto de 95%

(CEREDA, 1994). A representação deste processo foi elaborada por Chernicharo (1997) *apud* Pontello (2006) e é apresentada na Figura 3.

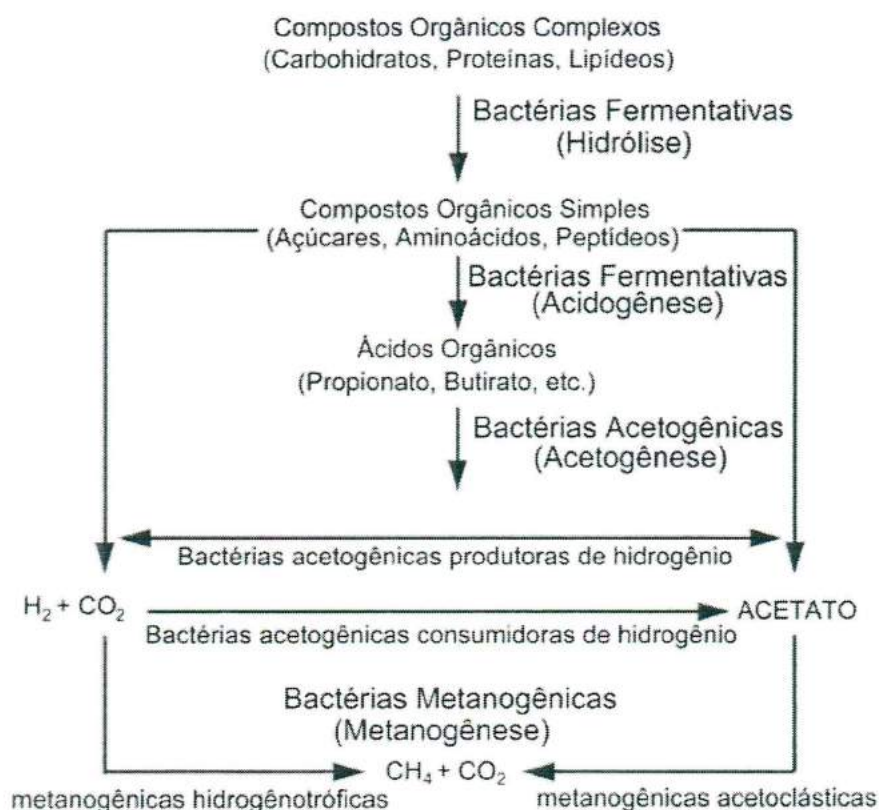


Figura 3 - Esquema da biodigestão anaeróbia, mostrando as sequências metabólicas e grupos microbianos (CHERNICARO, 1997 *apud* PONTELLO, 2006)

Motta (1985) comprovou a possibilidade de tratar por digestão anaeróbica a manipuera por processo anaeróbio, onde matéria orgânica final é volatilizada na forma de biogás, cuja composição predomina o gás metano (70%), dióxido de carbono (20%) e outros gases.

Os gases de efeito estufa são aqueles que têm a capacidade de reter a radiação infravermelha (calor) emitida pela Terra, aumentando a temperatura na superfície terrestre e do mar. O aumento da concentração de GEE poderá provocar um aumento médio da temperatura no planeta entre 1,4 e 5,8°C nos próximos cem anos (IPCC, 2007).

São considerados gases de efeito estufa o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄), o óxido nitroso (N₂O), o hexafluoreto de enxofre (SF₆) e as famílias dos perfluorcarbonos que são compostos completamente fluorados

como perfluormetano (CF_4) e perfluoretano C_2F_6 e dos hidrofluorcarbonos (HFCs). (ROCHA, 2003)

Conforme Embrapa (2008) o gás metano (CH_4) e o óxido nitroso (N_2O) formam, junto com o gás carbônico (CO_2), o trio dos principais gases de efeito estufa. Apesar de existirem na atmosfera em quantidades bem menores que o CO_2 , eles são bem mais eficientes na retenção do calor. O potencial de aquecimento do metano é 21 vezes maior que o CO_2 .

De acordo com o Cetesb (2006) a remoção de metano na troposfera se dá por meio de três processos. O principal inicia-se com a oxidação do metano por radicais hidroxilas (HO), ocorrendo eventualmente transformação em monóxido e dióxido de carbono. A concentração de NO_x exerce forte influência sobre os passos da reação. Outras formas de remoção de metano na troposfera são a captura dos solos e das águas (oxidação por microrganismos) e pelo seu transporte para a estratosfera onde esse gás é importante fonte de vapor d'água (BENGEMER; CRUTZEN, 1987, *apud* CETESB, 2006).

A redução do metano emitido para a atmosfera pode ser obtida também pela combustão simples, com o objetivo de prevenir a emissão do gás. Mas é possível recuperar o metano como fonte de energia, evitando-se a queima de quantidade equivalente de combustível fóssil. Em ambos os casos, forma-se gás carbônico - CO_2 (CETESB, 2006).

3.4 Biodigestores

Os biodigestores são reatores anaeróbicos utilizados, principalmente, em sistema de saneamento ambiental, independente das possibilidades de aproveitamento do biogás produzido. Suas características variam em volume e tecnologia aplicada para diferentes características de efluentes, bem como em relação ao objetivo, se saneamento ambiental ou produção de biogás.

Tanto para o tratamento sanitário dos efluentes como para a maximização de produção de biogás para aproveitamento energético, a

escolha do modelo de biodigestor ou reator anaeróbio a ser utilizado é muito importante. Os principais modelos de reatores anaeróbios, segundo Kato *et al* (1999) são:

- Batelada: Reator preenchido com substrato no início e esvaziado ao final do tratamento, repetindo-se a operação com nova batelada. O conteúdo no interior do reator é misturado completamente, permitindo um bom contato esgoto-biomassa.

- Pistão ou tubular: a biomassa entra e passa por meio de um tanque longo e estreito, com as partículas líquidas saindo na mesma seqüência da entrada. Não ocorre mistura no sentido longitudinal e com pouca ou nenhuma dispersão transversal. As concentrações dos constituintes dos esgotos diminuem da entrada para a saída do tanque longitudinal.

- Mistura Completa: Tão logo a biomassa entre no reator, as partículas líquidas são imediatamente dispersadas no interior, ocorrendo mistura completa (homogeneização). As concentrações são praticamente iguais em todo o reator, as mesmas do efluente.

- Arbitrário: Características intermediárias entre as do reator tubular e as do reator de mistura completa. Na prática, não há reatores com mistura completa ou tubular, existe uma aproximação para um ou outro, por isso são denominados ideais.

Como os microrganismos são essenciais para que ocorram as reações, é importante que, além da existência de um ambiente favorável no interior dos reatores, o substrato seja colocado em contato com a biomassa para promover a sua degradação (Moraes, 2005).

De acordo com Lier *et al* (2001), os reatores modernos de alta taxa, nos quais o tempo de retenção hidráulica está dissociado do tempo de retenção dos sólidos, permitiram a ampla aceitação mundial da tecnologia anaeróbia como alternativa viável para sistemas de tratamento de águas residuárias.

Oliveira (2007) descreve diversos tipos de configurações de reatores anaeróbios têm sido empregados de forma a otimizar o processo de tratamento

de efluentes em fecularias. O reator UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactors* – Reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo), amplamente utilizado para o tratamento de efluentes industriais de alta concentração, mostrando excelente desempenho. Este reator consiste basicamente de um tanque Imhoff de fluxo vertical, apresentando câmaras de sedimentação e digestão anaeróbia, sobrepostas (Aisse, 2000).

Kato *et al* (1999) descrevem os reatores anaeróbios com alimentação e fluxo horizontal no seu interior, como lagoas anaeróbias e reatores na forma de canais ou canaletas estreitos e longos, cuja finalidade é promover a sedimentação de sólidos suspensos do efluente, no fundo, onde ocorre parte da digestão anaeróbia.

Kuczman (2007) afirma que uso do biogás como combustível, no meio rural, tem como modelo de produção os biodigestores mais simples, principalmente por apresentarem baixos custos devido a pouca tecnologia associada e facilidade operacional. O autor argumenta que quando há disponibilidade dos resíduos líquidos, o interesse volta-se para os biodigestores contínuos como os modelos Indiano e Canadense, incorporando tecnologias como sistemas de agitação, aquecimento e pré-fermentação da biomassa. Esses modelos são considerados versáteis pelo autor, por permitirem o tratamento de diferentes resíduos orgânicos animais e vegetais. O processo é considerado contínuo porque para cada entrada de afluente há uma descarga de igual volume de efluente. Desta forma, os biodigestores, em uso no meio rural, são depósitos semelhantes às esterqueiras, diferenciando-se apenas por possuírem cobertura para armazenar o biogás gerado pelo processo de digestão anaeróbia. As esterqueiras podem ser adaptadas e transformadas em biodigestores simples, trazendo algumas vantagens para o produtor que possui área agrícola suficiente para aplicação do biofertilizante no solo, e, além disso, possuir uma demanda de energia térmica que justifique o investimento.

De acordo com Feiden e Cereda (2003), há possibilidade de acidificação no processo de biodigestão de efluente de fecularia. Os autores

salientaram a necessidade de um sistema com separação de fases para o tratamento anaeróbio da manipueira.

3.5 Estimativa de produção de biogás

Existem diversas formas de realizar a estimativa de produção de biogás, Mendes e Sobrinho (2005) citam como principais as metodologias: (I) descrita pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas - IPCC, que levam em consideração a quantidade de carbono orgânico degradável, (II) o método de projeto, que leva em conta a geração de metano ao longo dos anos e (III) o Método de Decaimento de Primeira Ordem.

Além das estimativas, há ainda algumas metodologias para a determinação da produção de biogás em laboratório. Aquino *et al*, (2007) aponta como formas de determinação de produção do biogás as seguintes metodologias: métodos manométrico, que se baseiam na medição da pressão exercida sobre um sensor pelo biogás e os volumétricos se baseiam na determinação do volume de biogás ou metano produzido em um frasco reacional que contém o substrato a ser testado.

IPCC (2007) em seu quinto volume postula a forma mais difundida de estimativa de emissões/produção de metano em todo o mundo. Este volume trata sobre a estimativa das emissões de metano a partir do tratamento local de efluentes industriais com carga de carbono significativo, tratados sob condições anaeróbias. A carga orgânica em efluentes industriais são frequentemente expressos em termos de demanda química de oxigênio - DQO. De acordo com a metodologia, a avaliação do potencial de produção de CH₄ a partir de fluxos de águas residuais industriais, baseia-se na concentração de matéria orgânica degradável no efluente, o volume de águas residuais, e a propensão da indústria para tratar as suas águas residuais em sistemas anaeróbios.

3.6 Aproveitamento energético do biogás

O biogás pode ser aproveitado de forma a obter-se energia a partir da sua conversão ou queima. Em função das ligações químicas entre os átomos de hidrogênio e carbono, o metano possui um elevado potencial energético (energia química) que quando reage com oxigênio, libera grande quantidade de calor (energia térmica). Como formas de aproveitamento aponta-se a conversão em energia elétrica, obtida por meio de motores ciclo Otto e microturbinas e em energia térmica, por meio de ciclo a vapor e para tratamento de chorume. (ICLEI, 2009). O autor cita ainda a possibilidade da utilização do biogás em veículos e iluminação a gás, conforme apresentado na Figura 4.

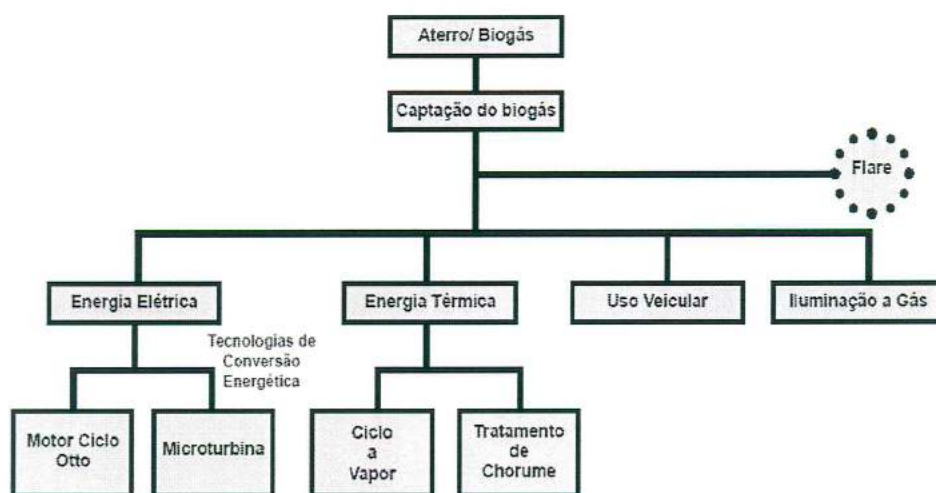


Figura 4 – Alternativas para aproveitamento do biogás (ICLEI, 2009)

Em instalações de pequena escala o biogás é utilizado principalmente para aquecimento e cocção. Em unidades maiores, predomina o aproveitamento sistemas de co-geração. Em qualquer aplicação, o objetivo da utilização do biogás é reduzir o consumo de combustíveis fósseis (ou lenha, em alguns casos). (PERSSON *et al.*, 2006).

No Brasil, o aproveitamento do biogás como fonte de energia elétrica ainda é incipiente, com apenas 42 MW de capacidade instalada e 20 MW em construção (ANEEL, 2009). Considerando a elevada concentração da população brasileira em grandes centros urbanos e a expressiva produção

agropecuária e agroindustrial (e, portanto, de resíduos e efluentes domésticos, agropecuários e agroindustriais), é natural acreditar que o atual aproveitamento do biogás no Brasil encontra-se bastante aquém do seu potencial. (ZANETTE, 2009)

Feiden (2001) cita como principais formas de aproveitamento do biogás em fecularias a obtenção de energia térmica aplicada à secagem da fécula. Aponta ainda como alternativas, o uso em geradores a biogás para a conversão em energia elétrica e a aplicação em substituição à combustíveis fósseis e eletricidade em veículos funcionais, como empilhadeiras e caminhões.

De acordo com Cardoso Filho(2001) *apud* Figueiredo (2007), o biogás, quando comparado com outras fontes de combustível apresenta a seguinte equivalência energética:

Tabela 1 – Equivalência energética do biogás em relação à outros combustíveis

Combustível	Quantidade equivalente a 1 Nm³ de biogás
Carvão vegetal	0,8 kg
Lenha	1,5 kg
Óleo diesel	0,55 L
Querosene	0,58 L
Gasolina amarela	0,61 L
GLP	0,45 L
kWh	1,43
Álcool carburante	0,80 L
Carvão mineral	0,74 kg

(CARDOSO FILHO *apud* FIGUEIREDO, 2007)

4 MATERIAIS E METODOLOGIA

4.1 Caracterização da área de estudo

A unidade industrial de processamento opera desde 1994 e foi construída em parceria com o poder público do município onde foi instalada, no oeste do Paraná. Gera 26 empregos diretos e centenas de empregos indiretos, tendo grande importância na economia do município. Além disso, possui a certificação ISO 9001:2000, para empresas que, de fato, investiam na criação de novos produtos, inovando ao estabelecer o conceito de controle de processo antes e durante o processo.

A UIM Tem capacidade de processamento de 400 kg por dia de raízes, produzindo fécula para a indústria alimentícia e sete tipos de amidos para o segmento industrial de papel e celulose. São processados anualmente cerca de 45.000 toneladas de mandioca em 21 horas de operação por dia, parando apenas no horário de ponta, das 18 às 21 horas, em razão dos altos custos da energia elétrica neste período.

A operação é sazonal e ocorre durante a safra da mandioca, que vai de março até outubro. A unidade cogita processar milho no intervalo da produção de mandioca para que a estrutura fabril seja mais bem aproveitada.

A unidade conta com um sistema de tratamento de efluentes composto por duas lagoas de decantação e mais sete lagoas para tratamento anaeróbio. Na Figura 5, pode-se observar por imagem de satélite a vista aérea da indústria e de seu conjunto de lagoas de tratamento. Além do conjunto de lagoas a unidade contará com um biodigestor do modelo canadense, que está em fase de instalação.

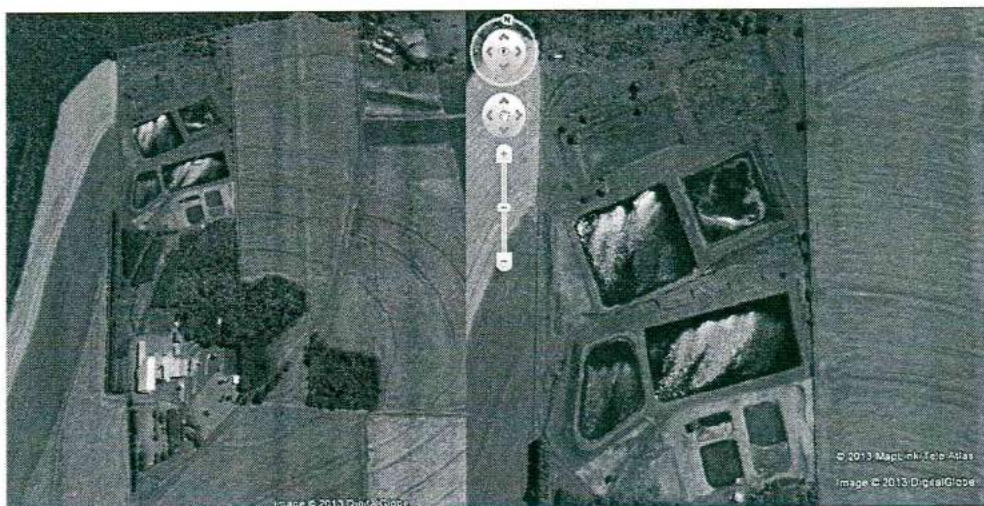


Figura 5 – Vista superior da unidade industrial de processamento de mandioca (1) e seu conjunto de lagoas de tratamento(2) (GOOGLE, 2013)

A produção de fécula de mandioca é uma das atividades agroindustriais que dependem da disponibilidade de recursos florestais. A fecularia processa anualmente cerca de 45.000 toneladas de mandioca para a obtenção deste produto. Esse processamento consome anualmente uma grande quantidade de lenha e cavaco que provém de florestas plantadas em áreas que, muitas vezes concorrem com as atividades agrícolas que são o foco da agroindústria, inclusive áreas de plantio de mandioca.

Além da preocupação com o abastecimento de lenha, a energia elétrica também é um fator determinante para a produção nesta unidade. Por se tratar de uma cultura sazonal, a mandioca é processada durante aproximadamente 6 meses por ano. Neste período há um intenso consumo de energia elétrica, cuja demanda contratada acompanha esta sazonalidade. Porém, mesmo com a contratação de demanda na modalidade horo-sazonal, há restrições ao consumo de energia no horário de ponta, quando a tarifa é a mais alta entre todas. Tendo-se em vista o curto período para o processamento da mandioca e a perecibilidade desta matéria prima, o processamento nestas horas de ponta, nas quais a indústria fica parada em função dos elevados custos de energia, pode representar o diferencial competitivo da indústria.

Esta unidade vem operando em regime sazonal nos últimos anos, durante os meses de Março até Outubro. Neste período é produzida a fécula

de mandioca e o amido, cuja produção se estende até o mês de Dezembro. A previsão para 2013 é que a unidade também passe a processar milho para a produção de amido. Com a inserção desta nova linha de produtos, o consumo de energia, que tem sido sazonal nos últimos anos, passará a ser praticamente constante ao longo do ano.

4.2 Dados de operação da UIM

Para cada tonelada de produto seco processado, são produzidos cerca 0,9 m³ de efluentes. Os efluentes são produzidos sazonalmente, acompanhando a produção da unidade. Para o monitoramento da produção de águas residuárias, são realizadas análises de demanda química de oxigênio – DQO, periódicas do efluente, antes e depois do sistema de tratamento, porém, para este trabalho obteve-se apenas os valores médios destas análises, apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Características do efluente na UIM no processamento de mandioca

Vazão do efluente (m ³ /hora)	DQO entrada (mg/L)	DQO saída (mg/L)	Tempo de operação (horas)	Dias trabalhados por ano
160	12.342	1.234	21	161

Tomou-se como referência para base de cálculo a implantação de um biodigestor de modelo tubular, que é o modelo previsto para a implantação na unidade, de acordo com o projeto apresentado pela cooperativa. O biodigestor foi dimensionado para o tempo de retenção hidráulica – TRH de 10 dias, com volume de 33.600 m³. É apresentado na Tabela 3 o resumo das informações a respeito do biodigestor projetado.

Tabela 3 – Características do biodigestor, de acordo com o projeto.

Volume dos Biodigestores de Modelo Tubular	33.600 m ³
Tempo de retenção hidráulica	10 dias
Eficiência estimada na redução de DQO* (estimativa do projeto técnico)	90%*

(COOPERATIVA, UIM, 2012)

4.2.1 Energia elétrica

A UIM consome anualmente grandes volumes de energia elétrica na produção. Conforme os dados coletados, o consumo total de energia em 2012 na unidade foi de 3.654.279 kWh. A curva de consumo mensal é apresentada na Figura 6. Ela também se comporta de acordo com a sazonalidade da produção industrial. Com a introdução do processamento de milho na unidade a tendência é que a curva de consumo de energia elétrica torne-se mais estável ao longo do ano, com menores variações entre os meses de dezembro e março.

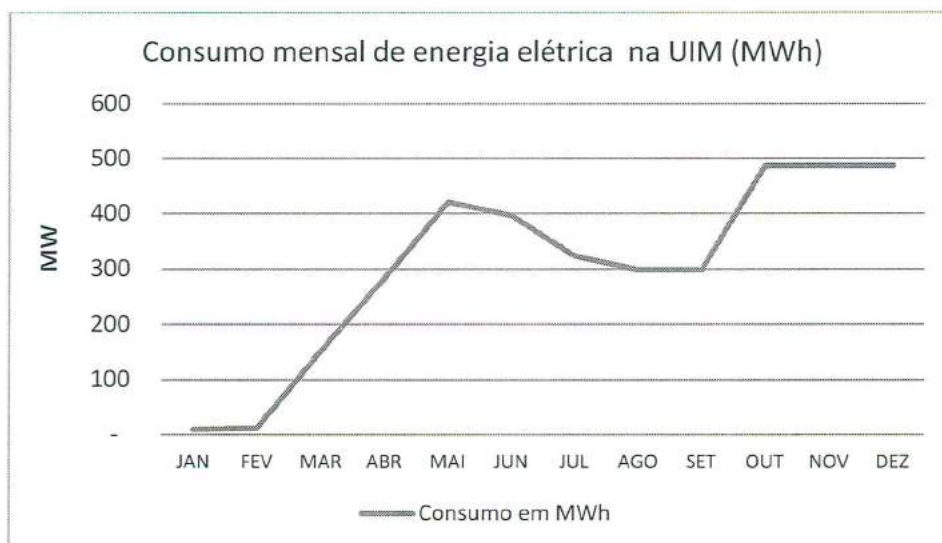


Figura 6 – Curva de consumo de energia elétrica na unidade em 2012

4.2.2 Energia térmica

O vapor é um importante insumo consumido na UIM. Ele é produzido por meio de uma caldeira flamotubular a uma pressão de 10 Kgf/cm². Este vapor é utilizado nos processos de extração e secagem da fécula. Para movimentar a caldeira são utilizados anualmente mais de 15 mil m³ de lenha. De acordo com os dados levantados, a unidade consumiu em 2012 um total 20.567,9 st de lenha, isso corresponde a 6.170 toneladas de lenha. A curva de consumo mensal é apresentada na Figura 7.

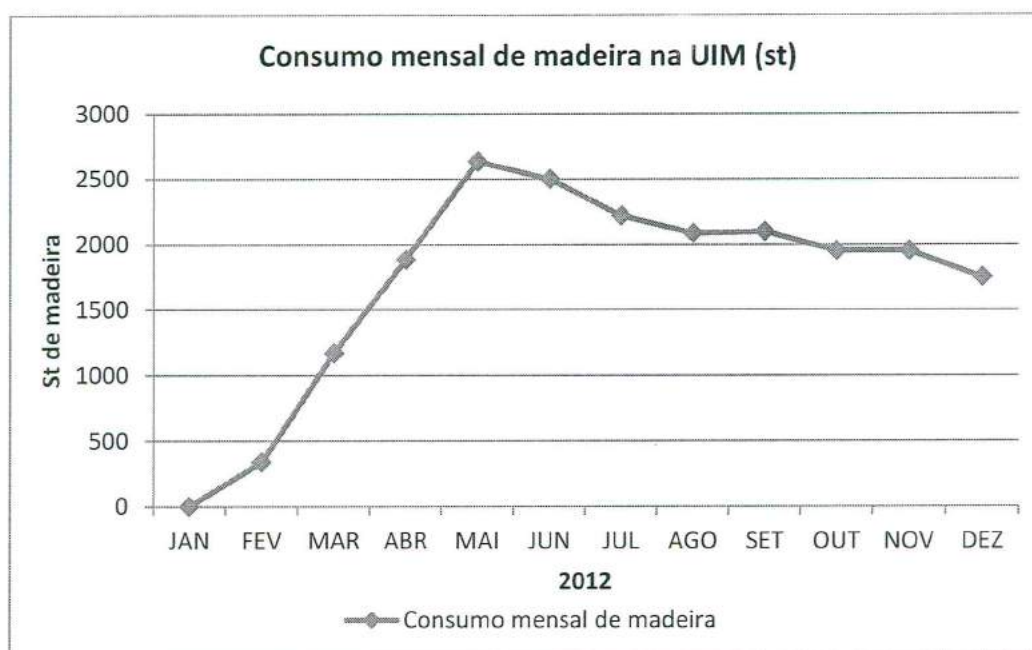


Figura 7 – Consumo de lenha em 2012 na UIM

4.3 Estimativa para produção de biogás

Neste trabalho optou-se pela estimativa de potencial de produção descrita por IPCC (2007) em seu quinto volume. Trata-se da forma mais difundida de estimativa de emissões/produção de metano em todo o mundo.

Este volume trata sobre a estimativa das emissões de metano a partir do tratamento local de efluentes industriais com carga de carbono significativo, tratados sob condições anaeróbias. A carga orgânica em efluentes industriais são frequentemente expressos em termos de demanda química de oxigênio - DQO.

De acordo com IPCC (2007), a avaliação do potencial de produção de CH_4 a partir de fluxos de águas residuais industriais, baseia-se na concentração de matéria orgânica degradável no efluente, o volume de águas residuais, e a propensão da indústria para tratar as suas águas residuais em sistemas anaeróbios. O método conta com os seguintes passos:

Passo 1: Utilizar da equação 3 para estimar a quantidade de carbono orgânico degradável total de águas residuais (TOW) para o efluente industrial.

Passo 2: Selecionar os parâmetros de acordo com dados da atividade no país. Utilizar a Equação 2 para obter fator de emissão. Para cada segmento da industrial é utilizando um fator de capacidade produtiva máxima para emissão de metano e um fator de correção específico.

Passo 3: Utilizar a Equação 1 para estimar as emissões, ajustar para remoção de lodo possível e ou recuperação e CH₄.

A equação geral para estimar as emissões de CH₄ a partir de efluentes industriais, de acordo com IPCC 2007 é a seguinte:

$$CH_4 \text{ Emissions} = \sum_i [(TOW_i - S_i) EF_i - R_i] \quad (\text{Eq.1})$$

Onde:

CH₄ Emissions = emissões de CH₄ no ano do inventário em kg de CH₄/ano

TOW_i = total de material orgânico degradável em efluentes da indústria i no ano de inventário em kg de DQO/ano

i = segmento industrial

S_i = componentes orgânicos removidos no ano de inventário por kg de DQO/ ano

EF_i = fator de emissão para a indústria i em kg de CH₄/ kg de DQO para o tratamento / descarga via ou sistema (s) utilizada no ano de inventário.

R_i = quantidade de CH₄ recuperado no ano de inventário, em kg de CH₄/ano.

Existem diferenças significativas no potencial de emissão de CH₄ a partir de diferentes tipos de águas residuárias industriais. Na medida do possível, os dados devem ser coletados para determinar a capacidade máxima de produção de CH₄ (Bo) em cada indústria. O MCF indica o fator de correção para o potencial de produção de CH₄ (Bo) em cada tipo de tratamento.

$$EF_j = B_o \bullet MCF_j \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde:

EF_j = fator de emissão para cada percurso tratamento / descarga ou sistema, kg de CH₄/ kg de DQO

j = via de cada tratamento / descarga ou sistema

B_o = CH₄ máxima capacidade produtiva, kg de CH₄/kg de DQO

MCF_j = fator de correção de metano (fração)

A boa prática manda utilizar dados específicos que são disponibilizados pelas organizações governamentais, industriais, ou especialistas industriais do país. No entanto, alguns dados podem estar indisponíveis ou incompletos.

Neste caso, pode-se utilizar o fator DQO-padrão de Bo (0,25 kg CH₄/ kg DQO) do IPCC.

A quantidade de material orgânico degradável em efluente (TOW) depende do tipo de material processado na indústria. Este parâmetro é uma função da produção industrial (produto) P (toneladas / ano), da geração de águas residuais W (m³/ton de produto), e concentração de compostos orgânicos degradáveis DQO no efluente (kg DQO/m³).

Os seguintes passos são necessários para a determinação da TOW: (i) Identificar os setores industriais que geram efluentes com grandes quantidades de carbono orgânico, avaliar o produto industrial total, os orgânicos degradáveis no esgoto e efluentes produzidos. (ii) Identificar setores industriais que utilizam tratamento anaeróbico. Incluem aqueles que podem ter involuntária tratamento anaeróbico, como resultado de uma sobrecarga do sistema de tratamento. A experiência tem mostrado que geralmente três ou quatro setores industriais são fundamentais. Para cada setor selecionado estimativa de carbono orgânico degradável total (TOW).

$$TOW_i = P_i \cdot W_i \cdot COD_i \quad (\text{Eq.3})$$

Onde:

TOW_i = total de matéria orgânica degradável em águas residuárias para a indústria i, DQO em kg/ano

i = indústria

P_i = produção total industriais para a indústria i, ton/ano

W_i = Efluente gerado para a produção da indústria m³/ton de produto

COD_i = demanda química de oxigênio (componente degradável industrial orgânica nas águas residuais), kg DQO /m³

Desta forma, obtêm-se os parâmetros necessários para o cálculo de estimativa de produção de biogás a partir da metodologia descrita em IPCC, 2007 apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Parâmetros de cálculos para estimativa de produção de biogás

Parâmetro	Valor	Unidade
Capacidade de produção de metano	0,25	ton CH ₄ / ton DQO
Fator de correção da produção de metano (MCF _{ww, treatment})	0,8	-
Fator de correção do modelo (MCF _{model})	0,89	-
Potencial de Aquecimento Global do metano	21	ton CO ₂ e/ton CH ₄
Fator de correção (MCF) (linha de base-projeto)	0,9	
Densidade do metano	0,67	kg/m ³
Percentual de metano no biogás*	55	%

*Parâmetro definido com base em medições de percentual de metano realizadas a campo pelo Centro Internacional de Energias Renováveis, em fecularias, cujas águas residuárias apresentam características semelhantes às da UIM.

4.4 Estimativa de consumo potencial de biogás

Foram avaliadas neste trabalho, duas formas de aproveitamento energético do biogás na unidade industrial de processamento de mandioca: a conversão em energia elétrica e a conversão em energia térmica.

Para que fosse possível esta avaliação, foram levantados os dados históricos de consumo de energia elétrica e de lenha (que representa o consumo de energia térmica) e a partir dessas informações estimou-se demandas energéticas anuais na unidade. Estas demandas foram convertidas em demanda por biogás, para que se pudesse realizar um comparativo com a produção potencial estimada. A seguir serão detalhados os parâmetros e metodologias utilizadas nestes comparativos.

4.4.1 Energia elétrica

Para a estimativa de demanda de biogás para energia elétrica utilizou-se como parâmetro o fator de conversão de 1,33 kwh gerados para cada m³ de biogás. Este fator foi estimado pela cooperativa com base em suas

experiências de geração de energia elétrica com biogás em outras unidades.

Desta forma, a demanda por energia elétrica pode ser convertida em demanda por biogás e comparada com a produção mensal de biogás. Desta forma obtêm-se as curvas de oferta versus demanda.

4.4.2 Energia térmica

Para a estimativa de equivalência de energia térmica foram utilizados os parâmetros descritos nas Tabelas 5 e 6. Estes parâmetros foram utilizados para a estimativa de energia equivalente em biogás e necessidade de área plantada para suprir as demandas por energia térmica na UIM.

Tabela 5 – Parâmetros para comparativo – energia térmica

Poder calorífico inferior lenha de eucalipto a 30% de umidade	2.600 kcal/kg
Poder calorífico inferior do biogás	5.100 kcal/ m ³
Produção no ciclo	150 m ³ /ha

ABRAF(2012); CIER(2012); KRAUSE(1999)

Tabela 6 – Parâmetros para cálculo de área de florestas

Florestas de eucalipto	
Incremento médio anual aos 5 anos (IMA5)	30 m ³ /ha.ano ⁻¹
Ciclo de corte	5 anos
Produção no ciclo	150 m ³ /ha

ABRAF, 2010

4.5 Descrição de tecnologias para a produção e aproveitamento do biogás

Para a busca e descrição das tecnologias propostas neste trabalho, realizou-se a análise da utilização do biogás produzido a partir do tratamento dos efluentes da UIM para conversão em energia, conforme representado na Figura 8 a seguir.

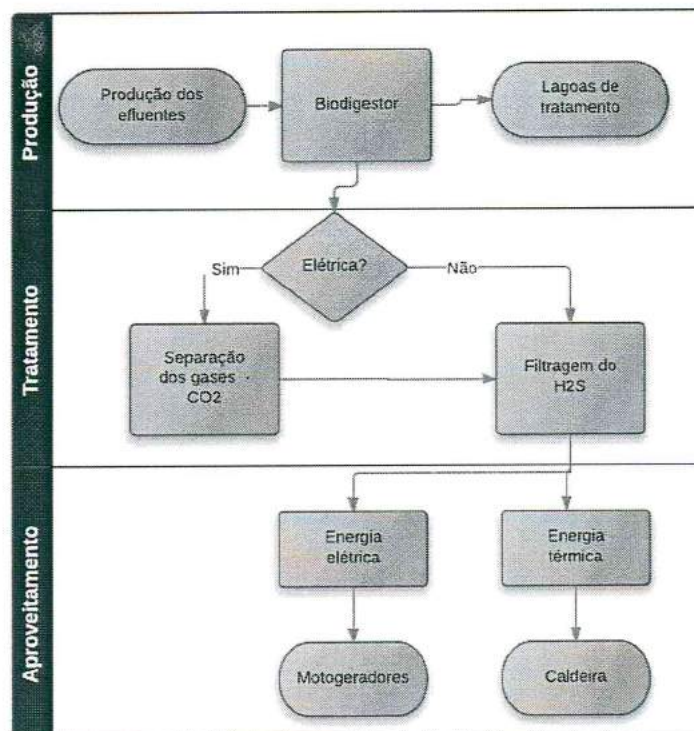


Figura 8 – Sistema proposto para produção e aproveitamento do biogás

Com as informações de produção e consumo de biogás foi possível com apoio de algumas empresas e da cooperativa, pré-dimensionar os equipamentos básicos necessários para a implantação do projeto na UIM.

5 RESULTADOS

Como principais resultados deste trabalho, obteve-se a estimativa de potencial de produção de biogás a partir da biodigestão anaeróbia dos efluentes da unidade industrial de processamento de mandioca, a análise de aproveitamento energético e o levantamento de tecnologias para produção e aproveitamento do biogás.

5.1 Estimativa de potencial de produção de biogás

A partir das informações de produção de efluentes foi possível calcular o potencial de produção de biogás, aplicando-se a Metodologia de Cálculo de Redução de Emissões do IPCC (2007) apresentada neste trabalho.

Como resultados da aplicação dos dados coletados e dos parâmetros às equações descritas pela metodologia obteve-se os resultados apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Estimativa do potencial de produção de biogás na UIM

Estimativa	Volume	Unidade
Volume anual de biogás gerado (161 dias de operação)	2.612.271,0	m ³ /ano
Volume mensal de biogás gerado	373.181,6	m ³ /mes
Volume diário de biogás gerado	16.225,3	m ³ /d
Volume horário de biogás gerado	772,6	m ³ /h

Dias de trabalho - 161

Desta forma, aplicando-se os parâmetros apresentados na Tabela 2 às equações apresentadas, obteve-se como resultado o potencial de produção anual de biogás na unidade de 2.612.271 m³, em 161 dias de operação por ano. O potencial de produção diário de biogás estimado, considerando-se a

operação em 21 horas por dia é de 16. 225,3 m³.

Além da produção de biogás a partir do tratamento dos efluentes do processamento da mandioca, com a introdução do processamento de milho poderá haver um incremento da produção de biogás nos períodos de entressafra da mandioca.

5.2 Aproveitamento energético do biogás

5.2.1 Energia elétrica

Desta forma, quando a demanda por energia elétrica foi convertida em demanda por biogás e comparada com a produção mensal de biogás, obteve-se as curvas de oferta versus demanda apresentadas na Figura 9.

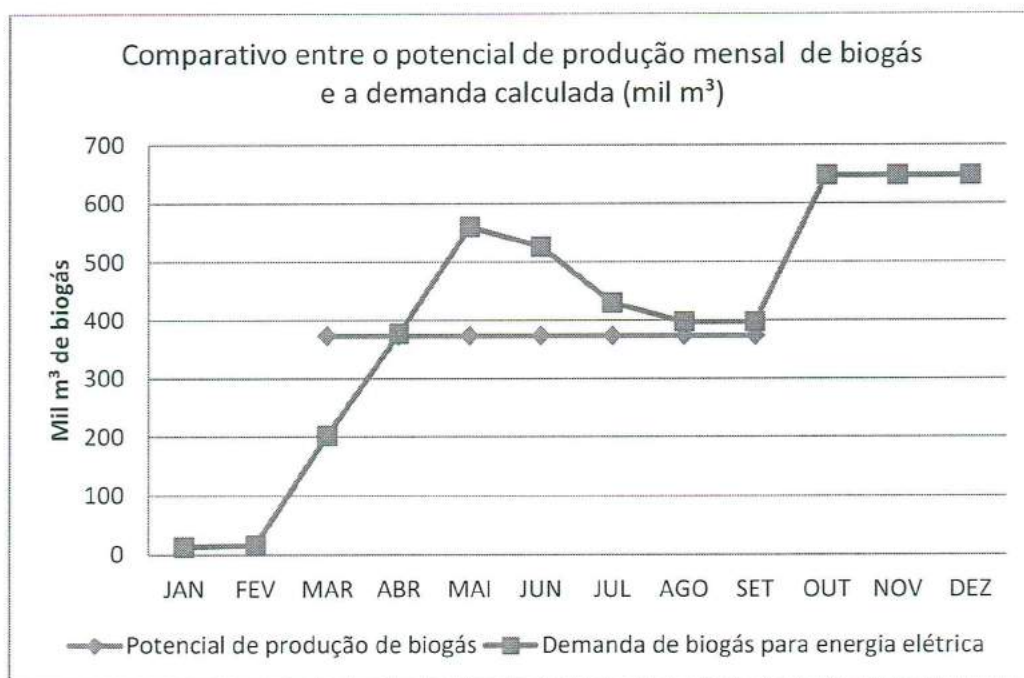


Figura 9 – Comparativo entre o potencial de produção de biogás e as demandas por energia elétrica convertidas em demandas por biogás

Observa-se pelo gráfico, que a oferta de biogás não é suficiente para suprir toda a demanda ao longo do ano, entretanto, em alguns momentos a oferta atinge 94% da demanda, como no mês de setembro, e em outros casos até supera as demandas, como entre os meses de fevereiro e março.

5.2.2 Energia térmica

Aplicando aos parâmetros apresentados na metodologia deste trabalho, as informações sobre consumo de lenha na unidade estima-se um total de energia consumida equivalente a 16.042.962 Mcal/ano. Em contrapartida a disponibilidade de energia, de acordo com a oferta de biogás é estimada em 13.322.561 Mcal para o ano de 2012, ou seja, capaz de suprir cerca de 83% da demanda total.

Na Figura 10 é apresentado o comparativo entre a oferta potencial de biogás na unidade e a estimativa de consumo em substituição à lenha.

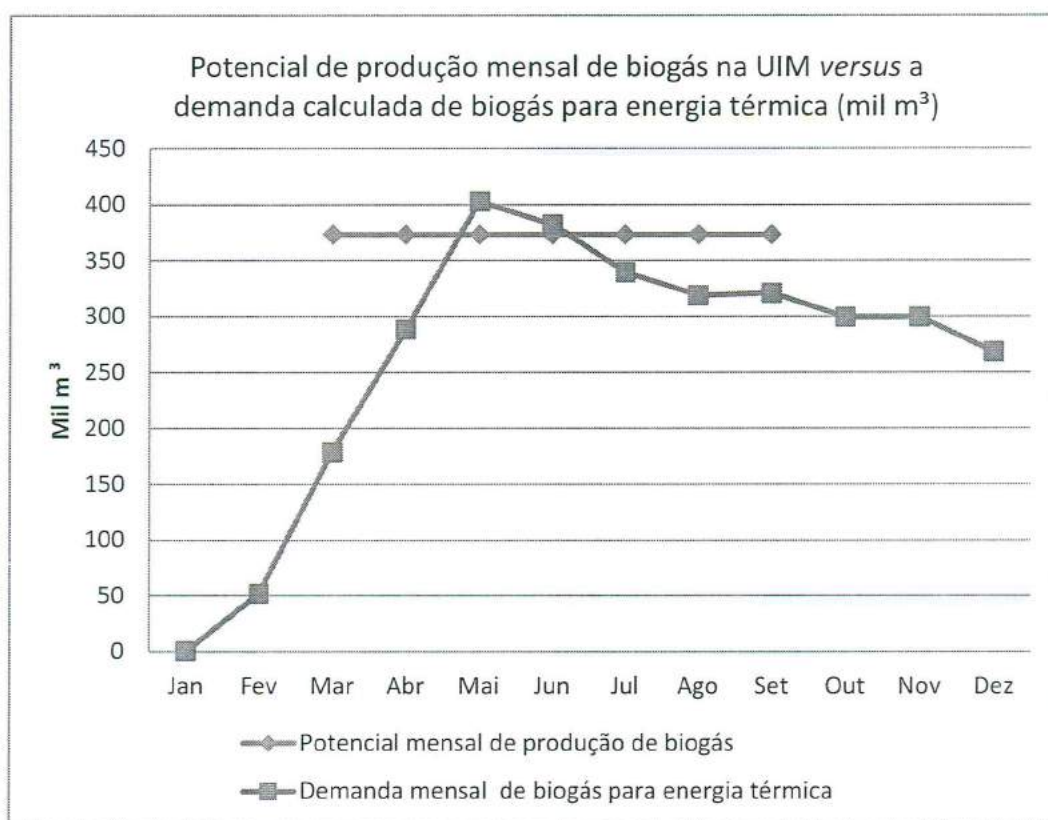


Figura 10 – Consumo de lenha em 2012 na UIM

Admitindo-se que toda a madeira utilizada na UIM advenha de florestas plantadas, seria necessária a colheita anual de aproximadamente 133 ha de eucalipto para suprir as demandas totais da unidade. Para os 5 anos do ciclo, a área total necessária seria de 667 ha. Com o aproveitamento do biogás a área

de colheita de madeira necessária seria de 23 ha por ano, 113 ha para os 5 anos do ciclo. Atualmente a cooperativa compra de fornecedores 100% do cavaco de madeira e mais de 70% da lenha que utiliza.

5.2.3 Potencial de produção *versus* demanda total de biogás

Para que fosse possível a comparação entre a oferta de biogás e a demanda energética na unidade, realizou-se a análise comparativa com base na projeção de produção de biogás e no histórico de consumo de energia (térmica e elétrica). A Figura 11 demonstra este comparativo entre a demanda total de energia e o potencial de produção do biogás na UIM.

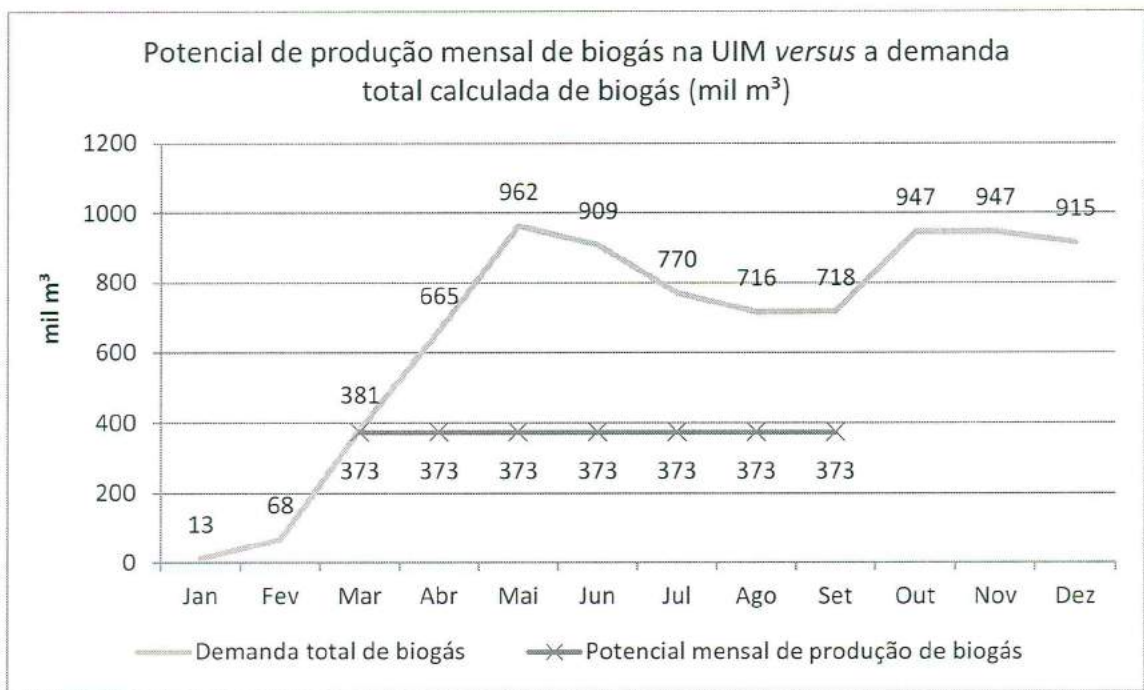


Figura 11 – Estimativa de demanda total de biogás na unidade *versus* a estimativa de potencial de produção de biogás

Por esse comparativo constata-se que a produção do biogás da UIM não é suficiente para suprir todas as demandas totais de energia na UIM, porém que pode atender até 33% das dessas demandas.

5.3 Descrição de tecnologias para a produção e aproveitamento do biogás

5.3.1 Sistema de biodigestão

Trata-se do conjunto composto por um decantador, um biodigestor, um sistema de agitação e um sistema de transporte do biogás.

O biodigestor coberto com lona também conhecido como modelo tubular *plug and flow*. Este é o modelo de biodigestor dimensionado, de acordo com o projeto técnico elaborado para o tratamento de efluentes na UIM pela cooperativa.

É apresentado na Figura 12 um biodigestor de modelo tubular, porém aplicado a tratar os efluentes de suinocultura.

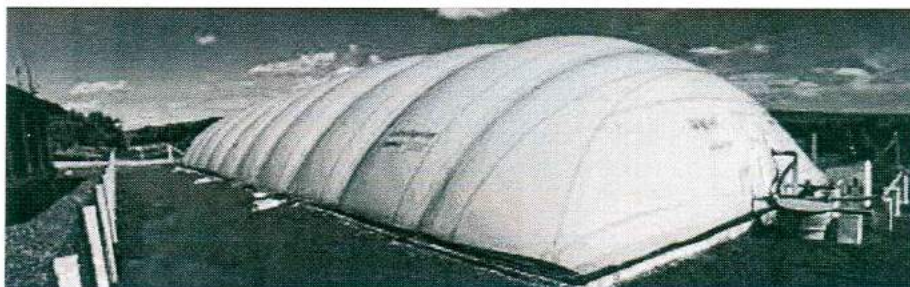


Figura 12 – Biodigestor modelo canadense (ITAIPU, 2011)

Para comportar o volume de efluentes da UIM, de 160 m³/hora, as empresas contratadas pela cooperativa dimensionaram o volume do biodigestor em 33.600 m³, levando em consideração um tempo de retenção hidráulica de 10 dias.

5.3.2 Unidade de tratamento do biogás

A unidade de tratamento do biogás consiste em um conjunto de torres

de filtragem do biogás, que removem o gás sulfídrico e também o dióxido de carbono do biogás. A separação desses dois componentes é realizada em filtros independentes, de modo que pode-se modular o sistema de acordo com a necessidade do projeto. Quando o aproveitamento do biogás é direcionado para a aplicação em energia térmica, nem sempre há a necessidade da instalação do módulo de separação de dióxido de carbono. Há que se estudar caso a caso a necessidade da implantação deste módulo. No caso deste trabalho, por se tratar de uma caldeira de baixa pressão e volume a empresa desenvolvedora da unidade de tratamento julgou necessária o projeto de instalação apenas do módulo de filtragem do gás sulfídrico, que, se não for retirado, pode causar corrosões no sistema de queima e na câmara de combustão da caldeira.

Para este trabalho dimensionou-se com base na estimativa de produção de biogás uma unidade de tratamento de biogás com capacidade de tratamento de 633,8 m³ de biogás por hora.

A Figura 13 apresenta uma unidade de tratamento de biogás que opera no Condomínio de Agroenergia para a Agricultura Familiar, um projeto desenvolvido pela ITAIPU Binacional e seus parceiros no município de Marechal Cândido Rondon.

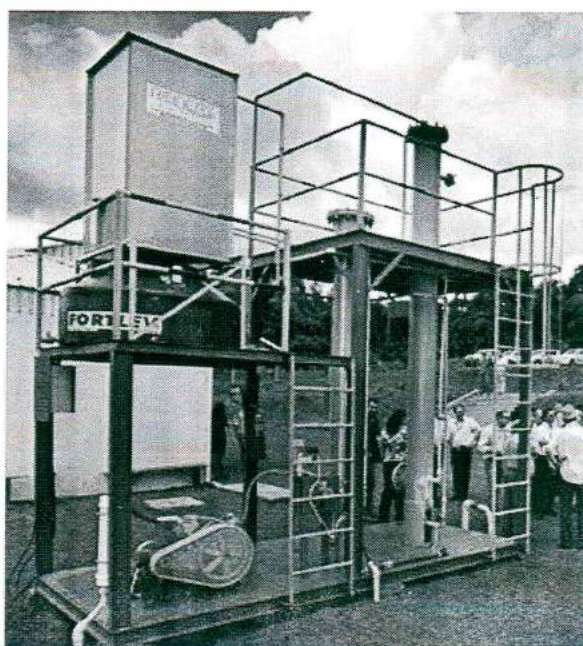


Figura 13 – Unidade de tratamento de biogás – Condomínio de Agroenergia da Sanga Ajuricaba, em Marechal Cândido Rondon (ITAIPU, 2012)

5.3.3 Sistema de queimadores de segurança

Os sistema de queimadores de segurança são conhecidos como *flares* (Figura 14) e tem como função garantir a segurança e a estabilidade do sistema de produção e aproveitamento de biogás. Este sistema é composto por linhas de transporte e de queima do biogás nos *flares*, que são dimensionados de acordo com a maior vazão do biogás estimado ao longo do dia. Para este projeto foram dimensionadas três linhas com vazão de 300 m³ de biogás/hora cada um. Isso, além de reduzir os custos do projeto também proporciona maior segurança ao sistema de biodigestão.



Figura 14 – Flare (COMBUSTEC, 2013)

5.3.4 Sistemas de queima

Os sistemas de queima são utilizados para o aproveitamento térmico do biogás e podem ser utilizados em fornos ou caldeiras. São compostos por um ou mais queimadores industriais de gás (Figura 15), linhas de admissão e segurança e painel de controle. O correto dimensionamento do sistema de queima é fundamental para garantir um melhor aproveitamento do biogás e a segurança na operação de caldeiras e fornos.

Para a elaboração deste trabalho foram consultadas algumas empresas que forneceram as informações preliminares necessárias para o dimensionamento do sistema.

Considerando-se a aplicação total do biogás para energia térmica dimensionou-se para este trabalho um sistema de queima do biogás para ser instalado na caldeira, com capacidade de queima de 650 Nm³/hora e 3.694.148,57 kcal/hora.



Figura 15 – Queimador industrial para caldeira (LCQUEIMADORES, 2013)

5.3.5 Grupo Motogeradores

Os sistemas compostos por um motor a gás e um gerador. Normalmente para o aproveitamento do biogás são utilizados motores de Otto. Trata-se do equipamento mais utilizado para queima do biogás, devido ao

maior rendimento elétrico e menor custo quando comparado às outras tecnologias.

Neste projeto, para o aproveitamento do biogás em motogeradores, com fator de conversão 1,33 kWh por m³, operando durante 21 horas por dia seria necessária a instalação de dois ou mais grupos geradores, cuja potência instalada total seja superior a 1030 kWh.

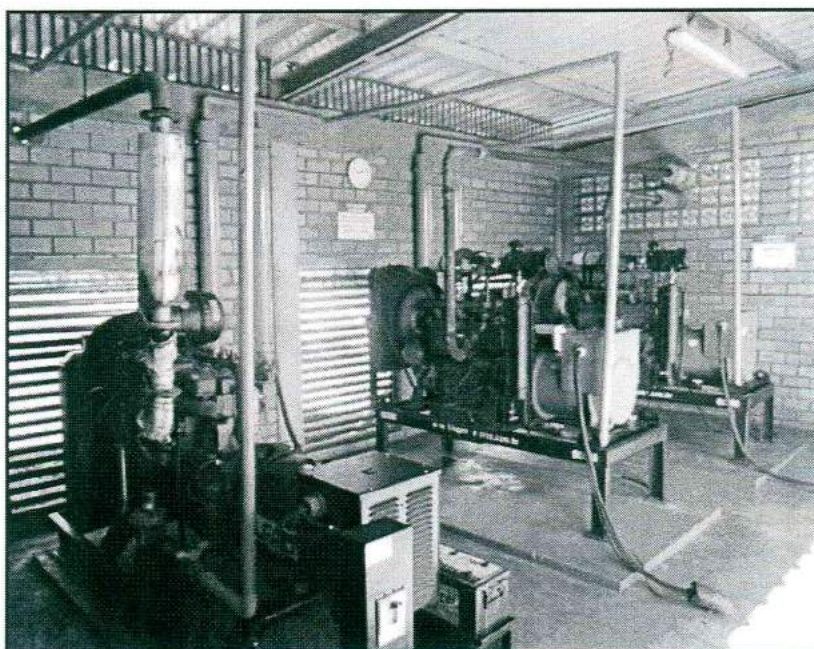


Figura 16 – Grupo Moto-gerador (ITAIPU, 2012)

6 CONCLUSÃO

Com base nos levantamentos e cálculos realizados neste trabalho, estimou-se um potencial de produção de biogás de 2,6 milhões de m³ por ano. De acordo com o histórico de consumo analisado, a produção de estimada de biogás seria suficiente para atender à 33% das demandas totais de energia na unidade.

Analisando-se a demanda por energia térmica, que é a demanda com maior criticidade na região, por não contar com uma oferta regular e com preços estáveis, conclui-se que seria possível substituir até aproximadamente 83% do consumo previsto de lenha.

Como principais tecnologias levantadas e dimensionadas para este trabalho destacam-se o (i) sistema de biodigestão, composto decantador, um biodigestor do modelo canadense de 33.600 m³ com tempo de retenção hidráulica de 10 dias, com sistema de agitação e transporte do biogás. (ii) a unidade de tratamento de biogás para retirada de gás sulfídrico, com capacidade de filtragem de 633,8 m³ de biogás/hora, (iii) sistema de queimadores de segurança (flares), composto por três unidades de queima com vazão de 300 m³ de biogás/hora cada um (iv) um sistema de queima do biogás para ser instalado na caldeira, com capacidade de queima de 650 Nm³/hora e/ou (v) grupo moto gerador para geração de energia elétrica, com potência instalada superior a 1030 kwh.

Dessa forma, considerando os aspectos e necessidades de tratamento dos efluentes desta indústria, bem como o potencial para a obtenção de energia a partir do biogás proveniente dele, este trabalho pode fornecer subsídios para a busca de um balanço econômico positivo para o saneamento

agroindustrial, bem como para aumento da competitividade da indústria por meio de redução de custos com energia.

Por fim, concluiu-se que o aproveitamento energético do biogás produzido a partir do tratamento anaeróbio de efluentes em fecularias pode apresentar-se viável tecnicamente, contribuindo com a sustentabilidade dos processos industriais, a segurança energética em unidades de processamento de mandioca e a perspectiva de operação em horários de ponta, o que pode configurar uma vantagem competitiva para este segmento industrial, cabendo ressaltar que para fins de investimentos há que se realizar um levantamento dos custos de implantação e operação do sistema para análise de viabilidade financeira. A partir do aproveitamento energético do biogás, as indústrias consolidam ganhos ambientais que proporcionam melhorias regionais e globais contribuindo para a melhoria da qualidade das águas, do solo e do ar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF. **Anuário estatístico da ABRAF 2012 ano base 2011**. ABRAF. Brasília, 2012.

AGUILAR, M. I.; SAEZ, J.; LORENS, M.; SOLER, A.; ORTUNO, J.F. **Nutrient removal and sludge production in the coagulation – flocculation process**. Walter Research, Murcia – Spain, vol. 36, n. 11, p. 2910-2919, 2002.

AISSE, M.M. **Sistemas econômicos de tratamento de esgotos sanitários**. Rio de Janeiro: ABES, 2000.

ANEEL, 2009, **Banco de Informações de Geração**. Disponível em www.aneel.org.br. Acesso em setembro de 2012.

AQUINO, S. F.; CHERNICHARO, C.A.; FORESTI, E.; SANTOS, M. L. F.; MONTEGGIA, L. O.; **Metodologias para determinação da Atividade Metanogênica Específica (AME) em Lodos Anaeróbios** – Revista Engenharia sanitária ambiental Vol.12 - Nº 2 - abr/jun 2007, 192-201

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

BARANA, A.C.; CEREDA, M.P. **Cassava wastewater manipueira treatment using a two-phase anaerobic biodigester**. Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, v.20, n.2, p.183-6, 2000.

BARRETO, R.J.R.; FARIAS, R.O.; SOUZA, C.S.; SANTOS, A.A.; MARQUES, J.J.; RAMOS, A.L.D. **Otimização da relação água/massa utilizada para produção de fécula de mandioca**. In: XI CONGRESSO BRASILEIRO DA MANDIOCA, Campo Grande, 2005. Anais... Disponível em: <http://www.suct.ms.gov.br/mandioca/trabalhos/trabalhos.html>.

BORGES, M.F.; FUKUDA, W.M.G.; ROSSETTI, A.G. **Avaliação de variedades de mandioca para consumo humano**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.37, n.11, p.1559- 1565, 2002.

BRAILE, P.M. e CAVALCANTI, J.E.W.A. 1993. **Manual de Tratamento de Águas Residuárias Industriais**. São Paulo, Cetesb.

BRANCO, S. M. **Poluição: A morte de nossos rios**. 2.ed.São Paulo: Ascetesp.1983,166 p.

CAVALCANTI, J.E.W. **Manual de tratamento de efluentes industriais**. 1ª edição. São Paulo, SP: Engenho Editora Técnica, 2009.

CEREDA, M.P. Resíduos da industrialização da mandioca no Brasil. São Paulo:Paulicéia, 1994. 174p.

CEREDA, M.P. Valorização de resíduos como forma de reduzir custos de produção. In: **Congresso Latino Americano de Raízes Tropicais, 1 E Congresso Brasileiro de Mandioca**, 9, 1996, São Pedro. Anais... São Pedro: Centro de Raízes Tropicais/UNESP, Sociedade Brasileira de Mandioca, 1996. p.25-43.

CETESB - **Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental**. 2007. Disponível em< <http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/variaveis.asp#topo>>

CETESB, **Qualidade das águas no Estado de São Paulo**. São Paulo, 1988, (águas e energia elétrica, n.14, p.11-22).

CETESB/SMA – Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental e SMA-SP –Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. **Relatório técnico n.º 2 do convênio SMA/MCT n.º 01.0052.00/2001 – aterros**. São Paulo, 2003, 349 p.

CHERNICHARO, C.A.L. 2001. Pós-tratamento de Efluentes de reatores anaeróbios. In: Tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios por Sistemas de Aplicação no Solo. Belo Horizonte, SEGRAC.

CNA - Coordenação da Agricultura e pecuária do Brasil; **Cartilha ABC**; Brasília, 2011; Disponível em: <<http://www.youblisher.com/p/237014-Cartilha-ABC/>>

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento; **Acompanhamento de safra brasileira: grãos, nono levantamento**, Brasília, 2012. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_01_06_08_41_56_bol_etim_graos_4o_lev_safra_2010_2011..pdf>

CIER – Centro Internacional de Energias Renováveis. **Parâmetros para cálculo de potencial energético do biogás**. Foz do Iguaçu, Parque Tecnológico Itaipu, 2013. Depoimento.

COMBUSTEC. **Informações sobre queimadores e flares**. 2013 Disponível em <<http://combusteccltda.wix.com/combustec>>.

S, Reinaldo. **Gestão Ambiental: Responsabilidade Social e Sustentabilidade**. São Paulo: Atlas, 2006.

EMBRAPA MANDIOCA E FRUTICULTURA. **Cultivo da mandioca para o Estado do Pará**, 2008. Disponível em: <[Http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML /Mandioca/mandiocapara/importancia.htm](http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mandioca/mandiocapara/importancia.htm)>

FEIDEN, A.; CEREDA, M.P. **Potencial energético do biogás gerado no tratamento de águas residuárias de feculárias em sistema piloto de biodigestão anaeróbia com separação de fases**. *Energia na Agricultura*, Botucatu, v.18, n.2, p.54-66, 2003.

FEIDEN, A. **Tratamento de águas residuárias de indústria de Fécula de mandioca através de biodigestor anaeróbio com separação de fases em escala piloto**. Tese (doutorado). Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Ciências Agrônômicas da Universidade Estadual de São Paulo, Área de Concentração em Energia na Agricultura. Botucatu, 2001.

FERNANDES A. J. **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, (Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino Americanas, 4V, Cap.10, p. 138-160).

FERNANDES, A. J. **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.

FERNANDES Jr., A; CEREDA, M.P. Controle da instabilidade da digestão anaeróbia de manipueira em reator de mistura completa – I. Neutralização do substrato. *Energia na Agricultura*, v.5, n.1, p.5-10, 1990.

_____. Influência no tempo de retenção hidráulica (TRH) sobre a fase acidogênica da digestão anaeróbia de manipueira. *Energia na Agricultura*, v.11, n.2, p.1-4, 1996.

FIGUEIREDO, N. J. V.; **Utilização do biogás de aterro sanitário para Geração de energia elétrica e iluminação a gás**, Universidade Presbiteriana Mackenzie, Escola de Engenharia. São Paulo, 2007.

ICLEI - Brasil - Governos Locais pela Sustentabilidade; **Manual para aproveitamento do biogás: volume um, aterros sanitários**. ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, Secretariado para América Latina e Caribe. São Paulo, 2009.

IPCC - International Panel on Climate Change. **Guidelines for National Greenhouse Inventories**: Reference Manual (Vol.5), 2007.

IPCC - Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas. **Guia para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa - IPCC - Capítulo 6: Emissões da Indústria**. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp>>

ITAIPIU Binacional – **Plataforma Itaipu de Energias Renováveis**. Disponível em <<http://www.plataformaitaipu.org/>>

KATO, M.T.; ANDRADE NETO, C.O.; CHERNICHARO, C.A.L.; FORESTI, E.; CYBIS, L.F. Configurações de Reatores Anaeróbios. In: CAMPOS, J.R. (Coord.). Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo. Rio de Janeiro: ABES, p. 53-99, 1999.

KRAUSE, G.G., **Avaliação da Tecnologia de Sistemas Integrados Gaseificação** – Ciclo Combinado para geração termelétrica no Brasil
Dissertação de mestrado. PPE/ COPPE/ UFRJ. Rio de Janeiro, 1990

KUCZMAN, O. **Mandioca no contexto econômico regional do Oeste do Paraná: um estudo de caso.** Cascavel, 1996. 43p. Monografia (Especialização em Desenvolvimento Agroindustrial) - Departamento de Economia, Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

KUCZMAN, O. **Tratamento anaeróbio de efluente de fecularia em reator horizontal de uma fase.** Dissertação (mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel, 2007.

LCQUEIMADORES. **Informações sobre queimadores industriais.** 2013. Disponível em: <<http://www.lcqueimadores.com.br/>>

LEONEL, M.; JACKEY, S.; CEREDA, M.P.. **Processamento industrial de fécula de mandioca e batata doce - um estudo de caso.** Revista Ciência Tecnologia de Alimentos, Campinas, v. 18, n. 3, Aug. 1998. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010120611998000300016&lng=en&nrm=iso>.

LIER, J.B. Van; TILCHE, A.; AHRING, B.K.; MACARIE, H.; MOLETTA, R.; DOHANYOS, M.; HULSHOFF POL, L.W.; LENS, P.; VERSTRAETE, W.. **New perspectives in anaerobic digestion.** Water Science and Technology, Kidlington, v.43, n.1, p.1-18, 2001

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento; **Programa ABC;** Brasília, 2012. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/desenvolvimento-sustentavel/programa-abc>

Mendes, L. G. G.; Sobrinho, P. M.; **Métodos de estimativa de geração de biogás em aterro sanitário,** Rev. ciênc. exatas, Taubaté, v. 11, n. 2, p. 71-76, Guaratinguetá, 2005.

Ministério da Fazenda; **Economia Brasileira em perspectiva, 14ª edição.** Brasília, 2012; Disponível em: <http://www.fazenda.gov.br/portugues/docs/perspectiva-economia-brasileira/edicoes/Economia-Brasileira-Em-Perspectiva-14Ed.EspecialFev2012.pdf>

MORAES, L.M. **Avaliação da biodegradabilidade anaeróbia de lodos de esgoto provenientes de reatores anaeróbios seqüenciais.** Campinas, 2005. 164p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas.

MORAES, L.M. **Avaliação da biodegradabilidade anaeróbia de lodos de esgoto provenientes de reatores anaeróbios seqüenciais**. 164p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2005.

MOTTA, L.C. **Utilização de resíduos de industrialização de farinha de mandioca em digestão anaeróbia**. Botucatu, 1985. 119p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

OCEPAR - Organização das Cooperativas do Estado do Paraná, Informativo Online. Artigo: **Cooperativismo no Paraná**. Curitiba, 2012, Disponível em: http://www.paranacooperativo.coop.br/ppc/attachments/article/40530/cooperativismo_no_parana.pdf

OLIVEIRA, K. R. F., **Processos ecotecnológicos no tratamento de efluentes líquidos de fecularia**, Campo Grande, 2007. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 2007.

PANTAROTO, S.; CEREDA, M.P. Linamarina e sua decomposição no ambiente. In: CEREDA, M.P. (Coord.). **Manejo, uso e tratamento de subprodutos da industrialização da mandioca**. v.4. São Paulo: Fundação Cargill, p.38-47, 2000. (Série culturas de tuberosas amiláceas latino americanas)

PERSSON, M., JÖNSSON, O., WELLINGER, A., 2006. **Biogas upgrading to vehicle fuel standards and grid injection**. IEA Bioenergy, Task 37 – Energy from Biogas and Landfill Gas.

PINTO, P.H.M.; CABELLO, C; **Tratamento de efluentes líquidos de fecularia em biodigestores anaeróbios de fluxo ascendente**, disponível em <http://www.abam.com.br/arquivos/congresso/83%20Paulo%20henrique%20mendonca%20pinto.pdf>

POMPERMAYER, Raquel de Souza and PAULA JUNIOR, Durval Rodrigues de. Estimativa do potencial brasileiro de produção de biogás através da biodigestão da vinhaça e comparação com outros energéticos.. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 3., 2000, Campinas. **Proceedings online...** Available from: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC000000022000000200055&lng=en&nrm=abn>. Access on: 30 Mar. 2013.

PONTELLO, C.J.; DAMASCENO, S.; QUEIROZ, M.M.F.; FAZOLO, A. **Desempenho de uma lagoa anaeróbia com cobertura plástica tratando efluente de indústria de fécula de mandioca**. In: XI CONGRESSO BRASILEIRO DA MANDIOCA, Campo Grande, 2005. Anais... Disponível em: <http://www.suct.ms.gov.br/mandioca/trabalhos/trabalhos.html>.>

PONTELLO, C.J.; **Efeito da cobertura plástica no desempenho de uma lagoa anaeróbia tratando efluente de indústria de fécula de mandioca**.

Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel, 2005.

ROCHA, M.T. **Aquecimento global e o mercado de carbono: uma aplicação do modelo CERT**. Piracicaba, 2003, 196p. Tese (Doutorado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.

SCHUROFF, I.A. **A cultura da mandioca e a agricultura familiar no Núcleo Lúcia Ivinhema MS**. Lavras, 2005. 41p. Monografia (pós-graduação Lato Sensu) Universidade Federal de Lavras.

TAKAHASHI, M.; CEREDA, M.P. **Métodos de avaliação do rendimento da manipueira na produção de metano**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA MANDIOCA, 4. Balneário de Camboriú, 1986. **Anais...**, p.72, 1986.

VILPOUX, O. A cadeia de mandioca no Brasil. Campo Grande: SEBRAE, 2006.

VILPOUX, O. **Critérios relevantes para o desenvolvimento do setor mandioqueiro no Brasil**. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE RAÍZES TROPICAIS, 1, CONGRESSO BRASILEIRO DE MANDIOCA, 9, 1996, São Pedro. **Anais...** São Pedro: Centro de Raízes Tropicais-UNESP, Sociedade Brasileira de Mandioca, 1996. p.53-6.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**; 1995. 240p. (Série Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, 1)

VON SPERLING, M. **Princípios básicos do tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária, UFMG, 1996a. 211p. (Série Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, 2)

WOSIACKI, G.; CEREDA, M.P. Valuation of cassava processing residues the production of trichosporon sp biomass. *Exact and Soil Sciences, Agrarian S. and Engineering*, v.8, n.1, p.27-43, 2002.

ZANETTE, A. L.; **Potencial de aproveitamento energético do biogás no Brasil**. Dissertação (mestrado). Programa de Planejamento Energético, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2009.